

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL
DES
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la
74^e session — 1985

TOME 53

Édité par le BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex, France

ISBN 92-822-2095-8

NOTICE SUR LES ORGANES DE LA CONVENTION DU MÈTRE

Le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) 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 qui interviennent dans les activités ci-dessus.

Le Bureau International fonctionne sous la surveillance exclusive du Comité International des Poids et Mesures (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit actuellement tous les quatre 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 actuellement tous les ans. Le bureau de ce Comité adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau International.

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

(1) Au 31 décembre 1985, quarante-sept 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, Chine (Rép. Pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. Pop. Dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

Une quarantaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons dans les domaines mentionnés ci-dessus. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les procès-verbaux des séances du Comité International. La dotation annuelle du Bureau International est de l'ordre de 13 144 000 francs-or (en 1985), soit environ 23 850 000 francs français.

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 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 (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 31, 1963, p.97). Chaque Comité Consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité International, est composé de délégués 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 huit :

1. Le Comité Consultatif d'Électricité (CCE), créée en 1927.
2. Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité Consultatif de Photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS), créée en 1956.
6. Le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CEMRI), créé en 1958. En 1969, ce Comité Consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; cette dernière Section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le Comité Consultatif des Unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité Consultatif a remplacé la « Commission du Système d'Unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.

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 hors commerce 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 aussi des monographies sur des sujets métrologiques et, sous le titre « Le Système International d'Unités (SI) », une brochure remise à jour périodiquement qui rassemble toutes les décisions et recommandations concernant les unités.

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 25 octobre 1985

Président

1. D. KIND, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 Braunschweig (Rép. Féd. d'Allemagne).

Secrétaire

2. J. DE BOER, Institut de Physique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C.

Membres

3. E. AMBLER, Directeur du National Bureau of Standards, Gaithersburg, M. D. 20899 (É.-U. d'Amérique).
4. W. R. BLEVIN, Directeur Adjoint de la Division de Physique Appliquée, CSIRO, P. O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070 (Australie).
5. A. BRAY, Directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10137 Torino (Italie).
6. P. DEAN, Directeur du National Physical Laboratory, Teddington, TW11 OLW (Royaume-Uni).
7. H.H. JENSEN, Professeur, H.C. Ørsted Instituttet, Universitetets Fysiske Laboratorium 1, Universitetsparken 5, 2100 København Ø.
Secrétaire-Adjoint.
8. J. KOVALEVSKY, Astronome au Centre d'Études et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques, Avenue N. Copernic, 06130 Grasse (France).
9. A.P. MITRA, Directeur du National Physical Laboratory of India, Hillside Road, New Delhi 110012 (Inde).

10. T. PLEBANSKI, Directeur, Centre de recherche et de développement des matériaux de référence « WZORMAT », Ul. Elektoralna 2, 00-139 Varsovie.
11. H. PRESTON-THOMAS, Directeur Associé de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, Ottawa K1A 0S1. *Vice-président.*
12. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75121 Uppsala 1 (Suède).
13. J. SKÁKALA, Professeur, Université technique slovaque, SVŠT, Gottwaldovo nám. 17, CS 81213 Bratislava (Tchécoslovaquie). *Vice-président.*
14. R. STEINBERG, Chef du Département de Physique et Métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires.
15. WANG DAHENG, Professeur, Directeur de la division des Sciences techniques, Academia Sinica, Conseiller du Bureau d'État de Métrologie, B.P. 2112, Beijing (Rép. Pop. de Chine).
16. ...
17. ...
18. ...

Membres honoraires

1. L. M. BRANSCOMB, Old Orchard Road, Armonk, N. Y. 10504.
 2. L. DE BROGLIE, de l'Académie Française, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, 94, rue Perronet, 92200 Neuilly-sur-Seine.
 3. J. V. DUNWORTH, The Warbuck, Kirk Michael, Isle of Man.
 4. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P 2G2.
 5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, D 3300 Braunschweig.
 6. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, N.S.W. 2110.
 7. J. STULLA-GÖTZ, Gentzgasse 3, 1180 Wien.
-

LISTE DU PERSONNEL
DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 1^{er} janvier 1986

Directeur : P. Giacomo
Sous-Directeur : T. J. Quinn

Physiciens chercheurs principaux

A. Allisy, A. Rytz, P. Carré, J. W. Müller, T. Witt, J. Bonhoure.

Physiciens et Métrologistes

A. Sakuma, J. Hamon, R. P. Hudson, V. D. Huynh, G. Girard, J.-M. Chartier,
M. Gläser, P. Bréonce, D. Reymann, R. Felder, W. Lewandowski, J. Azoubib.

Chercheurs associés

B. Guinot, T. Endo, C. C. Speake, G. Ratel.

Techniciens de laboratoire

L. Lafaye, J. Hostache, C. Colas, C. Veyradier, D. Carnet, F. Lesueur,
R. Pello, M.-J. Coarasa, D. Avrons, D. Bournaud, C. Garreau, Mmes
M. Thomas, A. Chartier, Mlle H. Konaté.

Atelier de mécanique

B. Bodson, G. Boutin, J. Leroux, C. Gilbert, J.-P. Dewa, J. Dias, A. Gama,
D. Rotrou, F. Perez, P. Benoit, M. de Carvalho.

Administrateur

J. Gaillard.

Secrétaires

Mlle J. Monprofit, Mme D. Müller, Mlle D. Le Coz, Mmes M. Petit,
L. Delfour, M.-J. Martin.

Gardiens

A. Montbrun, L. Lecoufflard.

Services d'entretien généraux

Mme A. Perez, 3 employés (contractuels).

Directeurs honoraires : Ch. Volet, J. Terrien

Métrologiste honoraire : H. Moreau

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Ouverture de la session, quorum, approbation de l'ordre du jour.
 2. Rapport du secrétaire du CIPM.
 3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité.
 4. Comités Consultatifs :
 - Rapport sur les réunions récentes (CCDS, CCEMRI, CCM) ;
 - Réunions futures.
 5. Travaux du BIPM (présentation du rapport du Directeur, exposé des travaux).
 6. Visite du Dépôt des Prototypes métriques.
 7. Questions administratives et financières :
 - Rapport de l'expert-comptable ; quitus pour 1984 ; rapport aux Gouvernements ;
 - Exercice 1985 en cours ;
 - Projet de budget 1986.
 8. Plan à long terme pour le travail scientifique (activités à développer, activités à réduire).
 9. Lignes directrices pour la préparation du programme de travail et de la dotation à présenter à la 18^e CGPM (1987).
 10. Sièges vacants au CIPM.
 11. Questions diverses :
 - Présidence du CCEMRI ;
 - États dont les contributions ont un retard supérieur à six ans ;
 - Prochaine session du CIPM.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

74^e SESSION (octobre 1985)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES TENUES A SÈVRES

Présidence de Mr D. KIND

Le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 74^e session les mardi 22, mercredi 23 et jeudi 24 octobre 1985. Il a tenu six séances au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Étaient présents : MM. AMBLER, BLEVIN, DE BOER, BRAY, DEAN, JENSEN, KOVALEVSKY, KIND, MITRA, PERLSTAIN, PLEBANSKI, PRESTON-THOMAS, SIEGBAHN, SKAKALA, WANG, GIACOMO (directeur du BIPM).

Invités : MM. IZUKA et OBOUKHOV (comme observateurs).

Assistaient aussi aux séances : Mr QUINN (sous-directeur du BIPM) ; Mr TERRIEN (directeur honoraire du BIPM) ; invité : Mr ALLISY (lors de la discussion sur la section des rayonnements ionisants) ; interprètes : Mlle Monprofit, Mr Sakuma (un jour) ; secrétaire : Mlle Le Coz.

Excusé : Mr STEINBERG.

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

Le président ouvre la 74^e session du Comité International des Poids et Mesures. C'est avec grand plaisir qu'il accueille Mr Dean, présent pour la première fois au CIPM en qualité de membre, ainsi que les autres membres nouvellement élus : MM. Kovalevsky et Mitra.

Le président fait part de la mort accidentelle de Mr Kiparenko, survenue le 13 octobre 1985. Il présente brièvement la carrière de V. I. Kiparenko, membre du CIPM depuis 1979. Une minute de silence est observée à la mémoire de ce collègue disparu, dont le CIPM déplore tout particulièrement l'absence.

Le président accueille les invités : Mr Iizuka, directeur du National Research Laboratory of Metrology (NRLM) et Mr Oboukhov, interprète de V. I. Kiparenko.

Malgré l'absence de MM. Perlstain et Mitra (qui ne peuvent assister à la séance du 22 octobre) et de Mr Steinberg (excusé), le quorum est atteint, conformément à l'article 12 (1921) de la Convention du Mètre.

Mr Perlstain a confirmé sa décision de se retirer du CIPM à la fin de la présente session, car il a pris sa retraite de l'Office Fédéral de Métrologie helvétique.

Mr de Boer propose d'ajouter au point 7 de l'ordre du jour le plan à long terme pour les bâtiments. L'ordre du jour est approuvé. Le mercredi 23 octobre est réservé à la présentation des travaux du Bureau International des Poids et Mesures.

Le président informe les membres du CIPM que le professeur von Klitzing a reçu le prix Nobel de physique pour son travail sur l'effet Hall quantique. Il rappelle les progrès considérables qui en résultent en métrologie électrique, pour la conservation de l'ohm à long terme. Ce travail est mis en pratique aussi au BIPM. Il propose d'envoyer une lettre au professeur von Klitzing, au nom du CIPM, pour lui faire part des chaleureuses félicitations des membres du CIPM à l'occasion de son élection comme lauréat du prix Nobel de physique.

2. Rapport du secrétaire du CIPM (octobre 1984-octobre 1985)

1. États membres de la Convention du Mètre. — Le Bureau International des Poids et Mesures a été informé par le Ministère des Relations Extérieures de France, en date du 16 août 1985, de l'adhésion d'Israël à la Convention du Mètre. L'instrument d'adhésion de l'État d'Israël a été déposé auprès du Gouvernement français le 7 mai 1985.

Le nombre des États parties à la Convention du Mètre est maintenant de 47.

2. Membres du CIPM

Élections : Afin de pourvoir les sièges vacants, il a été procédé à trois votes par correspondance à scrutin secret.

Mr J. Kovalevsky, astronome au Centre d'Études et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques, Grasse, a été élu le 22 novembre 1984, Mr P. Dean, directeur du National Physical Laboratory à Teddington, le 8 mars 1985 et Mr A. P. Mitra, directeur du National Physical Laboratory of India, New Delhi, le 10 septembre 1985.

Démissions : Mr Kawata, appelé à d'autres fonctions dans son pays, a fait part de sa démission.

Le décès de V. I. Kiparenko et la démission de Mr Perlstain portent à trois le nombre de sièges vacants au CIPM et le nombre d'élections dont le CIPM devra discuter.

3. Réunions des Comités Consultatifs et des Groupes de travail

— Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde a tenu sa 10^e session du 5 au 7 juin 1985, sous la présidence de J. Kovalevsky.

— Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées a tenu sa 2^e session du 18 au 21 juin 1985, sous la présidence de A. Perlstain. Auparavant sept des Groupes de travail de ce Comité s'étaient réunis.

— Le Comité Consultatif pour la Mesure des Rayonnements Ionisants a tenu sa 11^e session le 24 juillet 1985 sous la présidence de E. Ambler. Cette session avait été précédée par les réunions des trois sections :

la Section I (Rayons X et γ , électrons) s'est réunie du 15 au 18 avril 1985 sous la présidence de W. H. Henry,

la Section II (Mesure des radionucléides) s'est réunie du 11 au 13 juin 1985 sous la présidence de H. M. Weiss,

la Section III (Mesures neutroniques) s'est réunie du 28 au 30 mai 1985 sous la présidence de R. S. Caswell.

A l'exception des réunions de six Groupes de travail du CCM qui se sont tenues à Turin, à Paris ou à Prague, toutes les autres réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

4. Bureau du Comité

Le bureau du Comité s'est réuni plusieurs fois au Pavillon de Breteuil et une fois à Cambridge (Royaume-Uni).

5. Indications financières

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

Comptes	1982	1983	1984	1985
I. — Fonds ordinaires	10 392 001,31	14 868 332,15	16 895 009,59	16 227 665,79
II. — Caisse de retraites	4 245 677,86	5 591 516,91	7 745 117,69	9 214 761,18
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du ma- tériel scientifique	587 365,08	705 899,38	835 554,11	936 410,39
IV. — Caisse de prêts sociaux	95 621,73	108 449,20	123 382,54	185 090,87
V. — Réserve pour les bâtiments	797 703,56	1 555 578,24	1 884 546,82	141 352,65
Totaux	16 118 369,54	22 829 775,88	27 483 610,75	26 705 280,88

3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité

Mr de Boer présente un aperçu des activités du bureau du Comité. Les différents points abordés dans son rapport figurent à l'ordre du jour et feront l'objet de discussions ultérieures : programme à long terme (point 8 de l'ordre du jour), élections au CIPM et aux comités consultatifs (point 4 de l'ordre du jour), États déficitaires (point 11 de l'ordre du jour), TAI (point 7 de l'ordre du jour), questions propres au BIPM.

4. Comités Consultatifs

Le président donne la parole à Mr Kovalevsky, président du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde, pour présenter le rapport de son comité.

4.1. Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS) s'est réuni du 5 au 7 juin 1985 à Sèvres. Mr Kovalevsky présente le rapport du CCDS ; il centre son exposé sur trois points saillants de l'ordre du jour :

1) Le CCDS a tout d'abord passé en revue les activités des différents laboratoires engagés dans le travail sur les étalons de fréquence et les échelles de temps. Il rappelle que l'élaboration de la seconde définie par le SI est fondée sur des étalons primaires de temps qui ne sont qu'au nombre de cinq dans le monde, ce qui est insuffisant pour maintenir une échelle de temps constituée par une série de secondes du SI. Des horloges secondaires sont utilisées comme garde-temps et pour les comparaisons internationales.

Durant les cinq années écoulées depuis la précédente session du CCDS (1980), les progrès ont été moins rapides que pendant les années 1970. On obtient maintenant une plus grande exactitude, de l'ordre de 10^{-13} pour la seconde. La plupart des grands laboratoires étudient la construction d'horloges à césium à pompage optique qui devraient fournir des résultats intéressants ; ils pensent que ces horloges seront opérationnelles en 1987-1988.

Quand on arrive à des précisions de l'ordre de 10^{-16} ou 10^{-17} , un phénomène nouveau qui n'a jamais vraiment été étudié apparaît, c'est le problème du déplacement des niveaux dû au rayonnement ambiant du corps noir. On sera probablement conduit à préciser la définition de la seconde pour tenir compte de ce phénomène.

La Recommandation S 2 (1985) sur les corrections nécessaires pour la mise en pratique de la définition de la seconde part du principe que l'atome de césium utilisé comme référence est au repos et n'est soumis à aucune perturbation. Il faudrait effectuer des études théoriques sur les effets perturbateurs, notamment celui du rayonnement du corps noir, et faire des expériences pour vérifier l'interprétation théorique.

2) Le second point est la dissémination du temps atomique international. Celle-ci est fondée essentiellement sur l'exactitude de la synchronisation d'horloges distantes. Le système LORAN-C tend à être remplacé par le système GPS qui a été mis en œuvre par les États-Unis d'Amérique. Trois invités ont présenté ce système qui permet une synchronisation d'horloges distantes avec une exactitude de 10 nanosecondes. C'est la méthode de synchronisation la plus efficace que l'on connaisse. Malheureusement ce système n'est pas facilement accessible, notamment dans le domaine civil. Aussi le CCDS pense-t-il que d'autres techniques devraient être développées, comme le reflète la Recommandation S 3 (1985). Il est important de pouvoir utiliser d'autres techniques spatiales, comme les satellites de télécommunications, qui soient accessibles à tous. Les organisations nationales ou internationales doivent aider à développer des méthodes de synchronisation des horloges utilisant les satellites de télécommunications pour que les liaisons horaires ne soient pas dépendantes du seul système GPS.

3) Le troisième point est celui de l'établissement du TAI et de son transfert au BIPM. Depuis 1977, le TAI est établi par 39 laboratoires qui disposent en tout de cinq horloges primaires, de 150 horloges secondaires à césium et de quatre masers à hydrogène. L'exactitude obtenue est de l'ordre de 10^{-13} . On remarque des variations saisonnières, de l'ordre de 3×10^{-13} , entre les différents laboratoires comme la PTB et le NRC. Quelle est leur origine ? S'agit-il réellement de variations saisonnières ?

Sans entrer dans le détail, on peut affirmer que conformément à ce qui a été dit l'an passé, les associations parentes (URSI, UGGI, UAI) ne feront probablement pas d'objections au transfert du TAI au BIPM. La situation est la même que l'an passé. Mr Guinot est responsable du BIH qui comprend toujours, outre le service du TAI, le service de la rotation de la Terre, ce dernier restant à l'Observatoire de Paris. En 1987 sera établi un nouveau service de la rotation de la Terre indépendant du TAI. Une étroite liaison entre les deux services restera nécessaire pour décider de l'introduction des secondes intercalaires.

L'objectif principal de la Recommandation S 1 (1985) est de mettre en place un groupe de travail du CCDS qui comprenne les utilisateurs du TAI, afin de connaître leur point de vue et de prendre des mesures pour améliorer le service rendu. Le groupe de travail créé en 1977 pour le pilotage du TAI n'était composé que de laboratoires membres du CCDS. Le nouveau groupe de travail comprendrait des représentants

du CCDS et des représentants des utilisateurs du TAI. Il pourrait travailler par correspondance à la coordination des problèmes techniques relatifs au TAI. Ce serait une sorte de comité directeur du TAI.

Le CCDS a aussi discuté, du point de vue technique, des théories relativistes qui prennent toute leur importance quand on atteint des précisions de l'ordre de 10^{-16} .

Le président remercie Mr Kovalevsky pour son excellent rapport.

Mr Blevin souligne que le rapport du CCDS a été très apprécié en Australie, en raison non seulement des informations qu'il donne sur le système GPS, mais aussi des possibilités nouvelles de raccordement de l'Australie au TAI. Il apprécie que les documents de travail mentionnés à l'Annexe 1 soient accessibles aux laboratoires qui ne font pas partie du CCDS. Il est heureux de la proposition de Mr Guinot de rencontres occasionnelles entre les laboratoires travaillant sur le TAI — y compris les laboratoires qui ne font pas partie du CCDS — ce qui leur donnerait un accès direct au travail entrepris et permettrait à tous les laboratoires concernés d'être représentés.

Mr Plebanski fait savoir que ce rapport a été également très apprécié en Pologne. Il demande combien de pays utilisent le système GPS et si le BIH a cessé ou non d'exister.

Mr Kovalevsky répond que 9 laboratoires utilisent le système GPS, dont 2 ou 3 aux États-Unis d'Amérique, soit 7 ou 8 pays. Le BIH continuera d'exister sous sa forme initiale jusqu'en 1987, date où le service de l'heure quittera officiellement l'Observatoire de Paris pour s'installer au BIPM. Le BIPM aura l'entière responsabilité du TAI en 1987. L'URSI a donné une réponse favorable à ce transfert, l'UGGI donnera sa réponse définitive en 1987. L'UAI donnera sa réponse * à son Assemblée Générale, en novembre 1985. Pour le moment le BIH est toujours responsable du TAI. Un document formel devra être rédigé en 1987 pour fixer l'exacte position du BIPM dans la coordination du temps.

Le président souligne qu'on ne peut pas se permettre d'interrompre le travail sur les échelles de temps. La situation doit se régler sans heurts. Il remercie Mr Kovalevsky pour son travail en ce domaine. Pour le moment les deux entêtes du BIH et du BIPM figurent sur le bulletin du BIH.

Mr Jensen demande quand aura lieu la réunion de l'UGGI. Il est important de le savoir pour préparer la prochaine Conférence Générale des Poids et Mesures, pour octobre 1987.

Mr Kovalevsky répond que l'Assemblée Générale de l'UGGI aura lieu en août 1987, ce qui laisse peu de temps avant la Conférence

* L'UAI a effectivement donné son accord pour le transfert de la responsabilité du TAI au CIPM (Résolution B 1 de l'Assemblée Générale de l'UAI, novembre 1985).

Générale. Cependant, comme le travail est bien préparé, il est convaincu qu'il n'y aura pas de difficulté.

Mr Wang Daheng demande quelques précisions concernant la définition du TAI dans les théories relativistes (réalisation du géoïde, expression des corrections pour le temps-coordonnée au voisinage de la Terre).

Mr Giacomo fait remarquer que ces questions sont longuement traitées dans les documents de travail cités en annexe au rapport du CCDS. Ces documents ne peuvent pas être envoyés systématiquement à tous, car ils sont trop volumineux. Toutefois ils sont disponibles dans leur forme originale, comme ceux de tous les comités consultatifs, et sont communiqués sur demande. Mr Giacomo encourage vivement les membres du CIPM à faire connaître cette source de documentation.

Le président revient à la Recommandation S 1 du CCDS et demande s'il y a des commentaires ou des propositions de changement. Pour sa part, il souhaiterait que le secrétaire du Groupe de travail soit un membre du personnel du BIPM.

Mr Kovalevsky propose d'ajouter, au point 3 de la Recommandation S 1, conformément au souhait exprimé par le président : « et que le BIPM assure le secrétariat permanent de ce Groupe de travail ».

La Recommandation S 1, ainsi complétée, est approuvée.

Le président demande s'il y a des commentaires au sujet de la Recommandation S 2.

Mr Jensen propose de présenter cette recommandation à la prochaine Conférence Générale : ainsi, les laboratoires qui veulent participer à ce travail auraient plus de facilité à obtenir un soutien financier.

Mr de Boer pense qu'il s'agit de la mise en pratique de la définition de la seconde et que ce sujet devrait être considéré dans son ensemble.

Mr Kovalevsky précise que pour la mise en pratique de la définition de la seconde des études doivent être poursuivies, mais que la définition de la seconde proprement dite n'a pas à être changée.

Mr de Boer est d'accord avec le contenu de la Recommandation S 2, mais il pense que l'expression pourra en être améliorée, en vue de présenter un projet de résolution à la Conférence Générale.

La Recommandation S 2 (1985) est approuvée.

Le président passe ensuite à la Recommandation S 3 et demande s'il y a des commentaires.

Mr Jensen est d'avis de la présenter à la prochaine Conférence Générale.

La Recommandation S 3 (1985) est approuvée.

Le président remercie Mr Kovalevsky pour son rapport. Il donne ensuite la parole à Mr Ambler pour la présentation du rapport du CCEMRI.

4.2. Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

Mr Ambler présente son rapport qui recouvre le travail des 3 sections. Ce document est divisé en 4 parties :

- a) remarques générales, besoins en étalons,
- b) programme d'activité pour la période 1983-1985,
- c) réalisations pour la période 1983-1985,
- d) programme pour les deux années à venir.

Les réunions du CCEMRI ayant lieu tous les deux ans, cette présentation permet de voir l'évolution du travail.

Il y a eu une grande activité dans les 3 sections :

— Section I (Rayons X et γ , électrons) : Les travaux ont porté sur la détermination de la dose absorbée — grandeur très importante — et sur les mesures de dose absorbée dans l'eau. Une série de références et de rapports sont disponibles.

— Section II (Mesure des radionucléides) : La comparaison de ^{137}Cs est achevée et les résultats ont été publiés. Une nouvelle comparaison de ^{133}Ba vient d'être achevée. Les travaux de Mr Rytz sur le SIR ont été mis à jour.

— Section III (Mesures neutroniques) : La comparaison de dosimétrie neutronique à 14,7 MeV effectuée au National Physical Laboratory est maintenant terminée. Le rapport sera prochainement publié. C'est un travail important qui a duré deux ans.

Les trois Recommandations de la Section I, la Recommandation de la Section II et celle de la Section III soulignent l'importance du travail réalisé par le personnel du BIPM et la nécessité d'augmenter le nombre de personnes qui y travaillent. Les recommandations sur le besoin en personnel n'ont pas été incluses dans le rapport général, car elles ne sont pas très utiles. Dans le passé le CCPR et le CCE ont fait des recommandations semblables, mais elles n'ont pas eu d'effet : le personnel ne peut être augmenté. Le besoin d'augmenter le personnel est commun à toutes les sections du BIPM. Le CIPM tente d'établir des priorités de manière objective. La section des masses et celle du temps ont besoin d'être renforcées, et d'autres sections doivent être réaménagées pour faire face à ces besoins. Le travail du CCEMRI est important. Les rayons X et γ sont importants, ainsi que la radioactivité. Peut-être les neutrons ont-ils moins d'importance pour le moment. Naguère, le travail sur les particules alpha était le plus important. Maintenant le travail sur les particules alpha a perdu de son importance au profit de la radioactivité. La situation actuelle n'est pas satisfaisante. Le CIPM doit prendre des décisions.

Le président remercie Mr Ambler pour son rapport et ses remarques

sur la situation générale de la section des rayonnements ionisants. Le bureau du Comité connaît la situation et il en a discuté avec le personnel supérieur du Bureau. Le président est d'accord avec Mr Ambler pour dire que de telles recommandations sur les besoins en personnel ne doivent pas être incluses dans le rapport des comités consultatifs et ne sont pas du ressort des présidents des comités consultatifs. Ces problèmes doivent être résolus par le CIPM, et, effectivement, il en sera discuté en détail dans la suite de la présente réunion. Il faut faire au mieux avec les ressources et le personnel limités dont nous disposons. L'Autriche et la Suède ont écrit une lettre qui reflète une mauvaise information sur la situation. Il faut mettre celle-ci au clair.

Il conviendrait par ailleurs de revoir l'organisation des trois sections du CCEMRI. Chacune produit un document séparé, plus un pour le rapport général du CCEMRI, avec de nombreuses pages en commun. Cela fait beaucoup de travail pour le BIPM et oblige les laboratoires à envoyer des délégués aux quatre réunions.

Mr Siegbahn informe les membres du CIPM qu'il est d'accord avec Mr Ambler pour donner moins d'importance au travail sur les neutrons. Il comprend les raisons historiques qui ont favorisé, vers 1960, le financement de la section des rayonnements ionisants par la Rockefeller Foundation. Les applications médicales étaient importantes. Mais il faut voir qu'il y avait alors un déséquilibre entre la section des rayonnements ionisants et les autres sections. Le travail sur la physique nucléaire est maintenant moins important qu'il ne l'était alors, et la situation économique oblige à reconsidérer la situation et à déterminer des priorités. Elle s'oppose à une augmentation de l'activité dans le domaine des neutrons. Le personnel a fait preuve de sa compétence en ce domaine, ce qui rend le choix plus difficile.

Le président remercie Mr Siegbahn et rappelle que la discussion porte sur le point 4 de l'ordre du jour : Comités Consultatifs, et non sur le plan à long terme du BIPM. Bien que ces points soient liés, il vaut mieux ne pas mélanger les problèmes.

Mr Plebanski demande encore, pour information, ce dont le directeur a besoin pour assurer un fonctionnement correct dans cette section.

Mr Giacomo répond qu'il s'agit essentiellement d'un problème budgétaire. Il est d'accord avec Mr Siegbahn pour dire que la section des rayonnements ionisants a été créée avec beaucoup d'enthousiasme. Le CIPM doit jouer un rôle modérateur et éviter que, maintenant, dans cette section, le travail sur les neutrons soit supprimé avec la même ardeur : il serait préférable de ne pas abandonner toute activité dans le domaine des neutrons.

Le président rappelle à nouveau que l'on discute du point 4 de l'ordre du jour : Comités Consultatifs. En dehors des discussions sur le rôle du BIPM, il pourrait être raisonnable de changer les structures du CCEMRI. En effet elles sont différentes de celles des autres comités consultatifs, tel que le CCM, qui ont des sous-groupes organisés sous

forme de groupes de travail moins formels que des sections indépendantes. Ces groupes de travail ont ainsi plus de facilité à se rencontrer et à travailler par correspondance. Les comités consultatifs ne perdent rien de leur substance avec ce mode de travail ; ils gagnent en flexibilité et en travail de secrétariat. Il suggère soit 1) la création de 2 comités consultatifs indépendants : l'un sur la dosimétrie (rayons X et γ , électrons) et l'autre sur la radioactivité, soit 2) de garder la même structure, c'est-à-dire de conserver un comité consultatif mais avec des groupes de travail au lieu de sections, et de rédiger un seul rapport. Il rappelle par ailleurs la situation actuelle du CCEMRI. Mr Ambler a quitté la présidence du CCEMRI pour assurer celle du CCE. Il conviendrait de clarifier la situation avant de demander à quelqu'un d'assumer la présidence du CCEMRI.

Mr Ambler souligne que c'est une coïncidence malheureuse qu'il ait quitté la présidence du CCEMRI pour celle du CCE à ce moment précis. Cela n'a rien à voir avec la situation actuelle. Cela faisait dix ans qu'il était président du CCEMRI et il souhaitait changer de domaine d'activité.

Il reprend par ailleurs ce que MM. Siegbahn et Giacomo ont dit : c'est une bonne idée de faire les choses graduellement. Comme l'a dit Mr Siegbahn, la physique nucléaire avait une importance capitale à l'époque de la création de la section des rayonnements ionisants il y a 25 ans et son importance est moindre aujourd'hui que celle de la métrologie des lasers, de l'effet Josephson ou de l'effet Hall quantique, comme l'atteste le prix Nobel attribué à Mr von Klitzing. Il ne s'agit pas d'une brimade à l'égard de la section des rayonnements ionisants, et des neutrons en particulier.

Mr Preston-Thomas en revient à la structure du CCEMRI. Les structures actuelles ont bien fonctionné pendant 10 ans. Ce pourrait être un argument pour les conserver. Néanmoins, les deux solutions proposées par Mr Kind seraient plus souples et moins coûteuses en temps et en argent que la situation actuelle, et elles pourraient être reconsidérées par le nouveau président.

Mr Blevin est d'accord avec Mr Preston-Thomas : ces structures ont bien fonctionné ces dernières années, mais il y aurait avantage à avoir un seul comité consultatif avec des groupes de travail. Il est favorable à un changement de structure. En revanche il n'est pas d'accord avec Mr Ambler en ce qui concerne la recommandation sur les besoins en personnel : les comités consultatifs peuvent estimer que le BIPM a besoin de plus de ressources ; il convient qu'ils le fassent savoir et donnent leur avis au CIPM. Toutefois, après que le CIPM a effectué un arbitrage entre les besoins exprimés par les différents comités, il convient que les comités acceptent les priorités qui ont été établies.

Le président pense qu'il n'y a pas de désaccord réel sur ce point : bien sûr les comités consultatifs doivent donner explicitement leur avis sur le travail à accomplir et sur ce qui ne peut être fait pour des

raisons d'ordre budgétaire, mais la décision finale doit être prise par le CIPM.

Le président remercie Mr Ambler pour son rapport et donne ensuite la parole à Mr Bray, chargé, en l'absence de Mr Perlstain, de présenter le rapport du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM).

4.3. Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées

Mr Bray présente le rapport du CCM. Ce rapport est divisé en trois parties : rapports des Groupes de travail, exposés et recommandations. Les Groupes de travail du CCM sont au nombre de 9 : les quatre premiers sont consacrés aux mesures de masse, le cinquième aux mesures de force et les quatre derniers aux mesures de pression. Les Groupes de travail se sont réunis l'un à Prague à l'occasion de la conférence IMEKO le 25 avril 1985, d'autres à Turin, du 11 au 13 juin 1985, et au Laboratoire National d'Essais à Paris le 17 juin 1985.

Mr Bray présenté les rapports des Groupes de travail « Mesure directe de la masse volumique de l'air », « Conservation des étalons de masse », « Étalons de masse en acier inoxydable », « Masse volumique de liquides et solides », « Force », « Hautes pressions », « Moyennes pressions » et « Basses pressions ». Il mentionne les exposés de MM. Quinn, Kochsiek et Riéty sur les nouveaux prototypes de balances ainsi que l'exposé de Mme Plassa sur les recherches effectuées sur les matériaux utilisés pour fabriquer les étalons de masse et sur leur pollution superficielle. Il annonce ensuite la préparation d'une troisième comparaison périodique des kilogrammes prototypes. Pour terminer, il présente la Recommandation G 1 (1985) (État superficiel des étalons de masse) et la Recommandation G 2 (1985) (Vérification des prototypes du kilogramme du BIPM).

Mr Kovalevsky demande quelle est l'échéance de la troisième comparaison internationale.

Mr Bray répond qu'on peut s'attendre à un délai d'environ trois ans, compte tenu du travail courant effectué par la section des masses du BIPM.

Mr Blevin rappelle que la création du CCM a été effectuée par le CIPM avec le souci de prêter une plus grande attention aux grandeurs dérivées de la masse. Elle illustre bien les différents niveaux auxquels le BIPM et le CIPM peuvent s'impliquer. Le BIPM n'a pas à jouer un rôle d'expert dans tout ce domaine et d'ailleurs, du point de vue des laboratoires nationaux, l'intérêt réside dans une coordination des travaux relatifs à de nombreuses grandeurs apparentées à la masse. Dans les différents domaines de la métrologie, le BIPM doit s'occuper en priorité des grandeurs primaires et il ne peut pas s'occuper des grandeurs dérivées. Ce comité consultatif peut servir d'exemple. Pour

la métrologie électrique par exemple, il serait intéressant de poursuivre le travail sur la masse volumique du mercure en relation avec la détermination absolue du volt qui est en cours à Sydney. La liaison des problèmes de base de la métrologie aux grandeurs dérivées est aussi d'un grand intérêt pour l'industrie. Le rapport du CCM est très précieux pour aider à fixer des priorités au niveau national.

Mr Giacomo apprécie beaucoup l'efficacité des Groupes de travail, mais rappelle qu'il ne faut pas oublier le travail qui en résulte pour le BIPM : publication des rapports, échange de correspondance, etc. Cette augmentation non négligeable de la charge de travail du BIPM doit être prise en compte.

Mr Wang Daheng en revient à la troisième comparaison internationale périodique et demande si des recherches sont entreprises sur l'influence de l'adsorption, du nettoyage et de l'environnement sur la masse apparente des prototypes.

Mr Bray rappelle les recherches effectuées par Mme Plassa sur l'influence des différents paramètres sur les prototypes, notamment sur l'adsorption en fonction des conditions ambiantes. A la suite des remarques de MM. Blevin et Giacomo il souligne l'importance d'effectuer une comparaison internationale sous l'égide du BIPM. Le travail de secrétariat est de plus en plus lourd, mais les résultats donnés aux laboratoires sont de meilleure qualité. Les laboratoires nationaux sont prêts à aider le BIPM dans le travail de secrétariat.

Mr Preston-Thomas est soucieux pour sa part de ne pas alourdir les charges financières du BIPM. Il rappelle que le rapport de son groupe de travail a été rédigé au NRC et que seul le rapport final a été envoyé au BIPM, prêt pour la diffusion. C'est le travail de coordination qui incombe vraiment au BIPM.

A propos de la troisième comparaison internationale des kilogrammes prototypes, Mr Giacomo souligne qu'il est important d'avoir un échéancier : il faudra en effet sortir le Kilogramme international et ses copies. L'an prochain le CIPM devra donner son autorisation pour cette opération qui engage sa responsabilité. Il ne sera pas possible de comparer tous les prototypes entre eux au même moment. C'est pourquoi on a prévu de décomposer la comparaison en deux étapes : d'abord comparaison entre eux du Kilogramme international, de ses témoins et des prototypes utilisés au BIPM, puis comparaison des prototypes nationaux avec ceux du BIPM et probablement un ou deux témoins.

Le président en revient à la Recommandation G 2. Elle est approuvée par le CIPM, mais il faudra donner un accord formel l'an prochain pour la sortie des prototypes.

En ce qui concerne la Recommandation G 1, qui est approuvée, il serait bon que le CIPM mette au point en 1986 un projet de résolution reprenant cette Recommandation afin de le présenter à la 18^e Conférence Générale en 1987. Le CIPM doit apporter son soutien aux laboratoires qui veulent effectuer des recherches dans ce domaine.

Le président exprime ses remerciements au CCM, en particulier pour le travail effectué par les Groupes de travail, et encourage le CCM à réduire le nombre de ceux-ci sans nuire à leur efficacité.

Mr Bray approuve cette remarque.

Le président aborde ensuite la question des réunions futures.

4.4. Réunions futures

CCT :

La date envisagée pour la réunion de ce comité doit être reportée à juin 1987, car le travail sur les hautes températures n'a pas progressé aussi vite que prévu.

Mr Preston-Thomas pense que la nouvelle EIPT pourrait être prête vers 1989. Il conviendrait de demander à la Conférence Générale de charger le CIPM de promulguer la nouvelle EIPT si elle est prête en 1989.

Mr Jensen trouverait opportun que le CCT donne des informations sur la différence $T - T_{68}$ avant que la nouvelle EIPT soit mise au point, car l'échéance est assez lointaine.

Mr Preston-Thomas assure Mr Jensen que le CCT est conscient du problème. Toutes les informations qui sont disponibles sur ce sujet seront diffusées.

CCU :

Mr de Boer rappelle que la dernière session a eu lieu en 1984. Le rapport vient juste d'être publié. Généralement, les réunions ont lieu tous les 2 ans, mais il estime qu'il ne sera pas nécessaire de tenir de session en 1986. La prochaine pourrait avoir lieu en juin 1987.

Mr Dean souhaiterait que la version anglaise de la prochaine édition de la brochure sur le SI soit conforme à la version publiée par le NPL. Il craint les petites différences entre les deux textes.

Mr de Boer répond que la version anglaise a été établie à partir de la traduction faite par le NPL de la dernière édition et ne comporte de modifications que là où la nouvelle version française en comporte. Les deux textes sont aussi proches l'un de l'autre que possible.

CCE :

Mr Ambler propose pour la prochaine réunion de ce comité les dates des 16, 17 et 18 septembre 1986. Cette session serait précédée d'une réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences qui pourrait se tenir soit du 13 au 15 mai, soit du 10 au 12 septembre. Le choix définitif devrait se faire en accord avec Mr Bailey.

Mr Blevin pour sa part préférerait que ce Groupe de travail se

réunisse en septembre, juste avant le CCE, ce qui n'occasionnerait qu'un seul déplacement.

Mr Giacomo dit que Mr Bailey est aussi de cet avis. On pourrait donc retenir les dates du 10 au 12 septembre.

CCM :

Mr Bray propose de laisser la date en suspens. Une réunion devrait normalement avoir lieu en 1988. Il suggère qu'elle ait lieu avant la 18^e Conférence Générale qui doit se tenir en octobre 1987.

Le président craint que cela n'occasionne une surcharge de travail. Il suggère de discuter de ce problème avec Mr Giacomo.

Mr Giacomo précise que, pour toute décision qui doit être proposée à la 18^e Conférence Générale, il est nécessaire de prévoir les réunions et les recommandations suffisamment à l'avance, et de préférence plusieurs mois avant la session d'octobre 1986 du CIPM. Celui-ci doit en effet discuter et préparer les propositions à soumettre à la CGPM, propositions qui doivent être portées à la connaissance des Gouvernements en janvier 1987.

CCPR* :

Mr Blevin rappelle qu'il était prévu que le CCPR se réunisse en septembre 1986 avant le CIPM. Les discussions sur les mesures photométriques et sur la mise en œuvre de la nouvelle définition de la candela seront achevées avant cette réunion. Si la comparaison internationale n'est pas terminée, la réunion sera repoussée à juin 1987, en relation avec la réunion de la Commission Internationale de l'Éclairage en Italie, ainsi cela n'alourdirait pas la charge de travail du BIPM juste avant la Conférence Générale.

CCDM :

Le président suggère que la prochaine réunion du CCDM ait lieu seulement en 1987, et non en 1986 comme il en avait été question.

CCDS :

Mr Kovalevsky suggère que la prochaine réunion ait lieu en 1988, après que les décisions finales concernant le BIH auront été prises.

CCEMRI :

Aucune date n'est retenue (*voir* point 11 de l'ordre du jour, p. 36).

(*) La date de la prochaine session du CCPR a été fixée ultérieurement du 30 septembre au 2 octobre 1986.

5. Travaux du BIPM

Le président ouvre la séance et accueille les physiciens et métrologistes du BIPM qui sont invités à y prendre part, puis il cède la parole à Mr Giacomo.

Mr Giacomo remercie le président. Il rappelle aux participants que les points dont il sera question font l'objet de plusieurs documents qui ont été distribués à l'avance par courrier, et en particulier d'un rapport détaillé (*voir* p. 39) qui sera résumé par MM. Quinn et Allisy.

L'installation de la section TAI du BIH s'est faite sans heurt et sans discontinuité dans le service. Le travail est effectué au BIPM depuis le mois d'avril 1985.

Mr Giacomo aborde ensuite un autre point qui ne sera pas développé dans l'exposé de Mr Quinn : il s'agit de la comparaison internationale de gravimètres qui a eu lieu du 19 juin au 15 juillet 1985. En raison des moyens limités du BIPM, Mr Giacomo a refusé d'organiser cette comparaison ainsi qu'un symposium sur le sujet. Il a cependant accepté d'accueillir la comparaison elle-même, mais sans prendre la responsabilité de l'organiser. Cette comparaison a réuni 5 gravimètres absolus (en plus de celui du BIPM) accompagnés de 24 personnes, ainsi que 14 gravimètres relatifs accompagnés de 14 personnes. Heureusement toutes ces personnes n'étaient pas là au même moment, car elles étaient plus nombreuses que le personnel scientifique du Bureau. Cette comparaison a nécessité la présence de 3 personnes à plein temps, sans compter le secrétariat ni le personnel de service.

Mr Giacomo souligne un autre point qui sera abordé par Mr Quinn : la fin de la comparaison internationale de règles divisées commencée en 1976. On a pu attribuer de façon certaine des divergences importantes entre les résultats à des souillures étonnamment adhérentes. En ce qui concerne les étalons de masse, on commence à soupçonner des variations de la masse de certains prototypes en platine iridié, variations de l'ordre de 40 μg . C'est négligeable par rapport à la tolérance de fabrication initialement établie à 1 mg, mais c'est préoccupant pour la stabilité à long terme des étalons de masse. Douze autres prototypes, qui ont aussi été vérifiés au moins une fois depuis qu'on applique systématiquement la même recette de nettoyage-lavage, ont donné des résultats concordants.

Le BIPM a pris un bon départ en ce qui concerne l'utilisation de l'effet Hall quantique pour la conservation de l'ohm, grâce à l'aide de Mr Endo, chercheur associé, en détachement de l'Electrotechnical Laboratory (Japon).

Mr Giacomo donne ensuite la parole à Mr Quinn pour l'exposé des travaux.

Mr Quinn commence par rappeler la comparaison internationale de règles divisées commencée en 1976 et qui vient de se terminer. Un

rapport détaillé a été publié et distribué. Au cours d'une brève discussion, Mr Hamon donne quelques détails complémentaires sur les résultats de cette comparaison.

Mr Quinn passe ensuite au travail effectué par la section des lasers. Cette section doit constituer un centre pour les comparaisons internationales de lasers stabilisés aux longueurs d'onde recommandées pour la mise en pratique de la nouvelle définition du mètre. De nombreux laboratoires nationaux se tournent vers le BIPM pour des étalonnages et vérifications de lasers. Les recherches sur les différents types de lasers étudiés dans cette section et sur les causes possibles de décalage de fréquence sont passées en revue.

Une discussion s'engage sur les différents problèmes de stabilisation des lasers. Puis Mr Kind demande si la liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la nouvelle définition du mètre s'est avérée satisfaisante. Mr Gläser répond que cette liste a été établie à partir des valeurs données par les différents laboratoires, mais que certaines différences restent à expliquer.

A la section des masses, l'activité a porté essentiellement sur la vérification de prototypes, une comparaison avec le NBS et le NRLM, la poursuite de l'étude du prototype de balance à suspensions flexibles (étude des sources de bruits) et l'automatisation des calculs sur la balance NBS 2.

Il est prévu d'ajouter un interféromètre optique sur la balance NBS 2 pour observer les mouvements de la balance ; cela ne pourra être fait avant d'avoir remis en service la balance Rueprecht.

On espère qu'une nouvelle balance complète, à suspensions flexibles, équipée d'un échangeur de masses ainsi que des dispositifs de commande automatique et d'asservissement, sera opérationnelle dans deux ans.

Des mesures détaillées de l'influence du nettoyage sur les kilogrammes prototypes ont été effectuées (comparaison des prototypes N° 18, 23, 55 et B aux prototypes d'usage courant N° 9 et N° 31). Le prototype N° 31 devra être remplacé car sa surface présente de nombreuses rayures.

Dans le domaine de la manométrie, la comparaison internationale organisée par le Groupe de travail « Moyennes pressions » du CCM dans le domaine 11-101 kPa a commencé à l'automne 1984. Le NPL, l'INM et le BIPM y ont participé. Les résultats sont satisfaisants. L'exactitude des mesures de la pression atmosphérique est essentielle pour la comparaison des étalons de masse en platine iridié et en acier inoxydable.

Les résultats de la comparaison internationale de gravimètres absolus qui a eu lieu en juin-juillet 1985 ne sont pas encore disponibles. Les comparaisons entre les mesures obtenues au cours de cette comparaison seront limitées par les mesures relatives car tous les gravimètres n'ont pu être placés au même endroit. Mr Sakuma souligne qu'il s'agit

d'appareils de la seconde génération, très compacts, qui permettent d'éviter les perturbations dues au freinage par l'air résiduel et aux vibrations mécaniques pendant la chute libre. Il est très impatient d'obtenir les résultats de cette comparaison. Mr Sakuma a observé l'effet dû au mouvement du pôle sur la valeur de g en un point particulier, ce qui n'avait jamais été étudié avec un gravimètre absolu.

Mr Quinn expose le processus complexe de l'établissement du TAI, l'utilisation du Global Positioning System (GPS) dans le monde, les principaux modes de comparaison des horloges antérieurs au GPS, les recherches effectuées pour l'amélioration du programme ALGOS de traitement des données des horloges et l'importance des effets relativistes dans les comparaisons de temps.

Mr Jensen demande quel est l'ordre de grandeur des variations saisonnières.

Mr Guinot répond qu'elles sont de l'ordre de 500 nanosecondes (amplitude tête à creux).

Mr Quinn précise que la durée moyenne de l'intervalle unitaire du TAI exprimé en secondes du SI au niveau de la mer est calculée avec une atténuation des variations saisonnières.

Mr Dean demande si le programme ALGOS est un programme complexe. Mr Guinot lui répond qu'il se compose de deux parties : la partie « mécanique » de gestion des données est assez sophistiquée, par contre la partie prédiction est moins sophistiquée, car on ne sait pas traiter les variations saisonnières dans le mode déterministe. Il précise que les calculs simples sont faits sur place, et que les programmes plus complexes sont traités par le Centre Inter Régional de Calcul Électronique (CIRCE) du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), les ordinateurs du BIPM étant utilisés comme terminaux.

Mr Kovalevsky demande quels sont les liens avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA).

Mr Guinot répond que le BIH est engagé dans l'expérience de synchronisation par tirs de laser sur satellite géostationnaire LASSO. L'expérience avait échoué en 1983 par perte de la fusée porteuse, mais elle doit être reprise en 1986. Dans cette expérience, on utilisera le système de transmission de données de l'ESA.

La section d'électricité s'est occupée cette année de la comparaison de sa représentation de l'ohm avec celle du CSIRO, et de la mise en œuvre de l'effet Hall quantique pour la conservation de l'ohm (étalons de 10 k Ω).

Mr Ambler demande quelle est la variation lors du transfert des étalons de résistance de 10 k Ω .

Mr Witt répond que les étalons de 10 k Ω n'ont pas été transportés hors du BIPM : ils n'ont été transportés que du laboratoire où ils sont conservés jusqu'à la salle réservée aux travaux sur l'effet Hall quantique. On n'a pas observé de variation significative à la suite du transport.

La stabilité de ces étalons semble meilleure que celle des étalons utilisés jusqu'ici.

Mr Ambler demande s'il y a une raison de penser que la conservation des étalons de $10\text{ k}\Omega$ est meilleure que celle des étalons de $1\ \Omega$.

Mr Witt répond qu'on n'a pas de données expérimentales suffisantes.

Mr Blevin revient sur les comparaisons entre le BIPM et le CSIRO.

Mr Witt répond qu'il y a eu plusieurs comparaisons entre $\Omega_{69\text{-BI}}$ et Ω_{CSIRO} ces dernières années. Elles ont mis en évidence une dérive linéaire de $\Omega_{69\text{-BI}}$, avec un écart-type de 2×10^{-7} . Les derniers résultats ne sont pas encore connus.

Mr Ambler considère comme important de savoir sur quelle distance on peut transporter l'ohm. Il n'y a eu pour le moment qu'une seule expérience entre le BIPM et le CSIRO.

Mr Blevin précise qu'une comparaison circulaire entre Sydney, Ottawa et Gaithersburg est en cours. Les mesures du Canada seront terminées le 25 octobre, celles du NBS le 1^{er} novembre, et celles de Sydney le 4 novembre 1985. Les résultats seront présentés à la Conférence on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM) en juin 1986.

Mr Kind ajoute que l'effet Hall quantique fournit dès maintenant une approche pour la conservation de l'ohm.

Mr Ambler rappelle qu'il en résulte une forte pression pour adopter une valeur recommandée pour la constante (h/e^2) de l'effet Hall quantique. Il demande combien de pays appliquent cet effet à la conservation de l'ohm.

Mr Quinn présente les progrès du travail sur l'effet Hall quantique : aimant supraconducteur, réfrigérateur à hélium liquide. Ensuite il mentionne le travail concernant le transfert du volt à l'aide de diodes de Zener qui semblent capables de remplacer les éléments Weston.

Le BIPM conserve également des étalons de capacité de 10 pF et participe aux comparaisons d'étalons de capacité.

Mr Blevin rappelle que le CSIRO a une grande expérience des comparaisons du volt avec les laboratoires asiatiques. Il partage l'opinion de Mr Quinn que le transport d'éléments Weston est pratiquement dépassé.

L'activité de la section de photométrie a été dominée par la comparaison internationale de lampes étalons d'intensité lumineuse à laquelle quinze laboratoires ont participé. Les résultats « retour » de cette comparaison ne sont pas encore disponibles. La dispersion des résultats ne semble pas meilleure qu'en 1969.

Pour Mr Blevin, ces résultats semblent décevants. De 1969 à 1985 les laboratoires ont travaillé chacun de leur côté, suivant des voies différentes. La moyenne de leurs mesures devrait être plus fiable qu'auparavant, lorsqu'ils utilisaient des équipements et des techniques identiques pour réaliser la candela. Une seconde comparaison est en préparation portant sur les mesures de flux lumineux et de flux

énergétique d'un faisceau laser monochromatique. On a là une situation plus simple que celle d'une lampe à incandescence qui émet un rayonnement non collimaté et à large bande ; on devrait obtenir de meilleurs résultats.

La parole est ensuite donnée à Mr Allisy pour la présentation des travaux de la section des rayonnements ionisants.

Mr Allisy présente une vue générale de l'activité de la section des rayonnements ionisants dans le domaine des références permanentes : rayons X et γ (kerma, dose absorbée), mesures d'activité, domaine des neutrons.

Les valeurs données par le BIPM sont toujours rattachées aux comparaisons internationales. Les résultats des comparaisons internationales sont conservés à long terme par les étalons du BIPM, en conséquence, si un laboratoire désire participer aux mesures, il peut le faire à tout moment.

Des mesures de la dose absorbée dans un fantôme de graphite et de la dose absorbée dans l'eau ont été effectuées. La perturbation introduite par la chambre d'ionisation dans un fantôme d'eau a été étudiée par la méthode de Monte-Carlo.

Les physiciens de la section des rayons X et γ ont analysé la détermination des constantes utilisées en dosimétrie et renormalisé les corrections, ce qui conduit à des valeurs différentes de celles qui étaient recommandées jusqu'ici.

Dans le domaine des mesures d'activité, la comparaison internationale de ^{133}Ba à laquelle ont participé 19 laboratoires est maintenant terminée. Les résultats ont été communiqués aux participants. Le Système international de référence (SIR) entre dans sa dixième année. C'est un système de mesure stable, qui montre une croissance encourageante et intéresse toujours autant les utilisateurs. L'étude des effets perturbateurs se poursuit.

La présence d'un chercheur associé a permis d'améliorer la construction d'un compteur proportionnel à pression. Cet appareil permet 1) de détecter la totalité du spectre d'énergie des électrons émis et au besoin d'effectuer une sélection, et 2) de varier l'efficacité de détection de manière continue et réversible.

Mr Allisy rappelle le principe de la méthode d'échantillonnage sélectif. Elle nécessite une résolution de 1 μs par canal, alors que les analyseurs commerciaux multi-canal ne peuvent fonctionner à de telles vitesses. Un système intermédiaire a été réalisé. Il permet une mémorisation rapide dans un temps court et transfère les données, à cadence plus lente, sur l'analyseur multi-canal.

Mr Allisy présente ensuite les mesures d'énergie du spectre alpha des sources de ^{252}Cf .

De 1979 à 1984 la Section III a organisé une nouvelle comparaison internationale de sources de neutrons à laquelle ont participé

14 laboratoires. Trois sources de californium et 4 méthodes différentes ont été employées. Mr Axton est venu, après son départ en retraite du NPL, analyser les résultats de cette comparaison. Les résultats donnent un écart-type de 0,6 % contre 1,2 % lors de la comparaison de 1966.

La comparaison internationale de dosimétrie neutronique du BIPM vient de commencer.

Le président remercie Mr Quinn et Mr Allisy au nom du Comité International pour l'exposé qu'ils viennent de présenter, ainsi que le personnel du BIPM pour son travail.

Le président adresse ensuite des remerciements particuliers aux membres du personnel qui prendront leur retraite avant la session prochaine : MM. Leclerc et Rytz.

Mr Giacomo résume les faits marquants de la carrière de Mr Leclerc, qui a toujours été un élément de calme et de paix au BIPM, et de Mr Rytz, qui est comme Mr Leclerc, un homme discret et pacifique. Il espère que MM. Leclerc et Rytz auront l'occasion de revenir de temps en temps au BIPM, en particulier Mr Rytz qui a l'intention de se retirer en Suisse.

Le président remercie chaleureusement MM. Leclerc et Rytz pour leur contribution au travail scientifique du Bureau et leur souhaite une heureuse retraite.

6. Visite du Dépôt des Prototypes métriques

Procès-Verbal

Le 23 octobre 1985, à 17 h 30, en présence du président du Comité International des Poids et Mesures, du directeur du Bureau International des Poids et Mesures et du représentant des Archives de France, il a été procédé à la visite du Dépôt des Prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On avait réuni les trois clés qui ouvrent le Dépôt : celle qui est confiée au directeur du Bureau, celle qui est déposée aux Archives Nationales, à Paris, et que Madame L. Favier 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, on a constaté dans ce dernier la présence des Prototypes et de leurs témoins.

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

Température actuelle : 20,3 °C
Température maximale : 24 °C
Température minimale : 19 °C
État hygrométrique : 58 %

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

Le directeur
du Bureau,
P. GIACOMO

Le conservateur
des Archives de France,
Madame L. FAVIER

Le président
du Comité,
D. KIND

7. Questions administratives et financières

Le président présente le Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures en 1984, suivi du rapport de l'expert-comptable sur les comptes de 1984.

Mr Bray demande des éclaircissements sur la cotisation d'entrée d'Israël. Le secrétaire précise que l'État d'Israël a voulu adhérer à la Convention du Mètre et a versé sa cotisation d'entrée en 1984. Le Ministère des Relations extérieures de France a reçu l'adhésion formelle du Gouvernement d'Israël seulement en 1985.

Mr de Boer signale par ailleurs que le Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes inclut aussi les décisions du CIPM et des Comités Consultatifs ainsi que la liste des publications du BIPM.

Mr Dean fait remarquer que ce document est envoyé aux Gouvernements sans être approuvé formellement par le CIPM. Que se passerait-il si le CIPM le désapprouvait ?

Mr de Boer répond qu'en ce cas les signataires seraient responsables. Ce problème a déjà été discuté par le Comité il y a quelques années sans qu'il ait été possible d'arriver à une autre solution.

Après avoir examiné le bilan administratif et financier pour 1984, le Comité donne quitus à l'administrateur et au directeur du BIPM.

Le président présente ensuite le budget estimatif pour l'exercice 1985 en cours et le projet de budget pour 1986. Il fait remarquer que les dépenses relatives au TAI ont été classées à part (dépenses de personnel, de fonctionnement et d'investissement, bâtiments). La proposition de budget pour 1986 fait ressortir une dépense de 900 000 francs-or pour le TAI. A la prochaine Conférence Générale, il faudra penser aux moyens nécessaires pour accueillir le TAI au BIPM. Il sera nécessaire — pour assurer le fonctionnement de la section du TAI — d'augmenter le budget du BIPM, celui-ci n'ayant pas les moyens de faire face à l'augmentation des frais, d'au moins 6 %, ainsi encourue. Il est prévu pour 1986 de faire face à ces dépenses en prélevant cette somme sur les réserves du Bureau.

Mr de Boer précise que, suivant la proposition du bureau du Comité, la différence entre les dépenses et les recettes dans le projet de

budget pour 1986 provient des réserves. Si les fonds nécessaires n'étaient pas prélevés sur les réserves, on devrait envisager une réduction de tous les autres postes budgétaires.

Le président souligne que le Bureau est obligé d'agir ainsi pour faire face aux dépenses du TAI que l'on doit considérer comme des dépenses supplémentaires.

Mr Plebanski demande quelle est la valeur totale du matériel de laboratoire, quel est le pourcentage consacré à l'amélioration de l'équipement et quelle est la dépréciation du matériel. Connaître la valeur nominale du matériel acheté et sa valeur actuelle permet d'évaluer le coût d'un travail effectué avec un équipement moderne.

Mr de Boer observe que le renouvellement de l'équipement coûte de plus en plus cher. Il est difficile d'évaluer la valeur totale de l'équipement du BIPM, ou de connaître la valeur du matériel qui ne peut plus être utilisé par exemple.

Le président rappelle que le BIPM est un petit laboratoire et qu'il ne possède pas les mêmes instruments de gestion qu'un gros laboratoire. Ce genre de chiffres n'est pas disponible au BIPM. Il faudrait investir dans cette évaluation, le coût en personnel serait élevé et l'évaluation très délicate à mener à bien.

Mr Giacomo rappelle aux membres du CIPM que toute l'administration du BIPM est faite par l'administrateur et sa secrétaire.

Mr Plebanski souligne que la somme de 1 300 000 francs-or affectée aux dépenses d'investissement des laboratoires ne semble pas excessive dans l'absolu, mais sa signification pourrait être éclaircie par une comparaison avec la valeur totale du matériel de laboratoire possédé par le BIPM.

Le secrétaire précise que 60 % du budget est consacré aux dépenses de personnel et 40 % aux autres dépenses. C'est un pourcentage acceptable pour des dépenses de laboratoire. Une telle évaluation ne lui semble pas vraiment utile.

Mr Bray estime que pour un laboratoire de recherche l'évaluation du matériel scientifique n'est pas aussi importante que le rapport entre les dépenses d'investissement et de fonctionnement. Pour le Bureau, le rapport entre les dépenses d'investissement et les dépenses de fonctionnement est bon.

Le président constate que le projet de budget pour 1986 est accepté.

Le secrétaire aborde ensuite la question des salaires. En 1984 et 1985 l'indice qui sert de base au calcul des salaires avait été amputé de 2 % en moyenne. Pour l'année 1985 le facteur de réduction 0,98 avait été reconduit. Cette année, la situation étant meilleure, le bureau du Comité propose de passer d'un facteur de réduction de 0,98 à un facteur 0,99 à compter du 1^{er} janvier 1986. Ce problème pourra être reconsidéré l'an prochain, en tenant compte de ce que décideront les Organisations coordonnées.

Les membres du Comité donnent leur accord sur ce point.

BUDGET POUR 1986

RECETTES

Francs-or

A. Recettes budgétaires		
Contributions des États	14 397 000	} 16 300 000
Intérêts des fonds	1 880 000	
Taxes de vérification.....	23 000	
B. Prélèvement sur l'actif du compte I.....		900 000
Total		<u>17 200 000</u>

DÉPENSES

A. Dépenses de personnel :		
1. Traitements.....	7 645 000	} 11 750 000
2. Allocations familiales.....	1 200 000	
3. Sécurité Sociale.....	795 000	
4. Assurance-accidents.....	84 000	
5. Caisse de Retraites.....	1 350 000	
6. TAI - Traitements	650 000	
7. TAI - Retraites.....	26 000	
B. Dépenses de fonctionnement :		
1. Mobilier	35 000	} 2 470 000
2. Laboratoires et ateliers	940 000	
3. Chauffage, eau, énergie électrique.....	490 000	
4. Assurances	28 000	
5. Impressions et publications.....	180 000	
6. Frais de bureau	250 000	
7. Voyages et transports d'appareils.....	250 000	
8. Entretien courant	90 000	
9. Bureau du Comité	52 000	
10. TAI	155 000	
C. Dépenses d'investissement :		
1. Laboratoires.....	1 300 000	} 1 570 000
2. Atelier de mécanique.....	90 000	
3. Atelier d'électronique.....	10 000	
4. Bibliothèque.....	120 000	
5. TAI	50 000	
D. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation).....		1 350 000
E. Frais divers et imprévus.....		60 000
F. Utilisation de monnaies non convertibles.....		<u>0</u>
Total		<u>17 200 000</u>

Le président propose d'examiner le plan à long terme pour les bâtiments. Il donne la parole à Mr Quinn.

Mr Quinn explique que le plan à long terme pour les bâtiments comporte trois étapes :

— la première étape qui concerne la construction du bâtiment des lasers est achevée ;

— la seconde étape portera sur la construction, à l'emplacement des garages, d'un bâtiment abritant la bibliothèque et des bureaux ;

— la troisième étape sera consacrée à la construction d'un nouveau bâtiment pour l'atelier et les laboratoires. Ce projet est moins avancé. Il pourrait comporter l'implantation d'un nouveau bâtiment derrière celui des rayonnements ionisants.

Mr Quinn rappelle que l'on doit tenir compte du fait que l'on se trouve sur un site protégé. Tout plan de construction doit donc être soumis à l'approbation des autorités françaises.

L'installation de la section du TAI au BIPM, qui a coïncidé avec l'achèvement des travaux du nouveau bâtiment des lasers, a encore aggravé la situation : cette section a occupé tous les bureaux qui avaient été libérés du fait de la construction de ce nouveau bâtiment. La situation du BIPM en matière de bureaux a finalement empiré. Le nombre de mètres carrés de bureaux par personne est largement inférieur aux normes. En conséquence le bureau du Comité a décidé de poursuivre les discussions avec un architecte et les autorités françaises pour la réalisation de la deuxième étape. L'architecte a proposé de construire le bâtiment destiné à abriter la bibliothèque et des bureaux à l'emplacement des garages. Il faudra trouver un autre emplacement pour les garages. Le montant estimé des travaux serait d'environ 5,5 millions de francs français, soit 3 millions de francs-or. Cette solution permettrait de disposer de 900 m² supplémentaires.

Le président rappelle qu'il ne s'agit pas de demander une approbation formelle, mais de tenir le CIPM au courant des intentions et des dépenses envisagées.

Mr Blevin fait remarquer que Mr Quinn associe d'une certaine façon cette dépense au transfert du TAI au BIPM. Dans ce cas on pourrait penser qu'elle devrait être discutée à la Conférence Générale.

Mr de Boer répond que les opérations envisagées ne sont pas directement liées à la dépense supplémentaire occasionnée par le transfert du TAI au BIPM. La nécessité de disposer d'une bibliothèque et de bureaux supplémentaires a été reconnue depuis plusieurs années.

Le président souligne aussi que le plan à long terme pour les bâtiments a été ébauché bien avant qu'il soit question de l'installation de la section du TAI au BIPM.

8. Plan à long terme pour le travail scientifique

Le président informe les membres du CIPM qu'il a invité Mr Allisy à se joindre à cette discussion.

Il rappelle aux participants la réunion des présidents des Comités Consultatifs qui s'est tenue en octobre 1984, à l'occasion de la précédente session. Cette réunion a eu pour résultat la rédaction du document « Le rôle du Bureau International des Poids et Mesures dans les années 1980 » qui a été approuvé par le CIPM et publié dans les Procès-verbaux du Comité International des Poids et Mesures (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 52, 1984, pp. 7-8).

Il en rappelle les lignes directrices : transfert du TAI au BIPM, renforcement des sections des masses, des lasers et d'électricité, diminution des efforts dans la section de thermométrie, constatation que le personnel de la section de photométrie-radiométrie est trop restreint pour faire face au travail, perte de trois postes à la section des rayonnements ionisants dans les prochaines années.

Le président précise encore les raisons pour lesquelles il est nécessaire de renforcer les sections des masses, des lasers et d'électricité. En ce qui concerne les masses, il faut souligner que le kilogramme et les balances sont devenus l'objet de recherches intéressantes et prometteuses. Des progrès sont réalisables. Le kilogramme est mentionné en première place dans la Convention du Mètre. Sa conservation incombe au BIPM qui ne peut y échapper.

La nouvelle définition du mètre a eu pour conséquence d'intensifier les recherches sur les lasers. La métrologie des longueurs a vu une diminution de l'incertitude de deux ordres de grandeur. Le BIPM a besoin d'experts pour les comparaisons internationales d'étalons de longueur d'onde.

Dans le domaine de l'électricité, les recherches sur de nouveaux effets comme l'effet Josephson ou l'effet Hall quantique rendent nécessaire la présence d'experts en ce domaine au BIPM.

Tous les laboratoires nationaux développent ces trois domaines en ce moment.

Mr Ambler estime qu'à son avis le BIPM doit en première priorité s'occuper des masses, puis du TAI, puis du travail de secrétariat et de coordination des comparaisons internationales, enfin de l'électricité.

Mr Bray rappelle que, au cours des échanges de vue précédents, il a cru comprendre que le BIPM consacrait presque 50 % de son temps à des travaux d'étalonnage. Il conviendrait de discuter pour savoir si l'on doit continuer à consacrer autant de temps à ce type de travail, et si l'on ne devrait pas demander au personnel de se consacrer plutôt à d'autres activités. Ce pourcentage lui semble excessif.

Mr Giacomo précise que bien entendu ces 50 % ne sont pas seulement consacrés au travail d'étalonnage, dans lequel les comparaisons

internationales sont incluses, mais aussi à l'entretien et à l'amélioration du matériel correspondant. Peu de personnes au BIPM effectuent des recherches déconnectées du travail d'étalonnage. Ce que l'on entend ici par travail d'étalonnage n'a rien à voir avec ce que l'on entend par là habituellement. Il nécessite une connaissance approfondie de la physique, aussi bien que des techniques les plus modernes.

Le président souligne que le travail dit d'étalonnage est en fait un travail de recherche : ce n'est pas un travail de routine. Le BIPM doit faire ce que personne d'autre ne peut faire mieux que lui. Le BIPM est un laboratoire de très haut niveau. Il doit répondre aux besoins des pays, effectuer les comparaisons internationales.

Mr Dean dit qu'il est très difficile d'évaluer la part de routine dans ce travail. Il a été très surpris de voir que le BIPM envisageait de réduire l'activité dans le domaine de la métrologie classique des longueurs et d'augmenter l'activité dans le domaine des lasers. Il se demande si la métrologie des longueurs ne répond pas à une grande demande des pays et il aimerait avoir plus de renseignements à ce sujet.

Le président répond que le BIPM pourrait servir les utilisateurs éventuels, mais que le travail serait fait ailleurs, dans les laboratoires nationaux : le BIPM fournirait son aide pour faire exécuter le travail.

Mr Giacomo a essayé pendant des années d'évaluer dans son ensemble le temps consacré au travail d'étalonnage. Certaines mesures prennent des semaines pour arriver à l'exactitude que vise le BIPM. D'autres sont plus rapides. En général, les laboratoires nationaux ne se tournent pas vers le BIPM pour des mesures faciles.

Le président indique que, lors de la réunion des présidents des Comités Consultatifs tenue en octobre 1984, on a envisagé la possibilité de demander aux laboratoires nationaux de remplacer le BIPM pour les comparaisons de mesures de longueur classiques. Toutefois, il se demande pendant combien de temps, avec les progrès des lasers, les règles seront encore considérées comme des étalons de longueur de premier ordre. De même en thermométrie, l'activité pourrait être réduite aux besoins internes. En ce qui concerne la gravimétrie, l'activité devrait être arrêtée après le départ en retraite du physicien qui en a la responsabilité. La section de photométrie-radiométrie est trop petite pour que l'on puisse travailler sur la définition de la candela.

Mr Siegbahn explique que la situation n'est pas la même pour les grands pays comme les États-Unis d'Amérique, le Royaume-Uni, la République Fédérale d'Allemagne et pour les petits pays comme la Suède qui dépendent beaucoup plus de l'activité du Bureau. En Suède, on s'est efforcé de décentraliser au maximum les travaux d'étalonnage. Il serait peut-être possible de faire la même chose au BIPM et de déléguer une partie de son activité aux grands laboratoires comme le NBS ou la PTB. Si c'est impossible, il faudrait diminuer les services offerts par le Bureau, trouver une autre solution. De même, dans le domaine des rayonnements ionisants, des pays se tourneront vers le

NBS ou la PTB. Le BIPM devra organiser cette décentralisation. Mais les petits pays préfèrent avoir recours au BIPM, qui est un terrain neutre, qu'aux laboratoires nationaux.

Le président répond que cette proposition va dans le sens de ce qui a été présenté par les présidents des Comités Consultatifs. Le BIPM devrait être le partenaire d'autres pays, et une partie du travail devrait être effectuée ailleurs.

Le président revient au programme de travail à long terme et rappelle qu'au moment du départ à la retraite de Mr Allisy la section des rayonnements ionisants perdra deux postes et demi. Cette section ne sera alors plus en mesure de continuer tout le travail qui est fait actuellement. Pour les autres activités, il faut faire au mieux avec le personnel et les ressources existantes. Les deux variantes qui sont proposées pour l'avenir laissent peu de marge de manœuvre : la situation est plus critique en ce qui concerne les rayonnements ionisants mais il faut aussi diminuer le personnel de la section de thermométrie-photométrie-radiométrie pour faire face aux besoins des autres sections.

Le président explique encore que dans la section des rayonnements ionisants il y a trois chercheurs stagiaires qui ne sont pas payés par le Bureau. Le premier départ à la retraite dans cette section est celui de Mr Rytz. Il a été décidé à cette occasion d'engager un nouveau physicien pour la section des rayonnements ionisants. Le deuxième départ à la retraite prévisible est celui de Mr Allisy, d'ici trois ans et demi, qui entraînera la disparition des trois postes de chercheurs stagiaires. Le personnel des rayonnements ionisants est réparti en 3 groupes : rayons X et γ , électrons ; radioactivité ; neutrons. Les deux premiers secteurs d'activité, comme cela est expliqué dans la lettre de la Suède, sont prioritaires par rapport à celui des neutrons. En conséquence, on pourrait envisager de réorganiser le travail de la section des rayonnements ionisants en deux groupes : dosimétrie (rayons X et γ) et radioactivité, qui intéressent le plus les États membres. Le renforcement du groupe de dosimétrie proviendra du groupe qui travaille sur les neutrons.

Mr Blevin suggère qu'il serait important de recueillir l'avis des États membres. Il n'a pas envoyé de lettre à ce sujet au BIPM, mais il a envoyé aux laboratoires australiens (Australian Atomic Energy Commission et Australian Radiation Laboratory) une lettre dans laquelle il envisageait l'éventualité d'une réduction de l'effectif de la section des rayonnements ionisants. Ces laboratoires ont répondu que la réduction de personnel ne devrait pas avoir de répercussions sur le travail en dosimétrie et en radioactivité, mais qu'ils accepteraient une diminution de l'activité dans le domaine des neutrons.

Mr Wang dit que l'Institut National de Métrologie (NIM) souhaiterait que le travail des trois sections soit maintenu. Les difficultés financières que connaît le BIPM ne devraient pas empêcher de faire face aux activités minimales dans les trois domaines d'activité. Il y a actuellement deux stagiaires chinois à la section des neutrons du BIPM. La Chine

pense que tous les pays ont besoin de l'aide du BIPM dans ces domaines.

Mr Kovalevsky rappelle que les laboratoires français coordonnés par le Bureau National de Métrologie pensent qu'il serait souhaitable que les activités soient maintenues au niveau actuel. Le domaine de la dosimétrie des rayons X et γ et celui de la radioactivité sont les plus importants, mais il serait néfaste de cesser complètement toute activité dans le domaine des neutrons.

Mr Plebanski dit qu'il a aussi discuté de ces problèmes dans son pays : la priorité absolue doit aller aux unités de base du SI. Néanmoins, la section des rayonnements ionisants devrait continuer son activité, la diminution de son activité aurait des conséquences négatives pour la Pologne. Il n'y a pas de décision officielle donnant la priorité à un domaine plutôt qu'à un autre. Son opinion personnelle est de donner priorité à la dosimétrie et à la radioactivité.

Le président désire aussi s'exprimer au nom de la PTB et de la République Fédérale d'Allemagne : personne ne peut dire qu'une activité est inutile, mais il faut faire un choix et le choix proposé par le CIPM sera suivi par la République Fédérale d'Allemagne.

Mr Ambler dit qu'il ne fait pas de doute pour le NBS que la dosimétrie et la radioactivité sont les domaines d'activité les plus importants. Il n'est pas question de discuter des compétences du personnel de la section des rayonnements ionisants, mais il faut tenir compte du départ futur de trois personnes. Il se demande comment il faudra répartir le personnel restant à l'intérieur de chaque groupe.

Mr de Boer souligne que le CIPM doit prendre une décision. La situation est délicate : il y a, à la section des rayonnements ionisants, trois chercheurs non rétribués par le Bureau, dont l'un à mi-temps. Leur départ posera un problème. Il faudra réaménager le travail de la section et décider où porter les efforts.

Mr Giacomo se demande si l'on devrait encourager une section quelconque à accueillir dans l'avenir trois chercheurs stagiaires extérieurs au Bureau, pour développer une activité. Le groupe des rayons X et γ dépend actuellement de personnes extérieures au Bureau. Le même problème se poserait à nouveau si l'on faisait appel à des personnes extérieures pour développer une activité nouvelle.

MM. de Boer, Preston-Thomas et Ambler soulignent l'importance d'accueillir des chercheurs stagiaires, mais les recherches qui leur sont confiées devraient être limitées à des projets spéciaux.

Mr Allisy constate que le nombre de personnes initialement prévu pour la section des rayonnements ionisants n'a jamais été atteint et que le BIPM a été contraint de chercher de l'aide à l'extérieur pour faire ce travail.

Le président demande de revenir au programme à long terme des travaux scientifiques au BIPM. Il y a du personnel permanent à la section des rayonnements ionisants. Il a déjà été décidé de recruter un

nouveau physicien lors du départ de Mr Rytz. Il faudra recruter un autre physicien permanent lorsque Mr Allisy se retirera. Cela portera le nombre de personnes travaillant à la section des rayonnements ionisants à huit et demi. En considérant les différents domaines couverts par la section des rayonnements ionisants, il serait judicieux de rassembler les rayons X et γ et les neutrons dans un premier groupe de quatre personnes consacré à la dosimétrie et les autres dans un autre groupe de quatre personnes consacré à la radioactivité. Il faut aménager le transfert de l'activité des neutrons vers les autres domaines d'activité pour réaliser les vœux exprimés par la majorité des États. On devra maintenir en priorité l'activité dans le domaine des rayons X et γ .

Mr Allisy pense que c'est une solution minimale pour éviter la mort des principales activités. La solution proposée par Mr Kind ne répond pas exactement à ses propres propositions mais il y a un résultat positif : cela permet d'avoir deux groupes plus importants, ce qui donne une meilleure cohérence. Le physicien qui est actuellement affecté aux neutrons devrait se consacrer aux rayons X et γ qui ne sont pas très éloignés de son domaine d'activité.

Mr Wang demande pourquoi la section des rayonnements ionisants devrait être réduite à deux sections. Le groupe de dosimétrie continuera-t-il à travailler sur les neutrons ?

Le président répond que oui, mais avec moins d'intensité pour augmenter l'effort dans le domaine des rayons X et γ .

Mr Bray demande quelles seront les répercussions sur la structure du CCEMRI.

Le président constate qu'il s'agit d'une question importante, en rapport avec la structure interne du BIPM. Si l'on pense au CCM par exemple, il n'y a pas au BIPM de section qui corresponde aux Groupes de travail du CCM chargés des travaux sur les forces et les pressions. Il n'y a pas de stricte correspondance entre le Comité Consultatif et le BIPM. Il ne voit pas pourquoi il devrait en être ainsi pour le CCEMRI.

Mr Allisy souligne que si le BIPM diminue son activité dans le domaine des neutrons, dont l'importance est réduite pour le moment, cela ne préjuge pas de l'avenir. Les pays qui s'intéressent aux neutrons ont de grands laboratoires. Lors des discussions qui ont eu lieu avec les grands laboratoires, il n'est pas apparu clairement de raisons pour un désintérêt dans le domaine des neutrons. Il semble très important que la compétence acquise dans le domaine des neutrons soit conservée. Si le BIPM se désintéresse des neutrons, d'autres organismes se chargeront du travail. Même si une diminution de l'activité du BIPM dans le domaine des neutrons est acceptable, il semble préférable de ne pas souligner cette diminution d'activité. Il n'est pas nécessaire que la structure du CCEMRI reflète celle du BIPM. Le groupe de travail sur les neutrons est une charge pour les États, mais il est très important pour le BIPM de se maintenir au courant dans ce domaine, car on ne sait pas quelles seront les activités prioritaires d'ici dix ans. Il serait

dommage de se couper totalement de tout lien avec les recherches faites sur les neutrons.

Mr Preston-Thomas est d'accord avec Mr Allisy. Il aimerait qu'il y ait un groupe de travail sur les neutrons. Le président du CCEMRI a suggéré qu'il devrait en être ainsi. La répartition du travail au BIPM est une chose, la composition des comités consultatifs une autre.

Le président est également d'accord. Il demande à Mr Allisy si l'on peut dire que le BIPM pourrait servir les neutrons sans avoir lui-même d'activité en ce domaine, comme pour les rayons X et γ . Dans quelle mesure le BIPM doit-il maintenir des sources de neutrons ?

Mr Allisy répond qu'elles sont nécessaires à la dosimétrie des neutrons. Il ne tient pas à étendre le travail, mais si le BIPM ne se tient pas au courant des techniques, il ne servira plus que de boîte à lettres. Il est important que le personnel soit expert dans le domaine pour jouer le rôle central dans un système de mesures. Il faut savoir choisir la bonne source de neutrons par exemple. En ce qui concerne les sources, il est essentiel que le BIPM conserve les valeurs moyennes pour les comparaisons, même s'il n'y participe pas. Il est important de conserver les références.

Mr Kovalevsky dit qu'il est d'accord avec la tendance générale, mais qu'il vaut mieux conserver une expertise dans les trois domaines des rayonnements ionisants comme l'a dit Mr Allisy.

Le président propose de rédiger un *résumé des conclusions* concernant les lignes générales sur lesquelles le CIPM s'est mis d'accord. Il demande à Mr Giacomo ce qu'il pense faire pour les sections des longueurs et des lasers, des masses et de l'électricité, ainsi que pour les autres domaines : gravimétrie, thermométrie, photométrie et radiométrie.

En ce qui concerne le *domaine des mesures de longueur*, Mr Giacomo pense que des activités classiques telles que la base géodésique pourraient disparaître. Elles répondent aux besoins des petits laboratoires, mais on pourrait diminuer les activités de ce genre au profit des lasers, sans changer le nombre total de personnes travaillant dans la section des longueurs. Mr Giacomo précise toutefois que le travail sur les étalons matériels de longueur peut être effectué par des techniciens de haut niveau alors que le travail sur les lasers exige des scientifiques.

Le secrétaire pense qu'il est nécessaire d'avoir un physicien supplémentaire à la section des lasers, la nouvelle définition du mètre entraînant des recherches sur sa mise en pratique.

Suit une discussion sur la place occupée dans l'activité du BIPM par les vérifications d'étalons en général et d'étalons matériels de longueur en particulier.

Mr Blevin pense que la section des lasers pourrait très bien accueillir un chercheur associé. Il n'est pas en faveur d'un poste permanent supplémentaire.

Mr Giacomo souligne qu'il a déjà été dit depuis plusieurs années que l'on devait renforcer la section des lasers.

Mr de Boer aimerait avoir l'opinion des laboratoires nationaux sur le problème des postes permanents et des postes de chercheur associé.

Mr Preston-Thomas partage l'avis de Mr Blevin ; il est en faveur d'un chercheur associé.

Mr Dean pense que l'on pourrait transférer une personne de la section de métrologie traditionnelle des longueurs vers les lasers et recruter un chercheur associé.

Le président conclut en constatant que l'on s'est mis d'accord pour intensifier l'effort dans le domaine des lasers et diminuer le travail dans le domaine des étalons matériels de longueur. Un départ à la retraite doit avoir lieu d'ici trois ans : ce sera l'occasion de mettre en œuvre des changements dans cette section.

Le président suggère de discuter de la *section des masses* qui est un domaine prioritaire pour le BIPM. Il propose d'augmenter le total du personnel actif dans ce domaine de 3 à 4 personnes (2 physiciens, 1 métrologiste et 1 technicien).

Mr Giacomo estime qu'il conviendrait d'engager un physicien supplémentaire et de conserver un chercheur associé pour travailler sur les balances et les effets de surface.

Mr Blevin ne pense pas que le BIPM soit convenablement équipé pour l'analyse de surface des étalons masse. Il faudrait peut-être envisager de faire quelque chose à ce sujet.

Mr Giacomo est d'accord avec Mr Blevin sur ce point. Le BIPM aura besoin dans un proche avenir d'une personne qui se charge de prendre des contacts à l'extérieur. Il n'est pas question de mettre en œuvre au BIPM les techniques d'analyse des surfaces mais d'engager quelqu'un qui s'intéresse à ce domaine et qui suive ce qui se fait ailleurs. Il n'est pas question pour l'instant d'acquérir un équipement coûteux spécial pour ces études.

Le président aborde ensuite le *domaine de la gravimétrie*. Chacun sait que le BIPM a produit dans ce domaine des résultats de très haut niveau. Toutefois, la gravimétrie n'est pas essentiellement du ressort du BIPM, et ce travail ne devrait pas être poursuivi après le départ à la retraite du physicien qui en a la responsabilité.

Mr Quinn dit que ce travail a fait beaucoup pour le renom du BIPM. Il n'est pas directement lié à la métrologie de base, mais il est nécessaire que de tels travaux de très haut niveau puissent être effectués au BIPM même s'ils n'entrent pas directement dans le cadre de ses activités.

Mr Giacomo précise que le domaine de la gravimétrie intéresse beaucoup de gens. Le BIPM a été sollicité à différentes reprises pour des mesures de stations de référence de gravimétrie. Jusqu'à présent il n'a pas accédé à ces demandes, mais il aimerait avoir l'avis du CIPM sur ce point.

Mr Dean répond qu'il convient d'équilibrer les efforts dans les différents domaines. C'est au directeur du BIPM de décider comment

il convient d'interpréter les directives du CIPM. Il ne lui semble pas personnellement que la gravimétrie soit un domaine prioritaire.

Mr Kovalevsky objecte qu'il a apprécié le travail en gravimétrie, que ce travail est bénéfique au BIPM. Il demande si le BIPM a la possibilité de se faire payer pour répondre à des demandes en ce domaine.

Mr Giacomo répond que oui, mais que ce type de travail ne peut être fait sans la présence du physicien et du technicien qui connaissent toutes les subtilités de l'instrument.

Le président remarque que Mr Giacomo sera amené à refuser. Il y a d'autres laboratoires compétents en la matière.

Le président suggère de passer maintenant à la *section d'électricité*, pour laquelle il est proposé d'augmenter le total du personnel à 6 personnes (3 physiciens et 3 techniciens) et un chercheur associé.

Mr Giacomo rappelle que dans le domaine de la métrologie électrique, les performances des étalons ne sont pas satisfaisantes par rapport à la demande. Il est nécessaire d'intensifier les efforts dans le domaine de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique qui connaissent des développements importants en ce moment. On ne dispose pas actuellement d'instruments de transfert, aussi est-il nécessaire de continuer à maintenir les instruments traditionnels. On aura besoin d'un physicien supplémentaire et aussi d'un chercheur associé pendant encore une dizaine d'années. Après on pourra vraisemblablement confier le travail à un métrologiste.

Le président approuve le point de vue de Mr Giacomo.

Le président engage la discussion sur la *section de thermométrie-photométrie-radiométrie*, pour laquelle il est proposé de limiter le total du personnel à 2 personnes (1 physicien et 1 technicien).

Mr Giacomo dit que ces dernières années on a mis l'accent sur la thermométrie. Il est nécessaire de garder un bon niveau dans ce domaine, sinon le BIPM risque de ne plus pouvoir satisfaire à ses propres besoins.

En ce qui concerne la photométrie et la radiométrie, il serait nécessaire de développer les comparaisons internationales et les étalonnages. L'activité du BIPM s'est limitée jusqu'ici à conserver des lampes étalons et à transmettre les résultats des comparaisons aux autres pays. En ce moment la compétence du BIPM est tout juste suffisante pour donner confiance dans les comparaisons qu'il effectue.

Mr Blevin rappelle qu'au départ la principale fonction du laboratoire de photométrie du BIPM était d'effectuer de temps à autre des comparaisons internationales. Cela n'est plus le cas. Il serait plus sage de développer un peu les recherches dans le domaine de la radiométrie, d'améliorer les méthodes de travail, tout en se limitant aux grandeurs de base. Il faudrait pour cela au moins un physicien et un technicien à plein temps pour la photométrie et la radiométrie. Dans quelques années il faudra faire appel à un chercheur associé. Deux personnes constituent un minimum. Par ailleurs il conviendrait que les sections

qui font appel à la thermométrie, comme la section d'électricité, fassent elles-mêmes ce travail.

Le président note que l'on a besoin d'un chercheur associé et que la section d'électricité devrait assurer seule ses étalonnages de thermomètres.

Mr Giacomo trouve naturel de rattacher la manométrie à la section des masses qui en est, de loin, la principale utilisatrice. Par contre, toutes les sections ont besoin de bonnes mesures de température. Il est nécessaire d'avoir au BIPM une personne hautement qualifiée en ce domaine, mais elle peut être engagée dans une autre activité comme la radiométrie.

Mr Quinn est d'accord avec Mr Blevin : un physicien et un technicien seront suffisants pour faire le travail en photométrie et radiométrie. Les sections qui ont besoin d'étalonner ou de vérifier leurs thermomètres, devront s'en occuper elles-mêmes. Il faudra cesser les comparaisons en thermométrie.

Mr Preston-Thomas dit que cela implique aussi de cesser les étalonnages. Il n'est pas nécessaire d'affecter quelqu'un à la section de thermométrie. Les laboratoires nationaux peuvent se charger des comparaisons.

A une demande de Mr Jensen, Mr Quinn répond que l'on étalonne par an, pour les laboratoires nationaux, environ deux ou trois thermomètres et trois ou quatre thermocouples.

Mr Giacomo pense qu'un chercheur associé serait une bonne solution dans le domaine de la photométrie-radiométrie, car l'équipe est tout juste suffisante pour faire face aux comparaisons internationales.

Mr Blevin fait remarquer qu'un chercheur associé ne sera pas nécessaire dans l'immédiat. On pourrait envisager à terme de convertir ce poste de chercheur associé en poste permanent.

Le président suggère de passer à la *section du TAI*. Celle-ci comporte maintenant 4 personnes (3 physiciens et 1 technicien).

Mr Giacomo pense qu'il faudra une personne supplémentaire au secrétariat, à terme. Pour le moment, il est difficile de connaître les besoins réels de cette section car le travail d'édition est encore effectué par l'Observatoire de Paris.

Mr Kovalevsky pense que plus de la moitié du travail du BIH vient de la section de la rotation de la Terre. Il est difficile d'évaluer la part qui revient au TAI, peut-être la moitié. En 1987 le service du BIH et le service de la rotation de la Terre seront réorganisés. Tout ce qui concerne le TAI et la circulaire D sera alors sous la responsabilité du BIPM.

Le président décide de ne rien faire dans l'immédiat.

Le président conclut maintenant la discussion en disant que le CIPM a formulé des directives générales au directeur du BIPM, mais que celui-ci ne doit pas se sentir lié. Il conviendrait de rédiger en termes

généraux un *résumé des conclusions* du CIPM sur le plan à long terme. Après quelques discussions, le CIPM se met d'accord sur le texte suivant :

Les conclusions du Comité au sujet du plan à long terme pour les prochaines années peuvent être résumées de la façon suivante.

Longueurs :

Les étalonnages dans les domaines des fils et rubans géodésiques et des étalons à bouts plans seront abandonnés. L'objectif est de porter l'accent sur les lasers, avec un personnel permanent de 5 personnes plus un chercheur associé.

Masses (barométrie et gravimétrie comprises) :

Le domaine des masses sera renforcé par addition d'un physicien, portant le total à 4 personnes permanentes plus un chercheur associé.

Électricité :

La section d'électricité sera renforcée jusqu'à un total de 6 personnes permanentes (probablement 3 physiciens et 3 techniciens) plus un chercheur associé.

Photométrie et radiométrie/thermométrie :

La thermométrie devrait être limitée aux besoins internes ; les étalonnages pour l'extérieur seront abandonnés. Une attention spéciale devrait être portée au maintien d'une compétence convenable en photométrie et radiométrie, y compris un certain développement en radiométrie. Le personnel permanent devrait être de 2 personnes. Pour renforcer ce groupe, on envisagera de recruter un chercheur associé ayant une solide expérience dans le domaine de la radiométrie.

Rayonnements ionisants :

La première priorité est de maintenir les moyens actuels dans les domaines de la radioactivité et des rayons X, γ et électrons. Le groupe actuel des rayons X, γ et électrons et celui des neutrons seront rassemblés en un groupe de dosimétrie. Afin de maintenir le niveau actuel de compétence dans le domaine des rayons X, γ et électrons, une réorientation progressive, en moyens et en personnel, de l'activité du domaine des neutrons au profit de celui des rayons X, γ et électrons est nécessaire, tout en permettant de conserver une certaine compétence dans le domaine des neutrons. Le départ progressif de 2,5 stagiaires et le départ en retraite de A. Allisy dans un proche avenir seront partiellement compensés par le recrutement d'une personne. Cela conduira à un personnel total de 8,5 personnes permanentes, réparties à peu près également entre les deux groupes.

Échelles de temps :

Un accroissement possible de personnel jusqu'à 5 (y compris 1 secrétaire) est envisagé.

En ce qui concerne le recrutement de chercheurs associés, les présentes conclusions doivent être considérées comme indicatives.

Le résultat global ne conduit à aucun changement significatif du nombre total de membres du personnel permanent.

Le président clôt la discussion sur le point 8 de l'ordre du jour.

9. Lignes directrices pour la préparation du programme de travail et de la dotation à présenter à la 18^e CGPM

Le secrétaire rappelle que la 18^e CGPM devra être préparée par le CIPM à sa session de 1986 et par le bureau du Comité. Les grandes lignes et le budget ont été déjà brièvement discutés. Il est nécessaire d'augmenter le budget de l'ordre d'au moins 6 % pour tenir compte du transfert du TAI. L'augmentation normale du budget dépend de l'inflation. Le CIPM devra aussi préparer les projets de résolutions qu'il décidera de présenter à la Conférence Générale.

Le président suggère de faire connaître le plus tôt possible aux Gouvernements la nécessité d'augmenter le budget en raison du transfert du TAI, afin d'éviter toute opposition lors du vote du budget. Il ne peut s'agir que d'estimations provisoires, car on ne sait pas quelle sera l'inflation.

Il est décidé aussi de rédiger, pour les États membres, un document expliquant l'importance du TAI pour les techniques modernes, les raisons du transfert du TAI au BIPM et comment TAI fonctionne. (*voir Annexe p. A1*).

10. Sièges vacants au CIPM

Les discussions confidentielles sur les propositions de candidats pour les sièges vacants au CIPM ont lieu en l'absence de MM. Iizuka et Oboukhov.

Mr de Boer informe les membres du Comité qu'en connexion avec le Procès-verbal de la dernière réunion du Comité, il a reçu une lettre de Mr Dunworth lui demandant de mieux suivre une décision antérieure du Comité de respecter la confidentialité des débats et de ne pas mentionner de noms dans les Procès-verbaux.

En raison de la démission de MM. Kawata et Perlstein et du décès de V. I. Kiparenko, trois sièges sont maintenant vacants au CIPM.

Le président rappelle qu'il est d'usage que les pays qui participent pour 10 % à la dotation du BIPM soient représentés au CIPM. En général aucune élection ne doit avoir lieu avant que les candidatures aient été discutées à une session du CIPM.

Mr Terrien rappelle que les membres du Comité International doivent pouvoir être choisis comme présidents des Comités Consultatifs. D'autre part, il convient de respecter un certain équilibre géographique.

En conclusion des discussions, le président et le directeur du BIPM sont chargés de prendre les dispositions convenues en vue de l'élection aux trois sièges vacants.

11. Questions diverses

11.1. Présidence du CCEMRI

Le président considère tout d'abord le problème de la présidence du CCEMRI, puisque Mr Ambler a demandé à se démettre de cette présidence pour assumer celle du CCE. Il convient d'éviter une vacance de la présidence du CCEMRI. Aussi il propose à Mr Siegbahn d'assumer cette tâche pour les prochaines années, au moins jusqu'à la prochaine Conférence Générale. Mr Siegbahn, dont la réputation en ce domaine est considérable, ferait honneur à la Convention du Mètre et lui rendrait un grand service en acceptant cette présidence. Mr Kind demande à Mr Ambler de dire quelques mots en qualité d'ex-président du CCEMRI.

Mr Ambler souhaite informer le Comité des changements intervenus dans la présidence de la Section I et de la Section II du fait du départ en retraite de leurs présidents. Mr J.-P. Simoen prendra la présidence de la Section I et Mr J. G. V. Taylor celle de la Section II. MM. Winkler et Bambynek devraient être nommés membres de la Section II. L'OMH devrait être invité à faire partie de cette même section. Enfin, il pense qu'une réunion du CCEMRI devrait avoir lieu en 1987.

Le Président rappelle que ce sera l'année de la Conférence Générale et suggère de ne pas fixer la date de la prochaine réunion maintenant, mais de le faire d'ici un an ou deux, quand la structure du CCEMRI sera bien établie; le CIPM est d'accord. La proposition d'élire Mr Siegbahn comme président du CCEMRI étant approuvée par le CIPM, M. Kind félicite Mr Siegbahn pour son élection.

Mr Siegbahn remercie le président pour la manière dont il a essayé de lui faciliter la tâche pour les prochaines années.

Mr Kind rappelle qu'il est en faveur d'intervalles plus grands entre les sessions du CCEMRI et qu'il préférerait des groupes de travail au lieu de sections du CCEMRI. Dans le passé, on publiait quatre

documents après la réunion : un pour chaque section plus un pour le CCEMRI, avec bien des pages en commun. Ces documents devraient être publiés en une seule brochure, comme pour les autres comités consultatifs. Mr Allisy partage son point de vue.

Mr Giacomo rappelle que cette brochure a été publiée initialement en un seul fascicule, puis en quatre, puis maintenant de nouveau en un seul. Il préfère cette dernière solution.

11.2. Groupe de travail sur l'expression des incertitudes

Mr Ambler demande où en est l'activité du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes ? Ce point a déjà été discuté l'an dernier et il avait été convenu de prendre des décisions en collaboration avec l'OIML et l'ISO. Le rapport du Groupe de travail est très bon du point de vue scientifique. Il serait intéressant d'étudier ce problème en relation avec la métrologie pratique. Il existe un comité très actif, commun à l'ISO et à l'OIML, qui serait l'endroit idéal pour prendre ce genre de décisions.

Mr Giacomo rappelle que l'on avait prévu que le BIPM ferait une enquête sur la mise en pratique de la Recommandation du Groupe de travail dans les laboratoires nationaux. Il semble que ce stade soit dépassé, les problèmes se situant plutôt au niveau des centres d'étalonnages. C'est à ce niveau qu'il faudrait s'adresser, ce qui n'est plus vraiment de la compétence du BIPM.

Mr Ambler ne pense pas que le Groupe de travail puisse résoudre les problèmes restants d'exactitude et de combinaison des erreurs systématiques. Ce n'est pas une question de mesures. Il conviendrait de prendre contact avec le directeur général de l'ISO.

Mr Iizuka mentionne l'existence du groupe de travail ISO TC-69/SC6/GT3 sur les incertitudes qui tient une réunion à l'IMGC en ce moment. Il serait possible d'établir aussi des contacts avec ce groupe de travail.

11.3. États dont les contributions ont un retard supérieur à six ans

Le secrétaire rappelle que certains États sont en retard dans le versement de leurs contributions. Convient-il de prendre des mesures ? Jusqu'à présent, les contributions de ces États retardataires sont réparties entre les autres pays et remboursées lorsque ces États règlent leur dette. Peut-on appliquer l'article 6 du Règlement annexé à la Convention du Mètre et exclure les États dont les contributions ont un retard supérieur à six ans ? Si un pays est exclu, sa contribution est définitivement répartie entre les autres pays.

En pratique, l'article 6 n'a jamais été appliqué et les autorités françaises consultées ne savent pas comment le faire appliquer. Le cas s'est présenté pour un pays, le Pérou, qui s'est retiré lui-même de la

Convention du Mètre. Mais en fait il n'y a aucun avantage financier à exclure un pays de la Convention du Mètre, au contraire, car dans ce cas la dette du pays n'est jamais payée et il n'y a pas de remboursement aux autres États. Il vaut mieux exercer une pression pour que les paiements réguliers soient repris que d'insister pour appliquer l'article 6.

Mr Dean suggère de ne fournir aucun service, aucune publication aux pays qui ne paient pas leurs contributions, pour ne pas les encourager à continuer.

Mr Giacomo objecte que le BIPM envoie ses brochures à bien des personnes gratuitement. Par contre, il peut refuser d'effectuer des étalonnages.

Le président mentionne que le CIPM est heureux de diffuser la brochure sur le SI aux pays membres et non-membres de la Convention du Mètre.

11.4. Séjour à Cambridge de Mr Quinn

Mr Quinn fait un bref compte rendu du stage qu'il a fait au Cavendish Laboratory à Cambridge du 1^{er} octobre 1984 au 31 août 1985. Ce stage lui a permis d'étudier quantitativement les problèmes d'anélasticité dans l'alliage Cu-Be et d'appliquer les résultats directement à la balance à suspensions flexibles du BIPM. Il exprime ses remerciements au professeur A. H. Cook et au Dr A. J. F. Metherell du Cavendish Laboratory, à Sir Hans Kornberg et aux fellows de Christ's College qui lui ont attribué la Distinguished Visiting Fellowship pour 1984-1985, à la Royal Society pour la Guest Fellowship, au Cavendish Laboratory et enfin au Comité et au directeur du BIPM pour l'avoir autorisé à passer l'année à Cambridge.

11.5. Prochaine session du CIPM

Le président dit au revoir à Mr Perlstain qui assiste au CIPM pour la dernière fois. Il espère avoir de nombreuses occasions de le rencontrer de nouveau.

Mr Perlstain remercie le président et espère de même avoir encore l'occasion de le rencontrer. Il estime qu'il faut savoir prendre sa retraite et quitter la place quand on ne représente plus que soi-même.

La prochaine session du CIPM se tiendra du 14 au 17 octobre 1986. Ce sera la dernière session plénière avant la 18^e CGPM qui doit se tenir en 1987.

L'ordre du jour de la présente session étant épuisé, le président remercie les membres du Comité pour leur participation, Mr Giacomo pour son hospitalité et clôt la 74^e session.

RAPPORT DU DIRECTEUR
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(octobre 1984 — septembre 1985)

I. — PERSONNEL

Nominations

J. BONHOURS, physicien principal, a été nommé physicien chercheur principal.

J. LEROUX, mécanicien principal, a été classé technicien principal par assimilation.

J. DIAS, mécanicien, a été nommé mécanicien principal.

A. GAMA, technicien, a été nommé mécanicien principal.

D. LE COZ, secrétaire, a été nommée secrétaire principale.

Ces nominations ont pris effet le 1^{er} janvier 1985.

Engagements

Włodzimierz LEWANDOWSKI, de nationalité polonaise, né le 16 mai 1949 à Dzierżoniów (Pologne), Docteur ingénieur ès sciences géographiques, précédemment physicien au Bureau International de l'Heure à l'Observatoire de Paris, a été engagé comme physicien pour la section du temps atomique international, à compter du 1^{er} mars 1985.

Hawaï KONATÉ, de nationalité tchadienne, née le 24 octobre 1955 à Largeau (Tchad), a été engagée comme technicienne pour la section du temps atomique international, à compter du 1^{er} avril 1985.

Départ

Mme A. WITT a quitté ses fonctions au Bureau International à la fin de son engagement temporaire, le 30 novembre 1984.

II. — BÂTIMENTS

Petit Pavillon

Ravalement des façades et réfection des peintures des ouvertures.

Bâtiment des rayonnements ionisants

Réfection de l'étanchéité de la terrasse du bâtiment principal.

Observatoire

Refonte complète des salles 11 et 12 pour y installer le laboratoire de mesures de l'effet Hall quantique.

Dépendances

Curage annuel des canalisations souterraines des eaux usées avec réfection de deux regards ; réfection du revêtement de la cour principale devant le bâtiment des lasers.

III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

Remarques générales

L'événement principal de l'année écoulée a été la mise en place du travail sur le TAI au BIPM. L'équipe du TAI comprend maintenant quatre personnes, dont trois travaillaient déjà au BIH. Grâce à l'aménagement des locaux libérés par le transfert du logement de l'un des gardiens dans le bâtiment des lasers, les bureaux nécessaires ont pu être aménagés en temps utile. Le matériel informatique propre à la section du TAI a été mis en route dans les premiers mois de 1985. Les données du TAI pour le mois d'avril 1985 contenues dans la « circulaire D » du BIH ont été entièrement produites au BIPM.

Cette circulaire reste provisoirement commune aux données du TAI et à celles de la rotation de la Terre. Elle est diffusée par les soins de la section « rotation de la Terre », à partir de l'Observatoire de Paris, sous l'en-tête du BIH et sous la responsabilité de son directeur qui reste B. Guinot. Les adresses respectives des deux sections y sont données.

Une nouvelle comparaison de gravimètres absolus transportables a eu lieu en juin-juillet 1985. Une telle comparaison soulève, de la part des différents pays, un intérêt considérable attesté par le nombre de participants : six gravimètres absolus, quatorze gravimètres relatifs, accompagnés par environ quarante physiciens et métrologistes. Les moyens de tout genre dont le BIPM peut disposer pour accueillir une telle comparaison restent disproportionnés avec les besoins. Il est probable que nous devrons, à l'avenir, refuser d'accueillir ce type de comparaison, bien que « Sèvres point A » soit le point de référence du réseau gravimétrique international et le point du globe terrestre où la valeur de g et ses variations à long terme sont le mieux connues.

Parmi les autres résultats, on notera l'achèvement de la comparaison de mesures de règles divisées, comparaison qui aura duré huit ans. Le principal résultat est à la fois instructif et décevant : il montre d'une part que l'incertitude des mesures sur un mètre est de l'ordre de $0,1 \mu\text{m}$, d'autre part que les salissures et le nettoyage imparfait de la graduation constituent probablement la cause principale d'incertitude dans ce genre de mesures.

Les problèmes de salissure et de nettoyage sont encore plus manifestes dans le cas des prototypes du kilogramme. La recette utilisée au BIPM pour le nettoyage de ces prototypes a été mise à l'épreuve de multiples façons au cours des dernières années. Elle donne des résultats globalement satisfaisants. Mais on commence à entrevoir la possibilité que, malgré le nettoyage, la masse de certains prototypes varie de façon inexplicée. Dans les prochaines années, l'étude des phénomènes superficiels associés à la pollution et au nettoyage des prototypes deviendra probablement l'une des clés de la métrologie des masses. Afin de vérifier nos bases de départ, nous devons dès maintenant envisager une comparaison des masses du Kilogramme international, de ses témoins et des prototypes d'usage du BIPM. Cette vérification constituera la première phase de la comparaison périodique des prototypes nationaux qui a été prévue par la CGPM depuis plusieurs années.

Enfin, je tiens à signaler trois distinctions qui font honneur au BIPM. A. Allisy a été élu président de l'International Commission on Radiation Units and Measurements, organisation qui fait autorité dans le domaine des rayonnements ionisants. A. Sakuma d'une part a reçu le prix Adrien Constantin de Magny de l'Académie des Sciences de l'Institut de France, d'autre part a été nommé Chevalier de l'Ordre National du Mérite, deux distinctions qui sanctionnent ses travaux mondialement connus en gravimétrie.

Dans l'exposé qui suit, les noms des responsables des travaux décrits sont cités entre parenthèses. L'astérisque (*) placé après un nom signale une personne qui ne fait pas partie du personnel permanent du BIPM.

1. Informatique (P. Carré)

Dans le précédent Rapport (p. 39), nous avons indiqué que, pour remplacer notre ordinateur IBM 1130 (en service depuis 1968 et pour lequel la Compagnie IBM nous a fait savoir, au début de 1982, qu'elle mettrait fin au contrat d'entretien le 30 septembre 1985), nous avons acquis deux « Ordinateurs Personnels » IBM, modèle XT, équipés notamment d'un coprocesseur mathématique et d'un disque fixe, appareils dont la livraison s'est achevée en août 1984.

Depuis lors, nous disposons des langages Fortran V (ou Fortran 77), Basic (deux versions : normale et étendue) et Assembleur. La première version du Fortran (version 3.10 de la société Microsoft) a été remplacée

au début de janvier 1985 par une version améliorée (version 3.20 de la même société) qui prend en charge les nombres complexes (même en « double précision »), la représentation décimale codée en binaire des nombres réels, les noms génériques des fonctions mathématiques et un certain nombre d'ordres nouveaux.

D'autres langages sont disponibles dans le commerce (Pascal et Basic compilé) mais, jusqu'à maintenant, nous n'avons pas jugé leur acquisition utile.

En février 1985, nous avons nous-mêmes connecté à l'un des deux ordinateurs un lecteur-enregistreur de cassettes (de la société Teac) et écrit en Assembleur le logiciel de commande de cet appareil ; naturellement, cela avait exigé l'étude préalable de ce langage.

Nous utilisons essentiellement le Fortran V. Ce langage contient presque entièrement celui que nous utilisons sur notre IBM 1130 (sous-ensemble du Fortran IV). Des programmes écrits dans ce dernier langage seraient donc exécutables avec le nouveau moyennant quelques modifications mineures. Or, la plupart de nos programmes d'exploitation courante font appel à de nombreux sous-programmes que nous avons écrits en Assembleur pour réduire à la fois leur encombrement et leur durée d'exécution. Par ailleurs, le nouveau langage permet la rédaction de programmes présentant une structure beaucoup plus claire, ce qui facilitera leur entretien ; de plus, un mode conversationnel est souhaitable malgré l'accroissement de l'encombrement de la mémoire qu'il entraîne. Pour toutes ces raisons, l'adaptation de nos programmes à notre nouvelle installation ne se réduit pas à des corrections locales : elle se traduit le plus souvent par une refonte complète. La section d'informatique (service général) a pris en charge la copie sur disquettes (par l'intermédiaire de ruban magnétique en cassettes) de quelques dizaines de milliers de cartes représentant les programmes actuels, ce qui a fourni une base de départ pour les nouveaux programmes, l'enseignement du nouveau langage aux utilisateurs, leur initiation à l'utilisation de la nouvelle installation, l'étude de problèmes particuliers de logiciel, l'adaptation des programmes, généralement en collaboration avec les sections intéressées. Des programmes ont été écrits, adaptés ou profondément remaniés pour la comptabilité (calcul des parts contributives des États de la Convention du Mètre), les longueurs (mesures de règles ou de calibres, base géodésique, comparaisons de longueurs d'onde), les masses (réduction des pesées effectuées avec la balance NBS-2), la gravimétrie (calcul des marées gravimétriques), la section des rayons X et γ , électrons (simulation, par la méthode de Monte-Carlo, de trajectoires de photons, exploitation des mesures d'exposition et de dose absorbée), les radionucléides (réduction des mesures d'activité et des mesures concernant le Système international de référence), les neutrons (mesures du taux d'émission, du débit de fluence et du débit de kerma dans le tissu).

Les programmes concernant les mesures de longueurs au comparateur photoélectrique, les mesures de longueurs d'onde, les mesures d'exposition

et de dose absorbée, les mesures d'activité et les mesures neutroniques utilisent le lecteur de cassettes connecté à l'un des ordinateurs. Des sous-programmes spéciaux, tenant compte de la nature des données enregistrées, ont été écrits pour ces applications. Pour les simulations par la méthode de Monte-Carlo, il est nécessaire de disposer de sous-programmes générateurs de nombres pseudo-aléatoires. Deux tels sous-programmes mettant en jeu des algorithmes fondés sur la théorie des congruences sont disponibles. On a aussi étudié et mis à l'épreuve un algorithme fondé sur la théorie des polynômes irréductibles, algorithme généralement utilisé dans les réalisations matérielles au moyen de registres à décalage bouclés ; on envisage de le rendre disponible sous forme d'un sous-programme.

Des détails sur l'utilisation des nouveaux programmes pourront être trouvés dans ce Rapport, aux paragraphes concernant les sections citées.

2. Longueurs (P. Carré, J. Hamon)

Cette année a été marquée par la fin de la comparaison internationale de mesures de règles divisées, commencée en 1976 : mesures finales au BIPM, rédaction et diffusion de deux rapports, l'un sur les mesures du BIPM et l'autre sur l'ensemble de la comparaison.

La mesure des règles divisées, des étalons à bouts, des fils géodésiques et des longueurs d'onde constitue toujours une activité régulière. En prévision du remplacement prochain de notre ordinateur actuel, les programmes de réduction des mesures courantes ont été adaptés à la nouvelle installation, ce qui a donné lieu à un remaniement profond. Pour ce qui concerne les mesures de longueur au comparateur photoélectrique et les mesures de longueurs d'onde, les données permettant de calculer les excédents fractionnaires sont enregistrées sur ruban magnétique en cassette. Un programme commun d'exploitation de ces enregistrements s'articule avec plusieurs autres programmes spécifiques et divers sous-programmes, d'ailleurs utilisés aussi pour d'autres applications. Au cours du développement de cet ensemble, une nouvelle façon d'appliquer la méthode des excédents fractionnaires (ou méthode des coïncidences) pour la détermination des ordres d'interférence a été élaborée. Cette méthode ne particularise aucune radiation ; elle fait l'objet du Rapport BIPM-85/6.

Signalons enfin que, depuis le changement de la définition du mètre, en octobre 1983, les valeurs portées aux Certificats concernant la mesure des règles divisées et des grands étalons à bouts représentent la moyenne des résultats obtenus avec les deux radiations utilisées, d'une part celle d'un laser à He-Ne asservi sur le « Lamb dip » et comparé régulièrement à un laser asservi par absorption saturée, et d'autre part la radiation orangée du krypton 86, avec la valeur de longueur d'onde qui résulte de la mise en pratique de la définition du mètre.

2.1. — Étalons à traits

Comparaison internationale

Le rapport de l'IMM (U.R.S.S.) sur ses nouvelles mesures de la règle divisée N° 12924 nous est parvenu le 18 décembre 1984.

Nous avons fait la dernière mesure de cette règle dès son retour au BIPM, en octobre 1984, mettant ainsi un terme à cette comparaison commencée en 1976 et dont l'avancement a été mentionné dans les précédents rapports.

Le rapport sur les études de cette règle faites au BIPM au cours de la comparaison internationale a pu alors être terminé. Ce rapport (BIPM-85/2) concerne les études faites en 1976, 1978, 1980, 1983 et 1984 sur la règle N° 12924 et aussi les études faites sur la règle de 500 mm N° 16806 en 1975 et 1978 ; il a été envoyé, en même temps que le dernier rapport de l'IMM, le 8 février 1985, à tous les participants. Ainsi, chaque laboratoire a reçu les rapports de tous les autres participants.

D'après les quatre dernières mesures de la règle N° 12924 faites au BIPM, il apparaît que l'allongement moyen de cette règle a été de 6,2 nm/an (écart-type de 4,6 nm/an) entre 1978 et 1984. Par contre, le résultat de 1976, en accord avec des mesures antérieures, est plus faible de 0,13 μm environ. Aucune cause connue ne permet d'expliquer ce brusque allongement. La figure 1 illustre les cinq résultats obtenus au BIPM.

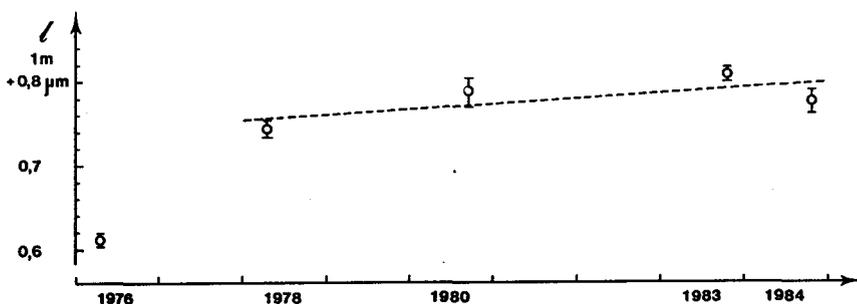


Fig. 1. — Évolution, en fonction du temps, de la longueur à 20 °C de l'intervalle principal de la règle divisée N° 12924, selon les mesures effectuées au BIPM.

On observe, entre 1976 et 1978, une discontinuité d'environ 130 nm et, depuis 1978, une pente de 6,2 nm/an. Les barres d'incertitude représentent l'incertitude statistique seule (écart-type).

Le rapport final sur la comparaison internationale (BIPM-85/3) a été envoyé aux participants le 13 juin 1985. Ainsi que nous l'avons déjà signalé (Rapport 1978, p. 28), la règle de 500 mm N° 16806 a été retirée de la suite de la comparaison après examen des résultats du premier circuit. La dispersion anormalement élevée de ces résultats a détruit les

espoirs d'une meilleure définition des traits que suscitait le nouveau procédé expérimental de traçage. Rappelons que chaque trait, large d'environ $6\ \mu\text{m}$, est constitué de 7 traits élémentaires parallèles et juxtaposés. On peut penser que la forte dispersion des valeurs obtenues avec cet étalon est liée au faible contraste de ces traits vus par les microscopes photoélectriques et aussi au fait que ces traits sont plus vulnérables aux salissures et plus difficiles à nettoyer que les traits de gravure classique.

En ce qui concerne la règle de 1 m N° 12924, étudiée par douze laboratoires (y compris le BIPM), les résultats bruts de la mesure de l'intervalle principal sont illustrés par la figure 2.

En excluant la valeur de l'IMM de 1979 remplacée par celle de 1984, l'écart-type du résultat d'un laboratoire est de $0,109\ \mu\text{m}$; si l'on tient compte de l'évolution de longueur de la règle, déterminée au moyen des mesures du BIPM et du CSIRO, on n'améliore que très peu l'écart-type qui devient $0,105\ \mu\text{m}$. En revanche, si l'on exclut (ce qui est pour le moins discutable) les valeurs visiblement faibles de trois laboratoires, l'écart-type devient $0,031\ \mu\text{m}$. Cet écart-type serait compatible avec les incertitudes estimées par les différents laboratoires qui sont en moyenne de $0,12\ \mu\text{m}$ pour trois fois l'écart-type.

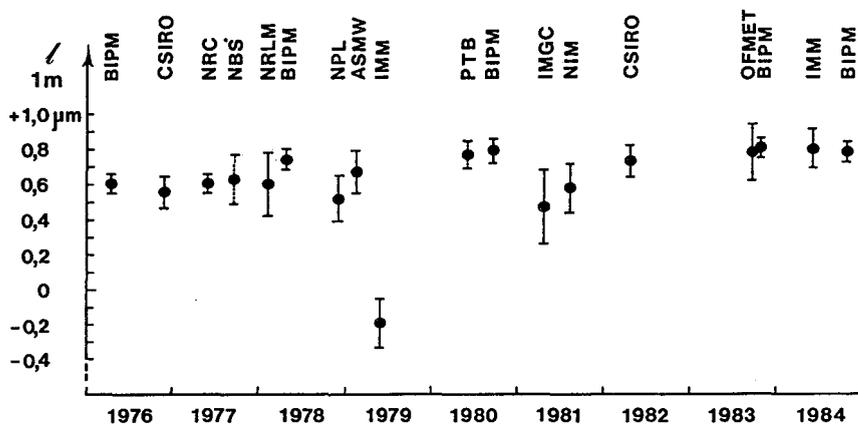


Fig. 2. — Résultats obtenus par les douze laboratoires ayant participé à la comparaison internationale pour la longueur à $20\ ^\circ\text{C}$ de l'intervalle principal de la règle N° 12924, dans l'ordre chronologique.

Les barres d'incertitude en trait plein correspondent à ± 3 écarts-types; en pointillé, elles correspondent à la valeur donnée par le laboratoire (NRC, NBS, PTB).

L'examen détaillé des valeurs obtenues pour les traits intermédiaires fait apparaître que la reproductibilité de la « lecture » d'un trait par les microscopes des différents laboratoires, lorsque ce trait est bien au point, est caractérisée par un écart-type de $0,02\ \mu\text{m}$. Cet écart-type paraît un peu élevé par rapport à la répétabilité des lectures, mais il inclut les déplacements apparents occasionnés par les salissures, malgré

les nettoyages successifs qui, d'ailleurs, peuvent eux-mêmes déplacer des salissures.

Pour caractériser la cohérence de l'ensemble des mesures des intervalles de la règle de 1 m N° 12924, on peut condenser les résultats en exprimant l'écart-type s du résultat d'un laboratoire concernant la valeur d'un intervalle de longueur L sous la forme :

$$s = 0,03 \mu\text{m} + 0,08 \times 10^{-6} L.$$

En tout état de cause, il semble évident que certaines composantes de l'incertitude sont évaluées trop faiblement par les laboratoires et demanderaient donc une étude plus approfondie. En particulier, les salissures que les nettoyages ne suppriment pas complètement semblent contribuer lourdement à ces incertitudes.

En résumé, alors que l'incertitude sur la longueur d'onde des sources monochromatiques utilisées peut, actuellement, atteindre 10^{-10} en valeur relative pour les lasers à He-Ne asservis sur l'iode par exemple, il est pour le moins décevant de constater que l'incertitude relative sur la mesure de la longueur d'un étalon matériel à traits de 1 m est de l'ordre de 10^{-7} .

Les résultats des mesures du coefficient de dilatation de la règle N° 12924, exécutées par huit laboratoires y compris le BIPM, conduisent à un écart-type de $0,05 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ entre le résultat d'un laboratoire et la moyenne des résultats des laboratoires, ce qui correspond, en moyenne, à environ trois fois l'écart-type évalué par les laboratoires eux-mêmes.

L'utilité de cette comparaison nous paraît certaine. Deux laboratoires qui avaient d'abord obtenu des résultats aberrants ont pu, grâce à cette comparaison internationale, identifier des causes d'erreur et y remédier. De plus, à l'occasion de ces mesures, plusieurs laboratoires ont révisé et amélioré leur appareillage, leur méthode de mesure ou leur évaluation des incertitudes. C'est l'un des buts d'une telle opération.

On doit, par contre, regretter la durée prohibitive de cette opération : presque neuf années, soit près du triple de ce qui avait été prévu au départ. Des retards imprévus se sont accumulés, des laboratoires ont demandé à refaire leurs mesures, tout cela est explicable mais un si long délai fait certainement perdre une partie de l'intérêt d'une telle comparaison.

On peut raisonnablement penser qu'à la suite de cette comparaison de nouvelles études devraient être faites pour améliorer la cohérence des mesures des étalons à traits.

Règles divisées

Règle N° 12924 de 1 m en acier nickelé (BIPM). Cette règle participe à la comparaison internationale. Nous en avons fait l'étude finale : longueur de l'intervalle principal, étalonnage des décimètres, des

centimètres du premier et du dernier décimètre, des millimètres du premier et du dernier centimètre et des dixièmes de millimètre des deux millimètres supplémentaires.

Règle N° 15481 de 1 m en acier au nickel (Irlande) : longueur de l'intervalle principal et étalonnage des décimètres, des centimètres du premier et du dernier décimètre, des millimètres du premier et du dernier centimètre, des dixièmes de millimètre des deux millimètres supplémentaires et du millimètre [914-915]. Cette règle s'est raccourcie de $0,53 \mu\text{m}$ depuis sa dernière mesure en 1971.

Règle N° 10230 de 1 m en invar (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire) : mesure de l'intervalle principal. Cette règle avait déjà été mesurée au BIPM à quatre reprises. Les valeurs obtenues successivement sont les suivantes :

juin 1968	1 m + 1,17 μm	$s = 0,03 \mu\text{m}$
mars 1972	+ 1,11	0,02
janvier 1975	+ 1,15	0,02
septembre 1979	+ 1,05	0,02
mars 1985	+ 0,94	0,02

Réglette N° 1644 de 0,1 m en invar (Portugal) : mesure de l'intervalle principal et étalonnage des millimètres. Nous avons obtenu pour l'intervalle principal la valeur $100 \text{ mm} + 1,91 \mu\text{m}$ avec un écart-type de $0,014 \mu\text{m}$; en 1939, on avait trouvé $100 \text{ mm} + 2,0 \mu\text{m}$ avec un écart-type de $0,05 \mu\text{m}$ environ.

Règle N° 871, de 1 m en acier inoxydable (Yougoslavie) : mesure de l'intervalle principal et étalonnage des décimètres, des centimètres du premier et du dernier décimètre, des millimètres du premier et du dernier centimètre.

2.2. — Étalons à bouts plans (J. Hamon)

Mesure, dans l'interféromètre Tsugami, de neuf calibres pour le Portugal, de 18 calibres pour l'Office Fédéral de Métrologie, Suisse, et mesure du coefficient de dilatation pour quatre d'entre eux.

Dans le même interféromètre, mesure de cinq calibres de 125, 150, 175, 200 et 250 mm pour la Hongrie.

Dans l'interféromètre du comparateur interférentiel, mesure de trois calibres de 300, 400 et 500 mm pour la Hongrie et d'un calibre de 1 m pour la Tchécoslovaquie.

2.3. — Mesures de longueurs d'onde (J. Hamon)

Dans l'interféromètre de Michelson, sous vide, mesure de la longueur d'onde de quatre radiations d'une lampe commerciale à krypton et de trois radiations d'une lampe commerciale à hélium pour le Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux de Yougoslavie.

2.4. — Base géodésique (G. Girard)

Fils et rubans géodésiques

Trois fils de 24 m, six rubans de 6 et 24 m ont été étudiés pour l'Italie et le Portugal.

Invar géodésique

Cette année, 157 kg de fil constituant les livraisons 32 N et 32 P, ont été soumis au traitement thermique d'étuvage. En relation avec ce traitement, nous avons déterminé le coefficient de dilatation de dix échantillons de fil de 24 m de longueur.

Nous avons fait subir un traitement mécanique (battage) à 40 fils d'invar géodésique de 24 m de longueur destinés à une entreprise française.

Les taxes perçues depuis deux années en ce qui concerne les traitements mécanique et thermique ci-dessus, se sont élevées à 112 000 francs français environ.

3. Lasers (J.-M. Chartier)

Depuis l'adoption de la nouvelle définition du mètre par la CGPM (octobre 1983), le BIPM a été sollicité par un nombre important de pays. Son action ne se limite pas aux comparaisons de lasers qu'il organise et auxquelles il participe ; il apporte, en effet, une aide plus ou moins importante aux laboratoires pour la réalisation de lasers asservis sur l'absorption saturée dont la fréquence est recommandée.

La section des lasers a été transférée à partir d'octobre 1984 dans ses nouveaux laboratoires qui ont été inaugurés par les membres du CIPM le 18 octobre 1984. Ce transfert n'a interrompu les activités scientifiques de la section que pendant une semaine.

Les précautions prises dans la construction du bâtiment pour atténuer les vibrations dans les laboratoires ont été mises à l'épreuve. Il s'avère que les résultats sont conformes aux prévisions. Toutefois, certaines vibrations produites par le monte-charge et par des machines de la menuiserie sont légèrement ressenties.

Après environ trois mois de mise au point, la régulation de la température et de l'humidité donne entière satisfaction.

Cette année, les travaux sur les lasers ont été poursuivis dans les domaines suivants : étude de la reproductibilité et de la stabilité, entretien de lasers émettant certaines des radiations recommandées, étude théorique et expérimentale des cavités.

3.1. — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne ($\lambda = 633 \text{ nm}$)

La conservation de la fréquence de ces lasers est assurée au BIPM depuis plus de dix années à environ $\pm 3 \times 10^{-11}$ en valeur relative. Pour cela, le BIPM dispose de cinq lasers (^{20}Ne , $^{127}\text{I}_2$), un laser (^{20}Ne , $^{129}\text{I}_2$) et un laser (^{22}Ne , $^{129}\text{I}_2$).

Ce sont surtout les onze comparaisons internationales effectuées depuis 1974 qui nous ont permis de vérifier que cette fréquence n'avait pas subi de variation significative.

Comme l'une des principales causes des variations de fréquence semble être liée au vieillissement de certaines cuves, nous contrôlons aussi la qualité des cuves à iode de nos lasers de référence par comparaison avec des cuves remplies par différents laboratoires et à différentes époques.

1) Comparaisons de lasers

a) Entre lasers du BIPM

Le laser BIPM3 a été démonté, nettoyé et remonté ; il a été ensuite comparé au laser BIPM2 ; on a obtenu (pour $n = 6$ mesures) :

$$f(\text{BIPM3}) - f(\text{BIPM2}) = -1,5 \text{ kHz}, s = 1 \text{ kHz}.$$

b) Entre lasers du BIPM et lasers extérieurs

Un laser (JAEGER 101), inspiré des lasers du BIPM, construit par les établissements Jaeger (Courbevoie, France) pour le compte du Conseil Supérieur des Investigations Scientifiques (Espagne), a été comparé au laser BIPM2 :

$$f(\text{JAEGER 101}) - f(\text{BIPM2}) = -18,8 \text{ kHz},$$

écart entre deux déterminations : 3,2 kHz.

Un autre laser (ETCA-R1-84-02), construit par l'Établissement Technique Central de l'Armement (France) sur les conseils du BIPM, a aussi été contrôlé par rapport au laser BIPM2. On a obtenu :

$$f(\text{ETCA-R1-84-02}) - f(\text{BIPM2}) = +5,5 \text{ kHz}, s = 1 \text{ kHz}, n = 6.$$

2) Intervalles de fréquence

Un effort particulier a encore été fait cette année sur les intervalles de fréquence (1).

(1) BIPM Com. Cons. Déf. Mètre, 7, 1982, Annexe M 5, pp. M 65-M 75 et Documents concerning the new definition of the metre. *Metrologia*, 19, 1984, pp. 163-178.

a) $^{127}\text{I}_2$, R(127) 11-5

Nous avons construit un laser (BIPM8) dont la longueur l de la cavité optique est de l'ordre de 16 cm $\left(\frac{c}{2l} \approx 937 \text{ MHz}\right)$. Cela nous a permis pour la première fois au BIPM d'observer les quatorze composantes de a (a_{21}) à n (a_8) de la raie R(127) 11-5 de $^{127}\text{I}_2$ (fig. 3) et de mesurer les intervalles de fréquence entre chacune d'elles et la composante i (a_{13}) prise comme référence.

Nous avons effectué trois déterminations; les valeurs obtenues confirment les valeurs admises compte tenu de l'estimation de notre écart-type : environ 15 kHz.

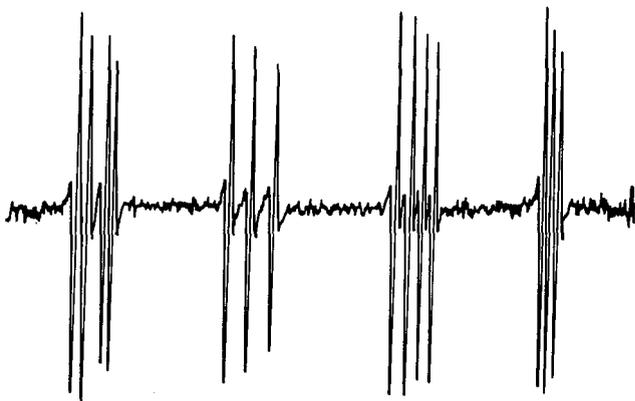


Fig. 3. — Absorption saturée de l'iode 127 à $\lambda = 633 \text{ nm}$:
spectre de la raie R(127) 11-5, avec de gauche à droite
(sens des fréquences croissantes) les composantes hyperfines n (a_8) à a (a_{21}).

La courbe représente le troisième harmonique de la modulation de l'intensité lumineuse émise par le laser en fonction de la longueur de la cavité.

b) $^{129}\text{I}_2$, P(33) 6-3

Nous avons effectué une nouvelle détermination de l'intervalle de fréquence entre la composante B (e_2) de la raie P(33) 6-3 de $^{129}\text{I}_2$ et la composante i (a_{13}) de la raie R(127) 11-5 de $^{127}\text{I}_2$; nous avons obtenu :

$$f(^{129}\text{I}_2, \text{B}, 10^\circ\text{C}) - f(^{127}\text{I}_2, \text{i}, 10^\circ\text{C}) = 988,310 \text{ MHz}, s = 7 \text{ kHz}.$$

Dans les mêmes conditions, nous avons obtenu :

$$\begin{array}{ll} \text{en octobre 1977} & : 988,308 \text{ MHz,} \\ \text{octobre 1980} & : 988,312 \text{ MHz.} \end{array}$$

Les valeurs des intervalles de fréquence entre les composantes A (e_1) et C (e_3) par rapport à B (e_2) ont été aussi confirmées.

c) $^{129}\text{I}_2$, P(69) 12-6

En prenant la composante k (a_{28}) de la raie P(54) 8-4 comme référence, nous avons déterminé les valeurs des intervalles de fréquence avec quinze composantes de o' (b_{22}) à a' (b_{36}) de la raie P(69) 12-6 de $^{129}\text{I}_2$.

Les résultats obtenus sont donnés au tableau I.

TABLEAU I

Intervalles de fréquence entre quinze composantes hyperfines de la raie P(69) 12-6 de $^{129}\text{I}_2$ et la composante k (a_{28}) de la raie P(54) 8-4 de $^{129}\text{I}_2$

Composante	$f(b_n) - f(a_{28})$	Composante	$f(b_n) - f(a_{28})$
b_{22} o'	532,62 MHz	b_{30} g'	632,40 MHz
b_{23} n'	536,57	b_{31} f'	644,06
b_{24} m'	545,07	b_{32} e'	655,46
b_{25} l'	560,87	b_{33} d'	666,99
b_{26} k'	566,21	b_{34} c'	692,40
b_{27} j'	586,25	b_{35} b'	697,95
b_{28} i'	601,75	b_{36} a'	705,41
b_{29} h'	620,82		

L'écart-type estimé de ces déterminations est de 20 kHz, alors qu'il était de quelques mégahertz dans les déterminations antérieures (¹).

d) $^{127}\text{I}^{129}\text{I}$, P(33) 6-3

En prenant la même référence que ci-dessus, nous avons déterminé, avec un écart-type estimé de 20 kHz, les valeurs des intervalles de fréquence avec six composantes de v' (m_{43}) à p' (m_{48}) de la raie P(33) 6-3 de la molécule mixte $^{127}\text{I}^{129}\text{I}$. Les résultats obtenus sont donnés au tableau II.

TABLEAU II

Intervalles de fréquence entre six composantes hyperfines de la raie P(33) 6-3 de $^{127}\text{I}^{129}\text{I}$ et la composante k (a_{28}) de la raie P(54) 8-4 de $^{129}\text{I}_2$

Composante	$f(m_n) - f(a_{28})$	Composante	$f(m_n) - f(a_{28})$
m_{43}	456,71 MHz	m_{46}	495,10 MHz
m_{44}	477,14	m_{47}	503,58
m_{45}	486,36	m_{48}	515,07

3) Comparaisons de cuves à iode

a) La cuve BIPM11, confiée au CSMU (Tchécoslovaquie) en 1977, a été contrôlée. Cette cuve a été montée dans la cavité optique du laser

BIPM4' ; le résultat de la comparaison avec le laser BIPM2 est :

$$f(\text{BIPM4}') - f(\text{BIPM2}) = - 55 \text{ kHz}, s = 5 \text{ kHz}, n = 4.$$

En 1976, peu de temps après son remplissage, nous n'avions pas observé de décalage significatif de la fréquence.

b) Un laser (BIPM7), dont la cavité optique permet de contrôler des cuves jusqu'à 30 cm de longueur, a été construit. Trois cuves de 20 cm ont été vérifiées ; deux remplies à l'extérieur du BIPM présentent des anomalies importantes. La troisième, BIPM36, remplie en janvier 1983, a donné de bons résultats. Avec le laser BIPM7 équipé de cette cuve, on a obtenu :

$$f(\text{BIPM7}) - f(\text{BIPM2}) = + 17 \text{ kHz}, s = 6 \text{ kHz}, n = 5.$$

La longueur de cette cuve procure un meilleur rapport signal sur bruit des pics d'absorption que celui que l'on obtient avec les cuves de 10 cm. La stabilité de fréquence du laser devrait en être notablement améliorée.

3.2. — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe ($\lambda = 612 \text{ nm}$)

Le projet d'un laser à $\lambda = 612 \text{ nm}$ asservi à l'aide d'un résonateur Perot-Fabry séparé contenant la cuve à iode a été remis à plus tard, en faveur d'un autre dispositif qui ne comprend qu'un aller et retour du faisceau laser dans la cuve d'absorption.

Le laser sans cuve à iode, dont la puissance est de $500 \mu\text{W}$ (Rapport 1984, p. 44), a été asservi sur différentes composantes hyperfines des raies P(48) 11-3 et R(47) 9-2 de $^{127}\text{I}_2$. Les influences des paramètres habituels (pression de l'iode et amplitude de la modulation) ont été déterminées. La stabilité à court terme a été mesurée par battement avec un laser comportant une cuve interne.

La disposition des composants est indiquée sur la figure 4.

Le faisceau de retour est détourné par l'isolateur optique composé de deux polariseurs et d'un rotateur à effet Faraday. L'un des polariseurs est utilisé comme séparateur polarisant. Il permet de recueillir le faisceau de retour pour l'asservissement.

On a observé les composantes hyperfines situées entre $- 223 \text{ MHz}$ et $+ 126 \text{ MHz}$ par rapport à la composante $o(a_7)$ (fig. 5). Cet intervalle correspond à l'écart de fréquence entre deux modes du laser.

On a remarqué que l'amplitude de la composante b_{15} de la transition de rotation-vibration P(48) 11-3, rapportée à celle de la transition R(47) 9-2, est plus grande qu'en cuve interne. Cette observation confirme les résultats de Bertinnetto *et al.* (IMGC) présentés à la CPEM 1984. Ces mesures ont été faites en utilisant d'abord le premier, puis le troisième harmonique de la fréquence de modulation à 4 kHz .

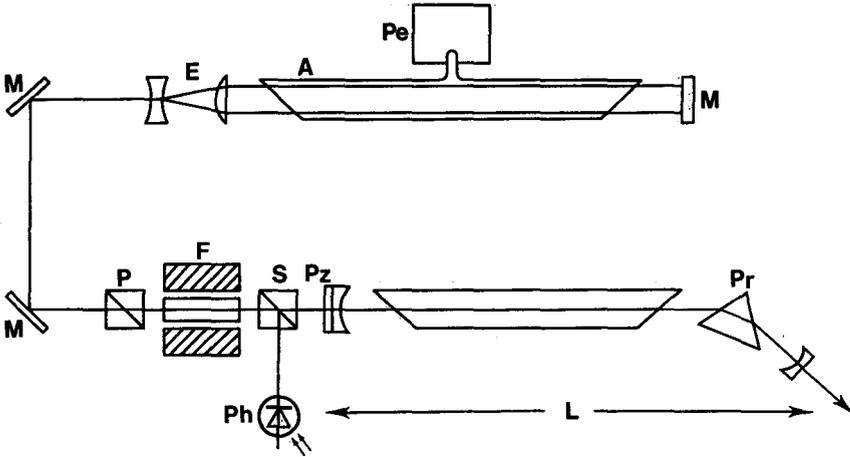


Fig. 4. — Laser à He-Ne à $\lambda = 612$ nm asservi sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe.

L, laser; Pr, prisme; Pz, céramique piézoélectrique; S, séparateur polarisant; Ph, photodiode; F, rotateur de Faraday; P, polariseur; M, miroirs; E, extenseur de faisceau; A, cuve d'absorption (I_2); Pe, élément Peltier.



Fig. 5. — Spectre d'absorption saturée (troisième harmonique) de composantes hyperfines de deux raies de $^{127}I_2$ à $\lambda = 612$ nm (laser à He-Ne à cuve externe).

La variation de la fréquence en fonction de l'amplitude de modulation dépend de la pression dans la cuve à iode (fig. 6). L'écart-type des mesures de battement est minimal à une pression voisine de 4 Pa (0 °C). A cette pression, la pente est environ -3 kHz/MHz et la variation de fréquence totale entre 0,89 et 2,89 MHz (la largeur de raie étant environ 1 MHz) est inférieure à 7 kHz. Ce résultat est plus favorable que celui qui avait été obtenu en cuve interne (Rapport BIPM-82/4).

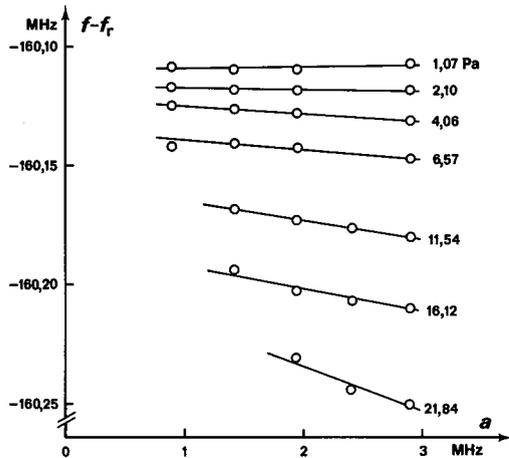


Fig. 6. — Variation de la fréquence en fonction de l'amplitude de modulation pour diverses valeurs de la pression d'iode.

En abscisses : a , amplitude de modulation crête à creux ; en ordonnées : différence entre la fréquence f du laser étudié, asservi sur la composante b_{15} de la raie P(48) 11-3 de $^{127}\text{I}_2$ (cuve externe) et la fréquence f_r du laser de référence, asservi sur la composante a_7 de la raie R(47) 9-2 de $^{127}\text{I}_2$ (cuve interne).

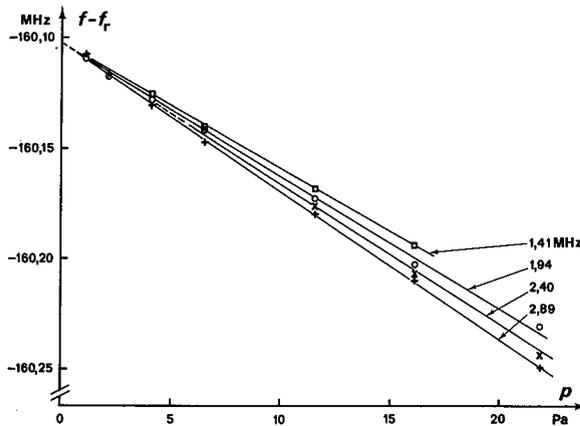


Fig. 7. — Variation de la fréquence en fonction de la pression d'iode pour diverses valeurs de l'amplitude de modulation crête à creux.

En abscisses : p , pression d'iode ; en ordonnées : différence de fréquence telle qu'elle est définie à la figure 6.

La variation de la fréquence en fonction de la pression d'iode dépend de l'amplitude de modulation (*fig. 7*). Elle est linéaire entre 1 et 22 Pa avec des pentes de 5,7 à 6,8 kHz/Pa pour des amplitudes de modulation (crête à creux) de 1,41 à 2,89 MHz. Aux pressions supérieures à 5 Pa, ces résultats correspondent à peu près à ceux obtenus avec d'autres lasers. Par contre, aux pressions inférieures à 5 Pa, on a observé des non-linéarités à $\lambda = 633 \text{ nm}$ ⁽²⁾ et à $\lambda = 640 \text{ nm}$ ⁽³⁾ avec des lasers à cuve interne.

La courbe représentative de l'écart-type d'Allan relatif en fonction de la durée d'échantillonnage, pour la différence de fréquence de deux lasers (le laser à cuve externe et un laser à cuve interne), est semblable à celle des lasers à $\lambda = 633 \text{ nm}$ (*fig. 8*). Avec deux lasers à cuve externe, on devrait obtenir des résultats encore meilleurs.

Un deuxième laser à cuve externe est en construction.

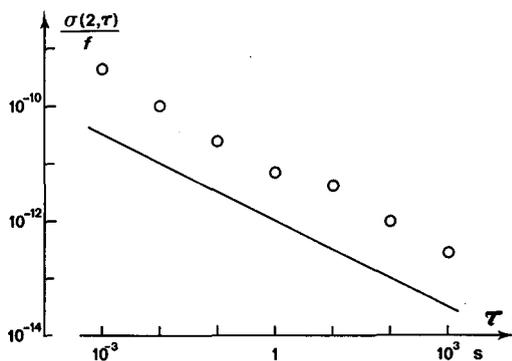


Fig. 8. — Écart-type d'Allan relatif, pour la différence de fréquence de deux lasers, l'un à cuve externe et l'autre à cuve interne, en fonction de la durée d'échantillonnage.

Les points représentent les valeurs observées ; la pente de la droite correspond à une décroissance en $\tau^{-1/2}$.

3.3. — Autres lasers à He-Ne asservis ($\lambda = 633 \text{ nm}$)

1) Laser asservi sur le « Lamb dip »

Le laser Spectra-Physics, type 119, utilisé à la section des longueurs a été réétalonné par battement avec un laser asservi sur l'iode ^{127}I . En admettant pour ce dernier la longueur d'onde recommandée dans la Mise en pratique de la définition du mètre, on a obtenu

laser N° 418 : $\lambda = 632\,991\,449,0 \text{ fm}$, $s = 0,4 \text{ fm}$ (mars 1985).

⁽²⁾ GLÄSER, M. Frequency shifts at low iodine pressure of $^{127}\text{I}_2$ -stabilized He-Ne lasers at 633 nm wavelength. *Metrologia*, **18**, 1982, pp. 53-58.

⁽³⁾ ZHAO, K.G., BLABLA, J. and HELMCKE, J. $^{127}\text{I}_2$ -stabilized ^3He - ^{22}Ne laser at 640 nm wavelength. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-34**, 1985, pp. 252-256.

L'augmentation de longueur d'onde déjà observée se poursuit régulièrement.

2) *Laser asservi sur deux modes*

La stabilité de la fréquence d'un laser asservi sur deux modes, appartenant au LHA (Orsay), a été contrôlée par rapport à un de nos lasers de référence. On a estimé sa stabilité relative à 1×10^{-8} sur plusieurs heures. Ce résultat est excellent étant donnée la simplicité de ce laser.

3) *Laser asservi en température*

Nous avons amélioré les performances de ce laser (Rapport 1984, p. 45) en utilisant une thermistance de meilleure qualité et en choisissant mieux son emplacement par rapport au chauffage qui est utilisé pour maintenir la fréquence stable. D'autre part, la température interne du laser a pu être ramenée de 65 à 55 °C en augmentant les échanges de chaleur avec l'extérieur.

3.4. — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane en cuve interne ($\lambda = 3,39 \mu\text{m}$)

1) *Lasers à cavité « classique »*

Les difficultés d'approvisionnement et les problèmes liés à l'utilisation de modèles commerciaux en métrologie (mélange d'hélium et de néon inadéquat notamment) nous ont contraints à intervenir sur les tubes à décharge de nos lasers de référence (BICH4.3 et BICH4.6) qui, de toute façon, étaient devenus inutilisables par suite de l'évolution du mélange gazeux.

L'adjonction d'une pompe à sorption (jouant le rôle de « getter » régénérable) et d'un robinet (permettant la modification à volonté du mélange d'hélium et de néon), nous assure maintenant la disponibilité de tubes performants dont les caractéristiques principales sont la coïncidence quasi parfaite entre la raie d'émission du néon et la raie d'absorption du méthane, la plage importante du courant de décharge correspondant à un fonctionnement sans bruit (de 1,8 à 14,5 mA) et la durée de vie suffisante pour nos expériences (environ 1 an).

L'installation que nous avons réalisée (fig. 9) nous permet de mesurer, par battement, les différences de fréquence des lasers BICH4.3, BICH4.6 et « OPTIMAL ». Nous avons pu ainsi étudier en détail, pour chaque laser de référence, l'effet de modulation pour différentes valeurs du courant dans le tube à décharge et l'effet de puissance. Nous avons également eu l'idée d'asservir les lasers par l'une ou l'autre de leurs sorties tout en maintenant les photodétecteurs en place. Ces expériences qui, à notre connaissance, n'avaient jamais été faites auparavant, nous

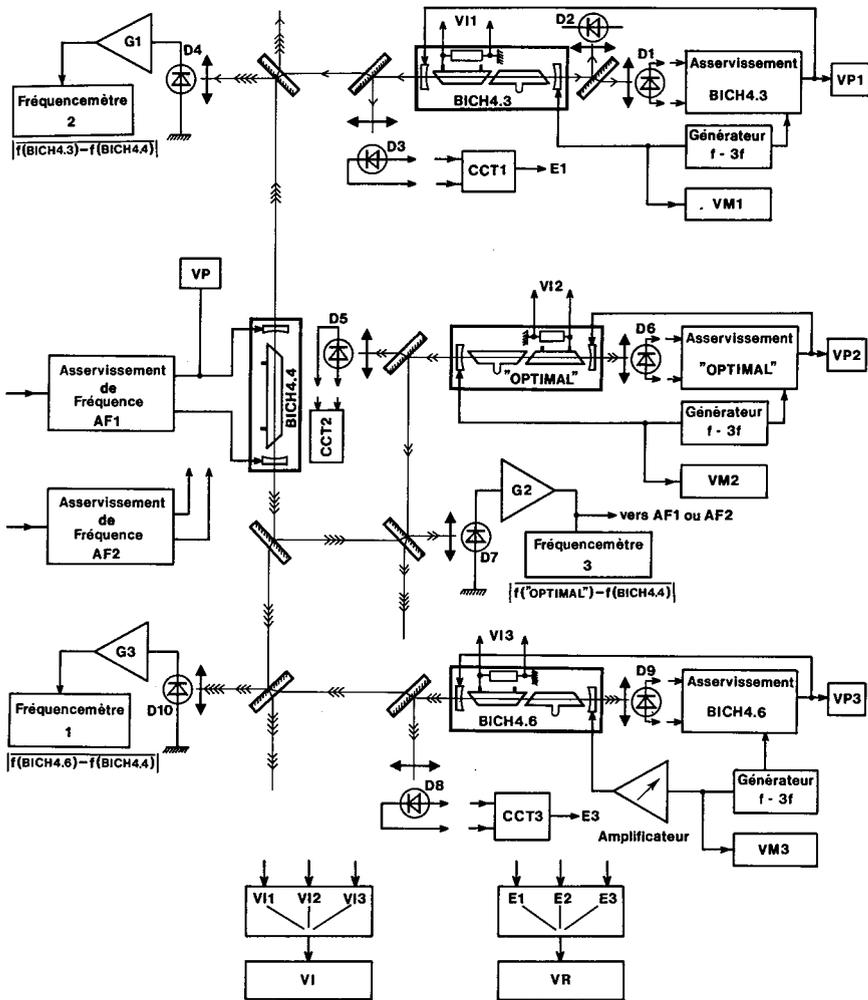


Fig. 9. — Schéma général de l'expérience.

BICH4.3, BICH4.6, « OPTIMAL », lasers à He-Ne asservis sur la raie d'absorption saturée du méthane; BICH4.4, laser esclave; D1 à D10, photodétecteurs à InAs; G₁, G₂, G₃, amplificateurs de tension; VP, VP1, VP2, VP3, voltmètres mesurant les tensions de correction appliquées sur les céramiques piézoélectriques des lasers; VM₁, VM₂, VM₃, voltmètres mesurant les tensions appliquées pour la modulation de longueur des cavités; VI, voltmètre mesurant les tensions proportionnelles aux courants de décharge des tubes à He-Ne; VR, voltmètre mesurant les tensions proportionnelles aux intensités lumineuses des rayonnements laser.

ont conduits à tracer les réseaux de courbes de la figure 10 (effet de modulation pour différents courants dans le tube à décharge) et ceux de la figure 11 (effet de puissance), dont l'analyse nous permet de tirer les conclusions suivantes :

1) La fréquence de la radiation émise dépend de la sortie du résonateur que l'on utilise pour l'asservissement. Pour un courant donné dans le tube à He-Ne, elle est plus basse lorsque le laser est asservi à l'aide du photodétecteur placé sur la sortie côté cuve. La différence de fréquence qui résulte de l'utilisation de l'une ou l'autre des sorties diminue avec le courant dans le tube à décharge sans toutefois tendre vers zéro lorsqu'on extrapole les courbes d'effet de puissance à intensité lumineuse rayonnée nulle.

2) Le signe et l'amplitude de la variation de fréquence de la radiation émise, en fonction de la largeur de modulation, dépendent du courant dans le tube à décharge.

3) L'allure des courbes d'effet de modulation semble être liée à la géométrie de la cavité.

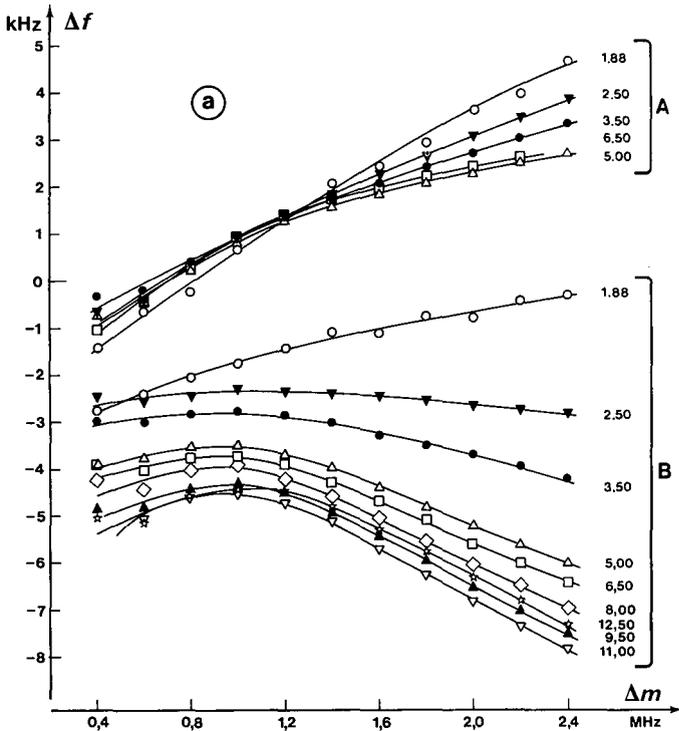


Fig. 10. — Effet de modulation pour différents courants d'excitation dans le tube amplificateur.

a : laser BICH4.3.

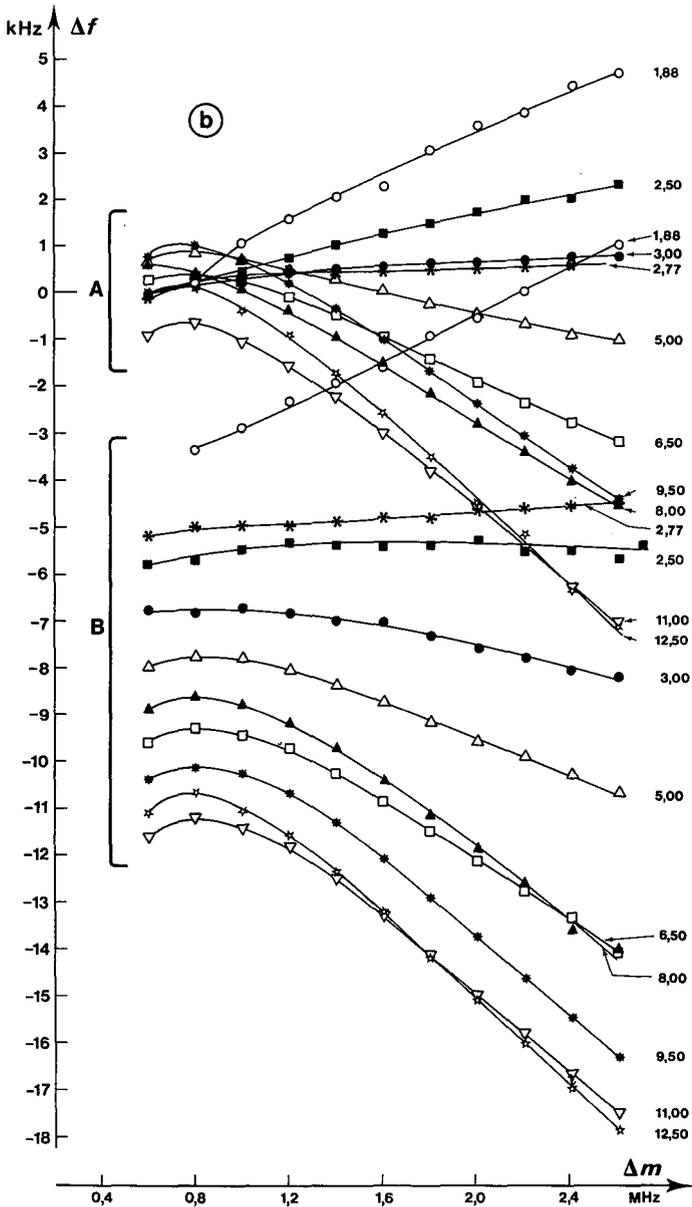


Fig. 10. — Effet de modulation pour différents courants d'excitation dans le tube amplificateur.

b : laser BICH4.6.

Référence : laser « OPTIMAL » ; photodétecteur côté tube, $I = 7,00$ mA.

A : asservissement à l'aide du photodétecteur « côté tube » ;

B : asservissement à l'aide du photodétecteur « côté cuve ».

Le paramètre correspondant à chaque courbe est la valeur en milliampères du courant d'excitation du tube amplificateur du laser étudié.

En abscisses, amplitude crête à creux de modulation ; en ordonnées, différence entre la fréquence du laser étudié et celle du laser « OPTIMAL ».

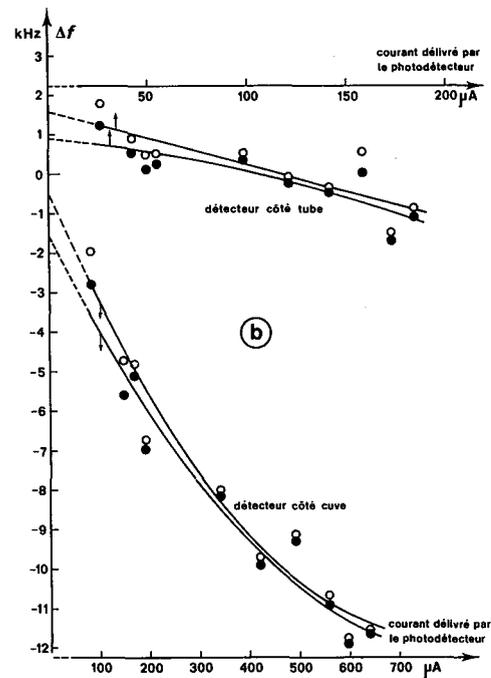
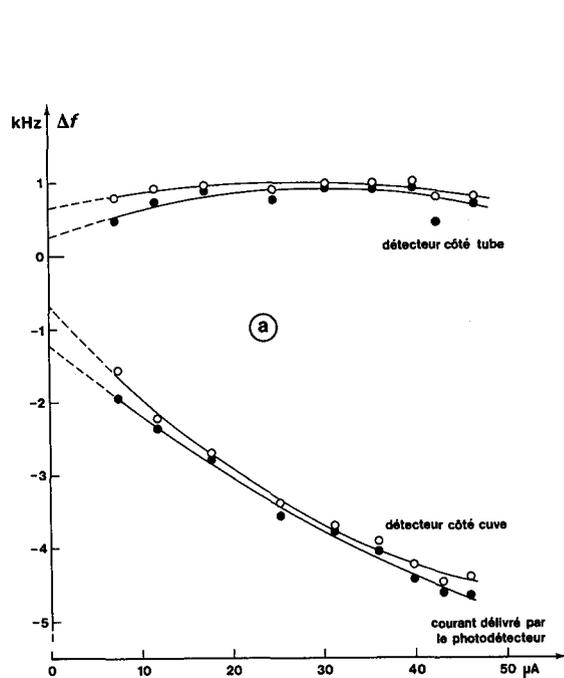


Fig. 11. — Effet de puissance.

a : laser BICH4.3 ; *b* : laser BICH4.6.

Référence : laser « OPTIMAL », photodétecteur côté tube, $I = 7,00$ mA.

Les courbes supérieure et inférieure de chaque couple correspondent aux paraboles des moindres carrés ajustées respectivement sur les limites supérieures (cercles blancs) et inférieures (cercles noirs) de l'incertitude estimée.

En abscisses, courant moyen délivré par le photodétecteur ; en ordonnées, différence entre la fréquence du laser étudié et celle du laser « OPTIMAL ».

4) La fréquence de la radiation émise par le laser est moins sensible aux variations du courant dans le tube à décharge lorsqu'on utilise, pour l'asservissement, le photodétecteur placé côté tube.

Ces résultats, qui font partie d'un travail publié par ailleurs (4), montrent que les signaux d'absorption saturée obtenus à chacune des extrémités du laser ne sont pas identiques et que leurs caractéristiques dépendent fortement des conditions de fonctionnement du milieu amplificateur et de la géométrie de la cavité.

Ces résultats soulèvent un problème qui nous semble important. En effet, même si l'on maintient le laser dans des conditions de fonctionnement répétitives, à long terme, on doit s'attendre à une évolution du mélange d'hélium et de néon donc à une dérive de fréquence de la radiation émise due au changement des caractéristiques du milieu amplificateur.

De tels effets sont susceptibles d'expliquer, en partie, la dispersion des mesures absolues de la fréquence du méthane. Ils pourraient aussi conduire à remettre en cause l'incertitude admise avec laquelle on peut réaliser le mètre à partir d'étalons de ce type et à définir plus précisément les conditions d'utilisation du laser à He-Ne asservi sur la raie d'absorption saturée du méthane.

2) Laser à cavité optimale

Nous avons montré (Rapports 1983, pp. 38-40 et 1984, pp. 45-46) que les variations relatives de la dimension transversale du faisceau dues à l'effet de lentille dans les gaz, au voisinage d'une raie d'absorption saturée, sont de la forme : $\Delta w/w \approx c_a F_1$ où c_a représente la convergence linéique du milieu absorbant et F_1 un polynôme en L (L , longueur optique du résonateur) dont les coefficients sont fonction des paramètres géométriques de la cavité (R_1, R_2 , rayons de courbure respectifs des miroirs M_1 et M_2 ; ℓ_a , longueur optique du milieu absorbant; ℓ_o, ℓ_i , longueurs optiques des espaces libres respectivement entre M_1 et le milieu absorbant et entre le milieu absorbant et le milieu amplificateur).

Le choix judicieux de $L, R_1, R_2, \ell_a, \ell_o$ permet alors d'annuler F_1 , donc de minimiser le rôle de l'effet de lentille dans les gaz et son effet perturbateur sur la fréquence de la radiation émise. Un laser dont les paramètres géométriques répondent à la relation $F_1 = 0$ est appelé laser à cavité optimale.

« OPTIMAL » est un laser à cavité optimale, spécial (Rapport 1984, pp. 45-46), dans lequel les longueurs ℓ_o et ℓ_i sont suffisamment grandes pour que la cuve d'absorbant, montée sur un chariot mobile, puisse

(4) FELDER, R. Étude de paramètres affectant la reproductibilité et la répétabilité de fréquence des lasers à hélium-néon asservis, en cuve interne, sur une raie d'absorption saturée. *BIPM Rapport BIPM-85/7*, juillet 1985, 100 pages et Mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur CNAM, Paris, juillet 1985.

être déplacée longitudinalement de façon importante afin de faire varier significativement la valeur et le signe de F_1 .

Au moyen de l'installation représentée à la figure 9, nous avons étudié sur « OPTIMAL » l'effet de modulation pour différentes positions de la cuve à méthane dans la cavité. Les résultats que nous avons obtenus sont reportés sur la figure 12. Les conclusions principales que nous pouvons tirer de ces mesures sont les suivantes :

1) Pour les amplitudes crête à creux de modulation supérieures à 1,0 MHz, les réseaux de courbes montrent de manière probante l'évolution de la dissymétrie du pic d'absorption saturée en fonction de ℓ_o . Pour chaque sortie du résonateur, il existe une valeur de ℓ_o pour laquelle l'effet de modulation est minimal et qui correspond à $\ell_o, \text{max} - 70$ mm lorsqu'on utilise, pour l'asservissement du laser, le photodétecteur placé côté cuve et à $\ell_o, \text{max} - 60$ mm dans l'autre cas. Ces deux valeurs ne sont donc pas très éloignées de la valeur théorique que l'on a calculée [$\ell_o, \text{max} - (60,7 \pm 1,2)$ mm] et pour laquelle F_1 est nul. Ces résultats constituent donc une confirmation de la validité du modèle théorique que nous avons établi.

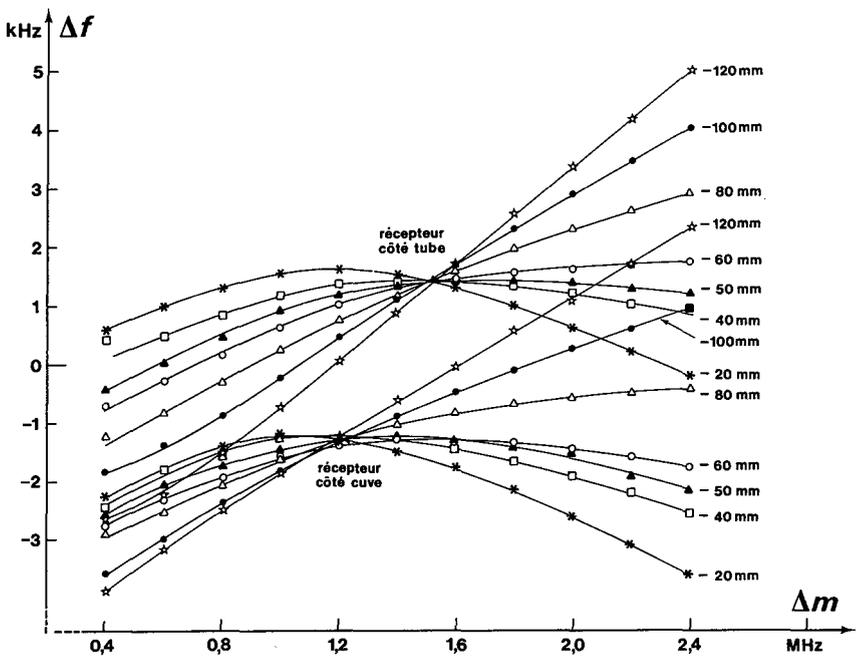


Fig. 12. — Effet de modulation sur le laser « OPTIMAL » pour différentes valeurs de la longueur de l'espace libre ℓ_o .

Les valeurs qui figurent à proximité de chaque courbe sont celles de $\ell_o - \ell_o, \text{max}$, où ℓ_o, max est la valeur maximale de ℓ_o .

En abscisses, amplitude crête à creux de modulation ; en ordonnées, différence entre la fréquence du laser « OPTIMAL » et la moyenne des fréquences des lasers BICH4.3 et BICH4.6 utilisée comme référence.

2) Pour des amplitudes crête à creux de modulation inférieures à 1,0 MHz, il semble évident qu'il existe d'autres phénomènes qui contribuent à la dissymétrie du pic d'absorption saturée et qui masquent totalement le rôle de l'effet de lentille dans les gaz. Leur origine n'est pas connue pour l'instant.

3) La fréquence de la radiation émise est plus basse lorsqu'on utilise, pour l'asservissement du laser, le photodétecteur placé côté cuve, ce qui confirme les résultats obtenus sur nos lasers de référence BICH4.3 et BICH4.6.

3) Comparaison avec l'IMPR (Moscou)

Une comparaison entre les lasers du BIPM et celui de l'Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques (IMPR), Moscou, a eu lieu au BIPM du 21 mai au 9 juin 1985. Les physiciens de l'IMPR avaient apporté un laser à He-Ne avec cuve d'absorbant intérieure à la cavité pilotant, avec un décalage de fréquence constant de 2,5 MHz, un laser esclave dont la fréquence a été comparée à celles de BICH4.3 et BICH4.6 par l'intermédiaire de notre laser auxiliaire BICH4.4. La réduction des mesures est en cours.

Ces physiciens ont fait don au BIPM d'une cuve à méthane et d'un tube à He-Ne qui nous ont permis de construire un autre laser de référence dont la fréquence a été comparée à celles de BICH4.3 et BICH4.6.

Après une étude approfondie de ses caractéristiques, ce laser pourrait être utilisé comme étalon voyageur entre les laboratoires qui disposent d'une installation de mesure absolue de la fréquence du méthane. Des contacts ont été pris dans ce sens avec le LPTF (France) et le NPL (Royaume-Uni).

3.5. — Approvisionnement en tubes à décharge et en cuves d'absorption

1) Tubes à décharge à $\lambda = 633 \text{ nm}$

Les tubes GLT20-40, construits par NEC (Japon), comportant deux getters et dont la pression totale du gaz est environ 333 Pa, donnent entière satisfaction. Leur durée de vie peut être estimée à environ 5 000 h. Nous avons organisé une troisième commande groupée ; pour cela, nous nous sommes mis en rapport avec vingt-cinq laboratoires.

2) Tubes à décharge à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$

La qualité des tubes décrite dans le précédent Rapport (p. 49) a été améliorée en utilisant des cathodes récupérées sur d'anciens tubes Spectra-Physics 119, mais aussi par l'adjonction d'une pompe à sorption réactivable. Des tubes de ce type, possédant un robinet, ont fonctionné parfaitement pendant plusieurs mois.

D'autre part, l'emploi de fenêtres en fluorine à la place de fenêtres en silice s'est révélé efficace.

3) *Cuves à iode pour $\lambda = 633$ nm*

Cette année, nous avons rempli deux séries de quatre cuves. Les études systématiques effectuées au BIPM nous ont permis de conclure que les décalages de fréquence observés sur certaines cuves semblaient provenir de la présence dans ces cuves de traces de produits de nettoyage.

Sur ces deux séries de cuves, nous avons effectué deux types de nettoyage. Aujourd'hui, nous pouvons dire qu'un nettoyage au mélange sulfochromique, suivi de rinçages à l'eau distillée puis à l'alcool pur semble donner de bons résultats. Par contre, un nettoyage avec une solution aqueuse d'acide fluorhydrique immédiatement après le nettoyage au mélange sulfochromique conduit à des décalages de fréquence de l'ordre de 100 kHz.

4) *Cuves à méthane pour $\lambda = 3,39$ μm*

Des essais ont été effectués avec des cuves munies de fenêtres en fluorine. La transparence de la fluorine à $\lambda = 3,39$ μm est très supérieure à celle de la silice habituellement utilisée. Ces cuves associées aux tubes à décharge précédemment décrits ont permis d'obtenir des contrastes du pic d'absorption de l'ordre de 12 %, encore jamais atteints au BIPM. Malheureusement, à l'heure actuelle, la qualité de ces cuves se dégrade rapidement soit à cause de microfuites à travers le film de colle qui fixe les fenêtres sur le corps de la cuve, soit à cause d'un dégazage insuffisant ; en effet, pour limiter les contraintes mécaniques sur la fluorine, ce dégazage est effectué à faible température, environ 150 °C.

4. Masses (G. Girard, T. J. Quinn)

L'activité de la section a porté principalement sur la vérification des étalons qui nous ont été soumis à cet effet et sur la poursuite de l'étude de la balance à suspensions flexibles.

Pour les pesées effectuées avec la balance hydrostatique, pour laquelle on bénéficie d'une détermination automatique des élongations maximales et minimales, ainsi que cela était envisagé (Rapport 1984, p. 50), nous déterminons maintenant la position d'équilibre au moyen d'un ajustement (sur deux pseudo-périodes pour les pesées dans l'air, sur quatre pour les pesées dans l'eau) des paramètres d'une fonction qui exprime une décroissance exponentielle de l'amplitude des oscillations : le terme constant de cette fonction est la position d'équilibre cherchée.

Par ailleurs, une étude particulière a été effectuée sur la balance NBS-2 afin de déterminer s'il était préférable, après avoir déposé l'étalon sur le plateau, de commencer à faire les lectures en éliminant seulement

la première oscillation, ou d'attendre quelques minutes pour que les possibles déplacements d'air dus au mouvement vertical du transporteur se soient amortis.

Cette étude a été effectuée un dimanche (14 octobre 1984) de manière à bénéficier d'un niveau de perturbations mécaniques plus faible qu'en semaine. Elle a consisté à poser un étalon sur le plateau, à faire un premier groupe de lectures A durant quatre oscillations, puis, les oscillations de la balance n'étant pas arrêtées, à faire un second groupe de lectures B dix minutes après le début du premier groupe. L'étalon était ensuite soulevé puis reposé sur le plateau et ainsi de suite pendant cinq heures et demie.

Chaque groupe de lectures A ou B permet de calculer une position d'équilibre moyenne e_A ou e_B . On obtient ainsi deux ensembles E_A et E_B de positions d'équilibre. Les paramètres d'une fonction polynôme du quatrième degré ont été ajustés pour chacun de ces ensembles E_A et E_B .

L'écart-type des différences entre les positions d'équilibre observées et les valeurs déduites de l'ajustement est de $0,63 \mu\text{g}$ pour l'ensemble E_A (lectures faites immédiatement après le dépôt de l'étalon sur le plateau) et de $0,50 \mu\text{g}$ pour l'ensemble E_B (lectures faites dix minutes après). Il semblerait donc préférable d'attendre avant de faire les lectures mais cela conduirait à tripler la durée d'une pesée qui est actuellement de deux heures et demie environ, ce qui n'est pas possible dans les conditions présentes. On a pu constater d'autre part que, pendant trois heures, l'écart-type des différences entre les positions d'équilibre moyennes e_B (calculées à partir de groupes de lectures B faites à intervalles de 15 min) et les valeurs déduites de l'ajustement des paramètres d'une fonction polynôme du second degré n'était que de $0,29 \mu\text{g}$. Ces différences sont représentées à la figure 13.

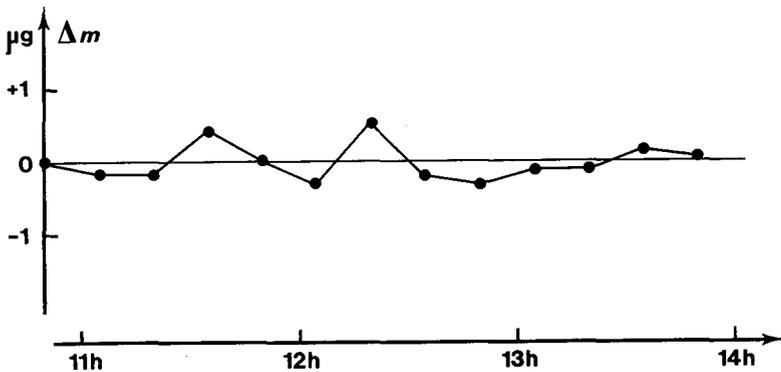


Fig. 13. — Balance NBS-2 : écarts Δm (exprimés en unité de masse) entre les positions d'équilibre observées et les valeurs calculées à partir d'une fonction du second degré ajustée sur ces positions d'équilibre.

L'écart-type de ces différences est de $0,29 \mu\text{g}$. Il serait de $4,5 \mu\text{g}$ avec une fonction de degré 0 et $0,40 \mu\text{g}$ avec une fonction de degré 1.

Cette valeur de l'écart-type est à rapprocher de celle que l'on obtient couramment sur la masse d'un étalon lors de comparaisons d'étalons du kilogramme en platine iridié, valeur qui est maintenant comprise entre 0,5 et 1,0 μg .

4.1. — Prototypes et autres étalons du kilogramme en platine iridié

Dix étalons en platine iridié sont revenus au BIPM pour y être comparés à nos étalons. Ce sont les prototypes N° 18 (Royaume-Uni), N° 23 (Finlande), N° 55 (République Démocratique Allemande), N° 52 (République Fédérale d'Allemagne), N° 57 (Inde), N° 45 (Argentine) et N° 50 (Canada) ainsi que les étalons B (NPL), N° 44[●] et JM15 (INM, Paris). Les prototypes N°s 18, 23, 55 et l'étalon B ont été étudiés ensemble. Leur masse a été déterminée avant nettoyage-lavage et après chacun des trois nettoyages-lavages qu'ils ont subis et qui ont eu pour effet les variations apparentes de masse suivantes :

	Variation apparente de masse observée après chacun des trois nettoyages-lavages successifs			Variation totale	
N° 18	— 12 μg	— 9 μg	+ 2 μg	— 19 μg après	7 ans
23	— 30	— 6	— 5	— 41	37
55	— 30	— 5	+ 2	— 33	32
B	— 3	— 4	— 1	— 8	2,5

Il apparaît que l'effet du 3^e nettoyage-lavage est très faible. Par contre, celui du 2^e n'est pas négligeable. A la lumière de ces résultats, il semble indispensable d'effectuer au moins deux nettoyages-lavages.

La masse de ces étalons, déterminée après le 3^e nettoyage-lavage par comparaison à nos deux étalons d'usage courant N° 9 et N° 31, est donnée ci-dessous ainsi que les valeurs précédemment admises (excès, en microgrammes, sur la valeur nominale).

	1889	1948	1953	1978	1982	1984 avant nettoyage- lavage	1985 après nettoyage- lavage	Δ
N° 18	+ 70	+ 71		+ 59		+ 76	+ 57	— 14
23	+ 60	+ 98				+ 216	+ 175	+ 77
55			+ 208			+ 282	+ 249	+ 41
B					+ 176	+ 175	+ 167	— 9

L'étalon B a été poli et ajusté à l'outil à diamant au BIPM (Rapport 1982, p. 37).

La colonne Δ donne la variation de masse depuis la 2^e vérification périodique des étalons nationaux (1948) ou bien par rapport à la valeur originale.

On constate une forte augmentation de la masse des prototypes N° 23 et N° 55 pour laquelle nous n'avons pas d'explication pour le moment.

Le prototype N° 52 a été comparé à nos étalons d'usage courant, sans avoir subi de nettoyage-lavage. Aussitôt après, il est reparti à la PTB pour continuer de participer aux études en cours. A cette époque (décembre 1984), sa masse était

N° 52 : 1 kg + 0,244 mg.

Bien que l'étude du prototype N° 57 ne soit pas terminée, il est intéressant de noter les résultats déjà obtenus après le 2^e nettoyage-lavage (excès, en microgrammes, sur la valeur nominale) :

	1955	1985		
		avant nettoyage- lavage	après 1 ^{er} nettoyage- lavage	après 2 ^e nettoyage- lavage
N° 57 :	— 54	+ 163	— 23	— 23

Ce prototype, qui n'a pas été utilisé depuis 1955, portait, à son arrivée au BIPM, des traces très visibles (probablement dues à l'humidité) sur les deux bases et sur la surface latérale, sauf à l'endroit des pinces de l'étui de voyage ; cela explique l'effet important (— 186 µg) du 1^{er} nettoyage-lavage.

La masse des étalons N°s 44[●] et JM15, polis et ajustés par l'INM, France (Rapport 1984, p. 52), a été aussi déterminée par comparaison à nos étalons d'usage courant. Les valeurs obtenues sont :

N° 44[●] : 1 kg + 0,878 mg,
JM15 : 1 kg — 0,860 mg.

Une étude est en cours pour déterminer l'évolution de la masse d'un étalon en platine iridié après un ou plusieurs nettoyages-lavages. Cette étude fait suite à celle effectuée en 1974 sur trois étalons en platine iridié pendant 25 jours (Rapport 1974, p. 42). Le prototype N° 18 est, depuis son 3^e nettoyage-lavage (mars 1985), placé dans la balance NBS-2. Des comparaisons effectuées périodiquement par rapport à nos étalons d'usage courant, eux-mêmes conservés dans la balance, ont

donné les premiers résultats suivants :

19 mars 1985	N° 18 : 1 kg	+ 56,9 µg
1 ^{er} avril		+ 57,0
11 avril		+ 58,9
2 mai		+ 57,7
13/14 mai		+ 58,1
24 mai		+ 58,4
3 juin		+ 59,7

Cette étude sera poursuivie encore pendant plusieurs mois.

Stabilité des prototypes du kilogramme

Les deux importantes variations de masse des prototypes N° 23 et N° 55 signalées ci-dessus nous ont amenés à regarder de plus près le comportement des prototypes soumis de nouveau à notre vérification depuis la 2^e vérification périodique des prototypes nationaux (1946-1955).

Un document sur ce sujet a été présenté à la 2^e session du CCM (juin 1985).

En résumé, parmi les étalons qui avaient participé à cette 2^e vérification, 19 d'entre eux sont revenus au BIPM et ont été soumis à un nettoyage-lavage. La variation de masse de 12 d'entre eux a été inférieure à 14 µg (valeur moyenne + 0,75 µg, écart-type 8,7 µg); celle de deux autres a une explication.

Il reste cinq prototypes dont les variations de masse s'échelonnent de — 25 µg à + 77 µg pour des périodes allant de 23 à 37 ans.

La stabilité de notre prototype d'usage exceptionnel N° 25, qui sert de référence à nos deux prototypes d'usage courant, aurait besoin d'être vérifiée. Ses valeurs successives sont les suivantes :

1889	N° 25 :	1 kg + 0,107 mg	
1951		+ 0,138	(2 ^e vérification périodique)
1965		+ 0,157	(comparaison à 2 témoins).

D'autre part, quatre témoins du Kilogramme international ont montré, en 1948, une variation sensible de leur masse par rapport à celle qu'ils avaient en 1889.

Il serait donc urgent de procéder à une nouvelle détermination de la masse des témoins du Kilogramme international et des étalons d'usage du BIPM. Il serait ensuite possible d'envisager d'effectuer la 3^e vérification périodique des prototypes nationaux.

Comparaison de masses de 1 kg avec le NBS

Il avait été mentionné rapidement dans le Rapport 1984 (p. 50 et p. 52) que les prototypes N°s 4 et 20 des États-Unis d'Amérique et deux

étalons en acier CHYO-1 et D2 avaient été vérifiés au BIPM au cours du premier trimestre 1984. Des mesures retour ont été effectuées en juillet-août 1984 au NBS. Elles ont inclus aussi les étalons N° 650 en platine iridié (prêté par le BIPM) et KA (NBS) en mousse de platine agglomérée, qui ont servi de témoins au NBS pendant la comparaison. Nous disposons maintenant des résultats qui ont été présentés en détail à la 2^e session du CCM en juin 1985 et qui font l'objet du Rapport BIPM-85/8.

Les valeurs trouvées dans les deux laboratoires sont indiquées dans le tableau III.

TABLEAU III

Comparaison de masses de 1 kg avec le NBS

Résultats obtenus dans les deux laboratoires

(excès sur la valeur nominale)

Unité : μg

	BIPM			NBS		BIPM
	août 1982	avant nettoyage-lavage	après nettoyage-lavage	après nett. de CHYO-1 et D2	de 4 et 20 avant après	au retour
	août 1982	fév. 1984	mars 1984	juil. 1984	août 1984	fév. 1985
9		référence : + 305				référence
31		référence : + 128				référence
4		— 75	— 106	— 103		
20		— 1	— 22	référence : — 22		
650	— 2 256			— 2 269		— 2 264
CHYO-1		— 377	— 384	— 372	— 389	
D2		+ 13 453	+ 13 447	+ 13 471	+ 13 452	
<i>s</i>	0,6	1,2	1,3	2,1	4,8	0,7

s = écart-type provenant des pesées seules.

Les conclusions que l'on peut tirer de cette comparaison sont :

a) la masse du prototype N° 20 est la même qu'au moment de la 2^e vérification périodique des prototypes nationaux en 1948, tandis que celle du prototype N° 4 a diminué de 0,03 mg environ depuis 1889, mais cette variation peut être due à de petites rayures observées sur ce prototype ;

b) l'accord entre les valeurs données au BIPM et au NBS pour les deux étalons en acier est de l'ordre de 20 μg . Bien qu'il soit moins bon que celui que l'on aurait pu souhaiter, il est compatible avec les incertitudes données par les deux laboratoires, qui peuvent être caractérisées par un écart-type de 15 μg .

Comparaison de masses de 1 kg avec le NRLM

A l'occasion d'une réunion du Technical Committee 3 (Force et Masse) d'IMEKO et d'une réunion du Groupe de travail Masse-5 (masses volumiques de liquides et solides) du CCM au Japon, en septembre 1984, G. Girard a organisé une comparaison d'étalons de masse avec le NRLM.

Une telle comparaison avait déjà eu lieu en décembre 1979 mais dans de mauvaises conditions car, à cette époque, le NRLM était en cours de déménagement. Une nouvelle comparaison avait été souhaitée. Elle devenait d'autant plus intéressante que le NRLM dispose maintenant d'une balance moderne de portée 1 kg avec laquelle un écart-type inférieur à 1 μ g peut être obtenu.

Les étalons du BIPM entrant dans cette comparaison sont les prototypes d'usage courant N° 9 et N° 31 servant de référence, les étalons en platine iridié N° 63 et N° 67 et les étalons en acier « Nicral D » N2 et N3. Ils ont été comparés ensemble au BIPM, puis les étalons N° 63, N° 67 et N2 ont participé à des pesées, au NRLM, avec le prototype japonais en platine iridié N° 6.

A leur retour au BIPM, les étalons N° 63, N° 67 et N2 ont été de nouveau comparés à nos étalons d'usage courant N° 9 et N° 31 et à l'étalon N3.

Les résultats définitifs obtenus au NRLM ne sont pas encore connus.

4.2. — Étude d'autres étalons de masse

1. — Détermination de la masse volumique et de la masse des étalons de 1 kg suivants :

— N° 83 en « Nicral D » (Ministère du Commerce et de l'Industrie, République du Cameroun) ;

— N° 1 et N° 1⁺ en acier inoxydable (Service de la Métrologie, Belgique).

2. — Détermination de la masse des étalons :

— E'2 et E'69 en Immaculate V (Institute for Industrial Research and Standards, Irlande) ;

— sans numéro de 1 kg en acier inoxydable (Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Italie) ;

— série de masses N° 100, de 100 g à 1 mg (Ministère du Commerce et de l'Industrie, République du Cameroun).

4.3. — Balance à suspensions flexibles

Les travaux se poursuivent sur la balance à suspensions flexibles (*voir* fig. 3, Rapport 1984, p. 53) qui est maintenant installée dans la salle 103.

Nous avons poursuivi l'étude de la fidélité de la balance d'après la méthode décrite précédemment (Rapport 1984, p. 54) ; nous avons trouvé un écart-type de $0,3 \mu\text{g}$ pour une série de quinze soulèvements et abaissements d'une masse de 1 kg. Les erreurs dues à l'excentration de la charge sur le plateau ont été étudiées : on n'a observé aucun effet mesurable pour des déplacements de la charge allant jusqu'à 0,1 mm parallèlement ou perpendiculairement à la lame flexible centrale. Un écart-type de $1 \mu\text{g}$ a été trouvé pour cette deuxième série de mesures et cela a confirmé l'efficacité des dispositifs de Cardan utilisés pour les suspensions des plateaux. Le fait que cet écart-type soit trois fois plus grand que celui que l'on a eu précédemment montre que la balance est assez sensible au bruit sismique. Les mesures qui ont donné un écart-type de $0,3 \mu\text{g}$ ont été faites pendant une période calme au milieu de l'été ; par contre, les mesures qui ont donné un écart-type plus grand ont été faites pendant l'hiver alors que l'amplitude des ondes du type de Rayleigh, d'origine océanique, est dix fois plus grande. Ces ondes ont en hiver une fréquence d'environ 0,2 Hz, fréquence à laquelle la balance est sensible aux accélérations horizontales et aux inclinaisons.

Nous recherchons maintenant des techniques de protection de la balance utilisant des montages antivibratoires actifs.

Nous avons construit un sismomètre-accéléromètre à suspension flexible ; malheureusement, il est aussi sensible aux inclinaisons qu'aux accélérations horizontales. Le travail continue sur un détecteur d'inclinaison pure.

Quelques améliorations de la balance sont en cours. La lampe à filament de tungstène (qui sert à éclairer les photodiodes du système d'asservissement) va être remplacée par une diode à infrarouge afin d'augmenter le rapport signal sur bruit dans les détecteurs et de permettre l'utilisation d'une détection synchrone. De cette façon, on pourra éviter les dérives de l'électronique et le bruit en $1/f$. On continue à travailler sur un asservissement numérique.

Une étude a été entreprise concernant la possibilité que la lame de la suspension flexible soit le siège de certains effets d'anélasticité qui peuvent être nuisibles au bon fonctionnement de la balance. Un calcul a été effectué sur l'efficacité d'un amortisseur cylindrique à air en vue de son application à la balance à suspensions flexibles actuellement en construction au NPL.

4.4. — Divers

Une masse de 20 g en platine iridié, ajustée et polie à l'outil à diamant, a été fournie à l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin.

Achats :

— systèmes d'acquisition de données semblables à celui précédemment décrit (Rapport 1983, p. 43) ;

- hygromètre Hygrodynamics à sonde résistive ;
- accéléromètre type 510 (Bolt, Beranek and Newman) ;
- moteurs pas à pas (Micro-Contrôle) ;
- magnétomètre (RFL Industries) ;
- détecteur synchrone (EG & G) ;
- voltmètre numérique (Keithley) ;
- analyseur de spectres basse fréquence (Takeda-Riken) ;
- amplificateur haute tension (Physik Instrumente).

5. Échelles de temps (B. Guinot)

Les travaux sur le temps atomique sont accomplis par le Bureau International de l'Heure (BIH) sous la direction de B. Guinot.

En 1984, il a été convenu entre le président de l'Observatoire de Paris et le directeur du BIPM, après consultation des nombreuses organisations concernées, que cette activité, jusque-là menée à l'Observatoire de Paris avec la participation du BIPM, devait être transférée au BIPM. A cet effet, le BIPM a engagé B. Guinot (septembre 1984), W. Lewandowski (mars 1985) et Mlle H. Konaté (avril 1985).

Après aménagement de locaux et installation de l'équipement informatique, ce transfert d'activité a été réalisé en avril 1985. L'établissement du Temps atomique international (TAI) et du Temps universel coordonné (UTC) a néanmoins été régulièrement poursuivi, sans incident ni retard. Toutes les publications à ce sujet ont paru aux dates habituelles. Mais cette réorganisation a, dans une certaine mesure, retardé les travaux de recherche.

Comme le BIPM a pour la première fois la charge totale de l'établissement du TAI, nous rappellerons d'abord sommairement l'organisation de l'ensemble des travaux.

5.1. — Établissement du TAI, organisation générale

Depuis 1977, le TAI est établi en trois étapes :

- formation d'une échelle atomique libre EAL à partir des données d'horloges, grâce à l'algorithme ALGOS,
- évaluation de la durée de l'intervalle unitaire de l'EAL,
- « pilotage » afin de déduire le TAI de l'EAL, de sorte que la durée de l'intervalle unitaire du TAI soit aussi proche que possible de la seconde au niveau de la mer.

La figure 14 résume pour ces trois étapes le traitement des données qui est appliqué chaque mois pour la publication des résultats courants de la Circulaire D et révisé pour les Rapports annuels.

Dans les travaux sur le temps, on fait souvent usage d'un décompte des jours appelé « date julienne modifiée », MJD. On désignera ci-après

par « dates normales » les dates pour lesquelles MJD se termine par 9, à 0 h UTC.

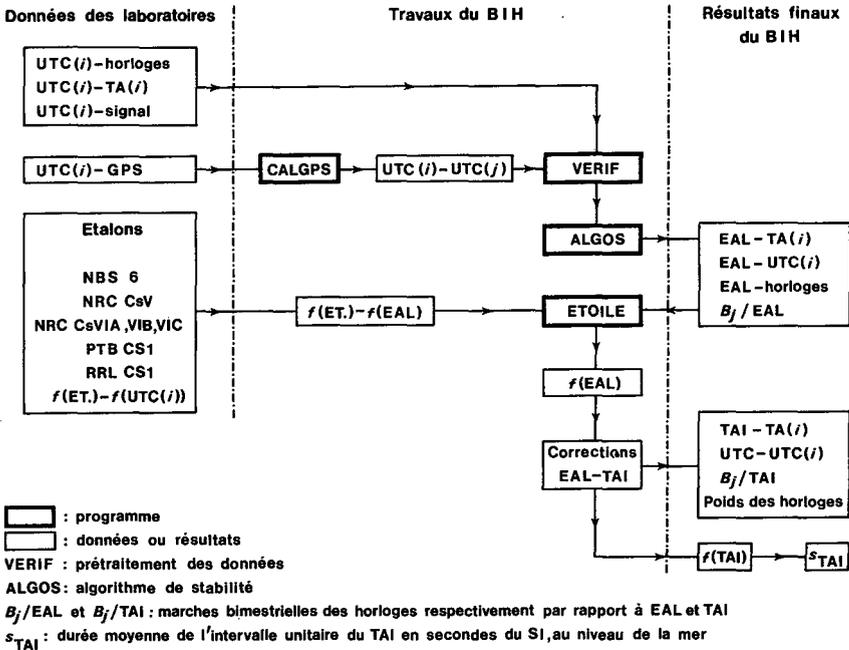


Fig. 14. — Traitement des données pour l'établissement du Temps atomique international.

Évaluation de l'EAL

Chaque laboratoire *i* a une horloge maîtresse dont la lecture fournit l'échelle UTC(*i*) à laquelle sont rapportées toutes les mesures transmises au BIH, c'est-à-dire :

- les données des horloges UTC(*i*)—horloges, lues aux dates normales,
- les temps de réception des signaux horaires UTC(*i*)—signal, en général pour chaque jour, mais dont le BIH établit la moyenne pour les dates normales,
- et, dans certains cas, des échelles de temps atomique locales indépendantes : UTC(*i*)—TA(*i*).

Les signaux du système de positionnement par satellites « Global Positioning System » (GPS), font l'objet d'un traitement particulier afin de bénéficier du gain de précision apporté par les observations simultanées. Dans ce cas, on utilise des différences du type UTC(*i*)—UTC(*j*), dont certaines sont calculées au BIH par le programme CALGPS, à partir des nombreuses données brutes d'observation.

L'ensemble de ces données pour les dates normales est soumis à un prétraitement VERIF qui permet d'en éliminer les erreurs grossières et

les anomalies et de simplifier les calculs ultérieurs ; il est ensuite soumis à l'algorithme ALGOS qui est conçu pour assurer la stabilité optimale de l'unité de l'EAL.

Cette échelle apparaît sous forme de corrections aux lectures des horloges pour les dates normales : EAL—horloge, EAL—UTC(*i*) et aussi EAL—TA(*i*). On obtient également les marches *B* des horloges relatives à l'EAL (actuellement moyennes sur deux mois). L'EAL est d'une grande uniformité, mais aucun effort n'est fait, à ce stade, pour ajuster son unité d'échelle à la seconde du SI. Cet ajustement est le but des étapes suivantes.

Évaluation de la durée de l'intervalle unitaire de l'EAL

Les données proviennent d'un certain nombre d'étalons de fréquence primaires. On ne retient que les étalons ayant une exactitude de l'ordre de 10^{-13} ou meilleurs. Les mesures de fréquence du laboratoire *i* portent sur les échelles UTC(*i*) ou TA(*i*) ; le BIH les rapporte à l'EAL, puis les traite avec un filtre qui fait l'objet du programme ÉTOILE⁽⁵⁾. Le résultat est une estimation optimale de la durée de l'intervalle unitaire de l'EAL.

Pilotage

Pour le pilotage, on utilise une relation linéaire entre le TAI et l'EAL dont la pente est ajustée par saut quand c'est nécessaire. Depuis 1977, ces sauts correspondent à un décalage de fréquence normée de 2×10^{-14} et l'intervalle minimal qui les sépare est de 60 jours.

5.2. — Pratique de l'établissement du TAI en 1985

Données

ALGOS traite maintenant les données de plus de 150 horloges appartenant à 38 centres (groupant parfois plusieurs laboratoires) situés dans 23 pays. Les étalons primaires du Canada (4 appareils), des États-Unis d'Amérique, du Japon et de la République Fédérale d'Allemagne contribuent à assurer l'exactitude du TAI.

Les liaisons horaires font de plus en plus appel au GPS qui relie 10 centres. Le LORAN-C et la télévision restent utiles pour des liaisons régionales.

Les données sont transmises au BIH par diverses techniques : courrier, télex, réseau informatique « Mark 3 » de la société General Electric. Ce dernier système permet un transfert direct sur les ordinateurs du BIH ; il est employé pour toutes les données abondantes, notamment pour celles qui proviennent du GPS.

⁽⁵⁾ AZOUBIB, J., GRANVEAUD, M. and GUINOT, B. Estimation of the scale unit duration of time scales. *Metrologia*, 13, 1977, pp. 87-93.

Résultats

ALGOS comporte une limite supérieure des poids statistiques attribués aux horloges. Cette limite correspond à la stabilité de fréquence caractérisée par l'« écart-type d'Allan »

$$\sigma(2, \tau) = 5 \times 10^{-14} \text{ pour } \tau = 2 \text{ mois.}$$

On observe qu'une proportion stable de 35 % des horloges atteignent cette limite. Une étude récente a montré qu'ALGOS avait tendance à sous-estimer les poids des meilleures horloges, si l'on considère la stabilité sur deux mois. Mais à plus long terme cette sous-estimation s'estompe et l'on a jugé préférable de ne rien changer.

Le problème toujours préoccupant est l'existence d'une fluctuation annuelle de l'EAL par rapport aux échelles de temps fournies par les horloges primaires du NRC et de la PTB. Cette fluctuation semble due en majeure partie aux horloges à césium industrielles, mais on ne peut pas exclure une contribution des horloges primaires. L'écart de fréquence normée entre l'EAL et les horloges primaires peut être modélisé par

$$\Delta f = (5 \sin 2\pi t + 1 \cos 2\pi t) \times 10^{-14},$$

t étant exprimé en année à partir du 1^{er} janvier. On observe des fluctuations du même ordre qui affectent les échelles locales indépendantes de plusieurs laboratoires utilisant des horloges industrielles.

A défaut d'une compréhension des causes physiques des termes annuels, on envisage, suivant une suggestion du NBS, de réduire les poids statistiques des horloges les plus affectées de variations annuelles.

Abstraction faite des termes annuels, la stabilité de l'EAL est très grande, comme le montre la figure 15.

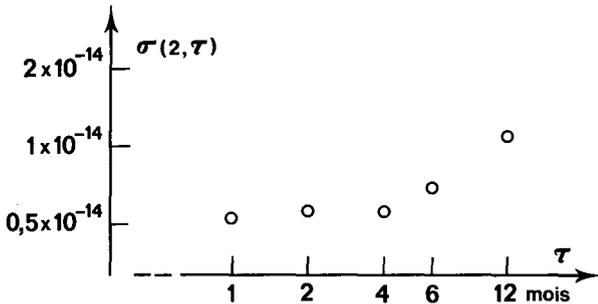


Fig. 15. — Stabilité de l'EAL, en supposant que le nombre et la qualité des horloges sont maintenus à leur niveau de janvier-février 1985.

Dans l'application du filtre ÉTOILE on corrige préalablement l'EAL de sa variation saisonnière selon le modèle donné précédemment. Le terme annuel est réintroduit à l'issue des calculs de sorte qu'il ne se trouve pas artificiellement réduit.

Le dernier saut de fréquence pour le pilotage a eu lieu le 29 février 1984. L'écart de fréquence normée entre le TAI et les étalons primaires est toujours resté inférieur à 1×10^{-13} . En moyenne, pour l'intervalle 1979,0 à 1985,0, on a

$$f(\text{TAI}) - f(\text{étalons primaires}) = - 2,0 \times 10^{-14}.$$

Publications

L'ensemble des résultats du BIH est publié dans des circulaires mensuelles (Circulaire D) et dans un Rapport annuel. Le Rapport pour 1984 a été distribué en juillet 1985.

Les circulaires E annoncent les secondes intercalaires du système de l'UTC et les circulaires F annoncent la correction DUT1 (écart arrondi au 1/10 de seconde entre l'UTC et le temps universel UT1) à transmettre avec les signaux horaires.

Utilisation du « Global Positioning System » (GPS)

Le BIH bénéficie du prêt à long terme de la part du NBS d'un récepteur horaire du GPS. D'autre part, la société Stanford Telecommunications Inc., a aussi prêté un récepteur de sa construction, de novembre 1984 à mars 1985. Ces deux instruments ont été exploités conjointement par le BIH et le Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (LPTF), à l'Observatoire de Paris, et avec l'aide de stagiaires de l'Institut Géographique National (France). L'étude des mesures est en cours. Mais il apparaît déjà que pour utiliser le GPS avec toute son exactitude possible (incertitudes inférieures à 10 ns) il faut acquérir de l'expérience et apporter des améliorations dans de nombreux domaines: modélisation d'orbites, mesures de retards, qualité des références locales. Le BIH a entrepris de s'engager activement dans l'effort de coordination mondiale des mesures par le GPS.

Relativité

La définition relativiste du TAI a été réexaminée. L'approximation « newtonienne » de la métrique des n corps, utilisée dans la déclaration du CCDS, convient pour les horloges terrestres ou proches de la Terre, pour une exactitude de fréquence normée de 1×10^{-16} . La première source de difficultés que l'on rencontrera semble être liée à la définition et à la réalisation du géoïde (à un mètre d'élévation correspond un décalage gravitationnel de fréquence normée de 1×10^{-16}). D'autre part, on a clarifié la relation entre le TAI et le temps-coordonnée barycentrique dont on a besoin en dynamique planétaire.

Travaux sur les algorithmes

En préparation à une prédiction plus élaborée des marches des horloges, on a entrepris de modifier ALGOS de façon à utiliser des

échantillons de fréquence d'un mois (au lieu de deux) et de conserver en mémoire la totalité du passé des horloges (au lieu d'un an).

On a, d'autre part, fait de premiers essais de prédiction de marches avec modélisation des fluctuations saisonnières — sans grand succès.

6. Gravimétrie (A. Sakuma)

6.1. — Études préliminaires sur la variation à long terme de la pesanteur

Il est bien connu que l'axe de rotation de la Terre oscille irrégulièrement d'environ $\pm 1 \mu\text{rad}$ avec une période voisine de 14 mois. Ce « mouvement du pôle » par rapport aux coordonnées terrestres, devrait produire une faible et lente variation de l'intensité de la pesanteur g . Cette variation peut atteindre $\pm 50 \text{ nm} \cdot \text{s}^{-2}$ ($\pm 5 \mu\text{Gal}$, soit $\pm 5 \times 10^{-9}$ en valeur relative) en sept mois aux latitudes voisines de 45° . Elle est due à la variation de la latitude d'un lieu donné (provoquée par le mouvement du pôle) qui modifie l'intensité de l'accélération axifuge due à la rotation de la Terre.

Depuis la mise au point du gravimètre absolu BIPM-JAEGER en 1984, nous avons tenté de déceler et de mesurer, au moyen de cet appareil, cette faible variation de la pesanteur Δg_p .

L'intérêt de cette expérience de longue haleine (un cycle complet a une durée de six ans) repose sur les faits suivants :

— à notre connaissance, aucune expérience analogue n'a été réalisée jusqu'à maintenant ;

— aujourd'hui, le seul moyen adéquat pour atteindre ce but est d'utiliser un ou plusieurs gravimètres absolus de hautes performances, totalement exempts de dérives instrumentales ;

— cette expérience était déjà attendue comme sujet de recherche en géophysique et les données expérimentales que l'on obtiendra permettront de déterminer quelques paramètres importants de la dynamique de la Terre, tels que le facteur de marée gravimétrique, le facteur de résonance, etc.

Grâce à la collaboration du Bureau International de l'Heure (Paris) depuis 1984, nous avons pu identifier les trois périodes ci-dessous où les valeurs extrêmes de Δg_p devraient pouvoir être observées. On a obtenu les résultats préliminaires suivants :

	Val. moy. de g observé et éc.-type de la moy.	Différences		Rapport
		observée	calculée	« obs »/« calc »
Mars-avril 1984	$9\,809\,256\,210 \pm 3 \text{ nm} \cdot \text{s}^{-2}$	} + 50 ± 6	+ 89	0,56 \pm 0,07
Sept.-oct. 1984	260 ± 5			
Avril-mai 1985	196 ± 3	} — 64 ± 6	— 79	0,81 \pm 0,07

Pendant la durée du premier semestre de 1984, nos mesures ont été assez perturbées par des travaux de bâtiment très près de Sèvres point A ; néanmoins, après cette expérience préliminaire, nous pouvons dire que, pour la première fois à notre connaissance, une variation de la pesanteur qui semble liée au mouvement du pôle a été mise en évidence par notre gravimètre.

6.2. — Deuxième comparaison internationale de gravimètres

Cette comparaison a été organisée par l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI) en exécution de la Résolution 18 de sa 18^e Assemblée Générale (Hambourg, 1983). Le BIPM a accepté seulement d'accueillir les différentes équipes et de prêter ses laboratoires.

Nous donnerons, en temps opportun, un compte rendu des résultats scientifiques obtenus. Nous présentons ici quelques aspects du déroulement de cette opération au BIPM.

a) La comparaison a réuni, outre le gravimètre absolu du BIPM installé à la Salle 1 (Sèvres point A), cinq autres gravimètres absolus venant de quatre pays différents :

Pays	Laboratoire	Implantation	Nombre de personnes
Chine	NIM	A4 (base géodésique)	8
Italie	IMGC	A3 (salle 6)	3
États-Unis	JILA Univ. de Calif.	A5 (base géodésique)	5
d'Amérique		A7 (ancien cabinet photo)	2
U.R.S.S.	Acad. Sciences, Moscou	A6 (base géodésique) puis	6
		A3 (salle 6)	

b) De plus, ont participé à cette comparaison 14 gravimètres relatifs (tous de marque La Coste-Romberg, soit du type D soit du type G) venant de 7 institutions représentant 5 pays :

Pays	Laboratoire	Nombre d'appareils	Nombre de personnes
Belgique	Observatoire Royal	2	2
Japon	International Latitude Observatory, Mizusawa	1	1
R.F.A.	Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt a/M	2	2
R.F.A.	Institut für Erdmessung, Hannover	3	4
R.F.A.	Technische Hochschule, Darmstadt	2	2
Suède	National Land Survey	2	1
États-Unis d'Amérique	Defense Mapping Agency	2	2

c) Cette activité au BIPM a duré du 19 juin, date de l'arrivée de la 1^{re} équipe, au 15 juillet 1985, date du départ de la dernière équipe. Les mesures relatives ont principalement eu lieu du 3 au 6 juillet inclus. Les équipes mentionnées n'ont pas travaillé constamment toutes ensemble, mais, certains jours, nos locaux ont cependant accueilli plus de trente personnes à la fois.

En outre, le 1^{er} juillet, une équipe de quatre personnes de la Télévision Française (FR3) est venue enregistrer une émission ayant pour objet cette comparaison de gravimètres, émission qui a été diffusée le 3 juillet.

d) Grâce à la bonne volonté et au dévouement de plusieurs membres du personnel, la comparaison s'est déroulée normalement, à la satisfaction des diverses équipes, sans perturbation notable des travaux du BIPM. On peut estimer que trois personnes ont dû consacrer à cette comparaison l'équivalent d'une semaine à une semaine et demie, avec une disponibilité constante. Les opérations de dédouanement, dans certains cas compliquées, ont exigé beaucoup de temps. Plusieurs participants ont exprimé leur reconnaissance au BIPM pour son accueil.

e) Les frais occasionnés au BIPM (locations de camionnette, frais de douane et de transitaires) ont été remboursés par les divers instituts ou laboratoires.

f) Le bénéfice moral pour le BIPM d'une telle comparaison est certainement appréciable, mais si cela devait se renouveler, il faudrait pouvoir obtenir des organisateurs des renseignements plus complets (et moins tardifs) sur le calendrier prévu et sur le nombre des participants et, de ces derniers, une discipline plus rigoureuse en ce qui concerne les formalités douanières et l'annonce de leur arrivée au BIPM.

7. Thermométrie (J. Bonhoure)

L'activité de cette section, assez réduite cette année, a porté essentiellement sur l'étude des thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures et sur la remise en service de l'installation pour comparer les températures thermodynamiques par pyrométrie infrarouge.

7.1. — Échelle Internationale Pratique de Température

Point triple de l'eau. — Comme on le fait depuis près de dix ans, on utilise toujours deux cellules à point triple de l'eau d'origines différentes, à chaque contrôle du R_0 des thermomètres à résistance de platine ; on peut, de cette façon, comparer les cellules entre elles. Ainsi, cette année, on dispose de résultats portant sur cinq cellules : N° 12 (PTB), N° 17 (IMGC), N° 53 (NPL), N° 131 (ASMW) et N° 760 (Société

Jarrett, États-Unis d'Amérique); les quatre dernières sont des cellules déjà bien connues (Rapport 1983, p. 52).

Les écarts entre la température moyenne T de chaque cellule et la température moyenne T_m de l'ensemble des quatre cellules N° 17, N° 53, N° 131 et N° 760 sont :

$$\text{N}^\circ 17 \text{ mai 1978} \quad T - T_m = (+ 0,02 \pm 0,02) \text{ mK} \quad (36)$$

$$\text{N}^\circ 53 \text{ août 1977} \quad - 0,12 \pm 0,04 \quad (16)$$

$$\text{N}^\circ 131 \text{ octobre 1980} \quad + 0,06 \pm 0,02 \quad (37)$$

$$\text{N}^\circ 760 \text{ décembre 1975} \quad + 0,04 \pm 0,02 \quad (41)$$

$$\text{N}^\circ 12 \text{ octobre 1980} \quad + 0,06 \pm 0,04 \quad (21)$$

Chaque valeur est accompagnée de l'écart-type de la moyenne et, entre parenthèses, du nombre de mesures. On a aussi indiqué, à défaut de la date de remplissage de chaque cellule, la date d'arrivée au BIPM.

On constate que la cellule N° 53 donne une température qui s'écarte de la moyenne ; précédemment, on avait observé un phénomène analogue avec la cellule N° 52, de même origine.

Pour compléter et diversifier la réserve du BIPM, on a fait l'acquisition de deux cellules de fabrication japonaise.

Thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures. — Le BIPM disposait déjà de trois thermomètres ($R_0 = 0,25 \Omega$) fabriqués par le NIM ; il en a maintenant deux autres ($R_0 = 2,5 \Omega$), de fabrication japonaise, fournis par le NRLM. On espère que ces thermomètres pour la mesure des hautes températures feront preuve de qualités suffisantes pour remplacer le thermocouple platine/platine rhodié dans l'EIPT au cours des prochaines années.

On a donc poursuivi leur étude par des étalonnages aux points de congélation de l'argent, du zinc et de l'étain, en respectant toujours scrupuleusement les spécifications de refroidissement recommandées et en effectuant un contrôle du R_0 après chaque mesure.

Il est encore trop tôt pour formuler une conclusion ; il est même difficile d'indiquer une tendance, compte tenu du petit nombre de mesures effectuées et de leur dispersion. Cependant, il semble que, aux points de congélation de l'étain et du zinc, les thermomètres japonais soient presque comparables aux thermomètres utilisés habituellement dans ce domaine de température ; les thermomètres chinois paraissent un peu moins reproductibles. Au point de congélation de l'argent, les deux types de thermomètres ont un comportement voisin, sans doute cinq fois meilleur que celui du thermocouple.

7.2. — Températures thermodynamiques : étude par pyrométrie infrarouge

Dans le Rapport de 1984 (p. 61), on signalait la construction de deux nouveaux fours cylindriques horizontaux à bloc central composite

(acier inoxydable-cuivre-acier inoxydable), la cavité « corps noir » et les puits thermométriques étant forés dans le cœur en acier inoxydable (fig. 16). Ces fours sont destinés à poursuivre l'étude entreprise depuis plusieurs années sur les températures thermodynamiques entre 420 et 630 °C.

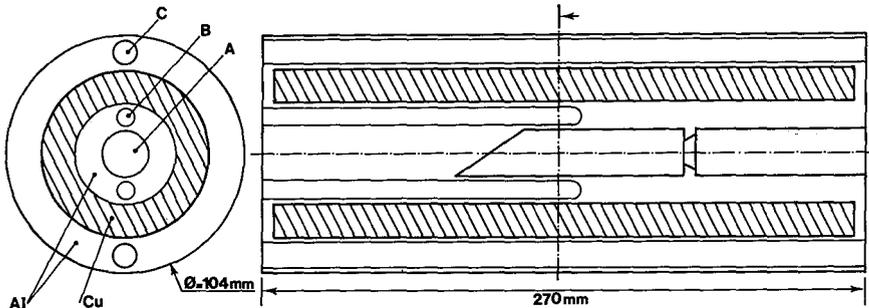


Fig. 16. — Bloc central des fours cylindriques.

A, cavité corps noir ; B, puits thermométrique ; C, puits pour thermocouples ; Al, acier inoxydable ; Cu, cuivre.

Avec ce type de construction et de montage, on espérait conserver une très bonne uniformité de température (présence du cuivre) et améliorer la stabilité des thermomètres utilisés maintenant en position horizontale. L'expérience a malheureusement montré que l'uniformité radiale de température était mauvaise. Entre les deux puits thermométriques placés à 34 mm l'un de l'autre de part et d'autre de la cavité, l'un au-dessous, l'autre au-dessus, on a observé une différence de température de + 100 mK (avec un bloc central tout en cuivre, la différence de température serait de + 30 mK). On a vérifié que cette différence de température ne pouvait s'expliquer ni par des mouvements de convection de l'air ni par des fuites thermiques le long des supports.

Pour améliorer l'uniformité radiale de température, on a inséré le bloc central, ainsi que l'élément de chauffage et son support, dans un cylindre épais en acier inoxydable (diamètre extérieur : 200 mm, diamètre intérieur : 155 mm, longueur : 445 mm) ; on a ainsi ramené la différence de température à + 30 mK.

Pour essayer d'abaisser encore cette valeur, on va ajouter de la feuille d'aluminium, enroulée autour du cylindre en acier inoxydable. Si ce procédé est efficace, on espère pouvoir commencer les mesures pyrométriques avant la fin de 1985.

7.3. — Études courantes

On a contrôlé quatre thermomètres à résistance de platine et un thermocouple platine/platine rhodié appartenant aux laboratoires nationaux des pays suivants : Corée (Rép. Pop. Dém.), Portugal et Suède.

On a aussi vérifié des instruments utilisés dans différentes sections du BIPM : la thermométrie est probablement l'une des sections les plus sollicitées par les autres.

8. Manométrie (J. Bonhoure)

8.1. — Comparaison internationale

Le Groupe de travail « Moyennes pressions » du CCM a décidé, en mars 1979, d'organiser une comparaison internationale dans le domaine 0-140 kPa. Le NPL a été désigné comme laboratoire pilote et une balance de pression a été retenue comme instrument de transfert.

Un laps de temps important a été consacré par plusieurs laboratoires au choix et à l'acquisition d'un modèle commercial de balance de pression, puis aux modifications nécessaires pour que cette balance soit capable des meilleures performances dans des conditions d'utilisation pratiques.

La comparaison internationale a finalement commencé à l'automne 1984, par un circuit réduit : NPL, BIPM, INM, NPL. Les mesures ont été effectuées de 11 à 101 kPa, par pas de 10 kPa.

Au BIPM, la balance a été comparée au manomètre interférentiel en service depuis 1967 ⁽⁶⁾. Les instructions d'utilisation de la balance ayant été scrupuleusement respectées, on a fait les observations suivantes :

- la balance fonctionne sans aucun problème ;
- le sens de rotation du piston est sans influence sur la pression observée ;
- en revanche, le fait de travailler à pression ascendante ou à pression descendante a un effet faiblement significatif sur les résultats.

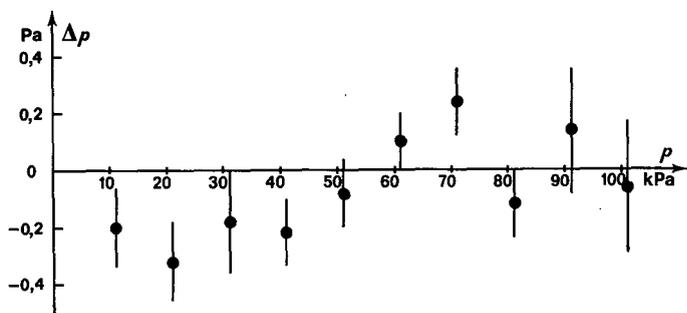


Fig. 17.— Différences entre la valeur mesurée au BIPM et la moyenne NPL-INM-BIPM, pour chacune des dix valeurs nominales de la pression.

Les barres verticales représentent l'écart-type.

⁽⁶⁾ BONHOURS, J. and TERRIEN, J. The new standard manobarometer of the Bureau International des Poids et Mesures. *Metrologia*, 4, 1968, pp. 59-68 et p. 148.

En chaque point de mesure, la différence entre le BIPM et la moyenne des trois laboratoires est inférieure ou, au plus, à peine supérieure à 0,3 Pa (fig. 17). L'accord est donc très bon et confirme celui qui a été obtenu en 1982, entre les manobaromètres du BIPM et du NPL, en utilisant une cellule à point triple de l'argon comme instrument de transfert. La différence était alors, à 69 kPa, de 0,0 Pa avec un écart-type de 0,2 Pa (Rapport 1983, p. 55).

8.2. — Manobaromètre interférentiel

Cet appareil comporte un interféromètre de Michelson, dans lequel les faisceaux de lumière blanche rencontrent au moins dix-huit surfaces optiques avant de parvenir au photomultiplicateur.

En dépit de l'enceinte de protection, les surfaces optiques se recouvrent à la longue de poussière et le contraste du train de franges diminue. On a procédé au nettoyage et au réglage de l'interféromètre.

8.3. — Études courantes

On a effectué, à peu près chaque mois, le contrôle des jauges de pression (Ruska, Texas Instruments, Garrett) qui sont en service à la section des masses.

9. Électricité (G. Leclerc, T. Witt)

9.1. — Comparaisons de représentations nationales de l'ohm

Rattachement de Ω_{CSIRO} à $\Omega_{69\text{-BI}}$

Les deux étalons voyageurs engagés par le CSIRO dans la 14^e comparaison des étalons nationaux de résistance de 1 Ω ayant souffert de leur voyage aller et retour Sydney-Paris via Londres, le résultat peu fiable auquel ils ont conduit n'a pas été retenu. Nous avons donc effectué une nouvelle comparaison entre Ω_{CSIRO} et $\Omega_{69\text{-BI}}$ en mars 1985. Les quatre étalons que le CSIRO nous a fait parvenir, cette fois par un vol direct entre Sydney et Paris, sont parvenus au BIPM le 2 mars et en sont repartis le 7 avril. Leur résistance, exprimée en fonction de $\Omega_{69\text{-BI}}$ au 24 mars 1985 (date moyenne des mesures), a été déterminée avec un écart-type statistique de 0,006 $\mu\Omega$.

Cette comparaison a conduit au résultat suivant :

$$\text{au 24 mars 1985, } \Omega_{\text{CSIRO}} = \Omega_{69\text{-BI}} + 1,49 \mu\Omega,$$

avec

$$\Omega_{69\text{-BI}} (\text{au 24 mars 1985}) - \Omega_{69\text{-BI}} (\text{au 26 novembre 1983}) = -0,072 \mu\Omega.$$

9.2. — Travaux relatifs à l'amélioration des mesures de résistance

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

Bien que la plupart de ces étalons dérivent trop rapidement pour constituer des références et que nous ne les utilisons que dans des expériences de courte durée pour lesquelles la très faible valeur de leur coefficient de température est primordiale, nous continuons à contrôler de temps en temps leur valeur pour suivre leur évolution.

Par rapport au groupe de référence primaire du BIPM, dont la dérive est estimée à $-0,054\ \mu\Omega$ par an, les variations des étalons sont représentées sur les figures 18, 19 et 20.

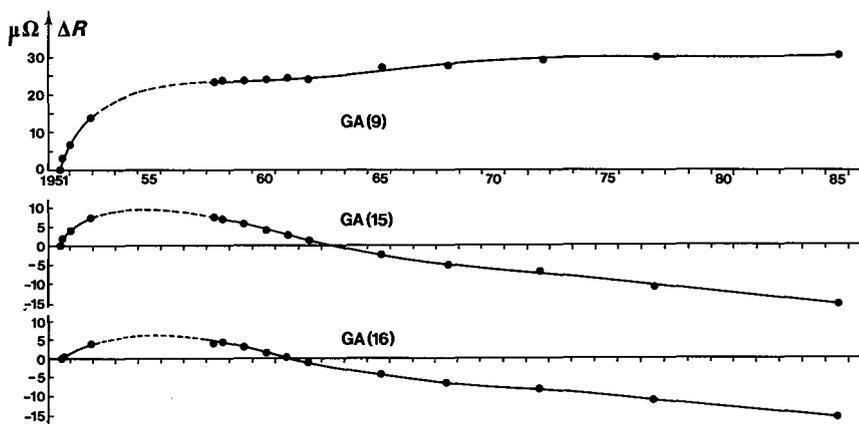


Fig. 18.— Évolution, depuis 1951, de la résistance à $20\ ^\circ\text{C}$ de trois étalons de résistance de $1\ \Omega$ en alliage or-chrome.

Deux étalons ont un comportement satisfaisant, GA(9) dont la résistance augmente de $0,10\ \mu\Omega$ par an et H(54) dont la résistance diminue de $0,04\ \mu\Omega$ par an. La résistance des autres étalons continue à diminuer rapidement sans manifester de tendance à un ralentissement, exception faite de l'étalon 401/59 dont la dérive n'est plus que de $-0,26\ \mu\Omega$ par an.

L'accident (probablement un choc) qui a provoqué la variation anormale de la résistance de l'étalon 302/57 entre 1978 et 1980, a malheureusement perturbé aussi sa dérive jusqu'alors acceptable (en moyenne $-0,10\ \mu\Omega$ par an entre 1961 et 1977).

Étalons de $10\ \text{k}\Omega$

Cette année, nous avons atteint un objectif clé en établissant un groupe de quatre résistances étalons de $10\ \text{k}\Omega$ (B10K1, B10K2, B10K3 et B10K4), fabriquées par la firme Electro Scientific Industries, Portland (États-Unis d'Amérique), conservées dans deux enceintes thermorégulées (à $25\ ^\circ\text{C}$) de notre propre construction. Ces résistances serviront non

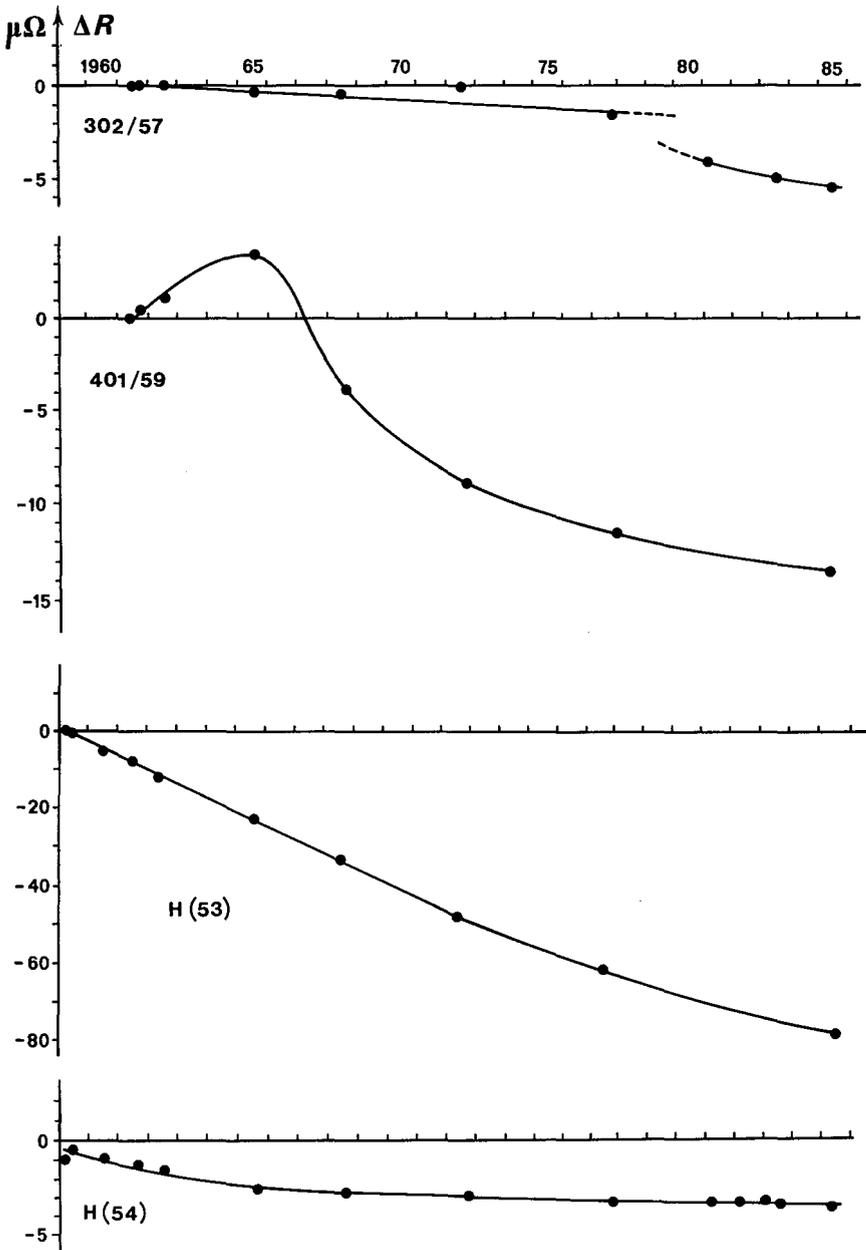


Fig. 19 — Évolution, depuis 1959 ou 1961, de la résistance à 20 °C de quatre étalons de résistance de 1 Ω en alliage or-chrome.

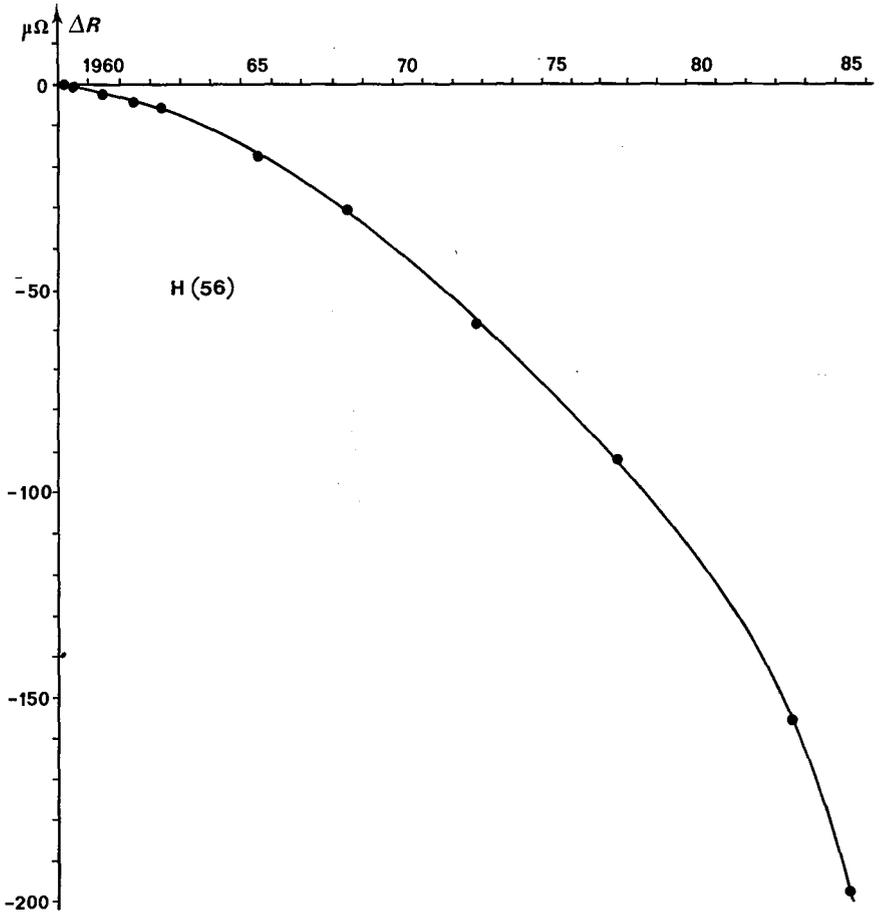


Fig. 20. — Évolution, depuis 1959, de la résistance à 20 °C d'un étalon de résistance de 1 Ω en alliage or-chrome.

seulement d'étalons de passage entre la résistance conservée par l'effet Hall et notre groupe de base de résistances de 1 Ω , mais aussi d'étalons de référence pour la comparaison de résistances de 10 k Ω envoyées au BIPM par les laboratoires nationaux.

Cette année aussi, nous avons mis au point le comparateur de résistances de 10 k Ω décrit précédemment (Rapport 1984, p. 66). Ce circuit est encore un prototype mais, grâce aux améliorations apportées par la modification de la commutation, par un blindage électromagnétique rigoureux et par un changement de la méthode de mesure, il nous permet d'obtenir des écarts-types d'une observation inférieurs à 0,1 m Ω (soit 1×10^{-8} en valeur relative) pour la comparaison de résistances de 10 k Ω . A titre d'essai, nous avons effectué des comparaisons de résistances de 10 k Ω d'un laboratoire national avec ce dispositif et les résultats sont satisfaisants.

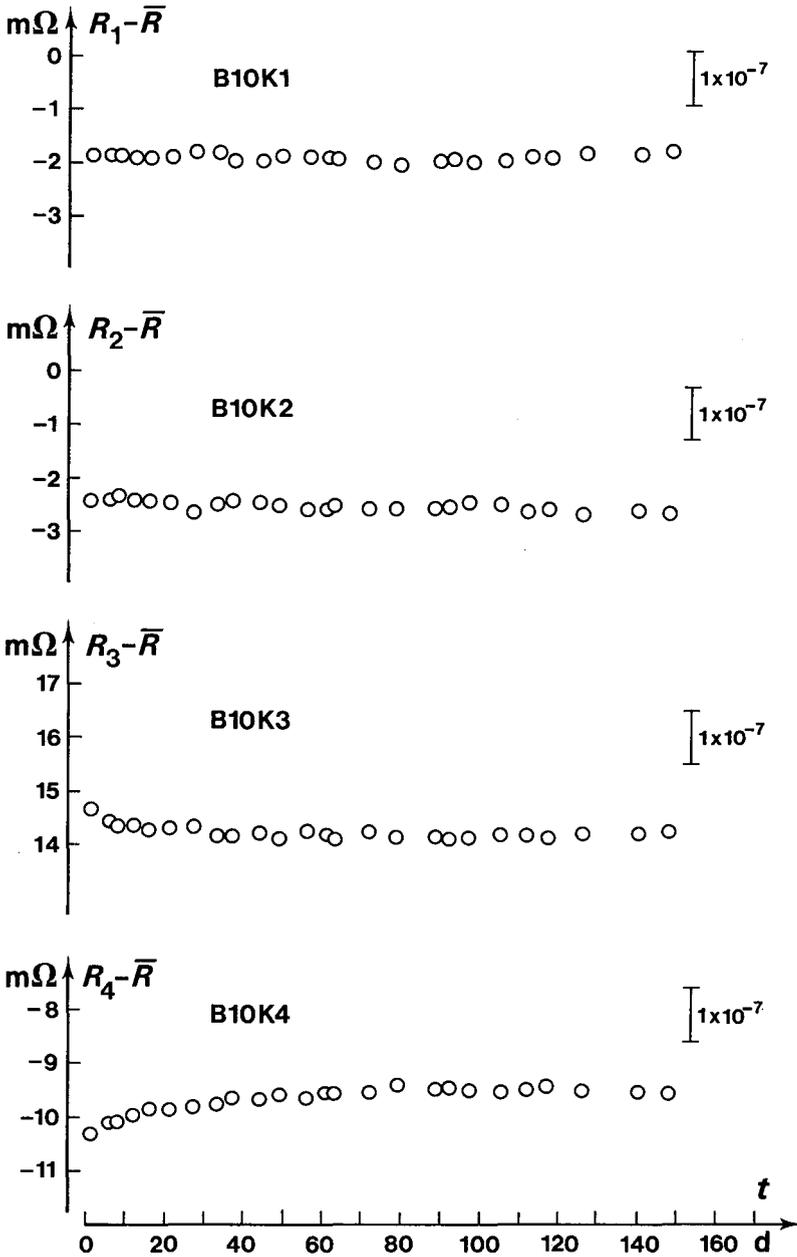


Fig. 21. — Comportement relatif, en fonction du temps, des quatre résistances étalons de 10 kΩ du BIPM.

Les mesures ont été effectuées avec le nouveau comparateur de résistances de 10 kΩ. En ordonnées, différence entre la valeur de chaque résistance et la moyenne du groupe. L'origine des abscisses est le 1^{er} mai 1985.

Les résistances sont conservées dans deux enceintes thermorégulées contenant l'une B10K1 et B10K2, l'autre B10K3 et B10K4.

Sur la figure 21, nous indiquons le comportement en fonction du temps de chacune de nos quatre résistances de $10\text{ k}\Omega$ par rapport à la moyenne du groupe.

Comparateur cryogénique de courants

A la suite de la collaboration avec le LCIE, nous avons commencé la construction et la mise au point d'une installation semblable à celle qui est développée dans ce laboratoire ; cette installation nous permettra de comparer entre elles des résistances étalons de $1\ \Omega$ à $10\text{ k}\Omega$ dans les rapports 1, 2, 10 et 100. Un appareillage voisin doit également être construit pour comparer à une résistance étalon de $100\ \Omega$ les résistances apparaissant dans les mesures de l'effet Hall quantique.

9.3. — Activités relatives à la mise en œuvre de l'effet Hall quantique

Nous avons affecté les deux petites salles 11a et 12 à l'installation de l'effet Hall quantique. Précédemment, ces salles servaient d'atelier d'optique et de verrerie. La majeure partie de ces activités ont été transférées dans le bâtiment des lasers. Les travaux de réfection du sol et des murs, de pose d'une dalle de béton pour les pompes à vide et de construction d'un puits de 1,7 m de profondeur ont été confiés à une entreprise extérieure. Les travaux de plâtrerie, de peinture, de conditionnement d'air (salle 12 seulement) et d'électricité ont été effectués par notre personnel.

Pour cette installation, nous avons commandé le matériel suivant :

- un aimant supraconducteur de 13 T à 4,2 K chez Cryogenic Consultants, Ltd. (Royaume-Uni) ;
- une alimentation de 125 A de la société ATNE, les Ulis (France) ;
- un cryostat de 2,2 m de hauteur avec garde d'azote de la société Le Matériel Cryogénique, Orly (France) ;
- la tête du cryostat, le porte-échantillon et un réfrigérateur à ^3He de la firme Kitano Seiki, Tokyo (Japon) ;
- deux pompes à vide et un petit système de pompage avec pompe à diffusion des firmes Alcatel et Zivy-Edwards (France et Royaume-Uni).

A la mi-juin 1985, le cryostat et les pompes à vide ont été livrés et la plupart des canalisations et des vannes des systèmes de vide sont préparées. Les travaux sur les circuits électriques pour les mesures de précision sont en cours.

9.4. — Travaux relatifs à la conservation et au transfert de $V_{76\text{-BI}}$

Maintenance de $V_{76\text{-BI}}$

Nous poursuivons les mesures régulières de l'effet Josephson. La bonne reproductibilité des résultats des mesures et la qualité des piles

et des enceintes thermorégulées ont permis d'espacer un peu plus les séries de mesures (3 à 4 mois entre deux séries consécutives, délai que nous considérons comme une limite à ne pas dépasser). La figure 22 montre l'évolution de la force électromotrice moyenne de nos deux principaux groupes de référence (quatre piles chacun) au cours de ces dernières années : pour ces deux groupes, l'écart-type d'une observation par rapport à la dérive linéaire est d'environ 1×10^{-8} V.

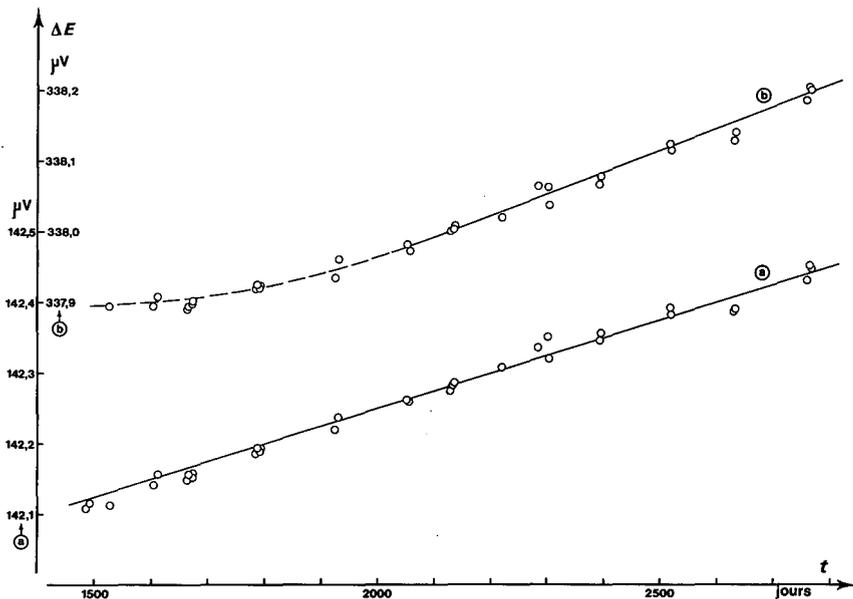


Fig. 22. — Évolution, en fonction du temps, de la force électromotrice moyenne de deux groupes de piles de référence du BIPM.

En ordonnées, excès de la force électromotrice sur $1,018 V_{76-BI}$.

L'origine des abscisses est le 1^{er} septembre 1977.

a : groupe 4BI, conservé à 30 °C ; b : groupe « jaune », conservé à 26 °C.

Comparateur automatique de piles étalons

Depuis septembre 1984, nous nous servons du comparateur automatique (Rapport 1984, p. 65) pour les mesures de piles envoyées au BIPM par les laboratoires nationaux. Pour faire face au nombre important de piles envoyées au BIPM pendant la période couverte par ce rapport, nous avons modifié le module de commutation existant et nous avons ajouté un deuxième module, le premier ayant une capacité de trois groupes de six piles et le second permettant la connexion de cinq groupes de quatre piles. Désormais, ces mesures sont effectuées sous la surveillance d'un technicien mais plusieurs membres de la section d'électricité sont compétents pour utiliser cet équipement de sorte qu'il n'y a pas de période de l'année pendant laquelle ces mesures ne sont pas effectuées.

Nous avons apporté quelques améliorations au système : d'une part l'élimination de l'interférence due aux battements intermittents entre la fréquence du « chopper » du détecteur et certains harmoniques du secteur, d'autre part le remplacement de la référence interne de tension (à diode de Zener) de la source de courant programmable par une référence de tension sélectionnée et offerte par M.P. Spreadbury de l'Université de Cambridge (Royaume-Uni), que nous remercions vivement. Bien entendu, nous avons effectué plusieurs modifications des programmes de mesures afin de rendre ces mesures plus souples et plus faciles.

Pendant la période d'octobre 1984 à juin 1985, nous avons effectué six séries d'étalonnage du comparateur automatique.

Étude d'un étalon de tension à diode de Zener

Depuis juillet 1984, nous poursuivons des études sur un étalon de tension commercial à diode de Zener dans le but d'évaluer sa stabilité en fonction du temps et dans des conditions normales de transport. Si les résultats de ces études sont satisfaisants, nous proposerons un tel étalon voyageur aux laboratoires nationaux, surtout à ceux qui sont très loin de Sèvres, comme alternative aux piles étalons pour lesquelles les variations dues au transport sont en moyenne 0,4 à 0,5 μV .

Nous avons étudié le comportement de la tension en fonction de la température indiquée par une sonde à thermistance que nous avons montée dans le châssis de l'étalon de tension, très près de la diode de Zener. Nous trouvons que le coefficient de température varie légèrement avec la durée de fonctionnement de l'alimentation en courant. Ainsi, nous fixons à deux heures la durée entre l'allumage du circuit et la mesure de la tension. Sous cette condition, nous trouvons que la tension U décrit une parabole en fonction de la température t , selon la formule

$$U = U_0 + \alpha t + \beta t^2$$

où U_0 est la tension à $t = 0^\circ\text{C}$,

$$\alpha = 2,809 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1} \quad \text{et} \quad \beta = -0,0623 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-2}.$$

Depuis novembre 1984, nous avons commencé à étudier le changement de la tension après transport de l'étalon. Jusqu'à présent, nous avons fait six essais de transport de l'étalon, en le transportant quatre fois chez l'un des membres de la section d'électricité pour un à trois jours, une fois au LCIE, Fontenay-aux-Roses, pour quatre jours et une fois à la PTB, Braunschweig, pour quatre jours également.

Sur la figure 23, nous montrons le comportement de la tension depuis la mi-février 1985. Les périodes de transport y sont indiquées (un autre transport avait déjà eu lieu en novembre 1984). Nous sommes en train de rechercher une explication du comportement instable qui précède le transport à la PTB. Malgré cette instabilité, en admettant

une variation linéaire de la tension pour une période de quelques semaines autour de la date de la comparaison, aussi bien que pour la période de la comparaison avec le LCIE, nous trouvons une incertitude de $0,15 \mu\text{V}$ environ due à la variation de la tension de la diode. (Rappelons que ces deux laboratoires maintiennent leurs étalons de tension par l'effet Josephson.) Nous comptons poursuivre ces études, mais à un rythme ralenti à cause d'autres activités.

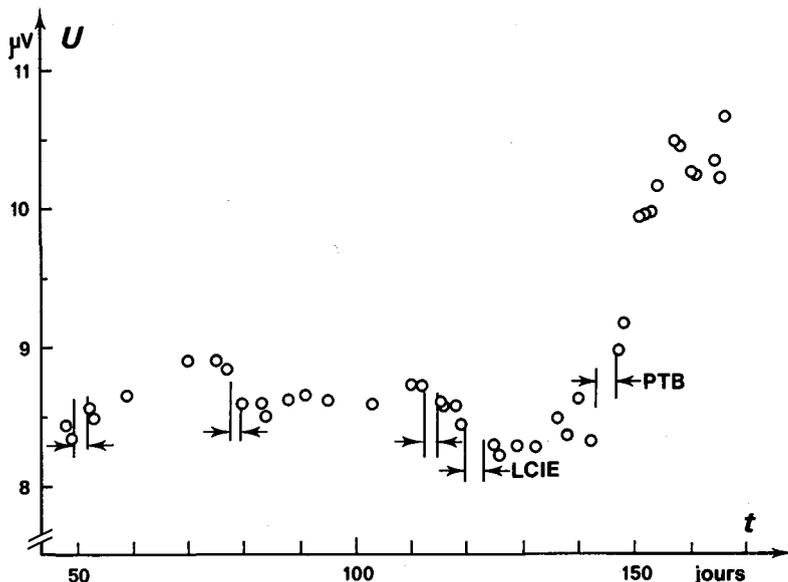


Fig. 23. — Comportement, en fonction du temps, de la tension de sortie de l'étalon de tension à diode de Zener.

En ordonnées, valeur de cette tension ramenée à la température de référence de 22°C (origine arbitraire).

L'origine des abscisses est le 1^{er} janvier 1985.

Chaque point représente la moyenne de six mesures de comparaison avec deux piles dont les valeurs sont connues par rapport à $V_{76\text{-BI}}$. Les flèches indiquent les périodes de transport de l'étalon.

9.5. — Étalons de capacité

Troisième comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF

Cette comparaison, commencée en décembre 1978, est maintenant terminée. Les résultats des trois premiers circuits de mesures ont déjà été publiés⁽¹⁾; ceux du quatrième et dernier circuit sont donnés dans le tableau IV.

(1) *BIPM Com. Cons. Électricité*, 16, 1983, Annexe E 2, pp. E 28-E 32.

TABLEAU IV

Résultats de la troisième comparaison internationale des étalons de capacité en silice de 10 pF

(4^e circuit de mesures)

$$C = 10(1 + \Delta \times 10^{-6}) \text{ pF}$$

Valeur de Δ (mesures au voisinage de 25 °C)

Étalon N°	NBS	ASMW	PTB	NPL	VSL	NBS	 NS
	15 juin 1983 (100 V ; 1 592 Hz)	26 octobre 1983 (70 V ; 1 592 Hz)	1 ^{er} février 1984 (50 V ; 1 592 Hz)	1 ^{er} mai 1984 (100 V)	21 octobre 1984 (120 V ; 1 596 Hz)	15 mars 1985 (100 V ; 1 592 Hz)	
156 775 (108)	— 13,826	— 14,08	— 14,14	— 13,831	— 14,69	— 13,699	
159 852 (119)	— 1,225	— 1,45	— 1,54	— 1,218	— 2,16	— 1,152	
159 853 (120)	+ 0,125	— 0,01	— 0,14	+ 0,193	— 0,67	+ 0,314	
Moyenne	— 4,975	— 5,18 (± 0,50)	— 5,27 (± 0,25)	— 4,952	— 5,84 (2s = 1)	— 4,846	

Entre parenthèses, valeur efficace de la tension appliquée aux bornes du condensateur et valeur de la fréquence. La température de mesure est définie par la valeur spécifiée par le NBS de la résistance du thermomètre associé à l'étalon. L'ASMW et le VSL ont donné la capacité des étalons à 25,000 °C ; pour la rendre comparable à celles données par les autres laboratoires, nous l'avons ramenée à la valeur spécifiée de la résistance du thermomètre associé.

Au cours de ce circuit, les étalons voyageurs ont varié de quantités supérieures à celles attendues, compte tenu de leurs évolutions antérieures. On constate toujours l'existence de différences de quelques unités de 10^{-7} entre les représentations du farad réalisées dans les divers laboratoires.

Étalonnage des condensateurs de référence du BIPM

Avant d'être renvoyés aux États-Unis le 28 décembre 1984, les trois étalons de capacité voyageurs du NBS, venant du VSL, sont restés quelques semaines au BIPM pour nous permettre d'étalonner nos quatre étalons de référence en prenant pour valeurs des étalons voyageurs celles qui résultent des mesures effectuées au NBS. Les résultats de cet étalonnage et ceux de l'étalonnage effectué en mars 1982 sont donnés dans le tableau V.

TABLEAU V

Résultats de l'étalonnage des condensateurs de référence du BIPM

$$C = 10(1 + \Delta \times 10^{-6}) \text{ pF}$$

Valeur de Δ , à 25 °C, pour $f = 1\,592 \text{ Hz}$ et $U_c = 100 \text{ V}$

Condensateur N°	856	160	169	176
Janvier 1982	— 7,16	— 23,01	+ 47,21	— 24,37
Décembre 1984	— 7,11	— 23,13	+ 47,40	— 24,57

Les valeurs de C sont connues avec un écart-type statistique relatif de $0,01 \times 10^{-6}$.

Les dérives des condensateurs General Radio (N^{os} 160, 169 et 176) acquis par le BIPM en 1981 sont acceptables mais elles devront être confirmées par les mesures ultérieures.

9.6. — Études courantes

Au cours de l'année écoulée, la section d'électricité a étudié 20 étalons de résistance (valeurs comprises entre 1 et 10 000 Ω , définis à 20 ou 25 °C), 31 piles (définies à 20 ou 30 °C) et 5 étalons de capacité de 10 pF pour la Suisse, l'Afrique du Sud, la Belgique, l'Irlande, la Norvège, la Suède, la Tchécoslovaquie et la Yougoslavie.

Nous avons aussi mesuré la tension définie par deux étalons de tension à diode de Zener appartenant à la PTB, afin d'éprouver les qualités de ces dispositifs comme étalons de transfert.

10. Photométrie (J. Bonhoure)

L'activité de la section a été dominée par la préparation et l'exécution partielle de la comparaison internationale de lampes à incandescence décidée par le CCPR en 1982. On a, néanmoins, donné aussi satisfaction aux quelques demandes d'étude présentées au BIPM.

10.1. — Comparaison internationale

Cette comparaison internationale ressemble beaucoup à la précédente, celle de 1969, par certains aspects : ce sont à nouveau des lampes à incandescence de types déjà utilisés pour deux des trois types choisis. Elle s'en distingue, toutefois, sur deux points essentiels : il y a quinze laboratoires participants au lieu de huit et, surtout, c'est la première comparaison internationale organisée depuis le changement de la définition de la candela en 1979.

Les difficultés rencontrées par les laboratoires nationaux pour se procurer les lampes nécessaires ont conduit à reporter la comparaison internationale à deux reprises. Ce retard a été mis à profit, au BIPM, pour améliorer les installations de mesure et contrôler soigneusement les groupes de lampes de référence.

La comparaison internationale a finalement commencé le 29 avril 1985, par l'étude des étalons d'intensité lumineuse de type Osram utilisés par douze laboratoires nationaux. Il est trop tôt pour communiquer des résultats, mais on peut faire les observations suivantes :

- les lampes sont généralement bien stables ;
- pour un groupe national donné, l'accord entre les quatre (ou six) lampes qui le composent est satisfaisant, ce qui semble indiquer que les lampes n'ont pas souffert du voyage d'aller au BIPM ;
- enfin, la dispersion entre les réalisations nationales de la candela ne semble ni meilleure ni pire que précédemment.

Le programme de travail suivi situe la fin des mesures au BIPM en octobre ou novembre 1985.

10.2. — Études courantes

On a étalonné vingt-cinq lampes étalons d'intensité et de flux lumineux appartenant aux laboratoires nationaux de Pologne, de Suède et de Yougoslavie.

11. Rayons X et γ , électrons (A. Allisy)

11.1. — Rayons X (M. Boutillon *)

Comparaison d'étalons d'exposition

Une comparaison directe entre l'étalon de l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), Italie, et celui du BIPM a eu lieu dans le domaine des rayons X mous. Les résultats préliminaires sont satisfaisants.

Étalonnages de chambres d'ionisation

On a étalonné, dans le domaine des rayons X de faible énergie, des chambres d'ionisation de type PTW pour l'Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), Brésil, le Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants (LMRI), France et le National Institute of Radiation Protection (NIRP), Suède. Ces chambres sont destinées à servir d'étalon national d'exposition pour les pays concernés.

Dans le domaine des rayons X de moyenne énergie, on a étalonné des chambres d'ionisation de type NEL pour le Statens Institutt for Strålehygiene, Norvège (SISN) et pour l'IRD. Deux chambres de même type ont été étalonnées entre 30 et 250 kV, l'une pour l'Institut d'Oncologie de Ljubljana, Yougoslavie, l'autre pour l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), Vienne. Ce dernier étalonnage est particulièrement important puisque cet étalon de l'AIEA constitue la référence d'exposition pour le réseau SSDL (Laboratoires de dosimétrie dotés d'étalons secondaires) qui concerne 49 nations.

Passage de l'exposition au kerma dans l'air

Le kerma K dans l'air est relié à l'exposition X par la relation

$$K = \frac{X}{(1 - \bar{g})} \frac{W}{e},$$

où W/e est l'énergie moyenne nécessaire pour créer une paire d'ions (voir ci-après, paragraphe 11.3) et \bar{g} est la fraction de l'énergie des électrons perdue par rayonnement de freinage. La valeur de \bar{g} a été recalculée pour tous les rayonnements de référence du BIPM (document CCEMRI(I)/85-18), en utilisant les tables les plus récentes de Berger et Seltzer (1982). Ces nouvelles valeurs de \bar{g} ont été adoptées par la Section I du CCEMRI, lors de la réunion d'avril 1985.

11.2. — Rayonnement γ du ^{60}Co (M.-T. Niatel *, M. Boutillon *)

Étalonnages de chambres d'ionisation

On a étalonné pour l'IRD une chambre d'ionisation de type NEL destinée à servir d'étalon secondaire d'exposition pour le Brésil, et on a réétalonné une chambre analogue pour l'Institut d'Oncologie de Ljubljana.

Une autre chambre de même type a été étalonnée pour l'AIEA. Comme dans le cas des rayons X, il s'agit de la référence d'exposition du réseau SSDL.

En outre, on a étalonné ou réétalonné dix chambres Exradin du groupe de mesures neutroniques du BIPM (six chambres T2 à parois équivalentes au tissu et quatre chambres MG2 à parois de magnésium).

Ce travail rentre dans le cadre de la préparation de la prochaine comparaison internationale de dosimétrie des neutrons, organisée par le BIPM (voir « Mesures neutroniques »).

Dose absorbée dans l'eau

a) Construction d'un étalon de dose absorbée dans l'eau

Après l'étude de diverses possibilités, on a choisi de réaliser un étalon de dose absorbée dans l'eau constitué par une chambre d'ionisation en graphite placée dans un support de plexiglas immergé dans le fantôme d'eau. L'ensemble sera déplacé au moyen d'une platine de translation pour permettre des mesures à différentes profondeurs.

Cette chambre étalon est cylindrique et plate ; elle a été construite sur le même modèle que les étalons d'exposition et de dose absorbée dans le graphite (on a d'ailleurs construit en même temps deux autres chambres semblables comme étalons de réserve). Pour éviter des mesures longues et délicates des dimensions de la cavité, on a choisi de déterminer le volume de cette dernière au moyen de mesures d'ionisation. Pour ce faire, on irradiera dans l'air, dans les mêmes conditions, le futur étalon et chacun des deux étalons existants. Les rapports des courants d'ionisation sont égaux à ceux des volumes des cavités correspondantes si les parois de graphite sont identiques. Pour déterminer dans quelle mesure cette condition est remplie, on a mesuré et pesé une série de plaques de graphite, préparées pour servir de parois aux futurs étalons, et l'on en a déduit leurs masses volumiques. Il en ressort que, pour obtenir le volume des nouvelles chambres, des corrections de quelques dix-millièmes seulement seront nécessaires pour tenir compte des différences entre parois.

La dose absorbée dans l'eau, D , qui doit être déterminée au point de référence est celle qui existerait en ce point en l'absence de la chambre étalon et de son support. Cela implique une triple correction de perturbation : pour la présence de la cavité remplie d'air, celle des parois de graphite de la chambre et celle du support de plexiglas. Les deux premières parties de la correction seront traitées théoriquement comme décrit au paragraphe suivant, la troisième expérimentalement, par extrapolation, en ajoutant des épaisseurs additionnelles de plexiglas au support de la chambre.

Il sera intéressant de comparer la valeur mesurée pour D avec le nouvel étalon à la « profondeur » de 5 g. cm^{-2} , avec la valeur déterminée théoriquement à partir de la dose absorbée dans le graphite ^(8, 9). Cette dernière valeur s'était trouvée en bon accord avec les résultats de la comparaison internationale de dosimètres chimiques.

⁽⁸⁾ BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures, 49, 1981, pp. 62-63.

⁽⁹⁾ BOUTILLON, M., Determination of absorbed dose in a water phantom from the measurement of absorbed dose in a graphite phantom. BIPM Rapport BIPM-81/2, 6 pages.

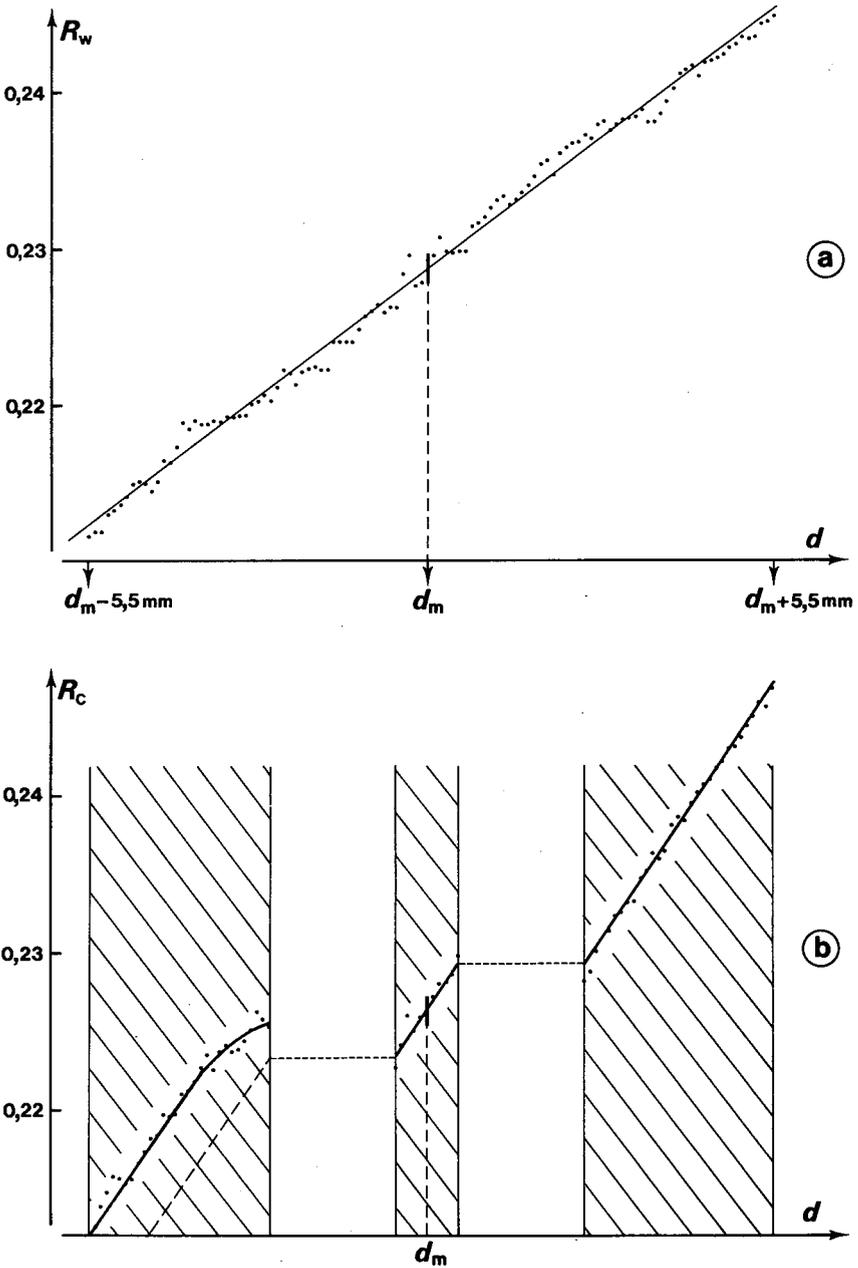


Fig. 24 . — Rapport du kerma du rayonnement diffusé au kerma du rayonnement primaire au voisinage de la profondeur de référence d_m .

a) pour un fantôme d'eau sans la chambre d'ionisation (R_w);

b) pour un fantôme d'eau avec la chambre (R_c); les parties hachurées représentent la position des parois de la chambre et de la plaque collectrice.

Les points représentent les résultats du calcul de Monte-Carlo.

b) *Étude de la correction de perturbation*

On a commencé les calculs concernant la perturbation introduite par la présence de la chambre d'ionisation au sein du fantôme d'eau. On donne dans la figure 24, au voisinage de la profondeur de référence d_m (et au voisinage de l'axe du faisceau), la variation du rapport du kerma du rayonnement diffusé au kerma du rayonnement direct pour un fantôme d'eau homogène (R_w) et pour le fantôme muni d'une chambre d'ionisation (R_C), l'énergie initiale des photons étant de 1,25 MeV. Ces résultats ont été calculés par la méthode de Monte-Carlo. Afin d'obtenir une précision suffisante (nécessaire surtout au voisinage des discontinuités), un grand nombre d'histoires a été utilisé (1,8 million). Cela a été possible grâce à l'« Ordinateur personnel » IBM, dix fois plus rapide que l'IBM 1130. Ces courbes seront utilisées pour étudier les pertes d'énergie des électrons issus des rayonnements primaires et diffusés, dans la cavité réelle de la chambre d'ionisation ou dans une cavité idéale infiniment petite. La comparaison de ces deux résultats donnera la correction de perturbation. L'étude de ce problème se fera de manière assez semblable à celle qui a été utilisée pour la détermination de la correction de perturbation dans le cas de la mesure de la dose absorbée dans le graphite. Une première estimation donne pour cette correction une valeur d'environ 0,3 %.

11.3. — Électrons (A.-M. Perroche *, M. Boutillon *)

Révision de la valeur de W publiée par l'ICRU

La publication des nouvelles valeurs de pouvoir de ralentissement a donné lieu à un réajustement de la valeur de W pour les électrons dans l'air sec (Rapport 1984, p. 73).

On a estimé l'incertitude sur cette valeur réajustée. Pour chaque valeur expérimentale entrant dans la détermination de la valeur recommandée par l'ICRU, l'incertitude a été estimée sur la base d'un écart-type, en tenant compte des incertitudes données par chaque auteur et de celle qui est due à notre calcul des pouvoirs de ralentissement.

On ne constate pas de changement significatif sur l'écart-type de la moyenne si l'on tient compte des covariances qui expriment les corrélations existant entre les valeurs des pouvoirs de ralentissement, celles-ci étant calculées à partir des mêmes tables. On obtient $0,06 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1}$ pour l'écart-type de la moyenne.

Ce travail concernant la révision de W pour les électrons dans l'air sec va être soumis pour publication. Il a fait l'objet d'un document (CCEMRI(I)/85-8) présenté à la 8^e réunion de la Section I du CCEMRI, en avril 1985.

La valeur obtenue $\frac{W}{e} = (33,97 \pm 0,06) \text{ J} \cdot \text{C}^{-1}$ a été adoptée par la Section I et son usage recommandé à partir du 1^{er} janvier 1986.

12. Radionucléides

12.1. — Mesures d'activité (A. Rytz, J.W. Müller)

La radioactivité — dont l'importance dans les domaines d'application les plus divers n'est plus à prouver — est une particularité de la grande majorité des plus de 2 000 sortes d'atomes connues, appelées radionucléides. Elle se manifeste surtout par les rayonnements émis dont les caractéristiques varient d'un radionucléide à l'autre, mais ne dépendent pas ou extrêmement peu de leur environnement. Comme chaque acte d'émission n'est prévisible qu'avec une certaine probabilité, la grandeur activité est simple à décrire seulement pour des échantillons d'un radionucléide unique contenant un très grand nombre d'atomes.

Par son caractère aléatoire, chaque résultat d'une mesure d'activité rend compte aussi de son incertitude statistique inhérente, fait remarquable et dont il faut tenir compte. Ces mesures se pratiquent soit en comptant les émissions individuelles de particules ou de photons, soit en déterminant leur effet moyen dans le temps. Dans les deux cas, une étude statistique approfondie est indispensable et comprend l'incertitude inhérente au comptage.

Comparaisons internationales de mesures d'activité

¹³³Ba. — Deux comparaisons préliminaires, qui ont donné lieu à des résultats décevants, ont été suivies d'un troisième exercice semblable, au bout duquel les principales causes de désaccord des résultats antérieurs ont pu être identifiées et évitées. La comparaison qui a suivi cette troisième tentative, et à laquelle ont participé dix-neuf laboratoires nationaux et internationaux, s'est terminée sans difficulté inattendue, bien qu'avec un certain retard. Les résultats obtenus ont été communiqués immédiatement aux participants. Le projet de rapport détaillé, rédigé par la suite et soumis aux intéressés, a suscité plusieurs remarques utiles dont il sera tenu compte dans la version définitive.

A partir de la moyenne arithmétique des dix-neuf valeurs d'activité trouvées par les participants, on obtient un écart-type relatif de 0,36 %, correspondant à une mesure individuelle, alors que la dispersion totale est de 1,7 %. Compte tenu des difficultés imputables à la complexité de la désintégration du ¹³³Ba, ce résultat peut être considéré comme satisfaisant, bien que révélant quelques problèmes non encore résolus.

¹⁰⁹Cd. — L'organisation de cette comparaison préliminaire a été confiée à l'OMH (Hongrie) qui dispose d'une certaine expérience concernant ce radionucléide difficile à mesurer, mais important comme référence d'énergie de rayons γ (88 keV). La comparaison, à laquelle ont participé cinq laboratoires, s'est terminée en avril 1985 et le projet

de rapport détaillé, rédigé par A. Szörényi, fait apparaître une dispersion totale des résultats de 1,7 %.

Mesures relatives d'activité effectuées au moyen d'une chambre d'ionisation à puits pressurisée

Il est bien connu que les mesures relatives sont souvent plus précises que les mesures directes ou absolues, c'est-à-dire celles qui n'ont pas recours à un étalon. Cependant, il ne faut pas en conclure que les mesures directes perdront de l'intérêt, car elles seront toujours indispensables pour éliminer des erreurs systématiques.

Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons γ (SIR). — Ce système, qui entre dans sa dixième année d'existence, remplit une mission importante, appréciée par les participants, et montre une croissance encourageante dont rend compte la figure 25.

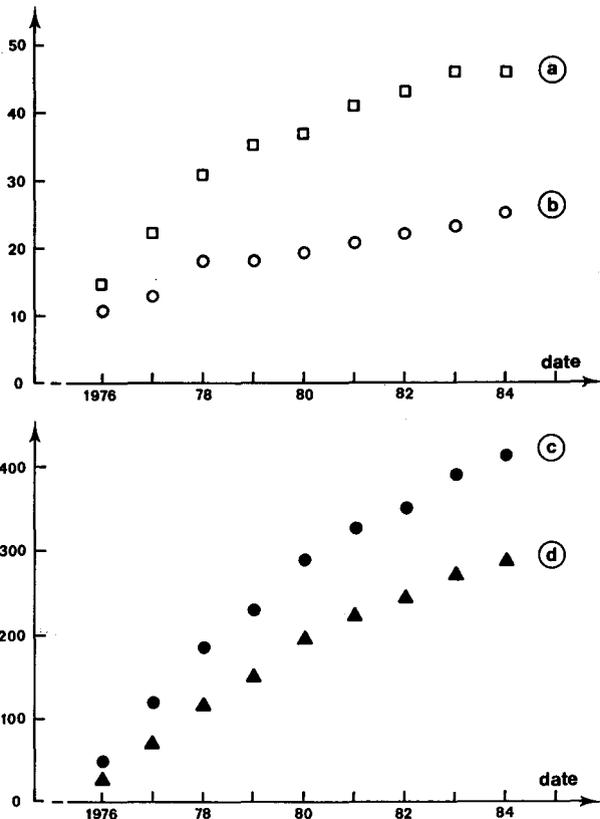


Fig. 25. — Évolution du Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons γ (SIR).

En ordonnées, nombres cumulés : a, de radionucléides ; b, de laboratoires participants ; c, d'ampoules ; d, de résultats enregistrés.

La courbe d'efficacité (Rapport 1984, p. 76) équivaut à un étalonnage fiable dans un domaine d'énergie photonique compris entre 50 et 2 700 keV, avec une incertitude relative estimée à un peu moins de 1 %. Les quelques écarts entre la courbe et les valeurs mesurées sont imputables aux inexactitudes soit des mesures d'activité des échantillons, soit des paramètres nucléaires mis en jeu. Il est important de noter qu'à l'aide de cette courbe il devient possible de déterminer, par interpolation, l'activité d'autres nucléides que ceux qui ont été mesurés directement.

Deux phénomènes nucléaires sont responsables de petites déviations dont on n'a pas tenu compte jusqu'à présent. Le premier concerne l'émission de positrons, par le ^{22}Na principalement, à cause de la possibilité d'annihilation en vol et de création de photons hors de la source, donc à efficacité de détection différente. Les mesures auxiliaires effectuées récemment ne sont pas concluantes et seront complétées par une expérience plus directe. L'autre phénomène perturbateur est le rayonnement de freinage des rayons β émis par la source. En mesurant le courant d'ionisation produit par un échantillon d'activité connue d'un émetteur de rayons β uniquement et d'une seule énergie moyenne, on peut déduire la réponse aux rayons β de cette énergie. Les résultats obtenus avec plusieurs émetteurs de rayons β sont représentés sur la figure 26. La courbe ainsi obtenue permet d'évaluer les corrections dues au rayonnement de freinage ; elles s'avèrent faibles, sauf dans quelques cas exceptionnels où elles peuvent être importantes.

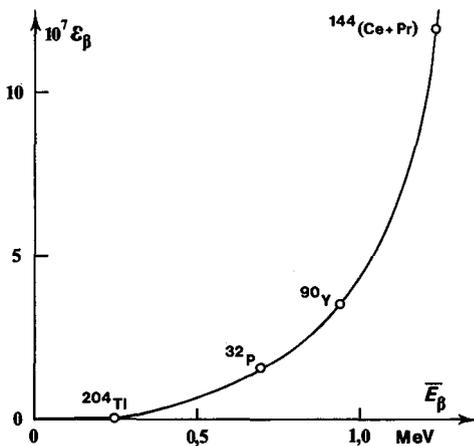


Fig. 26. — Réponse ϵ_β de la chambre d'ionisation au rayonnement de freinage produit par des rayons β d'énergie moyenne \bar{E}_β .

Construction d'un compteur proportionnel à pression

La méthode de comptage par coïncidences $4\pi\beta\text{-}\gamma$ a été originellement développée en utilisant dans la voie β un compteur proportionnel à

pression atmosphérique. Par la suite, plusieurs laboratoires se sont équipés de détecteurs proportionnels à circulation de gaz sous pression élevée.

Un tel compteur présente deux avantages essentiels : tout d'abord, il permet de détecter la totalité du spectre d'énergie des particules β ou des électrons émis et d'en choisir une partie au moyen d'une discrimination adéquate ; ensuite, il rend possible la variation de l'efficacité de détection d'une manière continue et réversible. Cette méthode nous affranchit de la technique habituelle d'adjonctions successives sur la source de films de VYNS dorés d'épaisseur relativement mal connue.

Le compteur proportionnel en construction au BIPM sera identique, à quelques détails près, à l'appareil en service à la PTB depuis une dizaine d'années, et dont les plans ont été généreusement communiqués et le fonctionnement expliqué à un physicien du BIPM lors d'un stage effectué dans ce laboratoire. Sa réalisation a été mise en œuvre à l'atelier en avril. Un soin particulier sera apporté à la régulation fine en pression (à 10^{-3} près) et au traitement des impulsions par une paire de préamplificateurs construits au BIPM. La gamme de pressions utilisables devrait s'étendre de 0,1 à 3 MPa. Ce nouveau détecteur devrait en outre permettre d'élargir considérablement les possibilités des mesures d'activité.

Guide du métrologue de la radioactivité

Un manuel à l'intention du personnel des laboratoires en voie de développement pourrait être d'une grande utilité pour guider les autorités dans leurs choix et le personnel dans son travail. La section de dosimétrie de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), Vienne, Autriche, dont émanait l'idée de créer un tel ouvrage, s'était d'abord adressée à nous et a suivi notre suggestion de s'assurer le concours de deux anciens membres réputés du CCEMRI, W. B. Mann et A. Spagnol, qui possèdent une vaste expérience dans ce domaine et qui, par la suite, ont accepté de rédiger un texte. Le BIPM participe surtout aux travaux d'édition, d'organisation et de communication, et s'est chargé de produire les nombreuses figures. On peut prévoir que le manuscrit sera terminé dans un proche avenir. L'ouvrage, qui ne devrait pas dépasser 250 pages, sera publié par les soins de l'AIEA.

12.2. — Statistiques de comptage (J. W. Müller)

Parmi les travaux accomplis dans ce domaine, nous en choisissons deux de caractères assez différents, à titre d'illustration. Dans le premier cas il s'agit d'un problème qui a déjà surgi dans divers contextes, mais n'a guère reçu de traitement adéquat. L'autre exemple concerne les débuts d'un nouveau développement qui, par une généralisation appropriée, permet d'établir un lien entre deux modèles de temps mort qui semblaient s'exclure mutuellement. Ainsi, le vieux domaine des statistiques de comptage se renouvelle tout en gardant sa jeunesse.

Sur le choix d'une impulsion au hasard

A première vue, il paraît difficile d'admettre que choisir tout à fait « au hasard » une impulsion parmi toutes celles formant un processus aléatoire pourrait poser un problème sérieux. Puisqu'aucun événement ne paraît être dissemblable des autres, n'importe lequel devrait nous convenir. Il faut, cependant, être prudent et regarder de plus près comment un tel choix se fait en réalité. Le procédé le plus couramment utilisé consiste à prendre, à partir d'un moment déterminé arbitrairement dans le temps, la première impulsion qui se présente. Or, il se trouve qu'un tel choix est aléatoire dans le temps, mais pas dans les intervalles.

Considérons un simple processus de Poisson, à taux de comptage ρ , pour lequel on sait que la densité pour un intervalle d'ordre k est donnée par :

$$f_k(t) = \frac{\rho(\rho t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\rho t}, \text{ avec } k = 1, 2, \dots$$

Pour l'intervalle t entre impulsions consécutives on a donc la simple forme exponentielle :

$$f_1(t) = \rho e^{-\rho t}, \text{ pour } t > 0.$$

Puisque la fréquence avec laquelle on « tombe » sur un certain intervalle est proportionnelle à sa durée t , la densité effective de cet intervalle (qui précède l'impulsion prise pour origine du temps) est donnée par :

$$g(t) = \frac{t f_1(t)}{\int_0^{\infty} t f_1(t) dt} = \rho^2 t e^{-\rho t} = f_2(t).$$

Il s'ensuit que l'impulsion que l'on croyait choisie au hasard est en réalité précédée d'un intervalle dont la longueur moyenne correspond au double de la distance qui sépare deux événements dans la séquence originelle.

Puisque dans un processus de renouvellement les intervalles sont indépendants les uns des autres, tous ceux qui suivent ou qui précèdent ce premier intervalle, décrit par la densité $g(t)$, sont « normaux » et donc donnés par $f_1(t)$. Pour l'intervalle numéro k qui précède l'origine du temps $t = 0$ on a ainsi la densité (avec $x \equiv -t$) :

$$g_k(x) = g(x) * f_{k-1}(x) = f_{k+1}(x).$$

La densité totale est alors :

— pour le domaine positif du temps :

$$F(t) = \sum_{k=1}^{\infty} f_k(t) = \rho e^{-\rho t} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(\rho t)^{k-1}}{(k-1)!} = \rho,$$

— pour le domaine négatif ($t < 0$, d'où $x > 0$) :

$$G(x) = \sum_{k=1}^{\infty} g_k(x) = \sum_{k=2}^{\infty} f_k(x) = \rho - f_1(x).$$

Ce raisonnement se généralise facilement et on peut montrer que si l'on prend comme point de départ (et origine du temps) l'impulsion numéro $K \geq 1$, on trouve pour la densité totale :

$$G(x) = \rho - f_K(x) = \rho \left[1 - \frac{(\rho x)^{K-1}}{(K-1)!} e^{-\rho x} \right].$$

Pour le domaine $t > 0$ la densité reste toujours à sa valeur initiale ρ , indépendamment du choix de K .

Il est facile de vérifier ce comportement expérimentalement en accumulant dans un analyseur multicanal, utilisé en mode multiéchelle, les temps d'arrivée des impulsions. Comme le montre la figure 27, la répartition ainsi obtenue correspond bien à ce que l'on doit attendre.

Cependant, il reste un petit problème ennuyeux, car on ne sait toujours pas comment faire pour choisir une impulsion qui soit précédée d'un intervalle sans biais. En pratique, l'utilisation de $K \gg 1$ peut être acceptable, mais ce subterfuge manque d'élégance. La situation peut être améliorée à l'aide d'une méthode qui, au lieu d'un intervalle, vise directement une impulsion, comme c'est le cas pour les coïncidences. D'autre part, pour un processus perturbé par un temps mort τ il existe un moyen simple et rigoureux pour s'assurer d'un comportement « normal » dans le domaine de x à 0 : il suffit de choisir $K > x/\tau$. Pour plus de détails, nous renvoyons au Rapport BIPM-85/4.

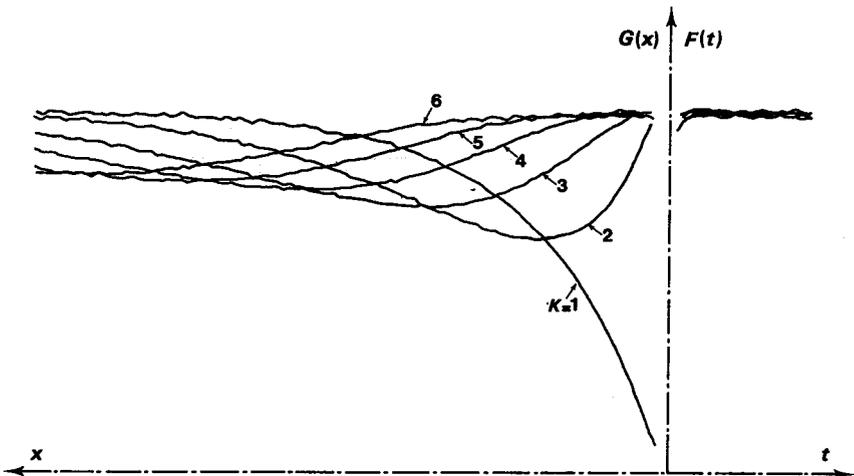


Fig. 27. — Répartition observée des temps d'arrivée des impulsions au voisinage d'une impulsion choisie au hasard.

K est le rang de l'impulsion qui définit l'origine du temps.

Intervalles après un temps mort généralisé

Pour la généralisation d'un procédé on peut normalement envisager un grand nombre de possibilités, mais ce choix est souvent fortement restreint par des conditions supplémentaires que des considérations pratiques nous imposent. Dans le cas présent, où l'on veut se libérer des modèles trop spécifiques d'un temps mort de type étendu ou non étendu, on aimerait, par exemple, disposer d'une généralisation qui inclue ces deux types comme cas limites. De plus, il serait fort souhaitable d'avoir affaire à un modèle qui nous permette de trouver des solutions exactes pour les grandeurs qui sont les plus utiles dans les applications pratiques. Si l'on veut respecter ces contraintes, un seul modèle est actuellement connu ; il a été proposé il y a longtemps, mais est resté peu exploité.

La généralisation indiquée par Albert et Nelson admet que la prolongation d'un temps mort, par l'arrivée d'une nouvelle impulsion, se fait avec une probabilité θ , supposée indépendante des décisions précédentes. Pour ce modèle, et en admettant à l'entrée du dispositif un processus de Poisson, Takács a indiqué une expression pour la transformée de Laplace de la densité des intervalles à la sortie. Elle a la forme :

$$\tilde{a}f(s) = \frac{\theta\rho + s}{\rho + s} \times \frac{\rho e^{-(\theta\rho + s)\tau}}{s + \theta\rho e^{-(\theta\rho + s)\tau}},$$

où ρ est le taux de comptage originel tandis que les paramètres τ et θ caractérisent le temps mort généralisé.

Sous cette forme, cependant, la formule est d'une utilité très limitée. Nous avons réussi à trouver l'original correspondant, mais puisque la dérivation de ce résultat est assez longue, nous nous contentons d'en indiquer ici le résultat (pour les détails techniques, voir le Rapport BIPM-85/5) qui peut être écrit sous la forme :

$$af(t) = \sum_{j=1}^J \left\{ \frac{1}{\theta} A_j(t) + \left(\frac{1-\theta}{\theta} \right) B_j(t) \right\},$$

où
$$A_j(t) = \frac{\theta\rho}{(j-1)!} (-\theta T)^{j-1} e^{-j\theta\rho t}$$

et
$$B_j(t) = \rho(\theta e^{-\theta\rho t})^j \left[e^{-T_j} + (-1)^j \sum_{k=1}^{j-1} \frac{(-1)^k}{(j-1-k)!} T_j^{j-1-k} \right],$$

avec $T_j = \rho(t - j\tau)$ et où J est le plus grand nombre entier inférieur à t/τ .

L'évaluation pratique des coefficients A_j et B_j s'effectue aisément à l'aide d'un petit programme d'ordinateur.

Une étude plus approfondie montre que la fonction de densité ainsi obtenue peut presque toujours être suffisamment bien approchée par

une superposition linéaire des densités limites, c'est-à-dire par :

$${}_\theta f(t) \approx (1 - \theta) {}_0 f(t) + \theta {}_1 f(t).$$

On peut prouver que cette relation est exacte pour $\theta = 0,5$ et $t = 1,5 \tau$, situation dans laquelle on a :

$${}_{1/2} f(3\tau/2) = \frac{\rho}{2} e^{-\rho\tau} (1 + e^{\rho\tau/2}).$$

Grâce à la construction d'un dispositif électronique qui permet de simuler le comportement d'un temps mort généralisé, il a été possible d'enregistrer des distributions expérimentales d'intervalles (fig. 28), et l'accord avec les prévisions est excellent. Dans une étape ultérieure, il s'agira d'étudier la distorsion introduite par un tel temps mort généralisé dans la loi de Poisson, et en particulier d'évaluer les trois premiers moments que l'on peut aussi mesurer expérimentalement.

Autres travaux

L'utilité pratique du concept d'un temps mort généralisé a été mise en évidence dans la note BIPM WPN-227, où l'on décrit comment les deux paramètres τ et θ ont pu être mesurés pour notre chaîne électronique qui sert à toutes les mesures absolues d'activité. Un simple algorithme numérique permettant d'obtenir le taux de comptage originel à partir du taux mesuré (et pour des paramètres connus) est indiqué dans la note BIPM WPN-228. Quelques compléments mathématiques concernant le problème de trouver une fonction réciproque (étudié et utilisé précédemment) sont rassemblés dans le Rapport BIPM-85/1.

Les questions qui se rapportent à l'évaluation, l'expression et l'utilisation d'incertitudes de mesures expérimentales continuent à préoccuper le BIPM. Une revue de l'état actuel de ces problèmes, intitulée « The treatment of measurement uncertainties », a été préparée pour un cours de métrologie qui s'est tenu en Autriche. De plus, le problème d'une éventuelle mauvaise pondération de résultats de mesure a été discuté et illustré dans le Rapport BIPM-84/7.

12.3. — Spectrométrie alpha (A. Rytz)

Préparation de sources

L'évaporateur spécial pour substances radioactives (Rapport 1972, p. 75) a servi à préparer quelques sources de ${}^{241}\text{Am}$ de la meilleure qualité possible, mais trop faibles pour le spectromètre magnétique. La solution d'américium a été mise à notre disposition par le Centre d'études de Bruyères-le-Châtel (France) qui désirait contrôler un détecteur sélectionné à barrière de surface récemment acquis. Deux de ces sources, dont l'activité totale était voisine de 3 500 Bq, ont donné des largeurs

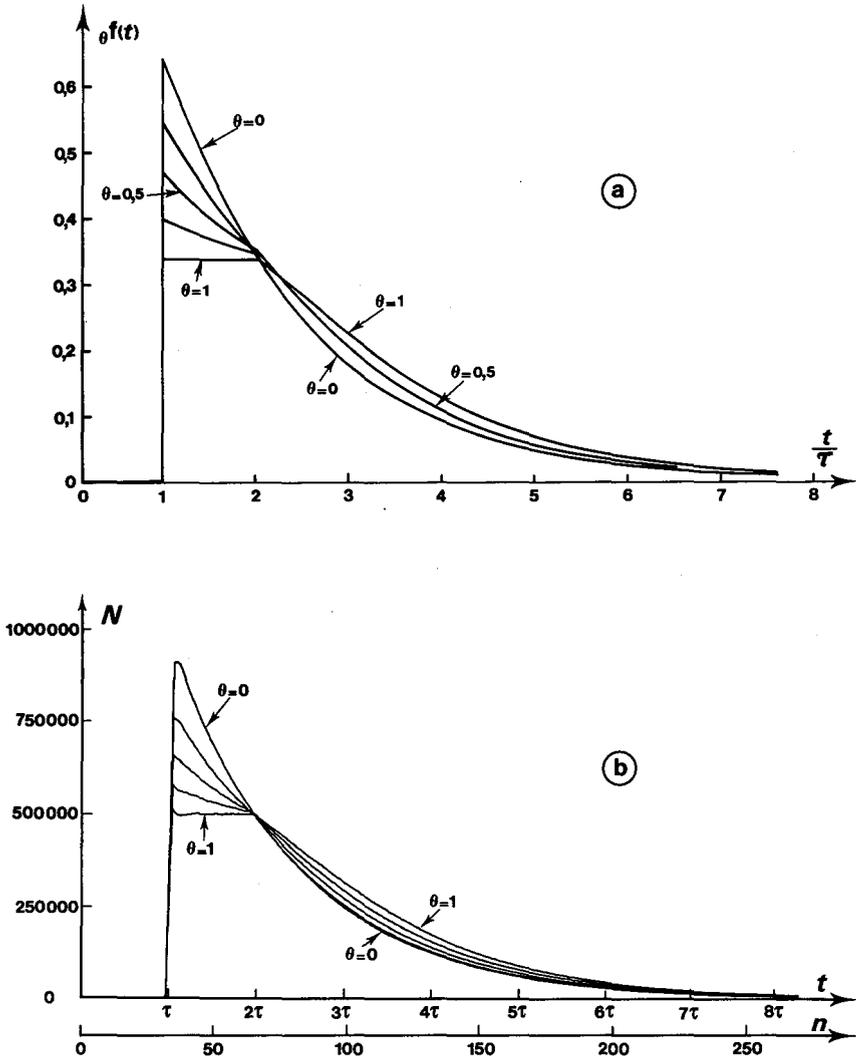


Fig. 28. — Distribution des intervalles entre impulsions après un temps mort généralisé pour diverses valeurs du paramètre θ , pour $\rho = 40\,000\text{ s}^{-1}$ et $\tau = 16\ \mu\text{s}$.

a, distribution théorique ;
 b, distribution observée : n , numéro du canal ; N , nombre d'intervalles par canal (un canal correspond à $0,5\ \mu\text{s}$).

à mi-hauteur de la raie principale d'environ 8,8 keV, ce qui est considéré comme très satisfaisant.

Contrôle de la position des sources dans le spectromètre magnétique

Le même évaporateur a permis de préparer une source beaucoup plus forte de ^{241}Am dans le but de vérifier si la position du porte-source est correcte par rapport à la fente du spectrographe. Pour ce contrôle, on a intérêt à utiliser une source bien forte afin d'accélérer les nombreuses mesures nécessaires. Cette source avait une activité de 560 kBq et permettait d'obtenir un spectre suffisamment intense en 24 heures. Neuf poses de cette durée ont été effectuées, en déplaçant le porte-source après chaque pose de 0,4 mm, soit d'un quart de la largeur de la source. Les spectres observés étaient suffisamment distincts pour déterminer la position optimale sans ambiguïté.

Mesures absolues d'énergie de particules alpha

Encouragé par les résultats obtenus avec le ^{236}Pu (Rapport 1983, p. 74), R.A.P. Wiltshire (AERE, Harwell) a accepté de préparer pour le BIPM trois sources de ^{252}Cf selon la même méthode. Ces sources, d'une activité de 177, 265 et 360 kBq, ont été utilisées à tour de rôle pour effectuer douze poses d'une durée comprise entre 24 et 243 h. Les spectres observés, dont un exemple est reproduit sur la figure 29, faisaient apparaître deux raies appartenant au ^{252}Cf et deux raies

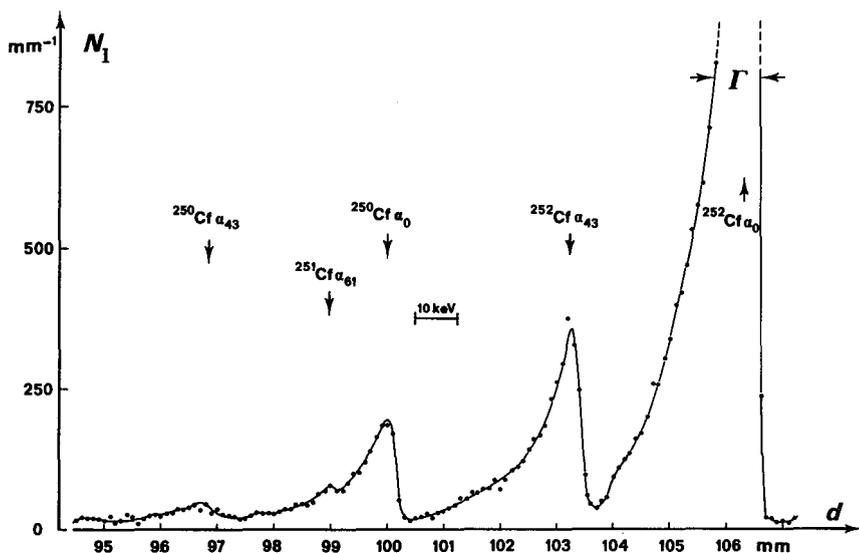


Fig. 29. — Spectre de californium. Nombre linéique N_1 de particules α en fonction de la distance d sur le film (origine arbitraire).

Γ est la largeur à mi-hauteur.

analogues dues au ^{250}Cf présent comme impureté. Les valeurs d'énergie obtenues par extrapolation des profils de raies sont très voisines des valeurs observées par Baranov *et al.* ⁽¹⁰⁾ mais ont des incertitudes considérablement plus petites. Il faut noter en outre que les valeurs de Baranov *et al.* ont été mesurées par rapport à celle du ^{242}Cm , pour laquelle ces auteurs ont utilisé notre résultat publié en 1971 (Rapport 1971, p. 63).

Des mesures semblables de sources de ^{227}Ac et de ^{231}Pa sont prévues dans un proche avenir.

13. Mesures neutroniques (V. D. Huynh)

13.1. — Étude des chambres d'ionisation

En collaboration avec le groupe des rayons X et γ du BIPM, six chambres d'ionisation à paroi équivalente au tissu (TE, Exradin, type T2) et quatre chambres d'ionisation à paroi de magnésium (Exradin, type MG2) ont été étudiées dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co . Certaines de ces chambres ont également été étudiées dans le faisceau de neutrons de 14,65 MeV du BIPM. Rappelons que les gaz qui circulent à travers les chambres T2 et MG2 sont respectivement du gaz TE et de l'argon (débit $25\text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$). Par ailleurs, les parois de deux des chambres T2 ont été fabriquées au BIPM avec une épaisseur (respectivement 2,5 mm et 4,0 mm) différente de celle des chambres d'origine (1 mm). On espère ainsi obtenir une meilleure stabilité à long terme mais on ne peut rien conclure pour le moment.

a) Étude dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co

Les phénomènes suivants ont été observés avec les chambres MG2 lorsque l'on y fait circuler de l'argon.

— La réponse de la chambre (courant d'ionisation, I) augmente, puis décroît, lorsque le débit de gaz augmente (fig. 30). Pour une tension de + 250 V, il existe une différence de 0,8 % entre la réponse pour un débit de $8\text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ (réponse maximale) et celle qu'on obtient pour un débit de $50\text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$. Pour une tension de — 250 V, la différence est de 1,2 %.

— L'effet de polarité varie en fonction de la tension appliquée. Par exemple, le rapport I_+/I_- pour une tension de 50 V est 2 % plus élevé que celui qui est obtenu avec une tension de 400 V (fig. 31).

⁽¹⁰⁾ BARANOV, S. A., SHATINSKII, V. M. and KULAKOV, V. M. Determination of the energy of the most intense groups of α particles of ^{229}Th and certain isotopes of Cm, Bk, and Cf. *Sov. J. Nucl. Phys.*, **14**, 1972, pp. 614-615.

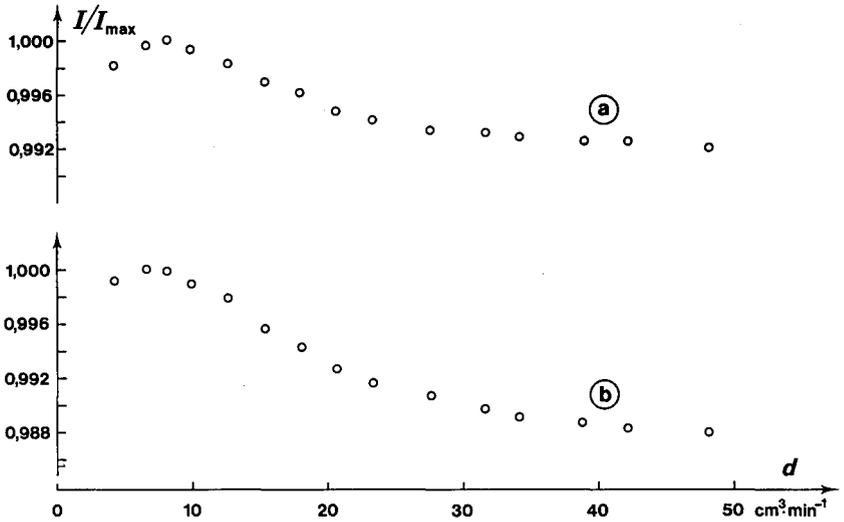


Fig. 30. — Réponse (courant d'ionisation, I) de la chambre MG2 N° 134 dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co en fonction du débit d'argon d . a, tension de + 250 V ; b, tension de - 250 V.

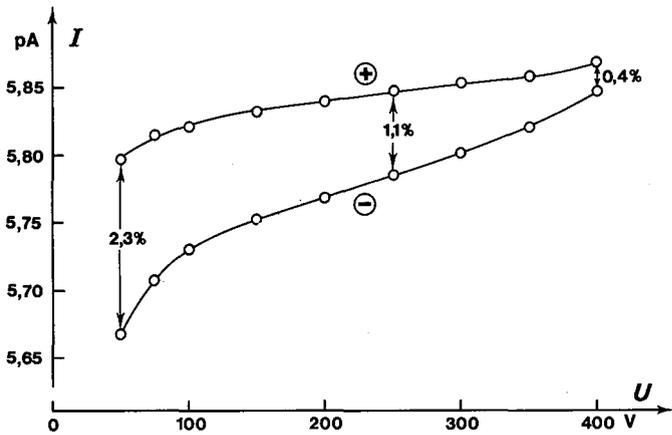


Fig. 31. — Réponse (courant d'ionisation, I) de la chambre MG2 N° 138 dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co en fonction de la tension U appliquée, pour les polarités positive et négative, et pour un débit d'argon de $25 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Par contre, si le gaz qui circule à travers la chambre MG2 est de l'air ou du gaz TE, la réponse reste constante quel que soit le débit de gaz et l'effet de polarité ne varie pas en fonction de la tension appliquée.

Nous avons ensuite poursuivi les études avec une chambre T2 en y faisant circuler respectivement du gaz TE et de l'argon. Nous observons les mêmes effets que ceux qui sont rapportés plus haut.

Il semblerait donc que c'est dans la nature spécifique de l'argon qu'il faut rechercher l'origine de ces effets. Deux propriétés de l'argon attirent particulièrement notre attention : la première est l'effet Jesse et la seconde est due au fait qu'il n'y a pas d'attachement électronique dans l'argon. Il n'y a donc que les ions positifs d'argon et les électrons libres dans le gaz qui ont des mobilités très différentes dans un champ électrique. Il peut donc se produire d'une manière non négligeable des effets combinés de recombinaison des ions et de multiplication des charges.

b) *Étude dans un faisceau de neutrons de 14,65 MeV*

Pour avoir une idée de la cohérence des mesures obtenues par les différentes chambres d'ionisation, on a résumé dans le tableau V les résultats concernant le rapport des courants obtenus par ces chambres, respectivement dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co et dans le faisceau de neutrons de 14,65 MeV. Ces courants ont été corrigés des effets suivants : recombinaison des ions, effet de polarité et effets d'atténuation et de diffusion dans la paroi. On voit dans ce tableau que l'accord est satisfaisant. En outre, une valeur de k_U égale à 0,162 a été déduite de ces rapports pour les chambres Mg/Ar, k_U étant le rapport des sensibilités de la chambre aux neutrons et aux photons (^{60}Co).

TABLEAU V

Réponses (courants d'ionisation) relatives des chambres T2 et MG2 aux photons (^{60}Co) et aux neutrons (14,65 MeV)

Chambres		$\frac{I(^{60}\text{Co})}{I(\text{neutrons})}$
T2	n° 199	34,04
	n° 250	34,16
	n° 252	34,33
	n° 266	33,93
MG2	n° 134	193,7
	n° 139	194,3

Les courants d'ionisation ont été ramenés à la date de référence (1982-01-01, 0 h UT) pour le ^{60}Co et normalisés à un débit de fluence de $10^5 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ pour le faisceau de neutrons.

13.2. — Préparation de la comparaison internationale de mesures de débit de kerma

Les préparatifs concernant la comparaison internationale de mesures de débit de kerma, qui sera organisée par le BIPM avec circulation des instruments de transfert qu'il a étudiés et sélectionnés, sont maintenant terminés. Le nouveau protocole de mesure a été discuté et approuvé par les membres de la Section III du CCEMRI lors de sa réunion du 28 au 30 mai 1985. Un calendrier de comparaison a été établi ; douze laboratoires (y compris le BIPM) y participeront. Cependant, la comparaison ne débutera qu'en octobre 1985.

14. Publications

Publications du BIPM

Depuis octobre 1984 ont été publiés :

Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, 10^e session (1983), 48 pages.

Section I (Rayons X et γ , électrons), 7^e réunion (1983), 52 pages.

Section II (Mesure des Radionucléides), 7^e réunion (1983), 44 pages.

Section III (Mesures neutroniques), 6^e réunion (1983), 52 pages.

Comité Consultatif d'Électricité, 16^e session (1983), 165 pages.

Comité Consultatif des Unités, 9^e session (1984), 44 pages.

Comité Consultatif de Thermométrie, 15^e session (1984), 161 pages.

Procès-verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures, tome 52 (73^e session, octobre 1984), 175 pages.

Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures, volume 9 (1983-1984), 41 articles.

Le Système International d'Unités (SI), 5^e édition (1985), 110 pages.

Monographies

Monographie 84/4. International intercomparison of fixed points by means of sealed cells (13.81 K to 90.686 K) (221 pages).

Monographie 85/1. International intercomparison of attenuation in waveguide R 140 at 15 GHz (42 pages).

Metrologia (R. P. Hudson)

Le nombre de manuscrits reçus et le nombre de manuscrits publiés sont pratiquement restés inchangés de 1983-84 à 1984-85. Un certain ralentissement de la publication s'est produit à cause de la faillite de l'imprimeur, mais la situation a été finalement réglée. Plus récemment, il y a eu légère augmentation du nombre de manuscrits reçus par mois.

Publications extérieures

GIACOMO, P. News from the BIPM: some changes in the SI. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-34**, 1985, pp. 116-117.

GIACOMO, P. The new definition of the metre. In McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology, New York, 1986, pp. 278-279.

GIACOMO, P. International and national standards and the role of the BIPM for their comparison. In Proceedings of IMEKO TC 8: Interregional Training Course on Ensuring Measurement Accuracy (Seibersdorf, 1984), pp. 3-10.

GIACOMO, P. News from the BIPM. *Metrologia*, **21**, 1985, pp. 89-92.

GIACOMO, P. Nouvelles du BIPM. *Bulletin BNM*, N° 60, 1985, pp. 5-7.

GIACOMO, P. Mesure - Étalons fondamentaux. In Encyclopaedia Universalis, Vol. 11, 1984, pp. 1177-1180.

QUINN, T. J. and MARTIN, J. E. A radiometric determination of the Stefan-Boltzmann constant and the thermodynamic temperature between -40°C and $+100^{\circ}\text{C}$. *Philos. Trans. R. Soc. London*, **A316**, 1985, pp. 85-189.

QUINN, T. J. and MARTIN, J. E. A radiometric determination of the Stefan-Boltzmann constant. In Precision Measurement and Fundamental Constants II, *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Spec. Publ.*, **617**, 1984, pp. 291-297.

QUINN, T. J. The Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). *J. Phys. E*, **18**, 1985, pp. 368-371.

PRESTON-THOMAS, H., QUINN, T. J. and HUDSON, R. P. The International Practical Temperature Scale. *Metrologia*, **21**, 1985, pp. 75-79.

QUINN, T. J. and MARTIN, J. E. Radiometric measurements of the Stefan-Boltzmann constant and thermodynamic temperature between -40°C and $+100^{\circ}\text{C}$. *Metrologia*, **20**, 1984, pp. 163-164.

QUINN, T. J., SPEAKE, C. C. and DAVIS, R. S. A 1 kg mass comparator using flexure-strip suspensions; preliminary results. *Metrologia* (sous presse).

METHERELL, A. J. F. and QUINN, T. J. The gravitational field of a 111 tetrahedron. *Metrologia*, **22**, 1986, pp. 87-91.

RYTZ, A. Activity concentration of a solution of ^{137}Cs : An international comparison. *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research*, **228**, 1985, pp. 506-511.

CARRÉ, P. Nová definice metru. *Pokroky matematiky fyziky a astronomie*, **XXIX**, 1984, pp. 347-349 (Traduction de l'article « La nouvelle définition du mètre », paru dans *Bulletin de l'Union des Physiciens*, N° 660, 1984, pp. 503-506).

CARRÉ, P. La nouvelle définition du mètre. *Revue de métrologie pratique et légale*, N° 3, 1985, pp. 135-137.

CARRÉ, P. Le mètre devient-il une unité dérivée? *Revue de métrologie pratique et légale*, N° 3, 1985, pp. 138-139.

MÜLLER, J. W. The assignment of uncertainties to the results of experimental measurements. In Precision Measurement and Fundamental

Constants II, *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Spec. Publ.*, **617**, 1984, pp. 375-381.

MÜLLER, J. W. The treatment of measurement uncertainties. *In Proceedings of IMEKO TC 8 : Interregional Training Course on Ensuring Measurement Accuracy (Seibersdorf, 1984)*, pp. 31-49.

WITT, T. J. An automatic system for accurate standard cell comparisons. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-34**, 1985, pp. 270-274.

HUYNH, V. D. Neutron measurements at the Bureau International des Poids et Mesures. *In Proceedings of «IAEA Advisory Group Meeting on Nuclear Standard Reference Data» (Geel, 12-16 novembre 1984) IAEA-TECDOC-335*, 1985, pp. 338-339.

GIRARD, G. Participation, en tant que «IAPSO SUN Advisor», au document : The International System of Units (SI) in Oceanography. IAPSO, Publication Scientifique N° 32 (UNESCO technical papers in marine science 45), 1985, 124 pages.

GLÄSER, M. Identification of hyperfine structure components of the iodine molecule at 640 nm wavelength. *Opt. Commun.*, **54**, 1985, pp. 335-342.

REYMANN, D. A simple thermoregulated enclosure for standard cells. *J. Phys. E*, **17**, 1984, pp. 1142-1147.

DELAHAYE, F. and REYMANN, D. Progress in resistance ratio measurements using a cryogenic current comparator at LCIE. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-34**, 1985, pp. 316-319.

FELDER, R. Étude de paramètres affectant la reproductibilité et la répétabilité de fréquence des lasers à hélium-néon asservis, en cuve interne, sur une raie d'absorption saturée. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur CNAM, Paris, juillet 1985.

CAPITAINE, N. and GUINOT, B. Anomalies of some tidal waves of UT1. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **81**, 1985, pp. 563-568.

ENDO, T., MURAYAMA, Y., KOYANAGI, M., KINOSHITA, J., INAGAKI, K., YAMANOUCHI, C. and YOSHIHIRO, K. Measurement system for quantum Hall effect utilizing a Josephson potentiometer. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-34**, 1985, pp. 323-327.

SPEAKE, C. C. and METHERELL, A. J. F. The design of a beam balance for a determination of G . *In Precision Measurement and Fundamental Constants II, Natl. Bur. Stand. (U.S.) Spec. Publ.*, **617**, 1984, pp. 291-297.

METHERELL, A. J. F., SPEAKE, C. C. and CHEN, Y. T. Optimizing the shape of the attracting mass in precision measurements of G . *In Precision Measurement and Fundamental Constants II, Natl. Bur. Stand. (U.S.) Spec. Publ.*, **617**, 1984, pp. 581-585.

NIATEL, M.-T., PERROCHE-ROUX, A.-M. and BOUTILLON, M. Two determinations of W for electrons in dry air. *Phys. Med. Biology*, **30**, 1985, pp. 67-75.

Rapports

BRÉONCE, P. et MÜLLER, J. W. Détermination numérique du taux origine pour un temps mort généralisé. BIPM WPN-228, novembre 1984, 3 pages.

MÜLLER, J. W. Statistiques de comptage. Rapport BIPM-84/6, novembre 1984, 5 pages.

MÜLLER, J. W. A propos d'un abus de poids statistiques. Rapport BIPM-84/7, novembre 1984, 11 pages.

MÜLLER, J. W. Some observations on the reversion of series. Rapport BIPM-85/1, janvier 1985, 11 pages.

HAMON, J. et CARRÉ, P. Rapport sur l'étude, au BIPM, de la règle de 1 mètre N° 12924 et de la règle de 500 mm N° 16806. Rapport BIPM-85/2, 36 pages.

HAMON, J., GIACOMO, P. et CARRÉ, P. Rapport sur la comparaison internationale de mesures de règles divisées 1976-1984. Rapport BIPM-85/3, 45 pages.

CARRÉ, P. Une nouvelle façon d'appliquer la méthode des excédents fractionnaires. Rapport BIPM-85/6, juin 1985, 5 pages.

FELDER, R. Rapport BIPM-85/7, juillet 1985, 100 pages (titre identique à celui du mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur CNAM, voir Publications extérieures).

DAVIS, R. S. et GIRARD, G. Rapport sur la comparaison d'étalons de masse de 1 kg en platine iridié et en acier inoxydable entre le National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique) et le Bureau International des Poids et Mesures. Rapport BIPM-85/8, avril-juin 1985, 10 pages.

LECLERC, G. Rapport sur la 14^e comparaison des étalons nationaux de résistance électrique (novembre 1983 et février 1984). Rapport BIPM-85/9, septembre 1985, 16 pages.

15. Certificats et Notes d'étude

Du 1^{er} octobre 1984 au 30 septembre 1985, 60 Certificats et 5 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1984

N ^o		
32.	Deux étalons de résistance de 1 Ω , N ^{os} 144487 et 222327 (addition)	Institut de Métrologie Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
33.	Etalon de résistance de 1 Ω , N ^o 222288 ...	Id.
34.	Deux étalons de résistance de 10 000 Ω , N ^{os} 117720 et 148058 (addition)	Id.
35.	Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N ^{os} 650-3472, 666-3473, 695-3476 et 655 (addition)	Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
36.	Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse (2353 K) N ^{os} 5024, 5025, 5026, 5027 et 5028 (addition)	Comité Polonais de Normalisation et des Mesures, Varsovie, Pologne.
37.	Quatre étalons secondaires de flux lumineux N ^{os} F2 et F3 (2353 K), H2 et H3 (2787 K) (addition)	Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
38.	Deux étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N ^{os} 3463 et 2 (addition)	Id.
39.	Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N ^{os} 20495, 20496, 20497, 20498 et 20499 (addition)	Comité Polonais de Normalisation et des Mesures, Varsovie, Pologne.
40.	Kilogramme prototype N ^o 40 (addition)	Suède.
41.	Etalon de masse de 1 kg, MJV1, en acier inoxydable	Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
42.	Etalon de masse de 1 kg, G1, en acier inoxydable	Id.
43.	Neuf calibres en acier de 5, 8, 10, 15, 20, 25, 50, 75 et 100 mm	Direcção-Geral da Qualidade, Lisbonne, Portugal.
44.	Trois fils géodésiques de 24 m en Invar N ^{os} 605, 606 et 607	Istituto di Topografia, Geodesia e Geofisica Mineraria, Bologna, Italie.

1985

N°

- | | |
|---|---|
| 1. Quatre étalons de force électromotrice
N ^{os} 60203, 60204, 60208 et 60211
(addition) | National Physical Research Laboratory,
Pretoria, Afrique du Sud. |
| 2. Etalon décimétrique en invar N° 1644
(addition) | Direcção-Geral da Qualidade, Lisbonne,
Portugal. |
| 3. Thermomètre à résistance de platine
N° T 241 098 | Id. |
| 4. Cinq étalons de force électromotrice
N ^{os} 1345, 1373, 1376, 1377 et 1378
(addition) | Office Fédéral de Métrologie, Wabern,
Suisse. |
| 5. Neuf calibres en acier de 5, 15, 25, 40,
50, 60, 75, 90 et 100 mm | Id. |
| 6. Etalon de masse de 1 kg, E'69, en
"Immaculate V" (addition) | Irlande. |
| 7. Etalon de masse de 1 kg, E'2, en
"Immaculate V" (addition) | Id. |
| 8. Etalon de masse de 1 kg en acier
inoxydable | Istituto di Metrologia G. Colonnetti,
Turin, Italie. |
| 9. Règle de 1 mètre, N° 15481, en acier à
58 % de nickel (addition) | Institute for Industrial Research and
Standards, Dublin, Irlande. |
| 10. Kilogramme N° 44' en platine iridié | Institut National de Métrologie, Paris. |
| 11. Kilogramme JML5 en platine iridié | Id. |
| 12. Neuf calibres en acier de 5, 15, 25, 40,
50, 60, 75, 90 et 100 mm | Office Fédéral de Métrologie, Wabern,
Suisse. |
| 13. Thermomètre à résistance de platine
N° 1844993 (addition) | Statens Provningsanstalt, Borås,
Suède. |
| 14. Deux étalons de résistance de 1 Ω,
N ^{os} 1634204 et 1684332 (addition) | Id. |
| 15. Etalon de résistance de 1 Ω, N° 1883431 .. | Institute for Industrial Research and
Standards, Dublin, Irlande. |
| 16. Etalon de résistance de 1 Ω, N° 225305 ... | Id. |
| 17. Etalon de résistance de 10 000 Ω,
N° 1876641 | Id. |
| 18. Deux étalons de résistance de 1 Ω,
N ^{os} 1816192 et 1816196 (addition) | Service de la Métrologie, Bruxelles,
Belgique. |
| 19. Etalon de résistance de 10 000 Ω,
N° 718011 (addition) | Id. |
| 20. Etalon de résistance de 10 000 Ω,
N° 043021 | Id. |
| 21. Etalon de résistance de 100 Ω,
N° 226750 (addition) | Id. |
| 22. Règle de 1 mètre en invar N° 10230
(addition) | Organisation Européenne pour la Recherche
Nucléaire, Genève, Suisse. |

1985 (suite)

N°	
23.	Quatre rubans en invar de 24 m, N°s 774 A, 775 A, 776 A et 777 A Hidroelectrica de Cahora Bassa, Rép. Pop. de Mozambique.
24.	Deux rubans en invar de 6 m, N°s 778 A et 779 A Id.
25.	Kilogramme prototype N° 23 (addition) Finlande.
26.	Kilogramme prototype N° 55 (addition) République Démocratique Allemande.
27.	Etalon de masse de 1 kg, N° 1, en acier inoxydable Service de la Métrologie, Bruxelles, Belgique.
28.	Etalon de masse de 1 kg, N° 1 ⁺ , en acier inoxydable Id.
29.	Quatre étalons de force électromotrice N°s 60599, 60614, 60615 et 60716 Institute for Industrial Research and Standards, Dublin, Irlande.
30.	Thermocouple platine/platine rhodié à 10 % N° 8002 (addition) Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
31.	Etalon de résistance de 1000 Ω, N° 236072 (addition) Service de la Métrologie, Bruxelles, Belgique.
32.	Six étalons de force électromotrice N°s 41042, 41045, 41347, 41351, 41353 et 41690 (addition) Id.
33.	Etalon de masse de 1 kg, N° 83, en acier inoxydable "Micral D" Ministère du Commerce et de l'Industrie, Yaoundé, République du Cameroun.
34.	Série de masses de 100 g à 1 mg, N° 100 .. Id.
35.	Quatre étalons de force électromotrice N°s 1, 2, 3 et 4 Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
36.	Thermomètre à résistance de platine N° 615022-3 Institut Central de Métrologie, Pyongyang, Rép. Pop. Dém. de Corée.
37.	Thermomètre à résistance de platine N° 48-3 Id.
38.	Deux étalons de résistance de 1 Ω, N°s 225312 et 230026 (addition) Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège.
39.	Deux étalons de résistance de 1 Ω, N°s 1870736 et 1870737 Id.
40.	Quatre étalons de résistance de 1 Ω, N°s 1749269, 1755134, 1758735 et 1758737 (addition) Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade, Yougoslavie.
41.	Deux étalons de capacité de 10 pF, N°s K01 et K24 Institut de Métrologie Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
42.	Deux étalons de capacité de 10 pF, N°s 405 et 408 (addition) Service de la Métrologie, Bruxelles, Belgique.

1985 (suite)

- N°
- | | |
|--|---|
| 43. Etalon de capacité de 10 pF, N° 413 | Institute for Industrial Research and Standards, Dublin, Irlande. |
| 44. Quatre étalons de force électromotrice
N°s 21417, 21419, 21677 et 21860
(addition) | Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade, Yougoslavie. |
| 45. Cinq calibres en acier de 125, 150, 175, 200 et 250 mm | Office National des Mesures, Budapest, Hongrie. |
| 46. Quatre calibres en acier de 250, 300, 400 et 500 mm | Id. |
| 47. Calibre en acier de 1000 mm | Institut Métrologique Tchécoslovaque Bratislava, Tchécoslovaquie. |

NOTES D'ETUDE

1984

- | | |
|---|---|
| 2. Trois calibres en acier de 10, 25 et 100 mm | National Physical Laboratory, Jérusalem, Israël. |
| 3. Règle de 1,016 m, N° 7804, en acier à 58 % de nickel | Institut Central de Métrologie, Pyongyang, Rép. Pop. Dém. de Corée. |
| 4. Quatre radiations d'une lampe à krypton .. | Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade, Yougoslavie. |
| 5. Trois radiations d'une lampe à hélium | Id. |

1985

- | | |
|---|--|
| 1. Etalon de résistance de 25 Ω , N° 242120 .. | Service de la Métrologie, Bruxelles, Belgique. |
|---|--|

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

Documentation ; Système International d'Unités

Les demandes de renseignements adressées au BIPM sur la définition des unités, la mise en pratique de ces définitions, les étalons de mesure, les progrès du Système International d'Unités, restent nombreuses, particulièrement depuis le changement de la définition du mètre, en octobre 1983.

A sa 9^e session (juin 1984), le Comité Consultatif des Unités a discuté et approuvé de nombreux changements au texte de la brochure du BIPM « Le Système International d'Unités (SI) » en vue de la 5^e édition. A sa 73^e session (octobre 1984), le CIPM a décidé de publier aussi cette 5^e édition en langue anglaise. Sous la direction de J. de

Boer, le BIPM a préparé cette version anglaise et, après consultation de R. J. Bell (NPL) et D.T. Goldman (NBS), il a remis ce texte à l'imprimeur. La 5^e édition a été achevée d'imprimer le 15 novembre 1985.

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

P. Giacomo participe aux travaux de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (Commission SUN-AMCO), de l'Union Astronomique Internationale (Commission de l'Heure), du Comité de direction et du Conseil scientifique du Bureau National de Métrologie français.

T. J. Quinn, participe régulièrement aux réunions du Conseil scientifique de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC), Turin.

A. Allisy participe aux travaux de l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) en qualité de vice-président.

P. Carré participe régulièrement à la révision de normes (grandeurs, unités, symboles) de l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

B. Guinot participe aux travaux de l'Union Astronomique Internationale (UAI), de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI), du Comité Consultatif International des Radiocommunications. Il est membre du Conseil scientifique du Bureau National de Métrologie français et du Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale.

J. Terrien, directeur honoraire, et H. Moreau, métrologiste honoraire, continuent à s'occuper de la 4^e édition du Vocabulaire international de l'Éclairage CIE-CEI, à laquelle quelques amendements ont été apportés avant son impression.

Voyages, visites, conférences, exposés du personnel

Dans ce qui suit, le signe ++ ou + indique un déplacement dont les frais n'ont pas été pris en charge par le BIPM (++) ou bien ont été pris en charge partiellement (+).

P. Giacomo s'est rendu :

— du 25 au 28 juin 1985, à Londres, à l'occasion d'une réunion du Club de métrologie de l'Europe de l'ouest ; il en a profité pour visiter divers laboratoires du NPL ;

— du 28 au 30 juin 1985, à Cambridge, pour une réunion du bureau du CIPM ;

— du 1^{er} au 15 juillet 1985, au Japon++, à Tokyo et Kyoto, où il a donné deux conférences, l'une sur l'historique du BIPM et l'autre sur le Système International d'Unités : « The SI, a universal tool that requires permanent care for its implementation ».

T. J. Quinn a séjourné au Cavendish Laboratory, Université de Cambridge (Royaume-Uni), du 1^{er} octobre 1984 au 31 août 1985, conformément à l'accord donné par le CIPM à sa 72^e session (*BIPM, Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 51, 1983, p. 23).

Pendant ce séjour, il a été invité à donner plusieurs conférences :

a) à Cambridge

Lady Margaret Lecture (Christ's College) : Measurement — still the necessary foundation for good science ;

Cavendish Physical Society : The gas constant from measurements of thermal radiation ;

Engineering Department : Cu-Be as a flexure element in high precision balances ;

b) à l'University of Glasgow et à l'University College London : A new measurement of the Stefan-Boltzmann constant.

Il a effectué diverses visites à d'autres laboratoires et instituts :

— en novembre 1984, au NRC⁺⁺ pour prendre part au « Review Committee on Standards » ;

— en juin 1985, à Boston (États-Unis d'Amérique) pour participer à une réunion commune NBS/NSF/AER(Inc) sur la radiométrie absolue ;

— en novembre 1984, mars 1985 et juillet 1985, visites régulières à l'IMGC⁺⁺ pour participer aux réunions du Conseil scientifique ;

— en janvier 1985, à l'University of Glasgow⁺⁺ pour rencontrer l'équipe qui travaille sur les ondes gravitationnelles et y faire une conférence ;

— en mars 1985, à l'University College London⁺⁺ pour rencontrer le Pr McGlashan et d'autres chercheurs qui ont l'intention de travailler sur une nouvelle détermination acoustique de la constante des gaz, et y donner une conférence ;

— en avril 1985, à l'University of Warwick⁺⁺ pour discuter de la fabrication des suspensions flexibles à partir d'un monocristal de silicium (Dr K. Bowen) ;

— en mai 1985, à l'University of Manchester⁺⁺ pour discuter des propriétés du silicium et de la fabrication d'un tétraèdre 111 de silicium « parfait » (Pr M. Hart) ;

— en juin 1985, à Contour Fine Tooling Ltd., Stevenage⁺⁺ pour discuter et passer commande d'outils à pointe de diamant d'un nouveau type pour l'usinage final des Kilogrammes prototypes en platine iridié.

De plus, il s'est rendu plusieurs fois au NPL⁺⁺ pour discuter de questions se rapportant à la thermométrie et aux balances.

Pendant son séjour à Cambridge, il est resté en relation étroite avec le BIPM et a, pour cela, effectué douze visites à Sèvres⁺⁺, dont deux à l'occasion de déplacements à l'IMGC.

A. Allisy a participé aux réunions suivantes :

— du 19 au 22 novembre 1984, Advisory Group Meeting on the Present Status and Future of the IAEA/WHO Secondary Standard Dosimetry Laboratory Network⁺⁺, à Seibersdorf (Autriche) ;

— du 5 au 7 décembre 1984, 10 Jahre Österreichisches Dosimetrie-Laboratorium Seibersdorf⁺⁺, à Seibersdorf ; il y a fait une conférence intitulée « Dosimetrische Messungen am BIPM und deren Weitergabe » ;

— du 19 au 21 mars 1985, Seminar on Radiation Protection Quantities for External Exposure, organisé conjointement par la Commission des Communautés Européennes, la PTB et l'ICRU, à la PTB, Braunschweig ;

— le 22 mars 1985, Comité ICRU sur l'équivalent de dose, à la PTB, Braunschweig ;

— du 20 au 23 mai 1985, Ninth Symposium on Microdosimetry⁺, à Toulouse (France) ;

— du 1^{er} au 9 juin 1985, Main Commission ICRU⁺⁺, à Didcot (Royaume-Uni) ; au cours de cette réunion, il a été élu Président de l'ICRU pour une période de quatre ans ;

— le 10 juin 1985, Comité ICRU sur l'équivalent de dose⁺⁺, à Bristol (Royaume-Uni) ;

— du 8 au 12 juillet 1985, XVIth International Congress of Radiology⁺⁺, à Honolulu (États-Unis d'Amérique).

A. Rytz s'est rendu :

— à Vienne⁺⁺ (Autriche), où il a travaillé, du 29 octobre au 2 novembre 1984, avec MM. W. B. Mann et A. Spagnol pour le manuel de l'AIEA ;

— à Prague, pour participer, du 22 au 26 avril 1985, au X^e Congrès mondial d'IMEKO et à la réunion du TC8 ; à son retour, il s'est arrêté à Vienne pour une brève consultation à l'AIEA, le 29 avril ;

— à Grenoble (France), pour participer, du 3 au 7 juin 1985, aux diverses réunions et à l'assemblée générale de l'International Committee for Radionuclides Metrology ;

— à Geel (Belgique), où il s'est joint à MM. W. B. Mann et A. Spagnol afin de travailler, du 22 au 26 juin 1985, pour le manuel de l'AIEA.

J. W. Müller s'est rendu à Lausanne⁺⁺ (Suisse) pour faire, le 1^{er} juillet 1985, à l'Institut d'électrochimie et radiochimie de l'École Polytechnique Fédérale, une conférence sur « Les principes et l'état actuel de l'échantillonnage sélectif ».

J. Bonhoure a apporté son concours à la session de perfectionnement FORPHESCO organisée par le LCIE à Fontenay-aux-Roses ; il a fait un exposé sur la photométrie le 9 octobre 1984.

Les 12 et 13 juin 1985, à Paris, il a participé à la réunion de la division 2 « Mesure physique de la lumière et du rayonnement » de la CIE.

Les 24 et 25 juin 1985, à Cambridge (États-Unis d'Amérique), il a assisté à la réunion « Advances in absolute radiometry » organisée par Atmospheric and Environmental Research Inc. Il s'est ensuite rendu à Ottawa pour visiter le NRC.

R. P. Hudson s'est rendu au NPL du 12 au 14 mai 1985, pour rendre visite à R. J. Bell (discussion sur le SI) et à R. L. Rusby (discussion concernant une tâche du Groupe de travail 4 du CCT).

Au cours d'un voyage privé à Washington, en décembre 1984, il a profité de l'occasion pour visiter le NBS et discuter de certains manuscrits avec plusieurs scientifiques.

V.D. Huynh s'est rendu :

— à Geel (Belgique), du 12 au 16 novembre 1984, pour assister au « IAEA Advisory Group Meeting on Nuclear Standard Reference Data » ; il y a fait un exposé sur « Neutron measurements at the Bureau International des Poids et Mesures » ;

— à Santa Fe (États-Unis d'Amérique), du 13 au 17 mai 1985, pour assister à l'« International Conference on Nuclear Data for Basic and Applied Science » ;

— à Rijswijk (Pays-Bas), du 16 au 20 septembre 1985, pour assister au « IAEA Advisory Group Meeting on Nuclear and Atomic Data for Radiotherapy and Radiobiology ».

G. Girard a visité l'Institut Métrologique Tchécoslovaque à Bratislava les 19 et 20 avril 1985 et plus spécialement la section des masses. Il a participé ensuite à une réunion du TC-3 (Force et Masse) et à une table ronde organisées à l'occasion du 10^e Congrès IMEKO à Prague, du 22 au 25 avril. Il a participé également à une réunion du Groupe de travail « Force » du CCM, pendant la même période.

Il s'est rendu, du 12 au 14 juin 1985, à l'IMGC, Turin, pour participer aux réunions des quatre Groupes de travail « Masse » du CCM ainsi que pour visiter ce laboratoire.

Il s'est rendu, les 1^{er} et 2 août 1985, au NBS à Gaithersburg, puis, du 3 au 10 août, à Honolulu pour participer à une Assemblée Générale de l'Association Internationale des Sciences Physiques de l'Océan. A l'invitation du CSIRO⁺⁺, Division of Applied Physics, Sydney, il y a fait un stage de deux semaines, jusqu'au 25 août.

Du 30 août au 2 septembre 1985, il a participé aux travaux du Sous-Comité « Physicochemical Measurements and Standards » de l'UICPA, à Lyon.

J.-M. Chartier effectue, depuis le 31 juillet 1985, un stage d'un an au JILA (Boulder, États-Unis d'Amérique).

M. Gläser s'est rendu :

— à la PTB (Braunschweig), du 22 octobre au 2 novembre 1984 et du 29 avril au 17 mai 1985, pour coopérer à une expérience de spectroscopie à franges de Ramsey utilisant un jet atomique de calcium ($\lambda = 657 \text{ nm}$) ;

— à Bayreuth (RFA), du 25 au 29 mars 1985, pour participer à la conférence : « Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ».

D. Reymann a poursuivi, jusqu'à fin 1984, un stage à temps partiel au LCIE, sur la réalisation d'un étalon de résistance utilisant l'effet Hall quantique.

B. Guinot a présenté une conférence intitulée « La mesure du temps, du temps astronomique à l'horloge atomique » le 11 décembre 1984, au Palais de la Découverte, Paris.

Il a donné des cours sur le temps et sur la rotation terrestre, en janvier 1985, à l'Institut Géographique National (St-Mandé, France).

Il s'est aussi rendu :

— les 4 et 5 octobre 1984, à Besançon, pour le Congrès International de Chronométrie ;

— le 28 février 1985, à Toulouse, pour la réunion du Conseil Scientifique du Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale ;

— le 18 septembre 1985, à Besançon, pour préparer les journées temps-fréquences du Bureau National de Métrologie français.

T. Endo a visité la PTB, du 20 au 23 mai 1985. Il y a donné un exposé intitulé « Using a Josephson-effect potentiometer for measurements of the quantum Hall resistance ».

G. Ratel s'est rendu à la PTB, du 11 au 23 février 1985, pour se procurer toutes les informations utiles à la réalisation d'un compteur proportionnel à pression.

R. Felder a soutenu, le 11 juillet 1985, au CNAM, Paris, son mémoire : Étude de paramètres affectant la reproductibilité et la répétabilité de fréquence des lasers à hélium-néon asservis, en cuve interne, sur une raie d'absorption saturée. Il a ainsi obtenu le diplôme d'ingénieur CNAM.

R. Pello s'est rendu au NPL, du 14 au 16 février 1985, pour assurer le transport de retour de la balance de pression utilisée pour la comparaison internationale.

Mme M.-J. Coarasa s'est rendue au NPL, du 19 au 23 août 1985, pour y faire étalonner un hygromètre à point de rosée.

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

— par T. Witt, le 9 octobre 1984 : « Comparaisons automatiques de piles étalons au BIPM » ;

— par P. Carré, le 9 octobre 1984 : « Prise de contact avec l'ordinateur personnel IBM (le système d'exploitation, l'éditeur de lignes, le Basic, le Fortran) » ;

— par J. W. Müller, le 13 novembre 1984, « Faut-il toujours pondérer les résultats de mesures ? » ;

— par J. Hamon, le 11 décembre 1984 : « Les interféromètres au BIPM » ;

— par J.-M. Chartier, le 15 janvier 1985 : « Lasers à He-Ne asservis, à $\lambda = 633$ nm, de qualité métrologique moyenne (défaut de reproductibilité compris entre 1×10^{-7} et 1×10^{-9}) » ;

— par A. Sakuma, le 12 février 1985 : « Comparaison internationale de gravimètres » ;

— par P. Carré, le 26 février 1985 : « Les extensions du Fortran des IBM PC (Fortran V) par rapport à celui de l'IBM 1130 (Fortran IV) » ;

— par B. Guinot, le 5 mars 1985 : « Du temps des astronomes au temps des physiciens » ;

— par M. Gläser, le 23 avril 1985 : « Lasers asservis sur l'absorption saturée en cuve externe » ;

— par G. Leclerc, le 7 mai 1985 : « Situation dans le domaine des unités électriques en 1927. Mission du BIPM. Définitions successives de la représentation de l'ohm conservée par le BIPM » ;

— par J. Bonhoure, le 10 juin 1985 : « Promenade guidée autour de la candela » ;

— par R. Felder, le 5 juillet 1985, sur le sujet de son mémoire d'ingénieur CNAM.

Visites et stages au BIPM

Une visite du BIPM a été organisée le 28 mai 1985 pour 24 élèves et stagiaires de l'École Supérieure de Métrologie, Paris.

Mlle M.-T. Niatel et Mme M. Boutillon (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Paris) et Mme A.-M. Perroche (Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants, Paris) poursuivent leur participation au travail de la section des rayonnements ionisants (rayons X et γ , électrons).

Mme N. Ramamison (boursière de Madagascar) poursuit la préparation d'une thèse de docteur-ingénieur sur le Global Positioning System.

Mr Sieknecht (PTB, Braunschweig) est venu, les 15 et 16 octobre 1984, avec deux étalons de tension à diode de Zener; nous avons mesuré la tension définie par ces instruments.

Mr R. Spurny (CSMU, Bratislava) a fait un stage du 23 au 25 octobre 1984 à la section des masses.

Mr Karl-Erik Rydler (Statens Provningsanstalt, Suède) a visité la section d'électricité le 9 novembre 1984; il a déposé une enceinte de piles étalons et a discuté avec nous du comportement et de la mesure des piles.

Mr R. Balhorn (PTB, Braunschweig) a séjourné à la section des masses du 3 au 13 décembre 1984, période pendant laquelle le prototype de masse N° 52 a été comparé à nos étalons; il s'est aussi entretenu avec nous de problèmes concernant les mesures de masse.

Mr Carlos Austerlitz Campos (Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro) a participé, du 3 au 14 décembre 1984, à l'étalonnage de deux chambres d'ionisation de son laboratoire utilisées comme étalons secondaires d'exposition du Brésil. Il a eu pendant son séjour de nombreuses et fructueuses discussions concernant la mesure de l'exposition.

Mr A. R. Colclough (NPL, Teddington) est venu le 10 décembre 1984 et a présenté un exposé intitulé « Is the random theory of errors objective ? » ou « Two theories of experimental errors ».

Mr D. Mosse (LMRI, Saclay) est venu le 25 janvier 1985 pour discuter du passage de l'exposition au kerma dans l'air en vue de l'étalonnage d'une chambre d'ionisation du LMRI aux rayons X de faible énergie.

Mr W. Bich (IMGC, Turin) a séjourné les 28 et 29 janvier 1985 à la section des masses; il est reparti avec un étalon de 1 kg, après étalonnage.

Mr Z. Drnovsek (Université de Ljubljana, Yougoslavie) a discuté avec nous, les 20 et 21 février 1985, des étalons de tension employant des diodes de Zener.

Mr J. Gallop (NPL, Teddington) est venu, le 21 février 1985, discuter des mesures électriques et de l'effet Josephson.

Mme N. Coursol et Mr B. Chauvenet (LMRI, Saclay) sont venus, le 13 mars 1985, visiter l'installation du groupe de mesures neutroniques.

Mme Coursol, MM. Blanchis, Bouchard, Chauvenet et Vatin (LMRI, Saclay) sont venus le 20 mars 1985 pour discuter des problèmes de mesure des radionucléides. Ils ont visité ensuite les laboratoires de gravimétrie, des mesures de masse et le bâtiment des lasers. MM. Bouchard et Chauvenet sont revenus, le 9 mai, pour reprendre les entretiens et discuter un projet de publication.

Mr L. Blik (PTB, Braunschweig) a discuté avec nous, le 26 mars 1985, de l'effet Hall quantique et des comparaisons internationales de résistances.

Mr A. B. Costra (CSIR, Afrique du Sud) a discuté avec nous, le

28 mars 1985, des mesures de piles et des possibilités d'effectuer des comparaisons utilisant des étalons à diode de Zener.

Mr M. L. Das (NPL, Inde) a fait un stage de quatre jours, du 1^{er} au 4 avril 1985, à la section des masses; il a profité de son voyage pour apporter au BIPM le prototype de masse N° 57 en platine iridié et pour se familiariser avec les techniques de pesées.

Mr G. Stephan (Université de Rennes, France) est venu, du 9 au 12 avril 1985, pour effectuer des expériences sur les différents modes d'oscillation de lasers asservis.

Mr V. Navratil (CSMU, Bratislava) est venu, du 15 au 18 avril 1985, pour rechercher des solutions à certains problèmes concernant les lasers asservis sur l'iode.

Mr L. Huntley (Chef de la Métrologie de la firme John Fluke, États-Unis d'Amérique) est venu, le 16 avril 1985, discuter des étalons de tension fondés sur les diodes de Zener.

MM. D. Mosse et K. Steinchaden (LMRI, Saclay) ont participé, du 22 au 26 avril 1985, à l'étalonnage d'une chambre d'ionisation en termes de kerma dans l'air, dans le domaine des rayons X de faible énergie.

Mlle M. Buckley (Department of Industry and Commerce, Dublin) a repris, le 26 avril 1985, la règle divisée N° 15481, étalon national de l'Irlande.

Mr M. Nunes (Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne) a eu avec nous, le 10 mai 1985, des discussions sur les instruments de métrologie électrique.

MM. S. Oboukhov, V. Tatarenkov et Y. Domnin (IMPR, Moscou) ont participé, du 21 mai au 10 juin 1985, à la comparaison de leur laser asservi sur le méthane avec ceux du BIPM.

MM. D. B. Gayther (AERE, Harwell) et T. Michikawa (ETL, Ibaraki) sont venus, le 30 mai 1985, visiter l'installation du groupe de mesures neutroniques.

Mr Baranski (Laboratoire Polonais de Mesures et du Contrôle de la Qualité, Varsovie) est venu, le 30 mai 1985, visiter les installations de la section d'électricité et discuter de l'effet Josephson.

Mr H. Nilsson (Statens Provningsanstalt, Suède) a discuté avec nous, le 31 mai 1985, des résultats des mesures des piles et a déposé une seconde enceinte de piles à étudier.

Mr B. R. Meyer (National Accelerator Centre, Afrique du Sud) a effectué un stage, du 14 au 21 juin 1985, pour se familiariser avec les techniques utilisées au laboratoire des radionucléides.

Mr H. Bjerke (Statens Institutt for Strålehygiene, Norvège) a participé, du 17 au 21 juin 1985, à l'étalonnage d'une chambre d'ionisation de son laboratoire (rayons X du domaine 100 à 250 kV).

Mr L. Pendrill (Statens Provningsanstalt, Suède) est venu, du 24 au 28 juin 1985, pour se documenter sur la construction de lasers asservis sur l'iode.

Mme V. Spasic (Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade) est venue, les 25 et 26 juin 1985, se documenter en vue de l'installation d'un laboratoire primaire de rayonnements ionisants en Yougoslavie. Elle a visité en détail les laboratoires de mesure des rayons X et γ , des radionucléides et des neutrons; elle a profité de ce séjour pour visiter le laboratoire des lasers.

Mr W. Wöger (PTB, Braunschweig) a visité le BIPM du 25 au 27 juin 1985. Il a fait une conférence sur l'expression des incertitudes de mesures et il s'est intéressé, en particulier, aux travaux effectués récemment par le groupe des radionucléides.

MM. A. Bartolotta et L. Pugliani (Istituto Superiore di Sanità, Rome) ont participé, du 1^{er} au 5 juillet 1985, à la comparaison de l'étalon d'exposition de leur laboratoire avec celui du BIPM (rayons X de 10 à 50 kV).

Mme M. Gustafsson (AIEA, Vienne) est passée au BIPM, le 27 août 1985, pour reprendre une chambre d'ionisation de son laboratoire ainsi que l'instrument de mesure associé, récemment étalonnés (rayons X et cobalt 60). Elle a aussi discuté des détails concernant le manuel en préparation sur la mesure de la radioactivité.

Mme E. Filipe (Direcção-Geral da Qualidade, Lisbonne) a effectué un stage à la section de thermométrie du 9 au 20 septembre 1985.

Parmi les visites de courte durée, nous mentionnerons encore celles de :

— Mlle M. L. du Preez (NPRL, Afrique du Sud), le 10 septembre 1984 (rayons X et γ);

— Mr M. Seabra (Service de Métrologie, Lisbonne), le 11 octobre 1984 (pour reprendre le prototype de masse N° 10);

— Mr P. Cérez (LHA, Orsay), le 20 octobre 1984 (lasers);

— MM. P. R. Stuart et D. I. Simpson (NPL), du 6 au 8 novembre 1984 (manométrie);

— Mr Martins, le 23 novembre 1984 (lasers);

— Mr Prost (OFMET, Suisse), le 25 novembre 1984 (électricité : discussion sur les mesures automatiques de piles);

— Mr G. Ferolla (Institut National de Métrologie, Brésil), le 28 novembre 1984 (lasers);

— MM. P. Cérez et Declercq (LHA, Orsay) et Avilla (Mexique), le 30 novembre 1984 (lasers);

— Mr Hu Xiu Yu (Université de Wuhan, Rép. Pop. de Chine), accompagné d'un interprète (ENS, Saint-Cloud), le 17 décembre 1984 (électricité, gravimétrie, masses);

— Mr Paulet (société Citroën, Vélizy), le 17 décembre 1984 (lasers);

— Mr H. Källgren (Statens Provningsanstalt, Suède), les 17 et 18 décembre 1984 (prises de vues cinématographiques pour la réalisation d'un film sur la métrologie, par une équipe suédoise);

— Mr D. Brankovic (Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Yougoslavie), le 20 décembre 1984 (lasers);

- Mr J. L. Hall (JILA, Boulder), le 7 janvier 1985 (lasers) ;
- MM. R. Moello et J. A. Picard (LRBA, Vernon, France), le 9 janvier 1985 (lasers) ;
- Mr Ando (ETL, Ibaraki), le 24 janvier 1985 (électricité) ;
- Mr R. W. Hellings (JPL, Pasadena), le 29 janvier 1985 (temps, relativité) ;
- MM. P. Juncar et Y. Millérioux (INM, Paris), le 30 janvier 1985 (lasers) ;
- Mr G. Stephan (Université de Rennes, France), le 25 février 1985 (lasers) ;
- Mr Xh. Myteberi (Tirana), le 25 février 1985 (radionucléides) ;
- Mr A. Michel (ETCA, Paris), le 7 mars 1985 (lasers) ;
- Mr le professeur Huck (Université de Hanovre, RFA), le 14 mars 1985 (lasers) ;
- Mr P. Bölöni (Office National des Mesures, Budapest), les 21 mars et 17 juin 1985 (lasers) ;
- Mr Gain (société Jaeger, Levallois, France), le 21 mars 1985 (lasers) ;
- Mr A. Brilllet et Mme C. Man (LHA, Orsay), le 27 mars 1985 (lasers) ;
- Mr le professeur Henry (Université de Paris VII), le 2 avril 1985 (lasers) ;
- Mr J. Ivarsson (Statens Provningsanstalt, Suède), les 16 et 19 avril 1985 (thermométrie) ;
- Mr D. Knight (NPL, Teddington) et Mr F. Invernizzi (Laboratoire Technologique d'Uruguay, Montevideo), le 19 avril 1985 (lasers) ;
- Mr Lange (Norske Justervesen, Oslo), le 22 avril 1985 (électricité) ;
- Mr C. Maeda (Osaka Institute of Technology, Japon), le 9 mai 1985 (masses, gravimétrie) ;
- Mr A. Kirita (NRLM, Ibaraki), le 13 mai 1985 (gravimétrie, longueurs) ;
- Mr Pan Xiao Pei (Shaanxi Astronomical Obs.), le 30 mai 1985 (temps) ;
- Mr R. J. Douglas (NRC), le 18 juin 1985 (temps) ;
- Mr S. Bennet (NPL, Teddington), le 20 juin 1985 (lasers) ;
- Mr M. Frennberg (Statens Provningsanstalt, Suède), le 26 juin 1985 (lasers) ;
- Mr J. Blabla (CSMU), le 22 août 1985 (lasers) ;
- Mr W. R. C. Rowley (NPL), le 18 septembre 1985 (lasers).

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 1984.

Compte I. — Fonds ordinaires *

RECETTES		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1984		16 895 009,59
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1984		812 797,12
Recettes budgétaires		13 161 570,81
Différences de change		124 174,55
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États »		<u>215 688,00</u>
Total		<u>31 209 240,07</u>
DÉPENSES		francs-or
Virement au compte « remboursement aux États »		73 529,00
Dépenses budgétaires		14 908 045 28
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1984		<u>16 227 665,79</u>
Total		<u>31 209 240,07</u>
DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES		
Versements de contributions :		
		francs-or
au titre de l'exercice 1984	10 691 665	} 11 682 400 } 11 755 929,00
au titre de l'exercice 1983	342 097	
au titre de l'exercice 1982	36 906	
au titre de l'exercice 1981	52 406	
au titre de l'exercice 1985	59 526	
au titre du compte « remboursement aux États »	73 529	
Intérêts des fonds		1 324 484,79
Recettes diverses		69 421,68
Taxes de vérification		<u>11 735,34</u>
Total		<u>13 161 570,81</u>

* Dans ce tableau, ainsi que dans les suivants, on utilise le franc-or défini par l'équivalence 1 franc-or = 1,81451 francs français.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
A. Dépenses de personnel :				
1. Traitements	6 258 878,80	6 210 000	—	48 878,80
2. Allocations familiales et sociales	909 427,29	791 000	—	118 427,29
3. Sécurité Sociale	654 530,68	550 000	8 721 000	104 530,68
4. Assurance-accidents	66 649,03	70 000	3 350,97	—
5. Caisse de Retraites (°)	1 100 000,00	1 100 000	—	—
B. Dépenses de fonctionnement :				
1. Mobilier	163 969,71	45 000	—	118 969,71
2. Laboratoires et Ateliers	777 429,65	700 000	—	77 429,65
3. Chauffage, eau, énergie électrique	332 486,02	450 000	117 513,98	—
4. Assurances	21 350,00	30 000	8 650,00	—
5. Impressions et publications	129 890,21	170 000	40 109,79	—
6. Frais de bureau	179 374,98	160 000	—	19 374,98
7. Voyages et transports d'appareils	175 395,21	170 000	—	5 395,21
8. Entretien courant	82 641,08	80 000	—	2 641,08
9. Bureau du Comité	44 000,00	44 000	—	—
C. Dépenses d'investissement :				
1. Laboratoires	1 611 489,11	1 250 000	—	361 489,11
2. Atelier de mécanique	130 119,05	30 000	—	100 119,05
3. Atelier d'électronique	38 748,62	10 000	—	28 748,62
4. Bibliothèque	129 908,61	100 000	—	29 908,61
D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation)				
	1 528 146,73	1 500 000	—	28 146,73
E. Frais divers (°)				
	139 892,70	39 000	—	100 892,70
F. Utilisation de monnaies non convertibles				
	0,00	1 000	1 000,00	—
G. T.V.A. en attente de remboursement				
	433 717,80	—	—	433 717,80
Totaux	14 908 045,28	13 500 000	170 624,74	1 578 670,02

(°) Virement au compte II (Caisse de Retraites).

(°) Dont virement de 58 110 francs-or au compte IV (caisse de prêts).

Compte II. — Caisse de retraites

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1984	7 745 117,69
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1984	413 855,44
Intérêts des Fonds	670 599,38
Retenues sur les traitements	343 777,99
Virement du Compte I	1 100 000,00
Total	<u>10 273 350,50</u>

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies	1 055 468,48
Remboursement de versements	3 120,84
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1984	<u>9 214 761,18</u>
Total	<u>10 273 350,50</u>

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

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1984	835 554,11
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1984	42 056,28
Contribution d'entrée d'Israël (acompte)	58 800,00
Total	<u>936 410,39</u>

DÉPENSES

	francs-or
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1984	<u>936 410,39</u>

Compte IV. — Caisse de prêts sociaux

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1984	24 607,92	} 123 382,54
Créances au 1 ^{er} janvier 1984	98 774,62	
Créances nouvelles en cours d'année		80 186,49
Virement du Compte I.		58 110,00
Amortissements partiels des prêts :		
Capital	95 160,75	} 98 759,08
Intérêts	3 598,33	
Total		<u>360 438,11</u>

DÉPENSES

		francs-or
Prêts consentis en cours d'année		80 186,49
Créances amorties en cours d'année		95 160,75
Créances au 31 décembre 1984	83 800,36	} 185 090,87
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1984	101 290,51	
Total		<u>360 438,11</u>

Compte V. — Réserve pour les bâtiments

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1984		1 884 546,82
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1984		6 348,46
Total		<u>1 890 895,28</u>

DÉPENSES

		francs-or
Dépenses bâtiment « Lasers »		1 749 542,63
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1984		141 352,65
Total		<u>1 890 895,28</u>

BILAN

AU 31 DÉCEMBRE 1984

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	16 227 665,79
Compte II « Caisse de retraites »	9 214 761,18
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	936 410,39
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	185 090,87
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	141 352,65
ACTIF NET	26 705 280,88

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie Française (1 Ff = 0,551109935 FO)	350 040,47
2° En monnaie U.S.A. (1 \$ = 9,592 FF = 5,286 246 500 FO)	8 329 172,16
3° En monnaie suisse (1 FS = 3,725 FF = 2,052 884 509 FO)	5 580 353,03
4° En monnaie britannique (1 £ = 11,180 FF = 6,161 409 077 FO)	128 130,38
5° En monnaie allemande (1 DM = 3,062 FF = 1,687 498 622 FO)	5 305 879,82
6° En monnaie japonaise (1 Y = 0,0380 FF = 0,020942177 FO) ..	6 956 413,11
7° En monnaie hongroise (1 Ft = 0,131546 FF = 0,072496811 FO).	6 328,12
8° En monnaie polonaise (1 Zl = 0,057551 FF = 0,031717352 FO)	24 456,01
b. Espèces en caisse	22 715,42
ACTIF BRUT	26 703 488,52

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux	83 800,36
à déduire : Provision pour remboursements aux États (1)	82 008,00
ACTIF NET	26 705 280,88

(1) *Compte « Remboursement aux États »*

	francs-or
Situation au 1 ^{er} janvier 1984	224 167,00
Recouvrements sur l'Inde et le Chili	73 529,00
Compensation du remboursement des avances faites pour le Chili qui a été déduit des contributions de 1984	— 215 688,00
Situation au 31 décembre 1984	82 008,00

ANNEXE

Le Temps atomique international au Bureau International des Poids et Mesures

Origine et statut du TAI

L'invention de l'horloge atomique dans les années 50 et le large éventail des applications scientifiques et industrielles qui en découlent ont inévitablement conduit à ce que tôt ou tard la responsabilité première de l'échelle de temps mondiale revienne à une organisation intergouvernementale.

La première mesure dans ce sens fut prise par la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) en 1971, lorsque celle-ci adopta de façon formelle la définition du Temps atomique international (TAI) et confia au Comité International des Poids et Mesures (CIPM) le soin de prendre avec le Bureau International de l'Heure (BIH) les mesures nécessaires pour la mise en œuvre de cette décision. Cette mesure fut confirmée par les Résolutions de la 15^e CGPM, en 1975, qui recommanda aussi l'emploi du Temps universel coordonné (UTC) comme moyen de diffuser la seconde du SI et le Temps atomique international en même temps qu'une approximation du Temps universel (UT).

Avant 1971, c'était le BIH seul, à l'Observatoire de Paris, qui établissait l'échelle de temps mondiale. Le BIH fut créé en 1911 avec l'intention d'établir une institution permanente sous les auspices d'une convention intergouvernementale comparable à la Convention du Mètre qui a créé le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) en 1875. Toutefois, la déclaration de la première guerre mondiale mit un terme aux discussions qui auraient dû aboutir à la nouvelle convention et la responsabilité du fonctionnement du BIH fut laissée à l'Observatoire de Paris, sous les auspices de la Commission de l'Heure de l'Union Astronomique Internationale (UAI). La question d'une nouvelle convention ne fut plus jamais soulevée. En revanche, les Unions internationales, l'UAI, l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI) et l'Union Radio-Scientifique Internationale (URSI) conclurent un accord

aux termes duquel le BIH fut considéré comme un service mis sous les auspices de la Fédération des Services d'Astronomie et de Géophysique (FAGS) tandis que la responsabilité financière de son fonctionnement reposait presque entièrement sur l'Observatoire de Paris. A la suite de la décision de la 14^e CGPM, un membre du personnel du BIPM fut détaché depuis 1973 au BIH pour y travailler de façon permanente à plein temps. En 1984, le personnel du BIH atteignait un total de seize personnes, dont environ cinq s'occupaient des échelles de temps et les autres des questions concernant le mouvement du pôle et la rotation de la Terre.

Au cours des dernières années, la situation économique générale, ajoutée au fait que le TAI n'a plus rien à voir avec l'astronomie, a conduit à la conclusion inquiétante que l'Observatoire de Paris rencontrerait de plus en plus de difficultés pour assumer l'entretien du TAI à long terme. En fait, au début de 1984, il devint évident qu'il convenait de prendre des mesures relativement urgentes. En conséquence, le président de l'Observatoire de Paris, le directeur du BIPM et le directeur du BIH se trouvèrent d'accord pour étudier la question du transfert, de l'Observatoire de Paris au BIPM, de toute la responsabilité (tant matérielle et financière que scientifique) du TAI.

Les discussions conduisirent à la signature d'un protocole d'accord entre le président de l'Observatoire de Paris et le directeur du BIPM, avec l'approbation du bureau du CIPM. Ce protocole fut ultérieurement approuvé par le conseil de l'Observatoire de Paris et le CIPM. Dans ce protocole il était convenu que pendant l'année 1985 la responsabilité financière du TAI passerait au BIPM, une équipe qui pourrait compter cinq personnes serait constituée par le BIPM pour assurer le travail d'établissement du TAI et le BIPM fournirait ce qui serait nécessaire en bureaux, moyens de liaison et de calcul. C'est maintenant chose faite.

Il fut aussi convenu que la structure existante du BIH serait conservée en attendant la décision de la 18^e CGPM, qui doit se tenir en 1987, et les recommandations des différentes Assemblées générales des Unions intéressées, UAI, UGGI et URSI (qui seront toutes connues d'ici le mois d'août 1987).

Aucune objection au transfert au BIPM de la responsabilité du TAI n'a été soulevée de la part de l'une ou l'autre des Unions internationales. En ce qui concerne la section du BIH qui s'occupe du mouvement du pôle et de la rotation de la Terre, section qui demeure à l'Observatoire de Paris, des changements doivent intervenir au plus tard au 1^{er} janvier 1988 par suite d'une réorganisation de l'activité dans ces domaines, sous les auspices des Unions scientifiques internationales.

La prise en charge permanente du service du TAI accroît les dépenses annuelles de fonctionnement du BIPM d'environ 6,5 %. Elle accroît aussi son besoin de nouveaux locaux.

Réalisation et dissémination du TAI

Le Temps atomique international (TAI) est une échelle de temps établie par le BIH au BIPM sur la base des données fournies par les laboratoires et d'un algorithme appelé ALGOS. Le TAI est calculé et disséminé tous les mois aux utilisateurs à partir des résultats de comparaisons régulières d'horloges.

L'établissement de TAI comporte trois étapes :

1. calcul d'une échelle de temps intermédiaire, l'Échelle atomique libre (EAL), à partir des lectures d'horloges, en utilisant l'algorithme ALGOS et en mettant l'accent sur la stabilité à long terme ;

2. évaluation de la durée de l'intervalle unitaire de l'échelle EAL en utilisant les données des étalons primaires ;

3. obtention du TAI à partir de l'EAL en amenant l'unité de l'échelle du TAI à une valeur aussi voisine que possible de la seconde du SI ; c'est le « pilotage ».

La figure 1 donne un schéma des opérations que comportent ces trois étapes. Dans les cartouches (a) et (b) sont indiqués les différents types de données introduites dans le calcul de l'EAL. Toutes ces données sont introduites sous la forme de différences entre le Temps universel coordonné d'un laboratoire (i), $UTC(i)$, et soit ses propres horloges, soit sa propre Échelle atomique de temps locale, $TA(i)$, s'il en conserve une, soit un signal extérieur, tel que ceux donnés par le LORAN-C ou

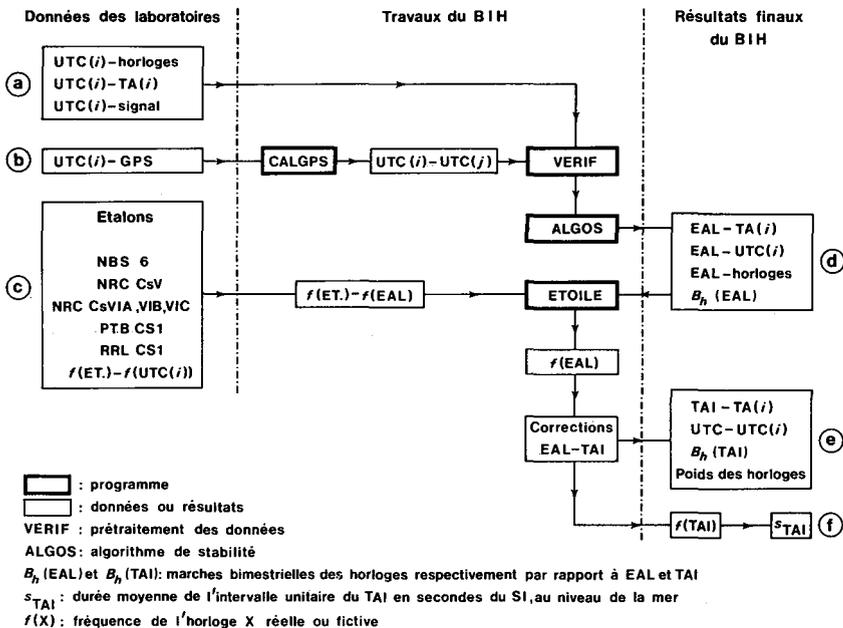


Figure 1

les télévisions locales, soit le UTC(*j*) d'un autre laboratoire comparé à UTC(*i*) au moyen du GPS. Au cours de l'année 1985, onze laboratoires étaient reliés directement au moyen des satellites du GPS et fournissaient par conséquent des données extrêmement exactes. Toutes ces données sont communiquées au BIH par l'un ou l'autre des moyens indiqués sur la figure 2. En décembre 1985, 174 horloges commerciales à césium, 6 étalons primaires à césium et 2 masers à hydrogène participaient à l'établissement du TAI.

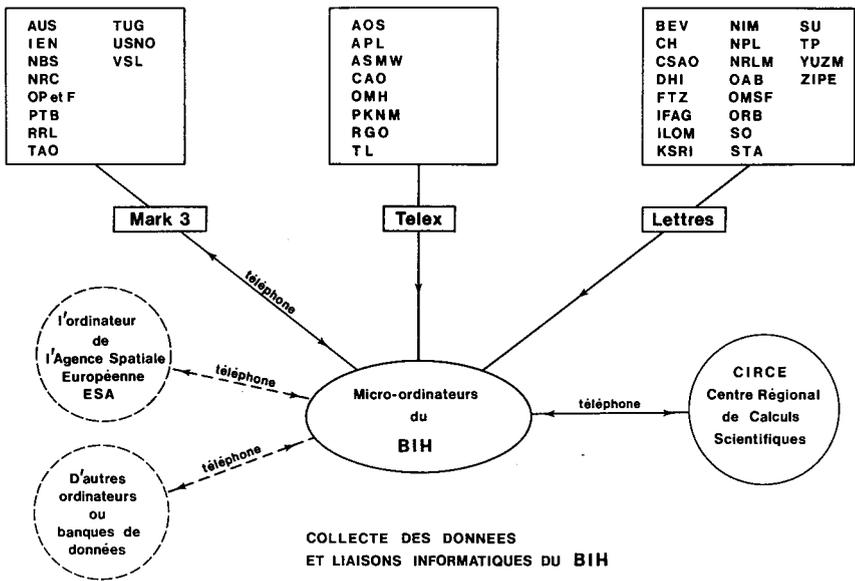


Figure 2

A la réception, les données sont d'abord vérifiées pour s'assurer de leur cohérence interne et mises sous la forme appropriée pour être introduites dans ALGOS. Ce pré-traitement des données est effectué à l'aide d'un programme VERIF ; les données provenant du GPS sont de plus au préalable traitées au moyen d'un programme CALGPS. Le programme ALGOS donne les informations indiquées dans le cartouche (d), à savoir, pour chaque laboratoire participant, une série de différences : EAL - TA(*i*), EAL - UTC(*i*), EAL - horloges et de plus les marches bi-mestrielles, B_h (EAL), des horloges par rapport à l'EAL. Ces données sont élaborées tous les dix jours (en fait les jours dont la date se termine par le chiffre 9 dans le calendrier julien modifié).

La deuxième étape de l'établissement du TAI est l'évaluation de la durée de l'intervalle unitaire de l'EAL. Cette évaluation est faite en utilisant les résultats des comparaisons entre les étalons primaires dont la liste figure dans le cartouche (c). NRC-CsV, NRC-Cs VI (A, B et

C) et PTB-CS1 sont des horloges qui fonctionnent de façon continue, tandis que NBS-6 et RRL-Cs1 servent à effectuer des étalonnages de temps à autre. En utilisant ces données, un programme ÉTOILE comportant un processus complexe de filtrage pour tenir compte des variations aléatoires, fournit la fréquence normée de l'EAL. Pendant cette deuxième étape de l'établissement du TAI des difficultés surgissent qui sont dues aux écarts non aléatoires entre les étalons et aux variations annuelles persistantes dont l'origine, en dépit des changements intervenus dans les liaisons horaires, demeure obscure.

Lors de la troisième étape, le TAI est dérivé de l'EAL en utilisant le « pilotage ». Avant février 1984, le pilotage était fait au moyen de sauts de fréquence de 2×10^{-14} , mais depuis lors aucun saut de ce genre ne s'est avéré nécessaire.

Le résultat final, qui figure dans les cartouches (e) et (f), donne les différences entre le TAI et les échelles atomiques de temps de chaque laboratoire participant $TA(i)$, les différences entre UTC et la propre échelle de chaque laboratoire participant $UTC(i)$, les marches bi-mensuelles des horloges des laboratoires par rapport au TAI et finalement le poids de chacune des horloges participantes tel qu'il intervient dans le calcul du TAI, poids qui est déterminé sur la base du fonctionnement antérieur de l'horloge.

Afin de mettre en œuvre le système de l'UTC, des secondes intercalaires occasionnelles sont introduites pour tenir compte de la vitesse de rotation de la Terre par rapport à TAI. Récemment, la rotation de la Terre s'est accélérée; il en résulte qu'il n'est nécessaire d'avoir une seconde intercalaire positive qu'une fois tous les deux ans et non pas une fois par an comme ce fut le cas à une certaine époque.

Pour avoir plus de détails sur tous les points indiqués dans la présente note, se reporter au :

- Rapport du Directeur, *BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures* (ce volume);
 - Rapport du BIH au CCDS (document CCDS/85-4);
 - Rapport Annuel du BIH 1985.
-

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
(15^e session - 1984)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
par M. DURIEUX, rapporteur

Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) a tenu sa 15^e session au Pavillon de Breteuil les 5, 6 et 7 juin 1984.

Étaient présents :

H. PRESTON-THOMAS, membre du CIPM, président du CCT.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],
Berlin (H. MAAS).

Československý Metrologický Ústav [CSMU], Bratislava
(M. BOROVICKA).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa (R. E. BEDFORD).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield
(W. R. G. KEMP).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (LING SHANKANG).

Institut National de Métrologie [INM], Paris (A. MOSER,
G. BONNIER).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin (L. CROVINI,
F. PAVESE).

Kamerlingh Onnes Laboratorium [KOL], Leiden (M. DURIEUX).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (J. F. SCHOOLEY,
R. J. SOULEN).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (R. L. RUSBY,
M. V. CHATTLE).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Ibaraki
(M. MORIMURA).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(W. THOMAS, W. BLANKE).

Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (P. BLOEMBERGEN).

L'un des membres nominativement désignés :

C.A. SWENSON (Ames).

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Assistaient aussi à la session : J. TERRIEN, directeur honoraire ;
T. J. QUINN, sous-directeur ; J. BONHOURS, R. P. HUDSON et
G. GIRARD, adjoints au directeur du BIPM.

Excusé : F. G. BRICKWEDDE (Pennsylvania), membre nominativement désigné.

Absents : Institut de Métrologie D. I. Mendéléév [IMM], Leningrad ;
Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques [IMPR],
Moscou.

Le CCT a eu cinquante-cinq documents à étudier, parmi lesquels les rapports des quatre Groupes de travail et un grand nombre de communications se rapportant à la nouvelle Échelle Internationale Pratique de Température (EIPT) en cours d'établissement. Le CCT a été satisfait de constater que le document intitulé « Supplementary Information for the IPTS-68 and the EPT-76 » avait été publié récemment * et que la liste révisée des points de référence secondaires était prête. Elle sera publiée prochainement, ainsi que de nouvelles valeurs de la différence $T - T_{68}$ ou $T - T_{76}$ de 0,5 à 730 K.

Le CCT a également été satisfait d'apprendre que la comparaison internationale de cellules scellées à point triple de l'argon était achevée. Cette comparaison a été organisée par l'IMGC (Turin). Le rapport final comportant les résultats de cette comparaison fera l'objet d'une Monographie du BIPM **.

En ce qui concerne la future EIPT, il reste à examiner un certain nombre de difficultés d'ordre pratique et de principe.

Sur le plan pratique, il n'est pas encore certain que le thermomètre à résistance de platine pour la mesure des hautes températures puisse fonctionner de façon satisfaisante au-dessus du point de l'argent (960 °C) ; par ailleurs, il faudrait connaître beaucoup mieux la relation entre l'échelle du thermomètre à résistance et la température thermodynamique au-dessus de 460 °C.

Sur le plan des principes, il reste encore à résoudre toute une série de questions telles que : définitions de remplacement, niveau acceptable de non unicité, échelles très exactes sur des domaines restreints, coupure de l'échelle, limite inférieure de température pour le thermomètre à résistance de platine et choix d'un instrument d'interpolation au-dessous de cette limite, jusqu'à 4,2 K. Les quatre Groupes de travail étudient

* BIPM Monographie, 1983.

** BIPM Monographie 84/4, 1984.

la façon de résoudre la plupart des désaccords qui subsistent sur ces points.

On a aussi discuté de questions concernant les échelles pour les très basses températures et les points fixes aux basses températures. Enfin, le CCT a longuement discuté de la nécessité d'une EIPT : actuellement, on estime qu'une telle échelle sera nécessaire pour l'avenir à échéance prévisible.

Pour faire des progrès dans l'établissement d'une nouvelle EIPT, il paraît essentiel que les Groupes de travail se réunissent au moins une fois avant la prochaine session du CCT qui doit se tenir au cours de l'été 1986, et que chacun de ces Groupes soumette au moins un rapport avant octobre 1985.

25 juin 1984



RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA DÉFINITION DE LA SECONDE
(10^e session - 1985)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
par M. GRANVEAUD, rapporteur

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS) a tenu sa 10^e session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, au cours de 5 séances, les mercredi 5, jeudi 6 et vendredi 7 juin 1985.

Étaient présents :

J. KOVALEVSKY, membre du CIPM, président du CCDS.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],
Berlin (M. KALAU).

Bureau International de l'Heure [BIH], Paris (B. GUINOT).

Bureau des Longitudes, Paris (B. GUINOT).

Comité Consultatif International des Radiocommunications [CCIR],
Genève (J. McA. STEELE).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa (R.J. DOUGLAS).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (MA FENGMING).

Instituto y Observatorio de Marina [OMSF], San Fernando,
(J. BENAVENTE SIERRA).

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Torino
(A. GODONE).

Laboratoire de l'Horloge Atomique [LHA] du CNRS, Université
de Paris-Sud, Orsay (C. AUDOIN).

Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences [LPTF], Paris
(M. GRANVEAUD).

Laboratoire Suisse de Recherches Horlogères [LSRH], Neuchâtel
(J. BONANOMI).

National Bureau of Standards [NBS], Boulder (D.W. ALLAN).
National Physical Laboratory [NPL], Teddington (O.C. JONES).
Observatoire Cantonal de Neuchâtel, Neuchâtel (J. BONANOMI).
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(K. DORENWENDT).
Royal Greenwich Observatory [RGO], Hailsham (J.D.H. PILKING-
TON).
Union Astronomique Internationale [UAI], (W. MARKOWITZ).
U.S. Naval Observatory [USNO], Washington (G.M.R. WINKLER).
Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (R. KAARLS).

Invités :

Academia Sinica, Beijing (PAN Xiaopei).
Office Fédéral de Métrologie [OFMET], Wabern (J. BONANOMI).
Technische Universität [TUG], Graz (D. KIRCHNER).
Tokyo Astronomical Observatory [TAO], (M.-K. FUJIMOTO).
P. PÂQUET, Comité Directeur du BIH.
H.F. FLIEGEL, J. BUISSON, W. JONES, Global Positioning System.

Assistaient aussi à la session : J. TERRIEN, directeur honoraire du
BIPM ; T.J. QUINN, sous-directeur du BIPM ; J. AZOUBIB (BIPM) ;
W. LEWANDOWSKI (BIPM).

Excusés :

National Research Laboratory of Metrology, Ibaraki ; Radio
Research Laboratories, Tokyo.

Absents :

Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques, Mos-
cou * ; National Physical Laboratory of India, New Delhi.

Après les souhaits de bienvenue de Mr Giacomo, directeur du BIPM,
et de Mr Kovalevsky, président du CCDS, la séance est ouverte.

Avec l'approbation du Comité Consultatif, le président confie la
tâche de rapporteur à Mr Granveaud qui sera aidé par les membres du
BIH. L'ordre du jour est modifié : les points 4 et 6 sont placés après
le point 2.

1. Progrès des étalons atomiques de fréquence et des horloges

Le président demande aux représentants des laboratoires d'indiquer
les travaux réalisés depuis 1980, date de la précédente session du CCDS,
ou en cours de réalisation.

* A. Oboukhov, V. Tatarenkov, Y. Domnin (VNIIFTRI), présents au BIPM à l'occasion
d'une comparaison de lasers, ont assisté partiellement à la session en qualité d'observateurs.

Mr Audoin résume les résultats obtenus au Laboratoire de l'Horloge Atomique (LHA) dans trois domaines (document CCDS/85-7). Après avoir rappelé les travaux originaux de Kastler sur le pompage optique et ceux de Mr Arditi, Mr Audoin indique que l'étude détaillée des conditions d'application des méthodes de pompage et de détection optiques à une horloge à jet de césium a été entreprise au LHA. Un résultat expérimental majeur est qu'il est possible de transférer, avec une excellente efficacité, la population des 16 sous-niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium soit sur le niveau $F = 3$, $m_F = 0$ soit sur le niveau $F = 4$, $m_F = 0$ en utilisant deux lasers. Le LHA a entrepris des études systématiques afin de réaliser des étalons atomiques à jet de césium à pompage optique.

Le deuxième domaine d'activité concerne les masers à hydrogène. Le LHA termine actuellement trois masers actifs à hydrogène, deux d'entre eux sont destinés aux radioastronomes. Les conditions assurant la mise en œuvre optimale d'un système d'accord automatique rapide de la cavité résonante ont été spécifiées ; en particulier la stabilité à court terme n'est pas affectée. Une comparaison théorique des stabilités des masers à hydrogène actifs et passifs a été effectuée ; il apparaît que la limite de stabilité n'est pas atteinte avec les masers passifs contrairement au cas des masers actifs.

Des études théoriques et expérimentales ont conduit à la réalisation d'un étalon de fréquence à ions $^{199}\text{Hg}^+$. Le déplacement lumineux est inférieur à 5×10^{-12} . L'effet Doppler du second ordre peut être déterminé avec précision. Par ailleurs, des ions Mg^+ , confinés dans une trappe de Penning, ont été refroidis à une température de 1 K.

Mr Granveaud donne un compte rendu sur les travaux effectués au Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (LPTF) (document CCDS/85-7). En 1982, il a été décidé en accord avec le Bureau National de Métrologie d'étudier et de réaliser un étalon primaire de temps et de fréquence à césium utilisant le pompage optique ; cette étude se fait en collaboration avec le LHA où les premiers résultats obtenus sont tout à fait prometteurs. Le but recherché au LPTF est de disposer d'un étalon de référence très exact comme il en existe au NBS, au NRC, à la PTB et au RRL. Les premiers résultats intéressants sont attendus pour 1988. Actuellement les études portent sur les diodes laser (stabilisation, pureté spectrale, fiabilité). Il existe une difficulté certaine d'approvisionnement en diodes laser monomodes qui sont actuellement fabriquées au Japon. Toutefois, Mr Audoin souligne qu'à côté des diodes laser monomodes il est possible d'obtenir, à partir de diodes multimodes, la bonne longueur d'onde à l'aide d'une cavité externe. Le dessin général du prototype d'étalon à césium est fait et les premiers éléments devraient être assemblés et essayés début juillet 1985. A côté de l'étalon à césium qui est la principale recherche appliquée effectuée au LPTF, les travaux sur la mesure et la caractérisation des sources laser de fréquence se poursuivent. Les résultats les plus remarquables concernent les lasers à

CO₂ stabilisés par absorption saturée dans OsO₄ : l'incertitude sur les mesures de la fréquence a été ramenée à $1,5 \times 10^{-12}$; une stabilité de quelques 10^{-14} sur des intervalles de temps de 1 à 100 s a été obtenue. La mesure de la fréquence d'un laser à He-Ne asservi sur l'absorption du méthane appartenant au BIPM (BICH4.3) a donné en 1983 un résultat en très bon accord avec les valeurs annoncées par les physiciens soviétiques. Le LPTF poursuit l'amélioration de la chaîne de synthèse de fréquence ; l'un des objectifs à long terme est, à partir des mesures dans la région des 30 THz, d'effectuer des mesures de fréquence dans le visible. Il est aussi prévu, en coopération avec l'Institut National de Métrologie (INM), de mesurer la fréquence et la longueur d'onde d'un laser à He-Ne (CH₄).

Le LPTF élabore une échelle de temps atomique indépendante qui montre une stabilité de quelques unités de 10^{-14} par rapport à l'échelle du BIH sur une durée de 10 jours. Cette échelle, non pilotée en fréquence, a une exactitude de quelques unités de 10^{-13} .

Mr Benavente Sierra indique que l'activité du service horaire de l'Instituto y Observatorio de Marina a permis l'amélioration de l'échelle locale de temps, notamment par un meilleur contrôle des conditions de fonctionnement des horloges. L'arrivée prochaine d'un récepteur de signaux GPS devrait améliorer la qualité des comparaisons de temps. L'institut est d'autre part engagé dans l'expérience LASSO (comparaison d'horloges par tir laser sur satellite géostationnaire).

Mr Godone présente les recherches effectuées à l'IEN (document CCDS/85-10) ; les travaux commencés par Mr Strumia il y a 12 ans sur un étalon à jet de magnésium se poursuivent. L'asservissement en phase d'un carcinotron sur un oscillateur à quartz à 5 MHz de haute pureté spectrale a permis d'obtenir un signal à 600 GHz propre à observer la transition $^3P_0 - ^3P_1$ du ^{24}Mg avec un bon rapport signal/bruit ; celui-ci a été amélioré par l'introduction d'un résonateur ouvert dans la région d'interrogation. La stabilité obtenue pour des intervalles τ de 0,01 à 100 s est $\sigma_y(\tau) = 5 \times 10^{-10} \tau^{-1/2}$. La limite d'incertitude se situe à environ 10^{-13} , toutefois le refroidissement des atomes devrait permettre de descendre à 10^{-14} . Les travaux en cours portent sur l'augmentation de la différence de population des niveaux 3P_0 et 3P_1 par pompage optique.

Des travaux sur les étalons à jet de césium ont pour but de mieux comprendre les limites actuelles de ces étalons et de proposer des améliorations. Une étude a montré que l'effet d'entraînement par les ailes des résonances de Rabi des raies voisines de la raie centrale était vraisemblablement la cause principale d'inexactitude et d'instabilité à long terme dans les tubes commerciaux. L'expérience confirme la théorie.

L'IEN travaille aussi sur la réalisation d'une chaîne de synthèse de fréquence dans le but de mesurer la fréquence de lasers à CO₂ (OsO₄).

Les travaux du NBS sont présentés par Mr Allan (document CCDS/85-15). Le fonctionnement de l'étalon NBS-6 en août et octobre

1984 a donné deux estimations de l'écart de la fréquence du TAI par rapport à NBS-6 : $-5,4 \times 10^{-14}$ et $-2,5 \times 10^{-14}$ respectivement. L'incertitude de ces résultats (1σ) est de $8,6 \times 10^{-14}$. Ceux-ci prennent en compte les travaux de de Marchi sur l'effet d'entraînement par les ailes des résonances de Rabi des raies voisines de la raie centrale (quelques 10^{-14}). L'insertion de ces valeurs dans l'algorithme d'exactitude du NBS indique que la fréquence du TAI est inférieure à la fréquence donnée par l'étalon à césium du NBS (après corrections) de $2,3 \times 10^{-14}$ avec une incertitude de $5,5 \times 10^{-14}$ en octobre 1984. Le résultat est en accord avec celui donné par l'étalon PTB-CS1 à quelques unités de 10^{-14} près.

Le NBS poursuit l'étude d'un étalon à césium à pompage optique (NBS-7) ; ce développement se place dans le cadre d'un projet militaire ; il est effectué en coopération avec l'industrie. L'objectif visé est une incertitude de 10^{-14} vers 1988. L'étalon fonctionnera en horloge avec une évaluation semi-automatique des paramètres et la propagation simultanée de deux faisceaux permettant le contrôle du déphasage de la cavité. Mr Allan indique que le problème des diodes laser semble en voie d'être résolu. D'autre part le déplacement lumineux est, d'après des résultats théoriques récents, cinq fois plus petit que ce qui avait été précédemment annoncé. La vitesse relativement élevée des atomes conduira à une perte sur le facteur de qualité Q ; il apparaît nécessaire de faire porter l'effort sur l'électronique.

Le stockage d'ions confinés dans une trappe (radiofréquence ou Penning) et refroidis par irradiation par laser offre des avantages remarquables pour la réalisation d'étalons de fréquence. Le NBS a obtenu des résultats avec les ions ${}^9\text{Be}^+$: une incertitude de $9,4 \times 10^{-14}$ et une stabilité de $1,5 \times 10^{-11} \tau^{-1/2}$ (τ en secondes). Des essais sont effectués avec les ions ${}^{201}\text{Hg}^+$ stockés dans une trappe de Penning. L'étude d'une horloge optique à ion Hg^+ est tout à fait intéressante pour l'avenir.

Le NBS a mis au point des masers passifs à hydrogène qui sont de taille réduite ($63 \times 45 \times 27$ cm). Sur des intervalles τ de 1 seconde à 1 jour, ils présentent une instabilité inférieure ou égale à $2 \times 10^{-12} \tau^{-1/2}$, la dérive de fréquence est inférieure à 3×10^{-16} par jour. Des difficultés liées à l'électronique étaient apparues sur les premiers modèles, se traduisant par des sauts de fréquence ; elles sont maintenant résolues. La Société EFRATOM commercialise, avec quelques améliorations, les masers à hydrogène du NBS. L'USNO s'apprête à en acheter.

Les travaux réalisés à l'USNO sont présentés par Mr Winkler ; ils portent essentiellement sur les échelles de temps : automaticité de l'algorithme de calcul, sûreté des résultats. L'USNO utilise depuis septembre 1984 deux masers à hydrogène interchangeables du Smithsonian Astronomical Observatory comme horloges maîtresses ; les deux masers sont comparés à chaque heure et asservis en phase à 10 ps près. La dérive de ces étalons est de 3×10^{-15} par jour. Des détails concernant

l'utilisation de ces masers sont exposés dans l'article présenté au PTTI (Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting) en 1984. L'USNO disposera bientôt de deux prototypes d'horloges à ions Hg^+ fabriquées par Hewlett-Packard ; celles-ci ont des coefficients de qualité Q très élevés ($> 10^{12}$) et une stabilité meilleure que 10^{-14} sur quelques jours. Dans l'état actuel de la technique, il est toutefois nécessaire de prévoir un changement de la lampe tous les 3 à 6 mois.

A une question de Mr Douglas demandant si les lectures des horloges à hydrogène sont envoyées au BIH, Mr Winkler répond que les masers de l'USNO sont volontairement ajustés en fréquence ; ce qui rend difficile leur contribution au TAI ; plus généralement, Mr Winkler déconseille l'emploi des lectures de tels appareils au BIH. Mr Guinot précise que le BIH reçoit des données de masers à hydrogène mais sur des durées qui ne sont pas assez longues.

Mr Buisson du Naval Research Laboratory indique que dans le cadre du programme GPS (General Positioning System), une dizaine de masers à hydrogène très compacts sont en cours d'essais pour mettre à l'épreuve leur sûreté de fonctionnement et leur stabilité ; celle-ci est de l'ordre de 10^{-14} par jour.

Ensuite, Mr Douglas présente les travaux réalisés au Conseil National de Recherches du Canada (document CCDS/85-8). Il mentionne tout d'abord que le NRC fait des recherches dans le domaine des étalons de fréquence optique. Le laboratoire canadien fait fonctionner en horloges son étalon CsV (incertitude 5×10^{-14}) depuis 1975 et ses trois étalons CsVI (incertitude 7×10^{-14}) depuis 1979 ; leurs performances, comme étalons primaires, sont régulièrement évaluées. En 1984, l'étalon CsV a dû être arrêté afin de recharger le four en césium ; l'échelle de temps liée à cet appareil a été extrapolée durant l'interruption en utilisant les CsVI comme mémoire. Des progrès significatifs ont été réalisés au NRC dans la mesure du champ C, en utilisant les fréquences des résonances micro-ondes des transitions $(4, -1) \leftrightarrow (3, -1)$ et $(4, 1) \leftrightarrow (3, 1)$; ces mesures sont maintenant faites de façon semi-automatique avec un ordinateur. L'utilisation de cette méthode avec CsV a apporté une correction de la fréquence de cet étalon de moins de 1×10^{-14} . D'autre part, une solution générale pour évaluer l'effet Doppler du second ordre, solution applicable aux dispositifs résonants à cavité de Ramsey, a été étudiée. La méthode permet d'évaluer l'effet Doppler du second ordre avec une incertitude de 10^{-15} ; l'application à CsV entraîne un changement de fréquence de $1,7 \times 10^{-14}$.

Mr Douglas rappelle les travaux théoriques du NBS sur le décalage de fréquence dû au rayonnement du corps noir ; celui-ci atteint $1,6 \times 10^{-14}$ pour une horloge à césium. Le président estime qu'une discussion sur ce point sera nécessaire après le tour de table. Le NRC a commencé l'étude d'un étalon à jet de césium à pompage optique ; celle-ci a été retardée par les difficultés liées aux diodes laser. Dans le domaine des masers à hydrogène, le NRC dispose de deux étalons

depuis 1967 permettant, après des améliorations, des comparaisons de fréquence à 2×10^{-14} près sur 1 jour. Les dérives de fréquence affichées par ces masers sont $-3,9 \times 10^{-12}$ en 4,5 ans et $-6,8 \times 10^{-12}$ en 10 ans ; la dérive de fréquence due à l'effet de paroi est estimée à 8×10^{-16} par jour. Deux nouveaux masers, qui présentent une meilleure stabilité que ceux qui sont actuellement disponibles, sont en cours de construction.

Pour les comparaisons de temps, le NRC dispose d'un récepteur GPS depuis juillet 1984. D'autre part l'utilisation du modem Mitrex permettra des transferts de temps de grande précision avec le NBS et l'USNO en utilisant des satellites de télécommunications.

Mr Douglas mentionne l'intérêt du NRC pour le ralentissement des atomes de césium. Le projet d'une horloge à fontaine de césium présentant une exactitude de 10^{-16} est évoqué et suscite des questions de MM. Bonanomi et McA. Steele.

Mr Allan note qu'il est important de savoir quand les étalons du NRC peuvent être utilisés comme références de fréquence ; d'autre part, il souligne que les fréquences des étalons primaires du NRC et du NBS diffèrent parfois de plus d'un écart-type. Mr Douglas attire l'attention sur quelques difficultés qui ont été résolues au NRC : mesure du champ C sur les CsVI, électronique de CsV, contrôle de température (à $0,2^\circ\text{C}$).

Le rapport sur les activités de la PTB concernant le temps et les fréquences est présenté par Mr Dorenwendt. L'horloge primaire du laboratoire, CS1, est la base des échelles de temps de la PTB ; elle a été arrêtée 14 jours à la fin de 1981. L'évaluation de la correction due au déphasage de la cavité a été modifiée en 1980 : depuis cette date, la correction est déterminée par un renversement du jet qui est fait toutes les 5 semaines ; une incertitude de 2×10^{-14} accompagne cette opération. Toutefois pour n renversements, l'incertitude est divisée par \sqrt{n} . A l'aide d'un étalon à césium expérimental (CSX) dont les principales parties sont identiques à celles de CS1, la PTB a étudié le gradient de phase de la cavité. Il en résulte qu'un défaut de précision de 0,3 mm lors du renversement du jet amène une incertitude de 3×10^{-14} ; la même incertitude peut être attribuée à CS1 (hypothèse). L'influence des transitions de Majorana a été étudiée sur l'étalon CSX en introduisant des inhomogénéités connues dans le champ magnétique. Diverses configurations ont été essayées. Les travaux pour la compréhension totale des phénomènes se poursuivent.

La PTB réalise trois nouveaux étalons primaires à double jet, CS2, CS3 et CS4, sur le modèle de CS1. L'étalon CS2 est presque terminé ; les premières mesures montrent un excellent accord avec CS1. Dans l'avenir, il est prévu d'étudier un étalon à césium à pompage optique en utilisant CSX ; d'autre part la réduction de la vitesse des atomes du jet de césium sera étudiée sur les étalons CS2, CS3, CS4.

Pour les comparaisons de temps, la PTB dispose d'un récepteur

GPS. Mr Dorenwendt fait remarquer que l'introduction du GPS n'a pas supprimé les variations saisonnières, par exemple, entre les échelles de temps de la PTB et de l'USNO.

Mr Guinot indique que l'accord, à quelques 10^{-14} près, qui existait avant 1984 entre les horloges primaires CsV et CS1 s'est fortement dégradé en 1984 : la différence de fréquence a atteint 2×10^{-13} ; elle est actuellement nettement moindre. Du côté de la PTB, il n'y a pas d'explication à ce désaccord passager. Pour le NRC, on pense que cela pourrait être dû à des bruits inexplicables et à un changement de l'électronique.

Mr Kirchner souligne qu'au laboratoire autrichien TUG les travaux portent essentiellement sur les comparaisons de temps par satellite (document CCDS/85-16) ; le TUG a participé à des comparaisons de grande précision entre laboratoires européens avec le satellite de télévision OTS-2. Un récepteur de signaux GPS fonctionne au TUG depuis fin 1982. Les résultats obtenus par GPS montrent la persistance de variations saisonnières. Le TUG participera à l'expérience LASSO et à des expériences pour utiliser les satellites de communication ECS et Intelsat.

Les activités du laboratoire ASMW sont présentées par Mr Kalau (document CCDS/85-9). Un étalon à césium de laboratoire a été construit et a servi à diverses expériences ; un second appareil avec possibilité de renversement du jet est en construction ; les premiers essais sont prévus en 1987.

Une échelle de temps atomique TA(DDR) est calculée en République Démocratique Allemande ; elle est reliée au TAI par LORAN-C. Les laboratoires chargés des mesures de temps et de fréquence en République Démocratique Allemande ont indiqué leur intérêt pour l'expérience LASSO.

Deux organismes chinois ont envoyé des représentants. Mr Ma Fengming représente le NIM ; ce laboratoire dispose d'un étalon à césium de laboratoire dont l'exactitude est de 5×10^{-13} , de 7 étalons à césium commerciaux et de 2 masers à hydrogène. Les comparaisons de temps sont effectuées par LORAN-C et par télévision (à l'intérieur de la Chine). Le laboratoire est responsable de la diffusion d'un temps codé par télévision. Des études sont en cours pour améliorer les performances de l'étalon à césium de laboratoire ; un nouvel étalon est en projet.

Mr Pan Xiaopei est délégué par l'Academia Sinica, pour représenter l'ensemble des observatoires chinois ; il indique les possibilités actuelles du Shaanxi Astronomical Observatory (CSAO) qui dispose de 3 masers à hydrogène et de 6 étalons commerciaux à césium. Des améliorations ont été apportées aux masers à hydrogène pour la compensation de température de la cavité ; la stabilité atteint 1 à 2×10^{-14} . L'observatoire est responsable de la diffusion de signaux horaires en hautes et en basses fréquences. Une coopération entre les différents instituts chinois chargés des mesures de temps et de fréquence se développe pour établir un temps atomique national.

L'Office Fédéral de Métrologie (Suisse) est représenté par Mr Bonanomi. Une douzaine d'étalons commerciaux à césium participent à l'élaboration du TAI; les comparaisons de temps s'effectuent par LORAN-C et télévision avec une précision d'environ 50 ns, jugée satisfaisante pour les besoins actuels. Mr Bonanomi mentionne qu'une entreprise commerciale suisse participe au développement des étalons de fréquence à césium et à hydrogène.

Mr Pilkington indique qu'un ensemble d'étalons commerciaux à césium contribuent à l'échelle de temps TA (RGO) du Royal Greenwich Observatory depuis 1966. Il apparaît qu'au vu des missions du Science and Engineering Research Council, organisation qui patronne l'Observatoire, il ne sera plus possible de maintenir très longtemps une échelle de temps atomique indépendante au RGO. Les besoins des astronomes, notamment pour les mesures de distance effectuées par tirs laser, se situent au niveau de la microseconde.

Mr Jones, représentant du NPL, présente les activités de ce laboratoire (document CCDS/85-14). Les résultats escomptés avec l'étalon de laboratoire NPL III n'ont pas été obtenus. Un étalon à césium utilisant le pompage optique est en construction; des résultats ont été obtenus sur la stabilisation de diodes laser à la longueur d'onde de 852,1 nm. Des expériences préliminaires de confinement d'ions Mg^+ ont été réalisées.

L'idée d'une échelle de temps national a été avancée il y a quelques années en Grande-Bretagne. Plusieurs tentatives pour la réaliser ont été infructueuses. Actuellement, l'algorithme du NBS qui utilise un filtre de Kalman est à l'essai. Le problème des liaisons entre Teddington (NPL) et Herstmonceux (RGO) sera résolu par l'utilisation de récepteurs GPS.

Mr Jones signale d'autre part que le NPL fait des travaux dans le domaine des étalons de fréquence optique.

Les activités des laboratoires japonais qui effectuent des mesures de temps et de fréquence sont brièvement résumées par Mr Fujimoto, représentant de l'Observatoire de Tokyo (documents CCDS/85-6, -11, -12). Au RRL et au NRLM sont construits des étalons primaires à césium. Le RRL s'intéresse au pompage optique pour un étalon à césium; ce laboratoire a réalisé des masers à hydrogène et a étudié un oscillateur à cavité supraconductrice; il a d'autre part mis au point un récepteur de signaux du GPS et effectué diverses expériences dans le domaine des comparaisons de temps: utilisation du satellite GMS, du satellite de télécommunication GS2, interférométrie à longue base (VLBI). L'Observatoire de Tokyo est particulièrement actif dans les comparaisons de temps utilisant le GPS.

Mr Kaarls rapporte que les travaux effectués au laboratoire de mesure du temps et des fréquences du VSL concernent les comparaisons de temps (document CCDS/85-18). Plusieurs techniques ont été expérimentées: VLBI, avec peu de succès jusqu'à présent; satellite OTS-2 pendant 3 ans qui a permis une précision des comparaisons de temps en Europe de 20 ns; GPS, en collaboration avec le NBS (des récepteurs,

du type NBS, sont en cours de réalisation); LASSO, auquel le VSL va participer en 1986; enfin utilisation d'un « modem » de Hartl avec des satellites de télécommunications du type Intelsat. Cette dernière expérience est prévue pour la fin de l'année 1985.

Après ce tour de table, le président revient à la question posée par le NRC sur le rayonnement du corps noir. Faut-il corriger les résultats des étalons à césium pour tenir compte de cet effet? De combien faut-il les corriger? Faut-il apporter une modification à la définition de la seconde? Une discussion s'engage sur ce sujet. Mr Douglas rappelle que le NBS et le RRL appliquent cette correction; il souligne qu'un tel effet est difficile à mesurer. Lui-même est partisan d'apporter une correction mais pense qu'il est nécessaire que le CCDS adopte une position. Mr Winkler rappelle que l'effet était inconnu lors de la définition de la seconde. Mr Audoin pense, tout en acceptant la théorie, que celle-ci repose sur des travaux antérieurs et qu'elle a besoin d'être étayée par des preuves expérimentales.

Mr Godone indique que des calculs semblables à ceux du NBS ont été faits à l'IEN pour le magnésium; la précision avec laquelle les transitions sont connues joue un rôle important et il conclut qu'on ne connaît pas la vraie valeur de la correction due au rayonnement du corps noir mais uniquement une limite supérieure. Une convergence se dégage entre les divers intervenants, MM. Allan, Audoin, Douglas, Godone, Giacomo, Guinot, Winkler, Dorenwendt, pour d'une part ne pas apporter de modification à la définition de la seconde et rappeler que cette définition correspond à des atomes de césium non perturbés et d'autre part encourager la poursuite des études théoriques et la mesure expérimentale. Il est décidé par le président de faire une recommandation qui sera préparée par un groupe de travail composé de MM. Allan, Bonanomi, Douglas, Giacomo et Winkler. Une discussion s'engage par la suite sur le projet de recommandation; des précisions sont apportées au texte initial qui devient la Recommandation S2 (voir p. S 24).

2. Méthodes de comparaison de temps

Le président invite Mr Guinot à présenter la situation générale des comparaisons de temps.

Depuis une quinzaine d'années, le LORAN-C a été le système largement utilisé pour les comparaisons de temps à longue distance, notamment dans le calcul du TAI. L'utilisation opérationnelle des méthodes de comparaison de temps par satellite est récente. Les possibilités du Global Positioning System (GPS) sont bien connues; notamment en vue commune, ce système permet des comparaisons de temps maintenant une exactitude de l'ordre de 10 ns. L'utilisation du

GPS est actuellement largement répandue dans les laboratoires qui effectuent des mesures de temps et de fréquence, grâce notamment aux efforts du NBS ; deux conséquences immédiates pour le calcul du TAI ont été l'une la suppression de certaines liaisons par LORAN-C (notamment la liaison transatlantique) et l'autre l'introduction des lectures des horloges asiatiques et australiennes dans le calcul du TAI. Il apparaît toutefois, dans la pratique, que l'exactitude de 10 ns n'est pas toujours atteinte pour diverses raisons : les coordonnées de l'antenne du récepteur GPS sont mal connues, la forme de l'impulsion de référence du laboratoire n'est pas satisfaisante, le retard de la liaison entre le récepteur et l'horloge maîtresse est inexact, les retards des divers récepteurs ne sont pas établis dans un système homogène ; en bref, une harmonisation des normes et des modes d'emploi est nécessaire. La dégradation annoncée du système GPS pour les usages civils est d'autre part un sujet de préoccupation pour tous ceux qui sont concernés par les mesures de temps et de fréquence.

Invités par le président du CCDS, MM. Jones, Fliegel et Buisson interviennent tour à tour sur le GPS. Le programme GPS qui a débuté en 1973 est un programme commun à plusieurs administrations américaines. Le développement de la partie spatiale se poursuit de la manière suivante : en 1988 un positionnement à deux dimensions sera possible en tout point du globe et en 1989 un positionnement à trois dimensions. Actuellement, 6 satellites sont utilisables ; un autre sera lancé en août 1985 complétant ainsi le bloc I. L'information concernant les satellites (disponibilité, fonctionnement, etc.) peut être obtenue par téléphone au (805) 866-5948 ou en appelant le Mark 3 de General Electric. La phase des satellites de production GPS commencera en octobre 1986 avec le lancement du premier satellite du bloc II.

Les 18 satellites du bloc II (il y a 3 satellites de secours) seront lancés sur 6 plans qui ont une inclinaison de 55°. Les plans A et C sont actuellement remplis par les satellites du bloc I. Les plans D et E seront ensuite remplis puis F et B. La mise en place de la constellation de satellites dépend de plusieurs facteurs, tels que le programme de la navette spatiale, les plans de la NASA, les demandes des stations de poursuite et les plans de charge des équipages. La partie contrôle opérationnel est en place à la « Master Control Station » de Vandenberg ; celle-ci sera déménagée en octobre 1985 à Colorado Springs et placée auprès du « Consolidated Space Operations Center ». Il est prévu d'introduire des masers à hydrogène à titre d'essai dans le système GPS, tout d'abord dans la partie contrôle opérationnel en 1986 puis dans les derniers satellites du bloc II. Chaque satellite est actuellement équipé d'étalons à césium et à rubidium. La politique américaine actuelle concernant l'utilisation du GPS peut être résumée comme suit :

- l'accès au code C/A sera gratuit ;
- le service SPS (Standard Positioning Service) obtenu avec le code

C/A sera disponible pour tous les utilisateurs avec des incertitudes (deux fois l'écart-type) de 100 m sur la position horizontale, de 156 m sur l'altitude, de 0,2 m/s sur la vitesse et de 250 ns sur le temps du GPS.

La mise en place définitive du GPS aura des incidences sur les chaînes LORAN-C à partir de 1992 ; selon Mr Winkler le maintien de certaines chaînes LORAN-C (la chaîne méditerranéenne par exemple) pourrait se négocier entre les États-Unis d'Amérique et les pays concernés.

Revenant à l'application aux comparaisons de temps, Mr Buisson décrit la première opération de synchronisation par transport d'un récepteur GPS (document CCDS/85-17). En décembre 1984, une équipe du Naval Research Laboratory (NRL) a transporté un récepteur de la société Stanford Telecommunications Inc., modèle 502 B, à l'USNO puis dans 5 laboratoires (dont 4 laboratoires européens) équipés de récepteurs GPS. La comparaison initiale à l'USNO était en accord avec les résultats du récepteur de l'USNO (moyenne = 1 ns, $\sigma = 8$ ns). Au retour une légère différence, confirmée à trois reprises, a été mesurée : en moyenne - 9, puis - 7,8, puis - 10,1 ns. D'autre part, une différence de 30 ns a été observée pour les résultats obtenus par le satellite 11 par rapport aux autres satellites pour les laboratoires européens équipés de récepteurs NBS. Il a été montré qu'une erreur existait dans le traitement des données des récepteurs NBS. Un autre résultat de cette campagne a été la détermination des coordonnées des antennes. Il apparaît que la transformation entre les systèmes WGS 5-72 et NWL-9D a été parfois mal faite. En conclusion, ce premier transport de récepteur GPS s'est révélé tout à fait fructueux : comparé à un transport d'horloge, il a permis d'obtenir, à un moindre coût, une plus grande exactitude. D'après Mr Buisson, il faudrait prévoir un transport par an. Mr Winkler indique que l'USNO a l'intention de transporter un récepteur GPS de la société Trimble (vendu maintenant par Frequency and Time Systems) avec une horloge dans un premier temps. Il suggère que les laboratoires intéressés installent à demeure une antenne et un câble et il distribue un document précisant que la différence de 10 ns trouvée par le NRL à l'USNO vient d'un changement de place du récepteur GPS de l'USNO et d'une mauvaise comptabilité des retards. Il donne quelques précisions sur le temps du GPS par rapport à l'UTC : le décalage provient des secondes intercalaires (non appliquées au temps du GPS) et du pilotage du temps du GPS par rapport à l'UTC(USNO) ; on conserve une différence inférieure à 1 μ s ; elle est donnée dans le message de navigation avec une précision d'environ 20 ns. Mr Kirchner commente certains résultats de la campagne d'étalonnage du NRL. Il montre que suivant les lissages choisis (date, durée) des différences allant jusqu'à 50 ns peuvent apparaître.

Une discussion s'engage sur différents aspects de l'utilisation du GPS pour les comparaisons de temps. MM. Granveaud et Dorenwendt soulignent que des biais de quelques dizaines de nanosecondes sont

parfois observés entre des mesures effectuées par un ou plusieurs satellites. Les différences sont connues, répond Mr Winkler ; leur importance dépend des positions relatives du satellite et du laboratoire. Pour Mr Allan, il s'agit d'un défaut de jeunesse et Mr Buisson indique qu'une prochaine réunion doit traiter de ce sujet. Mr Guinot note qu'il est nécessaire de distinguer entre une lecture de mesure faite à 0 h UTC, par exemple, et une moyenne rapportée à 0 h UTC. D'autre part, les résultats des comparaisons de temps par GPS dépendent des centres de calcul. L'importance de la qualité de l'impulsion de référence du laboratoire est rappelée par Mr Winkler qui souligne, appuyé par MM. Guinot et Pilkington, la nécessité de disposer dans chaque laboratoire d'une échelle de référence UTC(i) qui soit physiquement et immédiatement disponible. Mr Pilkington dit qu'il faut cependant s'assurer que l'usage d'un « microstepper » ne dégrade pas les qualités du récepteur. Pour Mr Allan, il faut réaliser un accord sur la façon d'utiliser les données du GPS ; le NBS établit un programme d'observations simultanées (vues communes) entre laboratoires qui donne toute satisfaction. Le NBS est prêt à passer le relais au BIH pour l'organisation des vues communes. En ce qui concerne la dégradation des signaux GPS, celle-ci s'effectuera par la dégradation de la stabilité apparente de l'horloge de bord et par l'introduction d'erreurs dans les éphémérides. La possibilité d'obtenir les bonnes éphémérides avec retard est à l'étude. Mr Granveaud soulève le problème de la disponibilité de récepteurs GPS dans les pays du Conseil d'Assistance Économique Mutuelle (COMECON).

Le président structure la discussion en distinguant trois points majeurs : tout d'abord la disponibilité du GPS et la place de ce système par rapport aux autres possibilités de comparaisons ; ensuite le développement des comparaisons de temps au moyen du GPS : algorithmes, matériel, échange d'information ; enfin les problèmes techniques tels que les dates de mesure ou la durée des intervalles de mesure.

Est-ce que le GPS est un système disponible, c'est-à-dire utilisable par tous ? Pour Mr Kalau, ce n'est pas le cas pour les pays membres du COMECON. Mr Fliegel rappelle que le problème n'est pas nouveau et qu'il s'est déjà posé avec le LORAN ; il distingue d'autre part la disponibilité de l'équipement et celle de l'exactitude. Il est clair que le signal GPS est disponible pour tous ainsi que les relations permettant de travailler dans le système WGS 72. Mr Winkler indique qu'il n'y a pas de méthode unique de comparaison de temps et qu'il est nécessaire, à l'exemple de plusieurs laboratoires, d'expérimenter d'autres moyens que le GPS. L'utilisation du modem de Hartl entre le NBS, le NRC et l'USNO devrait permettre des comparaisons à quelques nanosecondes de précision en mode aller-retour ; c'est une possibilité qui est aussi étudiée par les laboratoires européens : NPL, TUG et VSL. Mr Jones demande que dans l'intérêt commun des utilisateurs, il y ait échange d'informations sur les expériences réalisées. Il est décidé de faire une

recommandation pour favoriser de nouvelles méthodes de comparaisons horaires (voir la Recommandation S3, p. S 25).

Pour développer les comparaisons de temps par GPS, il est nécessaire que soient publiés les différents paramètres qui entrent en jeu : coordonnées de l'antenne, retards des câbles, programme de vues communes. Mr Guinot accepte que le BIH collecte ces données et les diffuse. Dans l'avenir, les possibilités offertes par les 18 satellites de la constellation seront très larges ; il apparaît nécessaire qu'un accord se fasse sur le choix des liaisons et qu'une partie du travail lié aux résultats de comparaisons soit fait dans les laboratoires et intégré par le BIH. Le support informatique servant à l'échange de données sera le Mark 3 de General Electric.

Le président pose ensuite la question de la durée des intervalles de temps utilisés par le BIH : 10 jours séparent deux résultats ; 2 mois servent à estimer la marche d'une horloge. Mr Guinot rappelle que les effets saisonniers subsistent malgré l'utilisation du GPS. Il ne lui paraît pas nécessaire de disposer actuellement de plus de données (par exemple données journalières au lieu de données tous les 10 jours). Devant la qualité des liaisons par GPS, il est envisagé de ramener de deux mois à un mois la durée utilisée pour estimer la marche d'une horloge.

3. Rapport d'activité du BIH

Mr Guinot, directeur du BIH, commente le rapport d'activité aux membres du CCDS (document CCDS/85-4). La coopération du BIH avec les trente-neuf laboratoires participants est totale ; parmi ceux-ci, dix organismes établissent une échelle de temps locale indépendante. Le TAI est établi en trois étapes depuis 1977 : calcul de l'échelle libre, EAL, à l'aide d'un algorithme de stabilité ALGOS, estimation de la durée de l'intervalle unitaire de l'EAL par les étalons primaires de laboratoire, correction appliquée à l'EAL de façon que l'échelle du TAI qui en résulte ait un intervalle unitaire proche de la seconde du SI.

Le nombre d'horloges participant au calcul de l'EAL augmente chaque année ; en janvier-février 1985, il était de cent cinquante dont cinq horloges primaires de laboratoire et deux masers à hydrogène. Les liaisons entre ces horloges sont non redondantes et le GPS est le moyen de comparaison essentiel. Le poids maximum d'une horloge dans le calcul du TAI a été augmenté en 1981 ; il est actuellement atteint par 35 % des horloges, ce qui paraît convenable. D'autre part, un graphique sur l'âge des horloges entrant dans le calcul de TAI montre que 50 % des horloges ont moins de dix-sept mois de fonctionnement continu au 1^{er} janvier 1985.

L'intervalle unitaire de l'EAL est estimé à partir des étalons primaires

du NBS, du NRC, de la PTB et du RRL. Le filtre décrit dans un article de *Metrologia* de 1977 sert de nouveau depuis 1984 à l'estimation de la fréquence de l'EAL. Les difficultés de cette estimation viennent des écarts non aléatoires qui sont observés entre les étalons et de l'existence de variations annuelles (environ $\pm 5 \times 10^{-14}$).

Le pilotage de l'échelle du TAI s'effectue par sauts de fréquence de 2×10^{-14} . Toutefois l'écart entre les étalons NRC-CsV et PTB-CS1 a atteint 2×10^{-13} en 1984 et aucun pilotage n'a été effectué depuis mars 1984. L'incertitude de l'intervalle unitaire du TAI est de l'ordre de $\pm 1 \times 10^{-13}$.

L'accélération de la rotation de la Terre est telle qu'une seconde intercalaire positive est nécessaire tous les deux ans.

L'utilisation des comparaisons de temps par GPS dans le calcul du TAI constitue une étape importante ; début 1985, neuf laboratoires sont reliés par le GPS et leurs horloges contribuent pour 50 % au TAI. L'introduction du GPS en 1983 a amené des réajustements sur les quantités UTC-UTC(i). Certains défauts signalés plus haut limitent actuellement l'exactitude des résultats. Le BIH tient à remercier le NBS pour le prêt d'un récepteur et la coordination du programme de vues communes, le NRL pour la campagne d'étalonnage, l'USNO pour l'utilisation du Mark 3 de General Electric et enfin la compagnie Stanford Telecommunications Inc. pour le prêt d'un récepteur.

Parmi les sujets d'étude figurent la prédiction de marche des horloges et leur poids. Les variations saisonnières montrées par certaines horloges industrielles ne sont pas complètement appréhendées et ont empêché, jusqu'à présent, une amélioration de la prédiction des marches. Pour les poids, il apparaît que les bonnes horloges sont sous-estimées pour des intervalles de deux mois, mais cet effet s'atténue pour des intervalles plus larges. Compte tenu de cela et aussi des variations systématiques de fréquence, il ne semble pas opportun de favoriser un petit nombre d'horloges en élevant le poids limite.

La discussion s'engage sur les causes possibles des variations saisonnières. Mr Allan signale l'importance des gradients de température et d'humidité. Mr Quinn fait le parallèle avec les étalons électriques pour lesquels l'absorption d'humidité entraîne des changements des constantes de temps et des changements des propriétés électriques. Mr Dorenwendt indique que tous les étalons à césium de la PTB montrent des variations annuelles mais que la corrélation avec l'humidité n'est pas évidente. Peut-être les résultats des horloges australiennes apporteront-ils une réponse, comme le suggère Mr Winkler. Il est proposé par Mr Granveaud d'utiliser les horloges primaires de laboratoire comme références servant à déterminer les variations saisonnières. De son côté, Mr Allan pense qu'une approche statistique permettrait de cerner l'effet saisonnier. Il est ensuite discuté de l'indépendance des contributions des laboratoires au TAI. Il est clair que certains laboratoires peuvent ajuster leurs horloges sur le temps du GPS et fausser l'indépendance nécessaire

des horloges. En demandant une contribution rapide, on peut éviter un tel inconvénient. Mr Douglas propose que le BIH attribue à chaque laboratoire des retards sous la forme d'une suite de nombres pseudo-aléatoires ajoutés aux différences de temps mesurées.

4. Organisation des travaux sur le TAI et l'UTC

Mr Guinot commente le document CCDS/85-2 intitulé « Transfert des activités sur le TAI de l'Observatoire de Paris au BIPM — Dates clés ». Il trace un rapide historique du BIH depuis 1911, rappelant que contrairement à la conception initiale, le BIH n'est pas devenu un organisme intergouvernemental ; il a formé un service scientifique, international par ses missions, mais presque entièrement à la charge de l'Observatoire de Paris. Depuis 1971, année de la reconnaissance du TAI par la Conférence Générale des Poids et Mesures, la question du transfert de l'activité sur le TAI au BIPM a été souvent évoquée. En 1984, alors qu'il apparaissait que l'Observatoire de Paris ne pouvait garantir le maintien d'une équipe suffisante sur le TAI, un mémorandum sur ce transfert a été préparé par le président de l'Observatoire de Paris et le directeur du BIPM. Ce mémorandum a été approuvé par le conseil d'administration de l'Observatoire et par le CIPM. Les unions scientifiques parentes du BIH, UAI, UGGI, URSI, n'ont pas fait d'objections au principe d'une prise en charge de la responsabilité du TAI par le CIPM, mais, tout en acceptant que le travail sur le TAI soit exécuté au BIPM dès 1985, elles demandent qu'aucune modification ne soit apportée à la structure du BIH avant qu'elles n'aient pu débattre de ce sujet à leurs prochaines assemblées générales. Le travail sur le TAI est effectivement accompli au BIPM, depuis avril 1985, par une équipe qui comprend Mr Guinot, directeur du BIH et responsable de la section « temps » (la section « rotation de la Terre » du BIH restant à l'Observatoire sous la responsabilité de Mme M. Feissel), MM. Azoubib et Lewandowski, physiciens, et Mlle Konaté, technicienne.

Mr Guinot, après avoir consulté diverses personnalités, notamment les membres du Comité Exécutif de l'UAI, a remis aux présidents des commissions de l'UAI concernées un projet de recommandation sur le transfert de la responsabilité du TAI au CIPM, projet qui sera examiné lors de l'Assemblée Générale de l'UAI, en novembre 1985 *. L'URSI a déjà recommandé ce transfert. Quant à l'UGGI, son assemblée générale se tiendra en août 1987. Ce projet n'a pas été distribué au CCDS, mais il est lu en séance par Mr Markowitz. Mr Pâquet confirme qu'il n'y a pas d'objection majeure de la part de l'UAI à ce transfert. Il indique qu'en 1987 un nouveau service de la rotation de la Terre sera créé à la suite du programme MERIT. Il pense que la

* Ce projet a été adopté sous la forme de la Résolution B1, novembre 1985, de l'UAI.

séparation en deux parties du BIH devrait donner plus de souplesse pour l'établissement de ce service. Toutefois, il craint que la situation du TAI au BIPM complique les relations avec les laboratoires. Mr Winkler explique que, en effet, la correspondance avec les organismes intergouvernementaux doit, aux États-Unis d'Amérique, emprunter un canal officiel assez lent. Mais — et cela est confirmé par Mr Giacomo — cela ne s'applique pas aux échanges nécessaires pour un travail courant.

Dans le projet de Mr Guinot, la décision d'introduire les secondes intercalaires de l'UTC et leur annonce restent à la charge du service de la rotation de la Terre. Mr McA. Steele indique qu'il est troublant que la décision au sujet des secondes intercalaires vienne d'un autre organisme que le BIPM. Mr Guinot dit que cela a été aussi son sentiment initial, notamment à cause de l'aspect légal de l'UTC, mais le projet qu'il a soumis ne répond pas seulement à ses vues. Il doit être acceptable par les astronomes et les géodésiens et il ne voit pas d'inconvénient sérieux au mode de fonctionnement proposé pour l'UTC. Le BIPM publiera, comme le faisait le BIH, les valeurs des UTC-UTC(lab) des horloges maîtresses des divers laboratoires et retransmettra, en citant leur source, les informations sur l'introduction des secondes intercalaires. A une question de Mr Markowitz, il répond qu'il n'a pas l'intention de revenir sur ce point lors des discussions à l'Assemblée Générale de l'UAI.

Le projet de proposition pour la création d'un groupe de travail du CCDS sur le TAI (document CCDS/85-1) est ensuite examiné. Mr Giacomo fait distribuer le texte que le CIPM a approuvé sur le sujet (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 52, 1984, p. 5). Il apparaît difficile à Mr Douglas de concilier les points 7, 4c et 2 de la proposition faite dans le document CCDS/85-1 pour les laboratoires qui possèdent des étalons primaires. Mr Granveaud propose d'ajouter des représentants des laboratoires aux membres du groupe de travail ; il souligne la lourdeur engendrée par cette création puisque ce groupe doit faire rapport au CCDS. Mr Dorenwendt demande qui décide s'il y a une différence significative entre les résultats des étalons primaires de laboratoire ; il est répondu que le CCDS pourrait faire appel à un groupe d'experts. Le président demande que le texte du projet soit corrigé et qu'une nouvelle version soit présentée. Celle-ci est à nouveau discutée. En réponse à une question de Mr Douglas, le président indique qu'une consultation par correspondance sera organisée en cas de difficulté sur le TAI. Il est précisé que le représentant de l'UAI sera invité à prendre la première présidence du groupe. Le texte corrigé devient la Recommandation S1 (*voir* p. S 22).

5. Méthodes statistiques appliquées à la mesure du temps

Le président demande à Mr Allan d'introduire la discussion. L'amélioration significative des comparaisons de temps et de fréquence — en fréquence, on obtient 10^{-14} sur une durée de 10 jours — permet de réduire les durées actuellement utilisées. Mr Allan pense que ces nouvelles possibilités et les conséquences qui en découlent devraient être étudiées de façon approfondie ; ainsi la mise en évidence des effets saisonniers devrait être facilitée en calculant des fréquences moyennes sur un mois et non sur deux mois comme c'est le cas actuellement. Il offre au BIH la coopération du NBS pour ces études statistiques et signale que son équipe s'intéresse aux travaux sur les pulsars rapides (millisecond pulsars). A la requête du président, Mr Allan commente un graphique qui quantifie la capacité à garder le temps (c'est-à-dire l'erreur de prédiction) en fonction du temps écoulé depuis la synchronisation initiale pour divers étalons : horloge à césium, à rubidium, pulsar rapide. Le facteur de qualité associé au pulsar rapide est très élevé, de l'ordre de 10^{20} ; d'autre part la dérive de fréquence de l'échelle de temps associée est modélisable.

Une courte discussion suit cette présentation. Mr Winkler conclut sur la nécessité d'améliorer les horloges actuellement en service et de disposer de davantage d'étalons de laboratoire qui soient bien comparés entre eux.

6. Compte rendu de réunions

Il est rendu compte des réunions suivantes :

- Symposium N° 114 de l'Union Astronomique Internationale : « Relativity in Celestial Mechanics and Astrometry » ;
- Trente-neuvième Symposium « Frequency Control ».

Le compte rendu de la première réunion est fait par le président.

Le Symposium N° 114 de l'UAI, qui s'est tenu à Leningrad du 28 au 31 mai 1985, était consacré aux applications de la relativité aux divers aspects de l'Astrométrie, de la Mécanique Céleste et de l'Heure. Il y avait environ 140 participants dont un peu plus de la moitié étaient des soviétiques. Malheureusement, une dizaine de scientifiques, presque tous des français, parmi lesquels Mr Guinot, n'ont pu y participer par suite de la non-délivrance à temps du visa d'entrée en URSS.

Une première partie du symposium était consacrée à l'étude des effets dynamiques dans le cadre des théories relativistes avec, en particulier, les applications en Mécanique Céleste, notamment pour le

mouvement des planètes. Pour ce dernier, la base est constituée par les éphémérides numériques DE 200 du Jet Propulsion Laboratory (JPL), reprises par le Bureau des Longitudes comme référence pour les éphémérides analytiques. Dans une seconde partie, les effets relativistes en astrométrie — il s'agit de la déflexion de la lumière — ont été abordés. Une discussion approfondie de la notion de système de référence par T. Kukushima, M.-K. Fujimoto, H. Kinoshita et S. Aoki a été particulièrement claire et a permis de bien poser les principes. Plusieurs communications ont traité de façon différente les corrections relativistes pour les observations en VLBI. Un article commun qui les résumera permettra peut-être d'unifier les méthodes de calcul de la différence de temps de réception qui n'est pas du temps propre — contrairement aux mesures de distance par laser — mais dépend des systèmes de coordonnées.

Le problème des échelles de temps au voisinage de la Terre a été posé de façon très complète par D. W. Allan et N. Ashby. Leur proposition de faire adopter par le symposium le formalisme de correction étendant le TAI jusqu'aux satellites géostationnaires, selon les formules du CCDS et du CCIR, n'a cependant pas été retenue. Une nouvelle action, mieux concertée, devra être envisagée pour l'Assemblée Générale de l'UAI.

L'état actuel de nos connaissances des paramètres décrivant la structure de l'espace-temps a été donné par C. M. Will. Pour les paramètres PPN (approximation paramétrisée post-newtonienne) classiques β et γ leur valeur est maintenant connue à quelques millièmes près et correspond, à cette précision, aux valeurs de la théorie d'Einstein. Les discussions relatives aux méthodes actuelles et futures de détermination de ces paramètres ont montré que des expériences tout à fait nouvelles et originales doivent être inventées pour aller nettement au-delà de la situation présente et, surtout, pour observer directement les effets de second ordre. Ces effets sont primordiaux dans les régions à champ fort (pulsars, etc.) couramment étudiées par les astrophysiciens. Plusieurs propositions ont été faites en ce sens (double interféromètre embarqué présenté par R. D. Reasenberg, ou interféromètres optiques ou radio à longue base sur satellites).

En conclusion, l'un des buts du symposium, qui était de rapprocher les théoriciens de la relativité générale et les utilisateurs de cette théorie, semble avoir été atteint. Les théoriciens ont pris conscience des problèmes réels qui se posent en astrométrie et les astronomes ont pu un peu mieux appréhender la réalité qui se trouve derrière ce qu'on appelle les « corrections relativistes ».

Mr Winkler fait un rapport sur le 39^e Frequency Control Symposium qui s'est tenu du 29 au 31 mai 1985. Cette conférence a rassemblé 600 personnes. Un des principaux thèmes abordés fut celui des quartz qui ont fait l'objet de près de cinquante des communications présentées ; nombre de celles-ci se rapportent à l'utilisation des quartz comme

résonateurs. Une session a été consacrée à la stabilité de fréquence. Deux présentations ont retenu l'attention de Mr Winkler : d'une part celle de J. Barnes sur la stabilité d'une échelle de temps en utilisant le filtrage de Kalman et d'autre part l'approche de J. J. Gagnepain définissant la dimension fractale des bruits — approche qui s'appuie sur un livre de B. Mandelbrot —. Une table ronde sur les problèmes de bruit n'a rien apporté de nouveau. Le GPS a donné lieu à deux présentations. Les développements et les recherches effectuées sur les horloges atomiques ont fait l'objet de plusieurs communications : effets systématiques dans les étalons à césium, masers à hydrogène — avec notamment un appareil de dimensions réduites pour le programme GPS —, masers à rubidium, cavité supraconductrice, horloge à deux photons. Le pompage optique appliqué à un étalon atomique était le thème de quatre présentations. Ces derniers développements paraissent les plus prometteurs, ouvrant la possibilité de résonances atomiques qui n'ont pu être utilisées jusqu'à présent à cause des difficultés de détection. Il semble que la nouvelle génération d'étalons de référence sera constituée par des étalons à jet de césium à pompage optique. Toutefois des progrès importants en stabilité sont à attendre des dispositifs à stockage d'ions, notamment avec l'ion Hg^+ . Au vu des derniers résultats sur les étalons à césium classiques, il est clair que le renversement du jet est un élément essentiel de l'évaluation de l'appareil et que la comparaison de plusieurs étalons permet de découvrir des écarts anormaux de fréquence.

7. Examen de la définition du TAI dans les théories relativistes

Le président, après avoir rappelé que le problème des échelles de temps n'avait pas fait l'objet de discussions approfondies lors du Symposium n° 114 de l'UAI, demande d'abord à Mr Fujimoto de présenter la note qu'il a rédigée avec H. Kinoshita, S. Aoki et T. Fukushima (document CCDS/85-5).

Mr Fujimoto donne les relations entre le temps propre d'une horloge et les temps-coordonnées barycentrique et géocentrique, compte tenu des termes dépendant des paramètres PPN. Dans le cas du TAI, les termes post-newtoniens sont inférieurs à 10^{-18} en fréquence normée. Tant que cette exactitude n'est pas atteinte par les horloges, on peut limiter la discussion aux termes newtoniens et l'on ne rencontre pas de difficultés théoriques pour définir le TAI. Cependant, des limitations pratiques proviennent des incertitudes sur la connaissance des termes newtoniens : réalisation du géoïde (1×10^{-18} est le décalage gravitationnel pour une élévation de 1 cm), marées luni-solaires (quelques unités de 10^{-17}), effets des irrégularités de la rotation terrestre. Mr Fujimoto

signale aussi que les termes PPN peuvent devenir préoccupants dans les liaisons horaires par onde électromagnétique.

Ensuite, Mr Allan commente brièvement une communication commune avec Mr Ashby qu'il a présentée au Symposium n° 114 de l'UAI : « Temps-coordonnée au voisinage de la Terre » (document CCDS/85-19). Ces auteurs arrivent aussi à la conclusion que la définition du TAI suffit pour le moment pour des horloges proches de la Terre. Ils donnent l'expression de corrections valables jusqu'à 50 000 km de la Terre à l'approximation de 10^{-14} ou de 1 ns. Mr Allan mentionne l'étude des périodes des pulsars, pour laquelle il faut réaliser la meilleure échelle de temps-coordonnée possible, ce qui exige à la fois les meilleurs algorithmes et des conversions relativistes très exactes.

Dans la discussion qui suit, Mr Allan rappelle qu'en 1982, on a découvert, à l'Observatoire Arecibo, un pulsar avec une période de 1,6 ms de très grande stabilité, la décroissance de la période étant de l'ordre de 10^{-19} s.s⁻¹. Mais il faut s'assurer que ce pulsar ne subit pas de sauts de période, comme cela se produit pour des pulsars à plus longue période connus antérieurement.

Mr Guinot avait préparé pour le Symposium n° 114 une communication sur des thèmes voisins qu'il n'a pas pu présenter faute d'avoir obtenu son visa (document CCDS/85-13). Il attire l'attention sur le fait que l'Union Astronomique Internationale (UAI) n'a pas encore reconnu la définition du TAI : lors de l'Assemblée Générale de 1982, les commissions 4 et 31 de l'UAI avaient refusé d'en discuter. La raison est peut-être que de nombreux astronomes ont écrit que le TAI est un temps propre. Cependant, la liaison entre le TAI, temps-coordonnée géocentrique, et un temps-coordonnée barycentrique est facilement élucidée, pourvu que l'on distingue le TAI et une horloge synchronisée avec le TAI dans le système géocentrique. Rien n'empêche l'UAI de reconnaître la définition du TAI donnée par le CCDS et d'indiquer comment elle peut l'utiliser dans ses domaines propres. Mr Guinot avait préparé un projet de résolution à cet effet.

Mr Fujimoto, tout en étant d'accord sur ces principes, estime que le projet de résolution devrait être amélioré. Plusieurs personnes déplorent que l'UAI n'ait pas encore accepté une définition qui est ailleurs trouvée satisfaisante et indispensable. Il est suggéré que MM. Fujimoto et Guinot s'accordent sur les termes d'une résolution qui devrait être soumise à la prochaine Assemblée Générale de l'UAI, en novembre 1985. Mr Markowitz, représentant l'UAI au CCDS, attirera l'attention sur ce problème dans son rapport.

8. Questions diverses

Mr Markowitz expose les résultats les plus récents de ses travaux sur la relation qui lie la fréquence de la transition atomique qui sert

à la définition de la seconde et la seconde des éphémérides. Il confirme le bien fondé de la valeur adoptée.

Mr Guinot indique que les laboratoires qui participent aux travaux du TAI n'ont pas tous un représentant au CCDS. Aussi il lui paraîtrait intéressant de réunir l'ensemble des responsables de ces laboratoires. L'idée est acceptée par les membres du CCDS ; une telle réunion viendrait en complément d'une autre. Mr Guinot remercie le Comité et indique qu'il prendra les contacts nécessaires.

Le président remercie le BIPM et les participants à cette 10^e session du CCDS.

**Recommandations
du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde
présentées
au Comité International des Poids et Mesures**

Groupe de travail du CCDS sur le TAI

RECOMMANDATION S 1 (1985)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

considérant

que l'établissement du Temps Atomique International TAI est désormais pris en charge par le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) et qu'il est envisagé que cette activité soit prochainement placée sous l'entière responsabilité du Comité International des Poids et Mesures (CIPM) ;

que les unions scientifiques et les organisations internationales concernées par le TAI doivent avoir la possibilité de s'assurer en permanence que le service du TAI répond à leurs exigences ;

propose

- 1 — qu'un Groupe de travail du CCDS sur le TAI soit créé ;
- 2 — que ce Groupe de travail soit composé
 - a) d'un représentant de chacune des organisations suivantes :
 - Union Astronomique Internationale (UAI),
 - Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI),
 - Union Radioscopique Internationale (URSI),
 - Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR),
 - Comité International des Poids et Mesures (CIPM),

- b) du directeur du BIPM,
 - c) du responsable du TAI au BIPM ;
- 3 — que les représentants de l'UAI, de l'UGGI et de l'URSI soient invités à assurer par roulement la présidence de ce Groupe de travail, la durée du mandat du président étant de cinq ans * ;
- 4 — que les missions de ce Groupe de travail soient les suivantes :
- a) examiner les remarques et desiderata exprimés par les utilisateurs du service du TAI,
 - b) préparer les directives pour l'amélioration du service du TAI, à soumettre à l'approbation du CCDS, puis du CIPM ;
- 5 — que ces missions s'étendent également au Temps Universel Coordonné UTC, en ce qui concerne ses qualités métrologiques, mais non pas à sa définition, ni à son contenu astronomique ;
- 6 — que le Groupe de travail fonctionne habituellement par correspondance adressée à son président et qu'il se réunisse, si possible, une fois par an, sur convocation de son président ;
- 7 — que le Groupe de travail sur le pilotage du TAI, établi par le CCDS en 1977 (Recommandation S 1 (1977), *BIPM Com. Cons. Déf. Seconde*, 8, 1977) soit supprimé, les conditions à remplir par le pilotage et les moyens à mettre en œuvre étant définis par le CCDS qui peut déléguer ses pouvoirs à un groupe de travail *ad hoc*.

* Lors de sa session d'octobre 1985, le CIPM a ajouté : « et que le BIPM assure le secrétariat permanent de ce Groupe de travail ».

Corrections nécessaires pour la réalisation de la seconde

RECOMMANDATION S 2 (1985)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

rappelle que

la définition de la seconde telle qu'elle résulte des décisions de la 13^e Conférence Générale des Poids et Mesures sous-entend que l'atome de césium utilisé comme référence est au repos et n'est soumis à aucune perturbation,

ceci implique notamment que, dans la mise en pratique, les mesures doivent être corrigées en raison de la vitesse des atomes de césium par rapport au référentiel de l'horloge, en raison des champs magnétique et électrique, de l'échange des spins et des autres perturbations éventuelles, et afin de mettre en œuvre les corrections nécessaires,

recommande

1) que des études théoriques en vue d'établir des modèles de tous les effets perturbateurs soient développées ;

2) que des expériences permettant de mettre en évidence ces effets, d'en vérifier l'interprétation théorique et d'évaluer l'incertitude des corrections correspondantes soient poursuivies activement.

Comparaisons de temps de haute précision

RECOMMANDATION S 3 (1985)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

considérant

que la synchronisation de haute précision devient rapidement une condition essentielle des télécommunications modernes ;

que les liaisons aller et retour par satellite permettent d'effectuer des comparaisons de temps à l'échelle internationale avec une très grande précision ;

qu'il apparaît possible de transmettre des signaux horaires pseudo-aléatoires superposés à une utilisation normale des voies de communication sans qu'il y ait interférence ;

que ces techniques de signaux pseudo-aléatoires permettent aussi de mesurer la distance du satellite avec une grande précision ;

recommande

que les organes nationaux et internationaux responsables apportent leur soutien aux expériences utilisant les liaisons de télécommunication par satellites à l'aide de signaux pseudo-aléatoires, dans le cadre des programmes internationaux de liaisons horaires faisant partie de l'établissement du Temps Atomique International.

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA MASSE ET LES GRANDEURS APPARENTÉES
(2^e session — 1985)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par M. KOCHSIEK, rapporteur

Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) a tenu sa deuxième session au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres, les mardi 18 juin et mercredi 19 juin 1985.

Étaient présents :

A. PERLSTAIN, membre du CIPM, président du CCM.

Les délégués des laboratoires membres :

Bureau National de Métrologie, Paris : Institut National de Métrologie [INM] du Conservatoire National des Arts et Métiers (P. RIÉTY).

Československý Metrologický Ústav [CSMU], Bratislava (R. SPURNY).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa (L. MUNRO).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield (D. B. PROWSE).

Institut de Métrologie D.I. Mendéléev [IMM], Leningrad (I. V. PAVLOV).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (LUO Diming).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin (Mme M. PLASSA, MM. A. BRAY, G. F. MOLINAR).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R. S. DAVIS, V. BEAN).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (S. J. BENNETT, P. R. STUART).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Ibaraki (K. IZUKA).

Office Fédéral de Métrologie [OFMET], Wabern (J.-G. ULRICH).
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(M. KOCHSIEK, M. PETERS, J. JÄGER).
Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (R. MUIJLWIJK).

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invités :

Organisation Internationale de Métrologie Légale [OIML], Paris
(F. PETIK).

Assistaient aussi à la session : T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM ;
J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM ; G. GIRARD, J. BONHOURE,
Mme M.-J. COARASA [BIPM].

1. Ouverture de la session

Le président ouvre la séance et souhaite la bienvenue aux participants.
Mr Kochsiek est nommé rapporteur et l'ordre du jour est adopté
après quelques permutations dans le déroulement chronologique.

2. Rapports des Groupes de travail

Le deuxième point de l'ordre du jour concerne les rapports des
Groupes de travail. Le Président demande donc à Mr Prowse de
présenter le rapport de son Groupe de travail :

2.1. Mesure directe de la masse volumique de l'air

Mr Prowse présente le document CCM/85-8. Un questionnaire sur
la mesure directe de la masse volumique de l'air a été envoyé à
quarante-quatre laboratoires du monde entier. Vingt-quatre de ces
laboratoires ont répondu à ce questionnaire. Les principales conclusions
sont résumées ci-après :

a) Dix-neuf laboratoires ont des étalons du kilogramme en platine
iridié.

b) Tous les laboratoires calculent la masse volumique de l'air à
partir de mesures de sa pression, de sa température, de son hygrométrie
et de sa teneur en CO₂. La plupart des laboratoires utilisent la nouvelle
formule recommandée par le CIPM. Deux laboratoires seulement utilisent
d'autres formules, et deux laboratoires n'ont pas répondu à cette
question.

De nombreux instruments sont utilisés pour les mesures. Onze laboratoires mesurent la teneur en CO_2 (principalement avec des analyseurs infra-rouge). Les incertitudes des mesures individuelles couvrent les domaines suivants :

pression : ± 1 à ± 100 Pa, température : ± 2 à ± 200 mK,
humidité : $\pm 0,5$ à ± 10 %, teneur en CO_2 : ± 10 à $\pm 50 \times 10^{-6}$.

Douze laboratoires considèrent que cela n'est pas suffisant pour leurs besoins actuels et futurs d'exactitude. Pour cinq laboratoires seulement cela est suffisant ; ces cinq laboratoires ont tous des étalons en acier inoxydable qui ont été étalonnés ailleurs.

Sept laboratoires se préparent actuellement à mesurer directement la masse volumique de l'air, ou projettent de le faire. Un laboratoire utilise des mesures directes dans ses mesures de masse de très haute précision.

Six des laboratoires qui obtiennent les valeurs de la masse volumique de l'air par mesure directe ont indiqué qu'ils utilisaient une méthode mettant en jeu deux objets de masse voisine mais de volume différent. L'incertitude varie de 1×10^{-3} à 2 ou 3×10^{-5} environ. La différence entre la méthode de mesure directe et le calcul théorique est d'environ 1×10^{-4} .

c) Dix-neuf laboratoires estiment qu'il est nécessaire de continuer les recherches sur la mesure de la masse volumique de l'air. Voici quelques-unes des suggestions faites :

— Recherches pour déterminer la masse volumique de l'air par pesée directe.

— Il est nécessaire d'avoir une balance sous une pression constante pour éliminer les variations à court terme de la pression atmosphérique.

— Pesées avec une balance de 20 g de masses de volumes différents (platine et pyrex).

— Mesure de l'indice de réfraction.

— Densimètres constitués d'un tube vibrant.

— Recherches sur la composition de l'air à retenir pour une région.

— Comparaisons limitées aux étalons de masse de faible masse volumique.

— Comparaisons de masses sous vide ou dans des gaz purs.

— Estimation de la masse volumique de l'air à partir d'une détermination de haute précision de la constante des gaz, R .

— Comparaison de masses de volumes différents ou mesure de quelque propriété de l'air liée à sa masse volumique, comme l'indice de réfraction par exemple.

— Des recherches de ce genre devraient être associées à des études sur les effets superficiels dus à l'humidité ambiante (il conviendrait d'inclure un échantillonnage plus large des étalons de masse utilisés actuellement).

— Poursuite de la mise au point de la méthode pondérale et unification des mesures.

d) À la question de savoir s'il convenait de concevoir quelque équipement (par exemple deux objets de masse voisine mais de volume différent) à envoyer aux laboratoires comme moyen d'évaluer leur possibilité de mesurer la masse volumique de l'air, la plupart des laboratoires ont répondu par l'affirmative.

Une question se pose : faut-il porter les efforts sur l'amélioration des mesures de la masse volumique de l'air ou faut-il remplacer l'étalon primaire en platine iridié par un étalon en acier inoxydable ? Même si l'on utilise davantage l'acier inoxydable, tous les laboratoires n'abandonneront pas le platine iridié (en particulier le BIPM) ; il sera donc encore nécessaire de faire des mesures précises de masse volumique de l'air. D'ailleurs, la correction pour la poussée de l'air reste nécessaire dans toutes les mesures de masse de haute précision, et le remplacement suggéré ne modifie pas sensiblement le problème.

Il ressort de la discussion que les points suivants peuvent constituer des domaines dans lesquels le Groupe de travail devrait agir au cours des toutes prochaines années :

1. Les nouvelles balances, qui permettent d'obtenir une exactitude de $1\ \mu\text{g}$ ou moins et qui sont construites par un certain nombre de laboratoires, exigent effectivement des mesures plus exactes de la masse volumique de l'air.
2. Il convient de déterminer expérimentalement les limites de la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air recommandée par le CIPM.
3. Il est préconisé de poursuivre des travaux sur les méthodes pour déterminer la masse volumique de l'air.
4. Il convient de poursuivre l'étude des effets de l'humidité et de l'état de surface des masses dans les comparaisons de masses.

Au cours de la discussion il est aussi fait référence aux documents CCM/85-6, CCM/85-9 et CCM/85-23.

Le président demande ensuite à Mr Girard de présenter le rapport sur l'activité de son Groupe de travail :

2.2. Conservation des étalons de masse

Mr Girard présente le document CCM/85-17. Les travaux de ce Groupe de travail ont porté sur les questions suivantes : méthodes de nettoyage, enceinte pour la conservation des étalons, effet de l'humidité sur la masse des étalons, polissage des étalons, schémas de comparaisons, prototypes de balances pour comparaisons de haute précision.

Méthodes de nettoyage

La méthode de nettoyage utilisée au BIPM semble très efficace. Les prototypes sont nettoyés au benzène et à l'alcool à l'aide de peaux de

chamois ; ils sont ensuite lavés sous un jet de vapeur d'eau bidistillée. Les résultats présentés par le BIPM montrent qu'il est nécessaire de procéder à ce nettoyage au moins deux fois. Tous les autres participants ont des problèmes de nettoyage. Très souvent les prototypes sont seulement nettoyés à l'aide d'un pinceau doux car on manque d'expérience à long terme en la matière. Il semble aujourd'hui plus important que jamais d'améliorer le nettoyage, car la contamination superficielle, en particulier celle qui est due aux hydrocarbures, s'accroît d'année en année.

De nouvelles enceintes munies de filtres ayant des pores de 1 μm ont été construites ; il est encore prématuré de tirer des conclusions de leur utilisation.

Effet de l'humidité

Deux laboratoires, le NRLM et la PTB, ont déterminé l'effet de l'humidité sur la masse des étalons. Il est recommandé d'étudier cet effet sur le matériau massif, en préparant des disques de platine iridié d'environ 50 g, et en leur faisant subir les mêmes traitements qu'aux étalons eux-mêmes.

Polissage des étalons

Pour réduire les effets de pollution de surface, on a cherché à améliorer le poli des étalons. Le BIPM utilise maintenant un outil à pointe de diamant pour la finition des étalons en platine iridié. L'INM a conçu un dispositif spécial pour obtenir un très bon poli même sur un cylindre.

Schéma des pesées

Quelques études tendant à améliorer les schémas des pesées ont été publiées.

Balances de haute précision

Ce Groupe de travail a estimé nécessaire de discuter au moins des tendances rencontrées dans les études de prototypes de balances, car ce sujet n'est traité par aucun des Groupes de travail. Plusieurs laboratoires ont amélioré la construction de leurs balances, en particulier le NRLM, le CSMU et l'INM. De nouveaux principes sont étudiés : le BIPM travaille sur une balance comportant des suspensions flexibles à la place des couteaux et des plans, la PTB s'est intéressée à un dispositif fondé sur le principe de l'hydrostatique. Ce dernier dispositif est déjà en service et l'écart-type d'une comparaison est inférieur à 5 μg sur 1 kg.

Le CCM discute ensuite le rapport sur une comparaison d'étalons de masse de 1 kg, en platine iridié et en acier inoxydable, mesures faites au NBS et au BIPM (document CCM/85-15). Mr Quinn présente le procédé de fabrication de sept nouveaux prototypes en platine iridié

et en particulier la finition de la surface à l'aide d'un outil à pointe de diamant (document CCM/85-16). Mr Riéty rend compte du polissage et de l'ajustage des masses à l'INM (document CCM/85-21).

Le président demande ensuite à Mme Plassa de présenter le rapport sur les activités de son Groupe de travail :

2.3. Étalons de masse en acier inoxydable

Mme Plassa présente le document CCM/85-11. Le Groupe de travail a commencé à travailler à la fin de 1982, en adressant un questionnaire à tous les laboratoires membres du CCM ; ce questionnaire visait à rassembler des informations sur l'expérience nécessaire et les recherches en cours concernant des aciers inoxydables ou des alliages spéciaux qui conviennent pour construire des étalons de masse. Les douze réponses ont traité des principaux aspects suivants : propriétés magnétiques, stabilité dans le temps, effets du nettoyage, caractéristiques de surface, usinage.

Choix d'un matériau approprié

Dans le passé, divers aciers inoxydables ou alliages spéciaux au cobalt ou au nickel ont été étudiés et utilisés. Le Groupe de travail estime qu'il n'est pas essentiel d'avoir un matériau dont la masse volumique soit aussi proche que possible de $8\,000\text{ kg/m}^3$, mais qu'il est utile d'avoir une correction petite pour la poussée de l'air par rapport aux aciers inoxydables courants. Les caractéristiques les plus importantes paraissent être la stabilité dans le temps, la résistance aux agents agressifs et la susceptibilité magnétique.

Stabilité des étalons de masse

Certains laboratoires travaillent depuis de nombreuses années sur les étalons en acier inoxydable, mais l'étude de leur stabilité est limitée par les incertitudes dues à la correction de poussée de l'air et à l'écart-type des balances. Pour cette raison, les recherches portent surtout sur des essais accélérés de corrosion.

D'après les données dont on dispose jusqu'à maintenant, tous les matériaux étudiés font preuve d'une bonne stabilité mais les résultats obtenus avec tous les matériaux sont peut-être entachés d'une assez grande incertitude. En conséquence, il paraît indispensable de faire encore des essais systématiques et comparatifs sur les matériaux proposés avec une incertitude aussi faible que possible.

Dans les différents laboratoires on utilise les méthodes suivantes :

— Évaluation de la teneur en gaz par dégazage sous vide à température élevée ;

- Détermination de la composition superficielle par spectroscopie d'électrons Auger ;
- Étude métallographique des aciers inoxydables ;
- Essais de corrosion à l'aide d'agents chimiques ;
- Effets du polissage sur la susceptibilité.

Jusqu'à maintenant, tous les laboratoires ont travaillé chacun selon sa propre méthode. Il s'ensuit que les résultats ne sont pas directement comparables.

Le Groupe de travail a recommandé que certains laboratoires développent plus particulièrement certaines recherches : le NRLM et l'IMGC les essais de corrosion et les analyses de surface, et la PTB l'étude de surface par ellipsométrie. D'autres méthodes d'essai doivent être mises au point pour étudier les autres propriétés de ces matériaux.

Le président demande ensuite à Mr Iizuka de présenter le rapport d'activité de son Groupe de travail :

2.4. Masse volumique de liquides et solides

Mr Iizuka présente le document CCM/85-26. Le Groupe de travail comporte sept membres. Il a commencé par rassembler des renseignements sur la mesure précise de la masse volumique de liquides et solides telle qu'elle est décrite dans ce document. Le questionnaire préparé par les membres du Groupe de travail a été adressé à 36 laboratoires en 1982 et 28 réponses ont été reçues. Ces réponses sont résumées à l'annexe 1 du document. L'accord s'est fait sur la proposition d'une comparaison internationale de mesures de la masse volumique d'objets solides et le NBS a accepté de jouer le rôle de laboratoire pilote.

Le Groupe de travail s'est réuni deux fois depuis sa création (à l'occasion de la Conférence IMEKO TC3 en septembre 1984, à Kobe et le 14 juin 1985 à l'IMGC, Turin).

Au cours des deux réunions, le Groupe de travail a discuté des comparaisons bilatérales de mesures de la masse volumique ; il a étudié le plan de la nouvelle comparaison internationale qu'il a envisagée et qui est préparée par le NBS en tant que laboratoire pilote ; enfin des informations ont été échangées sur les étalons et les mesures de masse volumique.

On peut résumer comme suit les résultats des discussions qui ont eu lieu à Turin :

Présentation des comparaisons bilatérales

Mlle Peuto a rendu compte de la comparaison en cours avec le NBS de son étalon de masse volumique et de la comparaison entre la PTB et le CSIRO d'étalons solides. Tous les résultats, y compris les

résultats préliminaires, ont fait apparaître un accord à $\pm 1 \times 10^{-6}$ près, tandis que les écarts par rapport à une table de masse volumique de l'eau ne dépassaient pas $\pm 2 \times 10^{-6}$. Mr Davis a également présenté le résultat d'une comparaison faite avec le CSIRO et portant sur des cristaux de silicium ; là aussi les mesures dans les laboratoires concordaient dans les limites de leurs incertitudes respectives, inférieures à $\pm 1 \times 10^{-6}$.

Plan d'une nouvelle comparaison internationale (le NBS étant laboratoire pilote)

Dans la comparaison envisagée il est prévu que chaque laboratoire membre du Groupe de travail fasse des mesures sur un cylindre en cristal de silicium de 800 g environ et un cylindre en acier inoxydable d'environ 1 kg. Deux séries d'objets ont été préparées et vont circuler entre les laboratoires qui sont répartis en deux groupes. Les membres du Groupe de travail ont étudié le protocole préparé par Mr Davis et l'ont modifié comme suit :

- Si nécessaire, utiliser la table de Bigg pour la dilatation de l'eau ;
- Utiliser la formule de Bignell pour corriger l'effet des gaz atmosphériques dissous ;
- Indiquer la méthode utilisée pour nettoyer l'objet.

Les mesures vont commencer en septembre 1985 et il est prévu qu'elles seront terminées d'ici un an si tout va bien. Le Groupe de travail reconsidérera la possibilité d'étendre la circulation des objets à d'autres laboratoires après avoir analysé les résultats des mesures faites par les sept laboratoires membres du Groupe de travail.

Examen de l'état actuel de la question des étalons de masse volumique

Mr Wagenbreth a rendu compte des études faites par la PTB, l'une sur l'effet des gaz atmosphériques dissous sur la masse volumique de l'eau et l'autre sur la différence des masses volumiques de cristaux de silicium au moyen de deux versions différentes de la méthode du ludion. Dans la première étude, on a observé un maximum de l'effet des gaz dissous en fonction de la température, ce qui confirme le résultat de Marek. La PTB essaiera d'effectuer la mesure au-dessus de 8 °C.

Les membres du Groupe de travail ont aussi discuté la question du choix de l'eau comme étalon de masse volumique. Ils sont d'accord pour dire que l'incertitude sur la masse volumique de l'eau s'élève à 2 ou 3×10^{-6} , puisqu'il subsiste une incertitude appréciable sur l'effet de la température et des gaz dissous, même si l'incertitude due à la composition isotopique a été établie à un niveau satisfaisant.

La masse volumique du mercure constituait un autre point de discussion de la réunion et Mr Archbold a indiqué que le NPL avait commencé des travaux en vue d'une nouvelle détermination de cette masse volumique. Le CSIRO, le NBS et le NRLM ont fait part de

leurs soucis à propos de cette question. On a souligné la difficulté de déterminer les abondances isotopiques dans le mercure.

Le président demande ensuite à Mr Bray de présenter le rapport d'activité de son Groupe de travail :

2.5 Force

Mr Bray présente le document CCM/85-19. Les points suivants donnent une brève description des activités qui se sont développées dans la période allant de 1980 à 1985.

Conférences internationales et tables rondes

Certaines conférences et tables rondes ont été organisées par l'IMEKO Technical Committee TC-3 « Mesures de Force et de Masse » ; d'autres ont été organisées en coopération avec d'autres organisations. Les conférences se sont tenues séparément ou dans le cadre d'autres conférences internationales. En général les tables rondes se sont tenues pendant des conférences. Les documents soumis ont été publiés dans les comptes rendus de conférences, alors que les contributions aux tables rondes et les discussions ont en général fait l'objet de publications séparées.

Étalonnage de capteurs de force et de masse

L'activité d'étalonnage liée aux capteurs de masse et de force concerne, d'une part, les méthodes utilisées pour étalonner des capteurs à l'aide d'étalons primaires et, d'autre part, l'utilisation des capteurs pour vérifier les machines universelles d'essais.

La recommandation IR-60 « Réglementation métrologique des cellules de pesée » préparée par l'OIML énumère les principales caractéristiques métrologiques et les méthodes de vérification des cellules de pesée utilisées dans les mesures statiques de masse. Le projet « L'étalonnage des dispositifs de contrôle utilisés pour la vérification des machines d'essais » préparé par l'ISO concerne la vérification statique de ces machines.

Comparaisons internationales de machines étalons de force

Au cours de la période considérée plusieurs comparaisons internationales ont été entreprises ; certaines ont été organisées entre deux laboratoires, d'autres entre plusieurs laboratoires, l'un d'entre eux jouant le rôle de laboratoire pilote, d'autres ont été organisées par le Bureau Communautaire de Référence (BCR) de la Communauté Économique Européenne (CEE). Cette action vise à établir un réseau reliant les laboratoires de métrologie, avec comme but final l'harmonisation des caractéristiques des machines étalons primaires de force que l'on utilise pour étalonner les capteurs de force et de masse. Pour l'instant, et

grâce à ces comparaisons internationales, le réseau en question relie des laboratoires primaires d'Europe, des États-Unis d'Amérique, du Japon et de Chine.

Récents progrès des étalons de transfert de force

Cette activité se déploie selon deux directions, toutes deux concernant les méthodes et les techniques permettant de transférer des étalons de force. La première direction vise à améliorer l'exactitude des machines étalons, la seconde à élargir la gamme des étalons de transfert de force. Afin d'obtenir une meilleure exactitude, on a conçu et construit de nouveaux dynamomètres à composantes multiples qui mesurent les composantes parasites produites par une machine étalon. On peut transférer des forces dans un large domaine avec de nouveaux types de dynamomètres axiaux, parallèlement à l'accroissement de la capacité des machines étalons.

Travaux en cours

Pour faire face à la demande croissante d'étalonnage de capteurs de force, deux nouvelles machines étalons ont été installées : l'une au Laboratoire National d'Essais (LNE), Paris et l'autre à l'Office Fédéral de Métrologie (OFMET), Wabern. Ce sont toutes deux des machines à masse suspendue de haute capacité, respectivement de 500 kN et 450 kN. Leurs caractéristiques métrologiques seront évaluées sous peu.

Une autre tâche en cours porte sur la comparaison des certificats d'étalonnage fournis par les laboratoires primaires de la CEE. Pour cela deux cellules de pesée seront utilisées jusqu'à 1 MN et vont circuler dans plusieurs laboratoires. Cet « audit » patronné par le BCR permettra de comparer les méthodes et l'évaluation des résultats.

Mr Peters a rendu compte de l'état actuel des recherches métrologiques faites sur les résultats des comparaisons internationales. A l'avenir des capteurs à composantes multiples auront de plus en plus d'importance pour l'étude des composantes transversales dans les machines étalons de mesure de force.

Le président demande ensuite à Mr Molinar de présenter le rapport de son Groupe de travail :

2.6. Hautes pressions

Mr Molinar présente les documents CCM/85-2, 3 et 13. Une comparaison internationale de pression dans le domaine de 20 à 100 MPa est en cours conformément au programme soumis aux participants à la première session du CCM (1981). Le but principal de la comparaison est de vérifier l'incertitude avec laquelle chacun des treize laboratoires participants peut faire des mesures relatives de pression dans le domaine s'étendant de 20 à 100 MPa en milieu liquide et dans des conditions statiques.

La méthode employée dans cette comparaison consiste pour chaque participant à déterminer la surface effective A_0 à la pression atmosphérique et le coefficient de déformation λ de la surface effective du système piston-cylindre d'une balance de pression servant d'étalon de transfert.

Les mesures sont divisées en trois phases auxquelles prennent part, outre le laboratoire pilote, quatre laboratoires. À la fin de chaque phase de la comparaison, le laboratoire pilote, LNE (France), détermine à nouveau les grandeurs A_0 et λ .

Les résultats de la première phase sont donnés dans le Rapport BIPM-84/2. Un rapport du même type concernant la deuxième phase est en préparation. Il est prévu que les mesures de la troisième phase seront achevées en 1985.

Deux problèmes se posent déjà clairement :

- La stabilité des caractéristiques métrologiques du système piston-cylindre de l'étalon de transfert ne répond pas entièrement à l'attente.
- Il existe à l'évidence des désaccords importants entre laboratoires dans la détermination du coefficient de déformation λ .

Les variations observées dans les caractéristiques métrologiques du système piston-cylindre de transfert sont suffisamment faibles pour ne pas compromettre les résultats attendus de la comparaison ; de plus, on peut en tenir compte à l'aide de corrections appropriées dans l'évaluation finale. Il est par conséquent raisonnable de poursuivre les mesures.

Le manque d'accord entre les valeurs attribuées par les participants au coefficient de déformation du système piston-cylindre de transfert conduit à penser que le Groupe de travail devrait poursuivre l'étude de ce problème. Compte tenu des méthodes utilisées couramment pour réaliser l'échelle de pression dans le domaine supérieur à 100 MPa au moyen de mesures de comparaison à la balance de pression, ce problème a une grande importance.

Le Groupe de travail examinera la possibilité d'effectuer des mesures comparatives dans le domaine supérieur à 700 MPa. A cet égard la première question à élucider est celle de l'existence d'étalons de transfert convenables (étalons secondaires ou dispositifs multiplicateurs de pression) et de méthodes de mesure appropriées. Il est recommandé que soient poursuivies les études théoriques que chaque laboratoire a pu déjà entreprendre sur la question du coefficient de déformation.

Pour donner satisfaction aux demandes de laboratoires qui ne sont pas engagés jusqu'ici dans la comparaison, il est prévu qu'une quatrième phase suivra les trois premières déjà prévues dans le domaine de mesure s'étendant jusqu'à 100 MPa. Cette quatrième phase commencera en 1986. Rien n'est prévu ultérieurement.

Les participants à la discussion expriment le vœu que les informations

rassemblées par ce Groupe de travail soient communiquées à toute autre partie intéressée.

Le président demande ensuite à Mr Stuart de présenter le rapport de son Groupe de travail :

2.7. Moyennes pressions

En présentant son rapport Mr Stuart se réfère au document CCM/85-10. Ce rapport a été mis à jour pour inclure les tout récents résultats expérimentaux et les décisions prises lors de la réunion du Groupe de travail qui s'est tenue le 17 juin 1985.

Le Groupe de travail est responsable du domaine de pression compris entre 1 kPa et 1 MPa. Lors de sa première réunion en 1979 il a été convenu que la première priorité pour ce Groupe serait d'organiser une comparaison internationale dans le domaine de pression allant de 10 kPa à 110 kPa. À ce stade, 21 laboratoires et le BIPM lui-même ont tous exprimé le désir d'y participer. Depuis lors, 3 autres laboratoires ont demandé à y prendre part. L'organisation détaillée de cette comparaison avait fait l'objet d'une proposition (document CCM/81-34). Le laboratoire pilote est le NPL (Royaume-Uni).

Il était convenu que pour les premières étapes de la comparaison l'étalon de transfert le plus approprié serait une balance de pression à gaz (jauge à piston). Elle serait utilisée comme générateur de pression et on demanderait une reproductibilité meilleure que $\pm 0,5$ Pa. On n'a pas trouvé d'instrument de ce genre dans le commerce et il a fallu en réaliser un spécialement. La base de l'instrument et les masses en anneaux ont été conçues et construites par le CSIRO (Australie). Contrairement à la plupart des balances de pression que l'on trouve dans le commerce, l'entraînement du piston en rotation est symétrique et le moteur est monté à l'extérieur de l'unité de base pour réduire les effets dus à l'échauffement. Les masses en anneaux sont maintenues par un mécanisme monté au-dessous du plateau supérieur et peuvent être chargées et déchargées sans rompre le vide lorsqu'on travaille en mode absolu, réduisant ainsi nettement le temps nécessaire pour avoir une série complète d'observations. Deux ensembles piston-cylindre (dont un destiné à servir de réserve) ont été fournis par le NBS (États-Unis d'Amérique). Ils étaient de conception industrielle (CEC), mais sélectionnés pour leur qualité de répétabilité. Pour compléter le système, le NPL (Royaume-Uni) a fourni une jauge à vide, un variateur de volume pour le réglage fin de la pression et un thermomètre à thermistance, dont la sonde est encastrée dans la monture du cylindre.

Pendant les essais on a utilisé le baromètre étalon primaire du NPL pour faire des mesures répétées de la pression générée avec chacune des dix différentes combinaisons de masses en anneaux. Pour chaque combinaison on a évalué un écart-type ; la moyenne des écarts-types

était de 0,09 Pa, c'est-à-dire que, à la pression atmosphérique, l'écart-type relatif était inférieur à 1×10^{-6} . On a aussi mesuré au NPL le coefficient de température pour la surface effective de la section droite de l'ensemble piston-cylindre et on l'a trouvé très voisin de la valeur donnée par le fabricant.

Le premier circuit de la comparaison s'est déroulé entre novembre 1984 et février 1985 ; il a concerné les baromètres primaires du NPL, du BIPM et de l'INM. L'accord obtenu se trouve dans les limites de $\pm 0,5$ Pa sur la totalité du domaine de pression entre 11 et 101 kPa. Cet accord se situe dans les limites des sommes des incertitudes, au niveau de trois écarts-types, des trois participants pris deux à deux. La différence relative entre les valeurs de la surface effective de l'ensemble piston-cylindre déterminée au NPL avant et après le premier circuit était de $0,5 \times 10^{-6}$, équivalente à 0,05 Pa. Il est peu vraisemblable que des variations de l'étalonnage du thermomètre associé et de la jauge à vide de référence aient entraîné des erreurs additionnelles supérieures à 0,05 Pa chacune. Après quelques modifications mineures et vérifications au NPL, il est prévu que l'étalon de transfert commencera le second circuit qui doit comprendre le CSMU, le CSIRO et le NBS.

Le Groupe de travail s'est réuni le 17 juin 1985. On a discuté des résultats obtenus lors du premier circuit et on s'est accordé pour dire que l'étalon de transfert actuel fonctionnait bien et qu'aucun autre instrument de conception plus récente ne remplirait mieux son office. On a examiné plusieurs capteurs récemment mis au point pour voir s'ils constitueraient une solution de rechange plus commode et plus robuste, mais aucun n'est susceptible de répondre de façon satisfaisante aux exigences de bonne stabilité à long terme allant de pair avec un faible coefficient de température et une dérive nulle.

Le Groupe de travail a discuté du programme pour le troisième circuit et pour la suite. Comme l'expérience a montré qu'il faut deux à trois mois par participant pour l'utilisation et le transport de l'étalon de transfert, il a été convenu qu'il serait nécessaire de limiter le nombre des participants afin d'achever la comparaison dans des délais raisonnables. Il a été décidé, et le CCM approuve cette décision, que la participation à cette comparaison serait limitée aux laboratoires, environ treize en tout, dont les étalons primaires sont suffisamment exacts pour leur permettre d'apporter une contribution positive à la compréhension des incertitudes systématiques liées à ce type de mesure. On s'est mis d'accord pour dire que le but de la comparaison n'était pas de fournir des étalonnages d'instruments secondaires ou primaires de qualité inférieure. La possibilité d'activer la comparaison en mettant en service une seconde balance de pression comme étalon de transfert n'a pas été retenue, faute des moyens financiers et du personnel nécessaires.

Lors de sa réunion du 17 juin 1985 le Groupe de travail a aussi examiné l'opportunité d'entreprendre une comparaison internationale d'étalons pour la mesure des pressions relatives, c'est-à-dire des différences

de pression par rapport à la pression atmosphérique, dans le domaine de 0,1 à 1,0 MPa ou plus. La majorité des membres du Groupe de travail n'étaient pas très enthousiastes. Il a toutefois été convenu qu'un questionnaire serait diffusé pour se faire une meilleure idée du problème. Si les réponses au questionnaire font apparaître un intérêt suffisant, il sera peut-être difficile de trouver un laboratoire prêt à jouer le rôle de laboratoire pilote et aussi de trouver un laboratoire ou un fabricant désireux de prêter un étalon de transfert approprié.

Au cours de la discussion, Mr Riéty attire l'attention sur un nouveau baromètre pour déterminer la pression atmosphérique (document CCM/85-22). Entre autres sujets de discussion il est question des matériaux appropriés pour construire un ensemble piston-cylindre et des problèmes posés par la température et l'aimantation.

Le comité prend connaissance du rapport de Mr Tilford sur l'activité du Groupe de travail « Basses pressions » (document CCM/85-12).

2.8. Basses pressions

En vue de la comparaison internationale des mesures dans le domaine compris entre 0,1 Pa et 1 kPa on a choisi quatre jauges à diaphragme à variation de capacité et on les a équipées des instruments auxiliaires nécessaires.

Lors des mesures comparatives effectuées de 1980 à 1982 entre le NBS (États-Unis d'Amérique) et le NPL (Royaume-Uni) et destinées à éprouver la validité de la méthode de mesure choisie et la stabilité des étalons de transfert, les jauges de pression ont donné des signes de dérives d'un ordre de grandeur inattendu. Les différences qui en résultent entre les courbes d'étalonnage des deux laboratoires sont considérablement plus grandes que l'incertitude de mesure attendue pour cet étalon de transfert.

En conséquence, l'objectif réel de ces mesures comparatives ne pourra pas être atteint sans restrictions ; néanmoins la comparaison doit se poursuivre, d'abord au CSIRO (Australie) puis à la PTB, puisque pour le moment aucun autre instrument n'est susceptible de remplacer les jauges à diaphragme à variation de capacité.

Le président demande ensuite à Mr Jäger de présenter le rapport du Groupe de travail « Très basses pressions » que préside Mr Messer :

2.9. Très basses pressions

Mr Jäger présente le document CCM/85-1. Les mesures de comparaison de pression avec une jauge à rotor tournant utilisée comme étalon de transfert ont commencé dans le domaine compris entre 10^{-4} Pa et 1 Pa. Jusqu'à maintenant, cinq laboratoires ainsi que le laboratoire pilote ont pris part à ces mesures.

Il s'agit pour les participants de déterminer les valeurs $\sigma_{0,\text{eff}}$ (coefficient efficace de transfert d'énergie et de moment tangentiel, valeur limite pour les basses pressions). Il est tenu compte des variations avec le temps de cette valeur, variations qui dépendent du rotor utilisé. La comparaison en étoile permet d'effectuer des contrôles réguliers dans le laboratoire pilote et d'apporter les corrections appropriées aux résultats des mesures.

Comme gaz de mesure on a utilisé l'argon et, pour la première fois dans une comparaison, l'hydrogène, bien que tous les participants n'aient pas été en mesure de faire des mesures avec l'hydrogène.

Les résultats connus à l'heure actuelle montrent que, selon le rotor utilisé, les valeurs de $\sigma_{0,\text{eff}}$ déterminées par les laboratoires participants ne s'écartent pas de la valeur moyenne de tous les laboratoires de plus de 1,5 % pour l'argon et 2 % pour l'hydrogène.

Par suite de quelques retards dans le déroulement de la comparaison il convient de souligner que le programme ne sera pas terminé en 1985 comme il était prévu ; en conséquence, le laboratoire pilote ne sera vraisemblablement pas en mesure de soumettre un rapport final aux membres du Groupe de travail avant le printemps de 1986.

3. Exposés

Le point suivant de l'ordre du jour porte sur la présentation de travaux particuliers effectués dans quelques laboratoires. Le président demande tout d'abord à Mr Quinn de présenter son exposé sur :

3.1. La balance à suspensions flexibles du BIPM

On a construit au BIPM le prototype d'une balance à suspensions flexibles de conception nouvelle (document CCM/85-14). On vise principalement à mettre au point une balance à bras égaux, destinée à la comparaison d'étalons de masse de 1 kg avec la meilleure exactitude possible, en utilisant la méthode de substitution. Dans ce prototype, toutefois, rien n'a été prévu pour effectuer les substitutions ; on peut seulement soulever la charge de l'un des plateaux et l'y reposer. Une butée réglable limite le mouvement du plateau lorsqu'on le décharge et maintient sa suspension flexible sous contrainte constante. On considère que cette opération, répétée un certain nombre de fois, suffit pour éprouver la balance de façon critique et évite la grande complication d'un échangeur de masses.

La balance comporte trois suspensions flexibles ; celle du milieu supporte l'ensemble fléau, suspensions des plateaux et plateaux avec leur charge ; celles des extrémités ne supportent que les suspensions des

plateaux, les plateaux et leur charge. Chaque lame flexible est réalisée à partir d'un bloc en alliage de bronze au béryllium (Cu-Be) durci.

Chaque suspension de plateau est constituée de trois sections reliées par des dispositifs de cardan à couteaux. Elle est conçue de façon à réduire le moment des forces appliquées sur la lame flexible de l'extrémité du fléau lorsque la charge est excentrée sur le plateau.

Le fléau est en alliage d'aluminium. Il a été usiné à partir d'un bloc massif. Pendant le fonctionnement, le fléau est asservi de façon à être maintenu dans une position donnée par rapport à la platine supérieure du bâti de la balance. Indépendamment du système d'asservissement, un interféromètre optique est situé à l'une des extrémités du fléau dont il indique la position. Ce dispositif s'est révélé être un instrument de diagnostic extrêmement précieux.

L'essai le plus critique auquel peut être soumise la balance prototype consiste à contrôler le courant d'asservissement pendant une série de chargements et de déchargements avec une masse de 1 kg. La répétabilité du courant d'asservissement moyen après chaque chargement est une indication de la fidélité de la balance. L'écart-type du courant par rapport à une courbe lisse pendant une série d'opérations de ce genre est une bonne indication de ce que l'on peut obtenir de mieux pendant une série de vraies pesées. Jusqu'à présent, le mieux que l'on ait obtenu est un écart-type équivalent à $0,28 \mu\text{g}$ pour une série de quinze chargements successifs d'une masse de 1 kg.

La principale composante du bruit du courant d'asservissement est celle due aux mouvements du sol, principalement aux mouvements de translation horizontale et d'inclinaison. La valeur efficace du bruit angulaire sur le fléau dans les meilleures conditions (le dimanche matin, de très bonne heure, en été) est d'environ $0,3 \text{ nrad}$; elle est équivalente à environ $0,3 \mu\text{g}$ dans la bande de fréquences proche de 1 Hz. Pendant l'hiver, quand les vibrations du sol causées par l'océan et les conditions météorologiques sont beaucoup plus défavorables, le niveau de bruit peut être dix fois supérieur. On travaille actuellement à l'isolement par rapport aux mouvements horizontaux du sol.

Le président demande ensuite à Mr Kochsiek de faire son exposé sur :

3.2. Détermination de la masse d'étalons de 1 kg à l'aide d'une méthode de pesée hydrostatique

On a mis au point à la PTB un comparateur de masses de 1 kg (document CCM/85-24) utilisant la poussée hydrostatique agissant sur un flotteur pour compenser la force due à la pesanteur agissant sur un étalon de masse de 1 kg suspendu au flotteur. Cette méthode présente des avantages dus à la compensation directe de forces sans levier de transmission ni articulations mécaniques tels que des couteaux, ainsi

qu'à la suspension sans friction dans le liquide et à la faible sensibilité aux perturbations mécaniques.

Les variations de la force verticale agissant sur le flotteur dues aux variations de la masse qui lui est suspendue sont mesurées au moyen d'un système électromagnétique de compensation et de contrôle de la position, avec l'avantage supplémentaire d'éviter des causes d'erreur dues aux mouvements du flotteur dans le liquide.

L'échange des masses, la pesée et la mesure des paramètres de l'environnement tels que température, pression et humidité sont effectués automatiquement sous le contrôle d'un ordinateur, ce qui permet de faire des pesées avec des perturbations minimales. Chaque pesée est faite par double substitution et comporte une détermination de la sensibilité.

L'écart-type pour la comparaison d'étalons de 1 kg ayant presque la même masse volumique est maintenant d'environ 3 μg .

On n'a pas trouvé de différences systématiques entre les déterminations de masse faites avec la balance hydrostatique et avec une balance prototype du type traditionnel. La principale cause d'incertitude de la méthode hydrostatique est due aux petites variations, à court terme, de la pression atmosphérique qui modifient la poussée dans le liquide et dans l'air. Afin d'éliminer cette cause on construit pour la balance une enceinte à pression contrôlée. De cette façon, et avec le montage de l'ensemble sur un support ancré dans le sol, joint à des conditions améliorées d'environnement, on espère obtenir une nouvelle amélioration de l'exactitude.

Le président demande ensuite à Mr Riéty de faire son exposé sur :

3.3. Le comparateur d'étalons de masse de l'INM

Le comparateur d'étalons de masse installé récemment à l'INM possède les caractéristiques suivantes : balance à un seul plateau ; pesée par substitution en appliquant la méthode « à charge constante » pour l'échange des masses sur le plateau ; suspension du plateau à couteaux croisés et en deux parties articulées par un joint de cardan ; chargement et échange des masses (4 masses) sur le plateau à l'aide d'un transporteur circulaire ; asservissement en position du fléau de la balance et mesure électrique du déséquilibre ; fonctionnement entièrement automatique avec acquisition et traitement des données en temps réel ; possibilité de comparer aussi des masses de sous-multiples du kilogramme, telles que 500, 200 et 100 g.

Le fléau de la balance, avec le dispositif d'asservissement (capteur de déplacement et bobine d'asservissement), est d'une seule pièce, en alliage d'aluminium. Les différentes parties de la suspension sont faites

dans un alliage d'aluminium moulé très stable. Les articulations sont constituées de pivots en tungstène et de plans en saphir. L'alignement des différents éléments a été fait à l'aide d'un faisceau laser.

Le transporteur est un disque comportant quatre ouvertures oblongues, dont une partie est étroite tandis que l'autre est élargie. Au départ, les masses sont déposées au niveau de la partie étroite de l'ouverture. On tourne le transporteur de telle façon que la masse à peser se trouve directement au-dessus du plateau. Un piston, mû par une came et passant dans le trou central du plateau et l'ouverture du transporteur, soulève la masse. Le transporteur tourne de façon à dégager la partie élargie de l'ouverture et le piston dépose alors la masse sur le plateau de la balance. La rotation du transporteur se fait au moyen d'un moteur pas à pas commandé à distance et ayant une forte démultiplication, ce qui permet un positionnement très précis. La masse est placée sur le plateau très doucement, la bobine d'asservissement étant alimentée de façon à maintenir la partie supérieure de la suspension en butée pendant un court moment. Le dispositif d'asservissement n'est donc en circuit que lorsque la balance est pratiquement en équilibre, et le fléau arrive à sa position finale de façon très progressive et sans oscillation. Le comparateur est placé sur un dispositif antivibratoire.

Toutes les opérations de pesée sont commandées au moyen d'un microprocesseur et les résultats sont produits directement sous forme d'un tableau qui contient, outre la valeur finale de la masse corrigée de la poussée de l'air, toutes les indications qui permettent de reconstituer les conditions de la mesure.

3.4. Discussion

La discussion montre qu'il y a eu une forte activité au cours des toutes dernières années dans le domaine des prototypes de balances.

Trois principes différents sont présentés à cette occasion.

Mr Bennet indique que le NPL construit un prototype de balance, dont la conception est semblable à celle du BIPM, mais les oscillations du fléau seront enregistrées par une méthode optique et la masse volumique de l'air ambiant sera déterminée de façon directe.

Mr Pavlov signale les méthodes utilisées pour mesurer directement la masse volumique de l'air à l'IMM (document CCM/85-6).

Mr Iizuka parle de la balance de haute précision du NRLM (document CCM/85-4) et Mr Spurny d'une balance de 10 kg, récemment mise au point, qui peut aussi être utilisée pour comparer des sommes de masses disposées sur un transporteur tournant (document CCM/85-28).

Mr Davis fait un bref rapport sur la reconstruction d'une ancienne balance prototype de Volland, mais il n'a pas encore de résultats de mesures.

Le président demande alors à Mme Plassa de faire son exposé sur :

3.5. Analyse de surface de matériaux utilisés pour la construction des étalons de masse

Le but de la communication est de souligner le rôle joué par les phénomènes de surface dans la détermination de la stabilité des étalons de masse, de décrire quelques-unes des techniques d'analyse de surface permettant d'étudier ces phénomènes et de donner quelques résultats que l'IMGC a obtenus.

Les effets de surface les plus importants qui influencent la stabilité des étalons de masse, mis à part les réactions chimiques, sont l'adsorption (physique ou chimique) et la contamination. De plus, il faut rappeler que la composition de la surface des alliages est généralement très différente de la composition interne, à cause de la ségrégation superficielle des composants et que cette ségrégation est liée aux techniques de préparation.

Parmi la centaine de techniques modernes d'analyse de surface, la spectroscopie des électrons éjectés par des photons X (XPS ou ESCA) et la spectroscopie d'électrons Auger (AES) sont les plus utiles pour étudier la composition des surfaces métalliques, tant pour ce qui est des composants propres que pour les atomes étrangers liés à la surface. L'IMGC a utilisé ces méthodes pour étudier les propriétés de surface d'échantillons préparés de la même façon que des masses étalons, c'est-à-dire polis avec de la poudre de diamant. Quatre aciers inoxydables différents et deux alliages Ni-Cr de la série Nimonic ont été étudiés.

Les analyses XPS montrent que la surface est couverte d'atomes de carbone et d'oxygène (on ne peut déceler l'hydrogène), et que la première couche métallique est riche en chrome et pauvre en nickel. Le rapport de concentration entre la surface et l'intérieur varie de 1,4 à 2,8 pour le chrome, de 0,3 à 0,7 pour le nickel et de 0,6 à 1,1 pour le fer. Les déplacements chimiques des pics des différents éléments montrent que le chrome est oxydé en Cr_2O_3 , le nickel en NiO , le fer en Fe_2O_3 (dans la couche extérieure) et en FeO , et que l'oxygène est présent sous la forme non seulement d'oxydes, mais aussi de $-\text{OH}$.

L'analyse AES, associée à un bombardement ionique, permet non seulement d'étudier la concentration des éléments à la surface, mais aussi de déterminer ses variations en fonction de la profondeur. Les résultats montrent que les couches externes comportent, dans cet ordre, du carbone (sous forme d'hydrocarbures ou d'oxydes de carbone), de l'oxygène, une couche riche en chrome, une couche riche en nickel, une couche riche en carbone (contenant probablement des carbures) tandis que la concentration en fer augmente régulièrement jusqu'à sa valeur dans le matériau massif.

En bref, on trouve très peu d'atomes métalliques à une profondeur de 1 à 2 nm, et la surface comporte essentiellement des éléments de

contamination ou des substances adsorbées ; entre 2 et 5 nm les composants de l'alliage sont présents avec des concentrations anormales, et c'est seulement à une profondeur d'environ 5 nm que la composition est celle de l'alliage massif.

Outre le carbone, on trouve à la surface d'autres éléments de contamination, comme Na, Ca, Cl, S, probablement adsorbés à partir de l'air, et Zn, apporté sur la surface pendant le polissage. On a observé une augmentation de la concentration d'ions étrangers avec le vieillissement, alors que l'on n'a décelé aucune différence significative dans la contamination par des substances organiques. Les résultats obtenus par d'autres auteurs montrent que les alliages Ni-Cr sont très actifs pour ce qui est de l'adsorption de vapeurs organiques, si bien qu'après quelques heures les surfaces sont fortement contaminées ; toutefois, la contamination continue d'augmenter lentement dans les jours qui suivent.

L'épaisseur de la couche d'oxyde diffère suivant les alliages ; elle est plus grande avec les aciers inoxydables qu'avec les alliages sans fer ; de toute façon, elle augmente avec le temps. Comme la croissance de la couche d'oxyde est due à la chimisorption de l'oxygène de l'air, elle entraîne une augmentation de la masse du solide. En simplifiant les choses, on est arrivé à une estimation d'environ 20 µg pendant la première année pour l'accroissement de la masse d'un étalon de 1 kg en acier inoxydable.

On a aussi effectué des analyses préliminaires sur un échantillon de platine iridié usiné à l'outil à pointe de diamant par le BIPM. Les résultats montrent, à la surface, un enrichissement en platine, l'absence d'une couche oxydée, et la présence de carbone vraisemblablement due à la contamination par des substances organiques.

Les techniques d'analyse de surface ne peuvent généralement être utilisées qu'avec des échantillons spéciaux de faibles dimensions, ce qui exclut l'étude de la surface de véritables étalons de masse. Si l'on devait utiliser ces techniques pour étudier, par exemple, l'effet des conditions de conservation, il faudrait préparer et traiter des échantillons *ad hoc* de la même façon que les étalons de masse.

En conclusion les analyses XPS, AES et éventuellement d'autres techniques comparables constituent de puissants outils d'analyse pour l'étude des effets de surface dont on pense qu'ils influencent la stabilité des étalons de masse. En fait, ces techniques fournissent de multiples renseignements sur les surfaces et pourraient être avantageusement utilisées à l'avenir, compte tenu en particulier de la mise au point de balances très sensibles avec lesquelles le problème de la stabilité des étalons de masse deviendra de plus en plus critique.

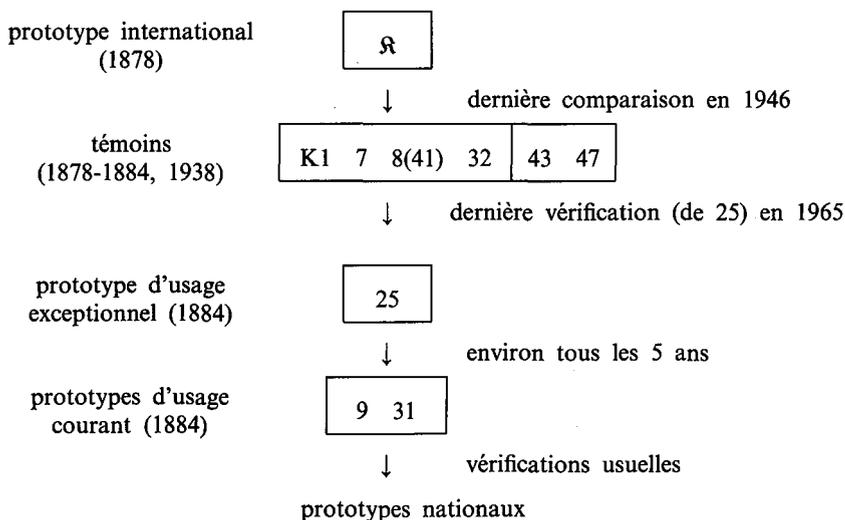
Au cours de la discussion, il apparaît à l'évidence que ces recherches ouvrent de nouveaux horizons. En conséquence, le Comité demande à Mme Plassa de faire un rapport détaillé sur ces recherches et de communiquer ce rapport aux participants.

4. Questions relatives au kilogramme

4.1. Préparation de la 3^e vérification périodique des prototypes nationaux

La deuxième vérification périodique des prototypes nationaux s'est déroulée de 1948 à 1953 en plusieurs groupes comportant chacun deux des huit témoins comparés au prototype international \mathfrak{K} en 1946.

L'ordre actuel de hiérarchie des prototypes que détient le BIPM est schématiquement le suivant :



Avant de pouvoir organiser la 3^e vérification périodique des prototypes nationaux, il faut que les améliorations en cours des balances du BIPM soient terminées (entre autres la balance NBS-2 et la balance Rueprecht de portée 1 kg). Cela demandera environ deux ans. On n'a pas encore élucidé la question de savoir quelle méthode il conviendrait d'utiliser pour nettoyer le Prototype international du kilogramme \mathfrak{K} .

La seule preuve directe que l'on puisse espérer de la stabilité de la masse de \mathfrak{K} et des autres prototypes en platine iridié est la conservation à long terme des différences entre les masses de la plupart d'entre eux. En effet, une vérification plus directe supposerait l'existence d'autres étalons de masse, encore plus stables, étalons qui détrôneraient à bref délai les étalons actuels mais pour lesquels, auparavant, la démonstration de la stabilité de la masse poserait exactement le même problème.

Malheureusement les comparaisons, pour un prototype en platine iridié donné, sont peu fréquentes ; les plus anciennes présentent des garanties réduites, dans la mesure où le nettoyage-lavage n'est effectué systématiquement, lors des vérifications au BIPM, que depuis 1946. Les pesées avant et après nettoyage-lavage ont en effet démontré que la

pollution de ces prototypes n'est pas un phénomène négligeable, tandis qu'on obtient, après répétition de ce traitement, une masse stable. Il faudrait encore s'assurer que le nettoyage-lavage lui-même n'est pas générateur de variations à long terme de la masse.

Il est possible qu'à l'avenir on dépose avec \mathfrak{K} et ses témoins d'autres échantillons sur lesquels on pourrait faire, par exemple, des vérifications annuelles ; de cette façon, on pourrait étudier les effets à long terme sans mettre en péril la base de la définition du kilogramme. On recherche donc une méthode convenable pour vérifier la stabilité de la masse, ainsi que des critères pour les conditions d'environnement qui ne sont pas encore définies pour les comparaisons de masse à venir.

Il n'est pas possible d'élaborer de façon définitive, au cours de cette session, les modalités de la 3^e vérification périodique. Toutefois le CCM s'accorde pour rédiger une déclaration qui est devenue par la suite la Recommandation G2 (voir p. G 26).

4.2. La définition du kilogramme

Le président ouvre ensuite une brève discussion sur la définition du kilogramme. De nouvelles possibilités de réaliser et de définir l'unité de masse ont été suggérées, par exemple par des méthodes électriques fondées sur des effets quantiques. Le Comité estime que les méthodes en question n'ont pas atteint un degré suffisant de perfection et ne sont pas suffisamment précises. Un autre sujet de discussion est de savoir si l'unité de masse devrait à l'avenir être réalisée en faisant la moyenne des valeurs de plusieurs prototypes ou de tous les prototypes nationaux (actuellement au nombre d'une quarantaine), y compris \mathfrak{K} . Le débat sur cette question est ajourné. Il pourra être repris après la fin de la 3^e vérification périodique des prototypes nationaux et de la discussion de ses résultats.

4.3. Sanction des prototypes

Après discussion du document CCM/85-25 il est proposé que le BIPM rédige un Certificat après chaque nouvelle vérification d'un prototype en platine iridié au lieu d'attendre pour cela, suivant une décision du CIPM de 1895, que l'on ait constaté une variation de masse supérieure à 0,05 mg.

Il est également proposé que le rapport que présente le président du CCM à la Conférence Générale des Poids et Mesures contienne dorénavant la valeur des masses des prototypes en platine iridié vérifiées depuis la dernière CGPM.

5. Questions diverses

5.1. Publication des documents

Le rapport du CCM au CIPM est publié par le BIPM. Chaque président de Groupe de travail prépare un bref rapport annuel et un rapport plus long pour chaque réunion du CCM ou après l'achèvement d'une comparaison. Ceux-ci peuvent être publiés en annexe au rapport du CCM. Outre leur publication dans *Metrologia*, généralement sous forme abrégée, les rapports finaux des comparaisons et certains autres travaux peuvent être publiés comme Monographie BIPM. Le président attire l'attention des membres sur le fait que les documents soumis aux réunions du Comité Consultatif, même s'ils ne sont pas publiés en annexe au rapport de la session, sont conservés au BIPM et qu'il est toujours possible d'en obtenir des copies en faisant la demande au directeur.

5.2. Rapport au CIPM et Recommandations

Le rapport de la 2^e session du CCM sera soumis au CIPM. Il comportera la Recommandation G1 (1985) sur la conservation des étalons du kilogramme et la Recommandation G2 (1985) concernant la troisième vérification périodique des prototypes nationaux et sa préparation.

5.3. Groupes de travail

Les groupes de travail organisés lors de la première session du CCM en 1981 afin d'avoir une base de travail se sont avérés efficaces. Pour l'avenir, toutefois, on devrait tendre à en réduire le nombre, par exemple en fusionnant certains groupes de travail chargés de sujets voisins ou comparables. La création de nouveaux groupes de travail pour couvrir de nouveaux sujets ne devrait se faire que lorsque ces sujets ne peuvent être pris en charge par aucun des groupes de travail existants. À l'avenir, si un laboratoire ne fait preuve d'aucune activité dans un groupe de travail, il conviendra de le rayer de la liste de ce groupe de travail.

Les présidents des groupes de travail doivent veiller à tenir au courant le BIPM de toutes les activités des groupes.

Le NRLM souhaite faire aussi partie des Groupes de travail « Force » et « Moyennes pressions » et l'IMGC du Groupe de travail « Moyennes pressions ».

À propos des comparaisons, Mr. Giacomo attire l'attention sur le Rapport BIPM-84/4 « Commentaires sur l'organisation de comparaisons internationales ».

5.4. Prochaine session

Il est prévu que la prochaine session du CCM ait lieu en 1988. La date exacte sera fixée de façon à laisser suffisamment de temps pour que le projet de rapport du CCM puisse être soumis à la session suivante du CIPM.

Les laboratoires qui ne sont pas membres du CCM et qui désireraient y présenter des résultats de recherches ou des propositions sont invités à soumettre un document écrit en l'envoyant au président du Comité, par l'intermédiaire du BIPM.

**Recommandations
du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées
présentées
au Comité International des Poids et Mesures ***

État superficiel des étalons de masse

RECOMMANDATION G 1 (1985)

Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées,
considérant

— que la stabilité à long terme est l'une des caractéristiques essentielles des étalons de masse,

— que les perfectionnements apportés aux balances permettent aujourd'hui de mettre en évidence des variations de masse de quelques microgrammes sur un kilogramme,

— que des variations de cet ordre ont été observées et ont pu être attribuées à des effets superficiels dus en particulier aux agents atmosphériques,

— que les méthodes utilisées pour nettoyer la surface des étalons de masse pourraient avoir des effets insoupçonnés,

— que diverses méthodes modernes permettent d'étudier le comportement superficiel des alliages dont sont constitués les étalons de masse,

— que des résultats importants ont déjà été obtenus à l'aide de ces méthodes concernant la contamination des surfaces,

recommande

que les laboratoires appliquent les diverses techniques maintenant disponibles pour étudier la composition et le comportement superficiels du platine allié à 10 % d'iridium et des autres alliages dont sont constitués les étalons de masse.

* Ces deux recommandations ont été approuvées par le CIPM à sa 74^e session (1985).

Vérification des prototypes du kilogramme du BIPM

RECOMMANDATION G2 (1985) **

Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, *rappelant* la Résolution 3 de la 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures (1975), estime que le moment est venu de mettre en route la 3^e vérification périodique des étalons nationaux du kilogramme et

recommande, qu'en vue de cette vérification, le Kilogramme international et ses témoins ainsi que les prototypes d'usage du BIPM, soient préalablement comparés entre eux.

** Cette recommandation a été initialement rédigée par le CCM comme une simple déclaration. Elle a été discutée et adoptée par le CIPM comme une recommandation.

RAPPORT DU PRÉSIDENT
DU COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Les rayonnements ionisants continuent à être très utilisés en médecine (diagnostic et traitement), dans la production de l'énergie électrique et dans une multitude d'applications industrielles comprenant le traitement des matériaux en vue d'améliorer leurs qualités et, dans certains pays, l'irradiation pour la désinsectisation et la conservation des denrées alimentaires.

L'utilisation et la mesure des rayonnements ionisants est de plus en plus un sujet de préoccupation pour les collectivités. Cette préoccupation se manifeste par la mise en place dans la plupart des pays de réglementations destinées à protéger les citoyens contre les risques potentiels des rayonnements. Par ailleurs, on commence maintenant à estimer la probabilité de l'existence d'une relation de cause à effet, probabilité utilisée légalement pour déterminer l'indemnisation des personnes ; dans le cas de cancers pouvant être dus au rayonnement, cette indemnisation dépend des doses reçues et du type de cancer concerné. Pour permettre d'établir une réglementation et une juridiction concernant les rayonnements, les laboratoires nationaux doivent disposer d'étalons de mesure exacts et cohérents pouvant servir de références pour contrôler les mesures courantes.

Il en résulte que les mesures exactes de rayonnements ionisants continuent à être d'une très grande importance. Des exactitudes d'environ 1 % sont nécessaires pour les mesures de neutrons, de rayons X et γ , et de radioactivité, quand on veut réaliser une centrale électrique nucléaire. Une exactitude du même ordre est nécessaire pour les étalons nationaux de mesure, afin de déterminer la dose absorbée délivrée aux tumeurs à environ 5 % près, ce qui est l'exactitude généralement reconnue comme nécessaire en radiothérapie. Une telle exactitude est difficile à atteindre en raison de la grande complexité de l'interaction du rayonnement avec la matière, et de la diversité des énergies et des intensités des différents types de rayonnement concernés. Les laboratoires

nationaux s'efforcent de répondre à cette demande, pour une gamme de besoins toujours croissante, en poursuivant le programme des comparaisons qui sont organisées par les trois sections du CCEMRI et qui utilisent fréquemment les laboratoires et le personnel du BIPM. Des mesures d'une exactitude légèrement inférieure, faites dans le domaine des faibles doses, sont nécessaires pour la protection des travailleurs et des populations, ainsi que pour le contrôle de l'environnement. Ces exactitudes plus faibles, fréquemment de l'ordre de 10 %, demandent parfois aux laboratoires nationaux des exactitudes qui les obligent souvent à développer leurs capacités de mesure dans le cas de certains rayonnements où la mesure est difficile, comme les neutrons par exemple.

La mesure des rayonnements ionisants est parfois décisive pour la santé et la sécurité, par exemple en radiothérapie. Le rôle central du CIPM et du BIPM dans le système international de mesure pour tous les rayonnements ionisants est d'une très grande importance.

Le CCEMRI* comporte actuellement trois sections : Section I, Rayons X et γ , électrons ; Section II, Mesure des radionucléides ; Section III, Mesures neutroniques. Dans la présentation de ce rapport on considère successivement ces trois sections. Pour chacune d'elles on envisage :

- A. Les besoins en étalons,
- B. Le programme de travail prévu pour la période de 1983 à 1985,
- C. Les réalisations pendant la période de 1983 à 1985,
- D. Les travaux envisagés de 1985 à 1987.

Les activités du BIPM qui sont directement liées aux activités du CCEMRI figurent dans la partie correspondante de ce rapport.

Section I — Rayons X et γ , électrons

A. Besoins en étalons

Il est utile d'affirmer à nouveau, comme dans les rapports précédents, que les difficultés spécifiques rencontrées dans la mesure des rayons X et γ , et des électrons, ainsi que l'exactitude requise en dosimétrie appliquée, font qu'il est nécessaire d'avoir des étalons de rayonnement pour effectuer des mesures satisfaisantes et cohérentes (afin d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques, ce qui est la tâche du BIPM). Le domaine des énergies des particules ionisantes elles-mêmes

* L'Annexe C (p. R 23) donne la liste des laboratoires et organisations mentionnés dans ce rapport.

et le domaine des débits de fluence rencontrés peuvent couvrir plusieurs ordres de grandeur. Dans les domaines de la protection et de l'environnement on est de plus en plus préoccupé par les risques liés à l'exposition aux rayonnements. L'ICRU a récemment recommandé des grandeurs à utiliser dans ces domaines et il est nécessaire de mesurer ces nouvelles grandeurs pour les rattacher aux étalons nationaux. La radiothérapie, qui est très importante et bénéfique dans le traitement des maladies, demande que la dose absorbée soit déterminée avec une exactitude qui approche parfois celle des étalons. Pour les débits de fluence élevés, utilisés dans l'industrie pour le traitement des fournitures médicales et des denrées alimentaires, etc., le coût de l'opération a une influence sur l'exactitude demandée. La nature complexe des interactions du rayonnement et de la matière à tous ces niveaux exige l'emploi de techniques spéciales en dosimétrie. C'est seulement avec des mesures rattachées à un étalon national qu'on peut obtenir des résultats qui constituent un système cohérent dans un pays. L'extension à une échelle mondiale demande que les étalons nationaux eux-mêmes soient reliés entre eux dans un système unifié par l'intermédiaire du BIPM.

La détermination de la dose absorbée dans l'eau, en particulier, continue à avoir une importance primordiale en radiothérapie. Sa mesure calorimétrique directe a fait apparaître des écarts de quelques pour cent, dus en partie à des réactions exothermiques dans l'eau irradiée, par rapport aux valeurs déterminées à partir de calorimètres en graphite. Ces derniers instruments, utilisés par plusieurs laboratoires nationaux comme étalons primaires de dose absorbée dans le graphite, présentent pour une mesure un écart-type total associé de quelques pour mille (CCEMRI(I)/85-22) ; lors des comparaisons de ces calorimètres au BIPM l'écart-type était de 0,2 % (CCEMRI(I), 5^e réunion, 1979 ; M.-T. Niatel *et al.*, *Phys. Med. Biol.* **30**, 1985, pp. 67-75). Cependant, si l'on déduit la dose absorbée dans l'eau de telles mesures, ou de mesures d'exposition, il en résulte une incertitude accrue, qui est actuellement de l'ordre de 1 %. Des comparaisons de mesures de dose absorbée dans l'eau (CCEMRI(I), 5^e réunion, 1979, 6^e réunion, 1981, et CCEMRI(I)/85-20, 21), avec des chambres d'ionisation et des dosimètres Fricke, ont fait apparaître des différences de 0,3 % dans le premier cas et jusqu'à 2,5 % dans le second. Étant donné que l'exactitude actuellement requise en radiothérapie est de 5 % pour certaines tumeurs et que les améliorations en cours concernant la radiographie font penser qu'une exactitude croissante sera nécessaire, un effort soutenu sera indispensable pour établir des étalons appropriés pour mesurer la dose absorbée dans l'eau.

B. Programme de travail prévu pour la période de 1983 à 1985

On avait prévu de continuer les comparaisons d'étalons d'exposition, de kerma dans l'air et de dose absorbée. Le programme comportait aussi de nouvelles comparaisons de systèmes de dosimétrie Fricke.

Une compilation devait être faite des estimations détaillées des incertitudes associées aux étalons de mesure. A cette fin, on avait constitué un groupe de travail pour rassembler des données sur les chambres à parois d'air, les chambres à cavité en graphite et les calorimètres en graphite. La présentation des incertitudes devait être conforme à la Recommandation du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 49, 1981, p. All).

Il avait été convenu que les changements concernant les étalons nationaux devraient être rares, mais que de tels changements sont à envisager lors de l'adoption de valeurs améliorées de constantes physiques, comme cela est prévu, par exemple, pour les rapports des pouvoirs de ralentissement.

On devait continuer à se préoccuper du problème de la détermination de la dose absorbée dans l'eau, par des mesures directes ou par l'emploi de facteurs de conversion.

On devait aussi s'intéresser à la radioprotection et aux usages industriels des rayonnements : il s'agit, dans le premier cas, des nouvelles grandeurs recommandées par l'ICRU pour la protection contre les rayonnements et, dans le second cas, des progrès dans la mise en place de services de référence, par l'AIEA et les laboratoires nationaux, et du rôle du BIPM dans ce domaine.

Par ailleurs, la section estima que ses travaux devraient faire l'objet d'une plus large diffusion par la publication de rapports dans des revues scientifiques appropriées.

C. Réalisations pendant la période de 1983 à 1985

Sept comparaisons (dont trois au BIPM) ont été effectuées avec des étalons d'exposition dans les domaines d'énergie de la radiothérapie. Une différence observée lors d'une comparaison effectuée au BIPM a conduit à une amélioration de la mesure mécanique du diaphragme de l'étalon national d'exposition concerné (chambre à parois d'air). Le BIPM a aussi étalonné, dans son faisceau de rayonnement γ du ^{60}Co , deux chambres d'ionisation à cavité, à parois de graphite. L'un de ces étalonnages a permis une comparaison avec l'étalon d'exposition d'un laboratoire national. Les deux chambres de transfert, dont le volume peut être déterminé d'après leur construction, pourront aussi être utilisées comme étalons nationaux primaires d'exposition. Par ailleurs, des étalonnages ont été effectués au BIPM pour cinq pays et pour l'AIEA, dans les faisceaux de rayons X et du ^{60}Co .

Trois laboratoires nationaux ont comparé leurs mesures de dose absorbée dans l'eau, dans le rayonnement du ^{60}Co , avec des dosimètres chimiques Fricke. Pour deux d'entre eux, la mesure de la dose absorbée repose sur des calorimètres de graphite. On a trouvé que les deux valeurs sont en accord avec les résultats des dosimètres Fricke à

quelques pour mille près quand on utilise pour les dosimètres chimiques la valeur de G_{ϵ} recommandée par Svensson et Brahme (*Acta Radiol.* **18**, 1979, p. 326).

Plusieurs comparaisons ont été faites à de faibles énergies et à des énergies élevées de rayonnement. P. Spanne *et al.* ont publié les résultats détaillés d'une comparaison faite par douze laboratoires, avec de faibles kermas dans l'air (environ 0,3 mGy), pour des faisceaux de rayonnement de ^{241}Am , ^{137}Cs et ^{60}Co (*Rad. Prot. Dosimetry*, **6**, 1984, pp. 261-264). Presque tous les écarts sont inférieurs à 5 %. Deux laboratoires ont fait récemment une comparaison d'étalons utilisés en radioprotection en utilisant des rayons X émis à 150 kV. Un autre laboratoire national a pris part à la septième comparaison internationale de dosimètres intégrateurs pour la surveillance de l'environnement. Dans le domaine industriel, deux laboratoires nationaux ont fait une comparaison de dose absorbée dans l'eau, dans des irradiateurs de ^{60}Co ; l'accord est meilleur que 1 %.

La Section I a discuté le besoin de comparaisons pérennes d'étalons nationaux primaires au BIPM. Elle pense que les comparaisons des étalons actuels (et futurs) devraient être répétées de temps en temps. Dans les cas où il n'est pas commode de transporter l'étalon primaire au BIPM, on souligne l'intérêt que présente un instrument de transfert. Étant donné la préoccupation croissante concernant les rayonnements et la santé, et la nécessité de préserver la cohérence mondiale des mesures de rayonnements ionisants par des comparaisons pérennes, la Section I recommande formellement que le système d'étalons du BIPM soit maintenu et développé selon les besoins, et que le BIPM dispose du personnel approprié pour accomplir les tâches nécessaires (Recommandation R(I)-1 (1985), qui figure dans le rapport de la Section I au CIPM).

Le Groupe de travail sur l'estimation des incertitudes, créé par la Section I lors de sa septième réunion, a rassemblé des données sur les composantes des incertitudes estimées pour trois catégories d'étalons : 19 étalons à parois d'air, 12 chambres d'ionisation à cavité, à parois de graphite, et 5 calorimètres en graphite. Les incertitudes du type A (estimées par des méthodes statistiques) sont en général inférieures aux incertitudes du type B (estimées par d'autres méthodes). Bien que les valeurs individuelles données par les participants pour l'une des composantes d'une incertitude diffèrent souvent de plus d'un ordre de grandeur, les incertitudes combinées (à l'exception de celles d'un seul laboratoire) s'accordent à un facteur 3 près. La Section I pense que ce travail a été utile, mais qu'on gagnerait peu à le répéter.

Depuis la réunion de 1983, de nouvelles valeurs des pouvoirs de ralentissement pour les électrons ont été publiées. Le BIPM a utilisé ces valeurs pour réévaluer W pour l'air (W est l'énergie moyenne nécessaire pour produire une paire d'ions), et pour calculer g , la fraction de l'énergie initiale d'un électron perdue par rayonnement. La Section

I recommande que l'on commence à utiliser ces nouvelles valeurs, dans le système actuel d'étalons, à partir du 1^{er} janvier 1986.

En ce qui concerne la détermination de la dose absorbée dans l'eau à partir de mesures de chambres d'ionisation, un laboratoire a amélioré sa méthode de Monte-Carlo pour le calcul de spectres, dans un fantôme d'eau irradié par des rayons X. Pour le rayonnement du ⁶⁰Co, le BIPM travaille actuellement sur la détermination de la correction de perturbation requise pour tenir compte de la présence d'une chambre d'ionisation en graphite dans un fantôme d'eau. Le BIPM a mesuré aussi le facteur de conversion C_λ pour une chambre Exradin T2, mais l'incertitude sur ce facteur est grande à cause du manque de stabilité de la chambre Exradin.

La Section I a discuté les implications de la recommandation de l'ICRU concernant de nouvelles grandeurs pour déterminer l'équivalent de dose. Considérant qu'une exactitude croissante sera nécessaire pour les mesures utilisées en radioprotection, et que dans un but de cohérence internationale ces mesures devraient être rattachées au système actuel d'étalons d'exposition et de kerma dans l'air du BIPM, la section recommande que le BIPM détermine les facteurs nécessaires pour obtenir l'équivalent de dose ambiant à partir de l'exposition et du kerma dans l'air pour les qualités de rayonnement du système actuel (Recommandation R(I)-2 (1985), dans le rapport de la Section I au CIPM).

En ce qui concerne les usages industriels du rayonnement du ⁶⁰Co, un laboratoire national a signalé qu'il étalonne maintenant les systèmes de dosimétrie des utilisateurs dans des domaines de débits de dose élevés et qu'il offre un service de référence basé sur la dosimétrie chimique au bichromate. L'AIEA a presque terminé les travaux de mise en œuvre d'un service de mesures de contrôle destiné à ses états membres et qui sera opérationnel en 1985. On pense que le rattachement des mesures de doses absorbées élevées au système international peut se faire au moyen de dosimètres utilisables dans une gamme d'énergies suffisamment étendue.

Pour aider à assurer l'uniformité des mesures de dose absorbée dans l'eau jusqu'à 200 grays (limite supérieure pratique disponible au BIPM), la section recommande que, lorsqu'ils organisent des distributions de dosimètres passifs, les laboratoires envoient au BIPM un échantillonnage à irradier dans le fantôme d'eau du BIPM, en un point de référence où la dose absorbée est connue (Recommandation R(I)-3 (1985), dans le rapport de la Section I au CIPM).

Pour faire connaître les travaux de la Section I, le président a publié un rapport sur la 7^e réunion (*Phys. Med. Biol.* **29**, 1984, pp. 1443-1446) et a fait un exposé au premier Inter-American Meeting of Medical Physics. Un article ayant comme coauteur le président précédent donne un compte rendu des activités des trois sections du CCEMRI (*J. Soc. Radiol. Prot.*, **4**, 1984, pp. 166-176).

D. *Travaux envisagés de 1985 à 1987*

Les comparaisons d'étalons de mesure d'exposition, de kerma dans l'air et de dose absorbée seront poursuivies. En ce qui concerne les dosimètres passifs expédiés par voie postale et utilisés par les laboratoires nationaux ou internationaux pour une comparaison ou un service de référence, un échantillonnage sera expédié au BIPM et irradié dans le fantôme d'eau du BIPM, en un point de référence où la dose absorbée est connue.

On poursuivra les travaux concernant la détermination de la dose absorbée dans un fantôme d'eau par mesure directe et par la méthode des chambres d'ionisation à cavité qui permettent d'obtenir la dose absorbée à partir d'autres grandeurs.

On déterminera les facteurs nécessaires pour obtenir, à partir de l'exposition et du kerma dans l'air, l'équivalent de dose ambiant, grandeur recommandée récemment par l'ICRU pour la radioprotection.

On continuera à s'intéresser aux progrès intervenus dans la réalisation et la comparaison d'étalons pour les rayonnements à usage industriel.

Les membres sont invités à poursuivre leur effort pour informer les revues scientifiques et les organisations appropriées sur les travaux de la section.

Section II — Mesure des radionucléides

A. *Besoins en étalons*

Les radionucléides sont très utilisés dans la recherche scientifique et la métrologie appliquée, dans de nombreux procédés industriels et en médecine nucléaire. Il est inévitable qu'ils forment aussi un groupe important de déchets, en provenance en particulier des centrales nucléaires et des hôpitaux.

Depuis quelques années, la demande d'étalons de radioactivité s'est accrue dans le monde entier. Cette augmentation est due principalement à des réglementations nouvelles ou plus strictes concernant la protection du public contre les risques potentiels des rayonnements. Ces réglementations exigent des mesures d'activité plus nombreuses et plus exactes dans les domaines de la médecine nucléaire et du traitement des déchets.

Des étalons d'une exactitude de l'ordre de quelques pour mille sont nécessaires dans la recherche scientifique, par exemple pour l'étalonnage en efficacité de systèmes de spectrométrie à semiconducteurs utilisés dans la mesure des probabilités d'émission de rayons X ou γ , qui sont très importantes pour la détermination des schémas de désintégration. Ainsi que l'ont montré les comparaisons internationales et le Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de

rayons gamma (SIR), cette exactitude est atteinte pour quelques radionucléides, mais ne l'est pas encore pour d'autres qui sont plus difficiles à mesurer.

B. Programme de travail prévu pour la période de 1983 à 1985

Une comparaison à grande échelle de ^{133}Ba , à laquelle 25 laboratoires s'étaient intéressés, avait été prévue pour le printemps de 1984.

La solution devait être préparée et mise en ampoules par le NBS en utilisant des ampoules et des techniques éprouvées. Étant donné la dispersion des résultats de deux comparaisons restreintes précédentes, la stabilité chimique de la solution devait d'abord être contrôlée par les laboratoires ayant participé aux comparaisons restreintes. Si ce premier contrôle, proposé pour la fin de 1983, était satisfaisant, les ampoules restantes devaient être distribuées pour la comparaison à grande échelle.

Une comparaison restreinte de ^{109}Cd avait été prévue pour la fin de 1984, sous réserve de disposer d'une solution suffisamment pure. Le ^{109}Cd est un radionucléide très intéressant pour l'étalonnage en efficacité des spectromètres à semiconducteurs. De plus, c'est une source fréquemment employée pour l'analyse par fluorescence de rayons X. À cause de sa transformation par capture électronique via un état métastable de période longue ($T_{1/2} \approx 40$ s), on ne peut pas l'étalonner par la méthode des coïncidences habituelle et il faut utiliser des techniques spéciales.

Trois nouveaux groupes de travail, créés à la réunion de 1983, devaient rassembler des données sur les sujets suivants :

- préparation de sources minces et problèmes chimiques associés,
- difficultés d'ordre non chimique rencontrées dans les étalonnages de l'activité de certains radionucléides,
- expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité.

C. Réalisations pendant la période de 1983 à 1985

1. Achèvement des travaux prévus pendant la période précédente

Le rapport final sur la comparaison à grande échelle du ^{137}Cs (mai 1982) a été modifié légèrement pour tenir compte des commentaires faits par la Section II à la réunion de 1983, et a été publié (Rapport BIPM-83/8 (1983)). Une version condensée a été publiée dans la littérature (A. Rytz, *Nucl. Instr. and Meth.*, **228**, 1985, pp. 506-511).

2. Comparaisons internationales

Une nouvelle solution de ^{133}Ba a été préparée par le NBS en juillet 1983, contrôlée pour la stabilité chimique et mise dans des ampoules

de type NBS. Six de ces ampoules ont été distribuées en octobre aux laboratoires participant à la comparaison restreinte. On avait demandé aux participants de déterminer l'activité massique de la solution, d'abord en mesurant l'ampoule originale dans une chambre d'ionisation $4\pi\gamma$ étalonnée, en utilisant la valeur de la masse de solution indiquée par le NBS, puis en la mesurant après transfert gravimétrique dans les ampoules des laboratoires. Dans les six cas, les deux valeurs différaient de moins de 0,2 %. La stabilité chimique de la solution était donc suffisante pour entreprendre une comparaison à grande échelle. Dans le courant du printemps 1984, les ampoules restantes ont été expédiées aux autres laboratoires intéressés par la comparaison.

Dix-neuf laboratoires ont transmis leurs résultats au BIPM. La dispersion totale est de 1,7 % et l'écart-type de la moyenne s'élève à 0,36 %. Un projet de rapport a été discuté à la dernière réunion de la Section II. Il sera modifié légèrement pour tenir compte des commentaires de quelques participants, puis publié comme rapport BIPM.

Après que le NAC eut aimablement informé le BIPM qu'il pouvait lui fournir une solution adéquate de ^{109}Cd , on a organisé une comparaison restreinte pour la fin de 1984. La solution mère a été expédiée à l'OMH qui s'est chargé de la dilution, de la mise en ampoules et de l'expédition aux six participants. Le travail expérimental est terminé. Huit résultats, obtenus par des méthodes différentes, ont été fournis. La dispersion totale est de 1,7 %, et l'écart-type de la valeur moyenne pondérée s'élève à 0,2 %, ce qui peut être considéré comme un bon accord, eu égard à la difficulté des mesures. Quelques informations complémentaires seront ajoutées au rapport qui sera publié comme rapport BIPM.

3. *Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR)*

Le système comprend maintenant environ 300 résultats indépendants, provenant de la mesure de 45 radionucléides différents. Un certain nombre de résultats ont dû être modifiés à la suite d'une amélioration de la méthode de calcul des corrections d'impuretés. Des mesures et des calculs ont été faits pour déterminer l'effet du rayonnement de freinage. Sa contribution au courant d'ionisation est normalement très inférieure à 0,1 %, mais dans certains cas particuliers elle est supérieure (par exemple, avec le ^{144}Ce elle s'élève à plus de 30 %). Un rapport intitulé « Minimum activity and maximum impurity rates for SIR samples » (Rapport BIPM-83/9) a été expédié aux laboratoires participants et une description détaillée du SIR a été publiée (A. Rytz, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **34**, 1983, pp. 1047-1056).

Le système électronique de mesure du courant d'ionisation a été reconstruit. La méthode est la même (balance de Townsend avec compensation pas à pas), mais plusieurs composants électroniques ont été remplacés ou modernisés.

4. Groupes de travail

- Principes de la méthode des coïncidences (Coordonnateur : J. W. Müller).

Comme par le passé, le groupe a stimulé des études détaillées (expérimentales et théoriques) dans divers domaines liés aux méthodes de mesure. Les projets d'une vingtaine de rapports ont circulé parmi les membres du groupe.

- Préparation de sources minces et problèmes chimiques associés (Coordonnateur : D. C. Santry).

Une enquête adressée à une cinquantaine de personnes travaillant dans la métrologie des radionucléides, ainsi qu'une recherche bibliographique, n'ont pas permis de découvrir beaucoup de travaux nouveaux depuis 1973. Un rapport sera préparé, mais si de nouvelles informations ne sont pas disponibles le groupe devrait cesser son activité.

- Difficultés d'ordre non chimique rencontrées dans les étalonnages de l'activité de certains radionucléides (Coordonnateur : H.-M. Weiss).

Une étude des radionucléides utilisés fréquemment a fait apparaître qu'une vingtaine de nucléides présentent des problèmes réels ou potentiels, dus pour la plupart à des états métastables ou à une désintégration par émission de rayonnement bêta et capture électronique. Un rapport sera préparé.

- Expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité (Coordonnateur : G. Winkler).

Un rapport a été présenté à la dernière réunion. Il contient, pour une vingtaine de radionucléides mesurés dans quatre laboratoires, une comparaison des valeurs d'activité obtenues par la méthode $4\pi\gamma$ (NaI), et basées sur les efficacités totales calculées, avec les résultats obtenus par une autre méthode. L'accord est de quelques pour mille dans la plupart des cas. Il est recommandé d'étudier les problèmes associés aux corrections d'empilement et de temps morts. Le rapport sera complété et distribué.

D. Travaux envisagés de 1985 à 1987

Comme la comparaison restreinte de ^{109}Cd a été couronnée de succès, on a jugé utile d'organiser une comparaison à grande échelle. Lors d'une enquête précédente, 19 laboratoires avaient manifesté de l'intérêt pour une telle comparaison. Le NAC avait offert de fournir une solution de ^{109}Cd en provenance du lot de grande pureté utilisé pour la comparaison restreinte. Les échantillons seront expédiés aux participants dans le courant du printemps de 1986. La date de référence proposée est 1986-03-01.

La Section II a décidé, à sa réunion de 1985, que le ^{125}I serait le prochain radionucléide à faire l'objet d'une comparaison de mesures d'activité. Il est très utilisé en médecine nucléaire, mais l'énergie des rayons X et γ provenant de la désintégration du ^{125}I est trop faible pour permettre une mesure par le SIR, si bien que l'on ne possède pas d'information sur l'uniformité des mesures au plan international. L'OMH a proposé de fournir du ^{125}I pour une comparaison restreinte entre cinq laboratoires vers la fin de 1986.

Deux autres comparaisons ont été suggérées à la dernière réunion : une comparaison d'un gaz radioactif par comptage interne à l'état gazeux et une comparaison de mesures de sources à taux de comptage élevé, semblable à celle qui a été faite il y a huit ans. Une répétition de cette dernière expérience semble justifiée car depuis cette époque on a mis au point des formules de correction plus précises (Cox-Isham) et des méthodes de mesure plus appropriées (comme l'échantillonnage sélectif). D. D. Hoppes (comptage interne) et J.-J. Gostely (taux de comptage élevés) rechercheront quels sont les laboratoires intéressés et prépareront une proposition détaillée qui sera discutée lors de la prochaine réunion de la Section II.

Étant donné l'utilisation croissante des radionucléides dans différents domaines et le besoin accru de rattachement des mesures d'activité aux étalons internationaux, qui ne peut être assuré que par le BIPM, la Section II souligne l'importance du maintien et du développement du programme de métrologie des radionucléides du BIPM, et la nécessité de maintenir le personnel indispensable pour l'accomplir. Cette préoccupation est formulée dans une recommandation qui figure dans le rapport de la Section II au CIPM (Recommandation R(II)-1 (1985)).

Section III — Mesures neutroniques

A. Besoins en étalons

Des mesures neutroniques fiables sont nécessaires dans de nombreux domaines : développement sûr et efficace de l'énergie nucléaire, y compris la mise au point de réacteurs nucléaires à fission et à fusion, protection du personnel contre les rayonnements neutroniques dans des laboratoires nucléaires nombreux et variés, traitement du cancer par les rayonnements neutroniques, actuellement au stade expérimental, et pour d'autres applications des neutrons dans la science et l'industrie.

On a besoin d'étalons de débit de fluence neutronique dans les réacteurs à fission et à fusion, pour déterminer les « étalons » de sections efficaces et pour étalonner les instruments utilisés dans l'environnement hostile de ces réacteurs. Des besoins en exactitude aussi rigoureux que 1 % sont fréquents. Des mesures prouvant une telle exactitude sont

souvent nécessaires pour satisfaire les exigences des réglementations gouvernementales.

La protection du personnel contre les rayonnements neutroniques est actuellement un problème très important. D'une part, le facteur de qualité pour les neutrons (comme indicateur de risque) a été récemment augmenté par l'International Commission on Radiological Protection (ICRP). D'autre part, il est généralement reconnu que les instruments actuels de surveillance du personnel doivent être améliorés. Pour leur mise au point et leur étalonnage il faut des faisceaux de neutrons étalonnés avec des exactitudes de 3 à 10 %. Une grande partie du programme de comparaisons neutroniques de la Section III a pour but de fournir de bons étalons pour faire des mesures dans de tels faisceaux de neutrons. Si les exigences d'exactitude sont satisfaites pour certaines énergies de neutrons, des travaux sont encore nécessaires pour d'autres énergies.

Les mesures neutroniques sont importantes pour de nombreuses autres applications : thérapie du cancer par les neutrons, qui demande une exactitude de 1 à 2 % pour les étalons de kerma et de dose absorbée, propriétés statiques et dynamiques de la matière condensée par diffraction neutronique, analyse par activation, radiographie neutronique, recherche en biologie et applications industrielles telles que la détermination du contenu en eau des matériaux par des méthodes non destructives.

B. Programme de travail prévu pour la période de 1983 à 1985

1. Comparaisons internationales de mesures du taux d'émission de sources neutroniques de ^{252}Cf

Dans le cas de la source SR144 (10^7 s^{-1}), on avait prévu l'achèvement des rapports des participants et l'analyse de la comparaison. Une revue critique et la publication étaient également prévues. Pour la source la plus intense (10^9 s^{-1}), on devait terminer les mesures et publier les résultats.

2. Comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

On avait prévu de terminer les analyses et la publication des résultats de la comparaison utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')$ à 2,5 et à 5,0 MeV, et de la comparaison Nb/Zr à 14,8 MeV. Dans le cas de la comparaison utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')$ à 14,8 MeV, une étude détaillée des corrections de diffusion devait être effectuée.

La comparaison des mesures de $^{115}\text{In}(n,\gamma)$ à 144 et à 565 keV devait être poursuivie, l'analyse, la revue critique et la publication des résultats étant envisagées pour 1985-1986.

Les mesures de chambres à fission devaient se poursuivre pendant la période de 1983 à 1985, avec analyse et publication des résultats pendant la période de 1985 à 1987.

3. Comparaisons internationales de dosimétrie neutronique

L'analyse, la revue critique et la publication des résultats de la comparaison de dosimétrie neutronique à 14,7 MeV organisée par le NPL avaient été prévues pour la période de 1983 à 1985.

Pour la comparaison de dosimétrie neutronique à long terme organisée par le BIPM, il avait été prévu de mettre au point le protocole de la comparaison et de commencer les mesures qui devraient se prolonger pendant la période de 1985 à 1987.

C. Réalisations pendant la période de 1983 à 1985

1. Comparaisons internationales de mesures du taux d'émission de sources neutroniques de ^{252}Cf

a) *Comparaison de la source SR144* (E. J. Axton, NPL et BIPM, coordonnateur). Un projet de rapport sur la comparaison de cette source, dont l'activité au début des mesures était de $4,5 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$, a été rédigé et distribué en mars 1985 aux participants et aux membres de la Section III. Quatorze laboratoires y ont participé, dont trois avec d'autres sources. Une analyse très détaillée a été faite par la méthode des moindres carrés. À l'exception de deux résultats qui s'écartent beaucoup de l'ensemble, l'accord est très bon, toutes les valeurs se situant autour de la moyenne, à environ 1 % près, ce qui représente une grande amélioration par rapport à la comparaison précédente du taux d'émission d'une source de neutrons organisée par le BIPM et analysée par V. Naggiar en 1967. On espère qu'après réception des commentaires des participants en juillet 1985, une version finale de l'analyse pourra être préparée en août 1985. Le rapport sera ensuite soumis à *Metrologia* pour publication.

b) *Comparaison de la source SR255Z* (W. G. Alberts, PTB, coordonnateur). Cette comparaison d'une source intense de ^{252}Cf ($\approx 10^9 \text{ s}^{-1}$) devait avoir lieu entre trois laboratoires (NBS, PTB et NPL). Le NBS a terminé ses mesures en 1977 et la PTB en 1978. La source se trouve actuellement au NPL, où des problèmes de sécurité sont apparus lors de la manipulation. Étant donné que l'intensité de la source n'est plus que de 10^8 s^{-1} , la Section III a décidé d'envisager de nouvelles mesures de comparaison entre le NBS et la PTB avec une source plus intense. On a demandé à W. G. Alberts (PTB) et E. D. McGarry (NBS) de faire un résumé des résultats obtenus jusqu'à présent, pour permettre de prendre une décision quant à une nouvelle comparaison bilatérale.

2. Comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

a) *Comparaison utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')$ $^{115}\text{In}^m$ à 2,5, 5,0 et 14,8 MeV* (H. Liskien, BCMN, coordonnateur). Les résultats obtenus à 2,5 et 5,0 MeV ont été revus, analysés et publiés dans *Metrologia* (20,

1984, p. 55), sous le titre « International fluence-rate intercomparison for 2.5 MeV and 5.0 MeV neutrons ». Le résumé est reproduit ci-dessous :

« On a comparé des mesures de fluence de neutrons de 2,5 MeV et 5 MeV faites dans des laboratoires d'étalonnage. La méthode de comparaison est basée sur la détermination du rapport des activités γ entre le $^{115}\text{In}^m$ produit par des neutrons rapides dans un échantillon d'indium, d'une part, et une source étalonnée de ^{51}Cr , d'autre part. Les résultats montrent que la contribution de l'incertitude due à la méthode de transfert n'augmente pas l'incertitude totale de façon significative et que ces résultats sont cohérents à une exception près ».

À 14,8 MeV, les corrections pour la diffusion des neutrons dans la salle de mesure et sur la cible sont très importantes, car ces neutrons, qui ont des énergies dégradées, produisent un effet disproportionné en raison de la valeur de la section efficace de la réaction aux basses énergies qui est beaucoup plus élevée qu'à l'énergie de 14,8 MeV. Par conséquent, une comparaison utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ pour cette énergie de neutrons permet de contrôler non seulement la méthode de détermination de la fluence employée, mais surtout la pureté de la source de 14 MeV. Une analyse des corrections correspondantes, faite sur la même base pour tous les participants (même code de calcul par la méthode de Monte-Carlo, avec les mêmes données neutroniques), est en cours à la PTB.

b) *Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides : Nb/Zr à 14,8 MeV (V.E. Lewis, NPL, coordonnateur).*

Neuf laboratoires ont participé à cette comparaison d'énergie et de fluence neutroniques qui s'est déroulée de juin à novembre 1981 et était coordonnée par le NPL. Elle complétait la comparaison de mesures de fluence reposant sur l'irradiation d'échantillons d'indium et est décrite dans un article publié dans *Metrologia* (20, 1984, p. 49) en même temps que la description du travail concernant la comparaison utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$. Les quotients de l'activité du niobium par la fluence, mesurés par les participants, étaient généralement cohérents, à part quelques exceptions dont les causes sont connues. L'accord entre les énergies moyennes obtenues à partir du rapport des activités du zirconium et du niobium et celles qui ont été obtenues par les participants est généralement satisfaisant.

c) *Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides : $^{115}\text{In}(n,\gamma)$ à 0,144 et à 0,565 MeV (T.B. Ryves, NPL, coordonnateur).* Cette comparaison, organisée par le NPL, s'est déroulée du milieu de 1982 au début de 1985. Cinq laboratoires ont participé à 0,144 MeV et six à 0,565 MeV. Les résultats finaux ont été adressés au coordonnateur et l'analyse est en cours. Elle devrait être revue par les participants vers le milieu de 1985 et publiée au début de 1986. Des indications

préliminaires montrent que la technique convient en général pour ces énergies de neutrons et que les résultats sont satisfaisants, à une exception près.

d) *Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides au moyen de chambres à fission utilisées comme instruments de transfert* (D.B. Gayther, AERE, coordonnateur). Après un début lent, le programme de mesures de la comparaison de fluence avec des chambres à fission de Harwell en est à mi-chemin. Les mesures ont été effectuées par le NBS, le BIPM et la PTB, et les deux premiers laboratoires ont rédigé leur rapport final. Les chambres sont actuellement au BCMN où les mesures viennent de commencer avec l'accélérateur linéaire. Le but principal de cet exercice est de comparer les déterminations du débit de fluence faites en utilisant deux types de sources de neutrons : des sources « blanches » pulsées (tels que les accélérateurs linéaires) et des sources qui utilisent les accélérateurs monoénergétiques. Il est, par conséquent, agréable de constater que les mesures faites à 0,5 MeV par le NBS, avec l'accélérateur linéaire et le Van de Graaff, sont en excellent accord. Des mesures sont prévues à l'ETL, au NPL et à l'AERE, et peut-être dans un autre laboratoire. Au rythme actuel, le programme de mesures s'étendra jusque vers le milieu de 1987.

3. Comparaisons de dosimétrie neutronique

a) *Comparaison de dose absorbée de neutrons à 14,7 MeV au NPL* (V.E. Lewis, NPL, coordonnateur). Les résultats de la comparaison organisée par le NPL dans son laboratoire, en 1983, ont été analysés et un rapport a été préparé pour publication. La cohérence des mesures de dose totale faites avec la chambre d'ionisation équivalente au tissu (TE) est satisfaisante et montre une amélioration sensible par rapport aux comparaisons à grande échelle organisées auparavant. Le compteur Geiger-Müller (GM) à compensation d'énergie est apparu comme un instrument efficace, permettant de déterminer séparément, avec une exactitude suffisante, les composantes neutronique et photonique de la dose absorbée. Toutefois, l'emploi d'une chambre d'ionisation en magnésium remplie d'argon (Mg/Ar) comme dosimètre « insensible aux neutrons » a produit des incohérences inacceptables.

b) *Comparaison de dosimétrie neutronique à long terme organisée par le BIPM* (V.D. Huynh, BIPM, coordonnateur). On a étudié des chambres d'ionisation TE et Mg/Ar qui serviront d'instruments de transfert de référence pour la prochaine comparaison internationale de mesures de kerma. Six chambres TE (Exradin, type T2) et quatre chambres Mg (Exradin, type MG2) ont été étudiées dans le faisceau de rayonnement γ du ^{60}Co , en collaboration étroite avec le groupe de mesure de rayons X et γ du BIPM. Certaines chambres ont été étudiées aussi dans le

faisceau de neutrons (d+T). Les parois de deux des chambres TE ont été fabriquées au BIPM avec une épaisseur (2,5 mm et 4,0 mm, respectivement) différente de celle des chambres originales Exradin T2, dans le but d'améliorer leur stabilité à long terme.

D. Travaux envisagés de 1985 à 1987

1. Comparaisons internationales de mesures de taux d'émission de sources de neutrons de ^{252}Cf

Pour la comparaison de la source SR144, on a prévu une revue du projet de rapport par les participants, puis la publication pendant cette période.

Pour la comparaison de la source intense, les résultats obtenus jusqu'à présent seront étudiés et l'on décidera si une nouvelle comparaison doit être entreprise avec une nouvelle source.

2. Comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

Étant donné que les comparaisons de $^{115}\text{In}(n,n')$, à 2,5 MeV et 5,0 MeV, et la comparaison Nb/Zr, à 14,8 MeV, sont terminées et leurs résultats publiés, l'accent sera mis sur l'achèvement de l'analyse de la comparaison $^{115}\text{In}(n,\gamma)$ et la publication des résultats.

La comparaison utilisant les chambres à fission de ^{235}U et ^{238}U comme instruments de transfert continuera pendant cette période ; l'analyse et la publication des résultats se feront ultérieurement.

On continuera à étudier la possibilité d'utiliser comme étalons de transfert une série limitée de feuilles irradiées qui seraient disponibles sur demande au BIPM pour des comparaisons internationales de mesures de débit de fluence.

3. Comparaisons de dosimétrie neutronique

La publication du rapport sur la comparaison de dosimétrie neutronique organisée par le NPL à 14,7 MeV est attendue dans les deux années à venir.

Onze laboratoires participeront à la comparaison de dosimétrie neutronique à long terme organisée par le BIPM, pendant la période de 1985 à 1987. Si d'autres laboratoires s'y ajoutent, la comparaison continuera pendant la période suivante, de même que l'analyse des résultats.

Le programme futur de mesures neutroniques de la Section III prévoit des comparaisons de dose neutronique (commencée) et de fluence neutronique (à l'étude par un groupe de travail), dans lesquelles le BIPM jouera le rôle de point central et aura la responsabilité à long terme de la fourniture et de la maintenance des instruments de transfert,

ainsi que de leur stabilité à long terme. La Section III a fait, en rapport avec ces travaux, une recommandation soulignant l'importance d'un soutien continu au programme de mesures neutroniques du BIPM. C'est la Recommandation R(III)-1 (1985) qui apparaît dans le rapport de la Section III au CIPM.

Juillet 1985,
révisé septembre 1985

E. AMBLER
Président du CCEMRI

ANNEXE A

Résumé du programme de travail et des réalisations correspondantes

CCEMRI, 1983 à 1985

Programme de travail envisagé

Réalisations

Section I — Rayons X et γ , électrons

Poursuite du programme de comparaisons d'étalons de mesure d'exposition et de dose absorbée.

Neuf comparaisons ont eu lieu, dont trois ont été faites au BIPM. Les laboratoires de 14 pays y ont participé. L'accord était en général de 1 %.

Compilation des estimations des composantes des incertitudes pour les chambres à paroi d'air, les chambres à cavité en graphite et les calorimètres en graphite.

Étude terminée. La compilation comprend des estimations d'incertitudes pour 36 étalons de mesure. La plupart des incertitudes globales (1σ) sont comprises entre 0,1 et 0,8 %.

Amélioration des facteurs de conversion permettant d'obtenir des grandeurs telles que la dose absorbée.

Des valeurs révisées de W , énergie moyenne nécessaire pour produire une paire d'ions dans l'air ($W/e = 33,97 \text{ J/C}$), et de g , fraction de l'énergie initiale d'un électron perdue par rayonnement, ont été calculées. Des calculs améliorés de spectres ont été faits.

Étude des conséquences de l'adoption de nouvelles grandeurs en radioprotection.

Des déterminations de facteurs de conversion ont été faites pour obtenir les nouvelles grandeurs ICRU dans des champs de photons. D'autres déterminations sont recommandées.

Étude des progrès dans l'établissement d'étalons pour les rayonnements à usage industriel.

Des services de mesure de routine existent maintenant ou sont en cours d'installation.

Section II — Mesure des radionucléides

Achèvement des comparaisons précédentes.

Rapport final sur la comparaison de ^{137}Cs et version abrégée discutés et publiés.

Comparaison de ^{133}Ba (restreinte et à grande échelle).

Travail expérimental terminé; projet de rapport final discuté. Dispersion totale : 1,7 %, écart-type : 0,36 %.

- Comparaison restreinte de ^{109}Cd . Travail expérimental terminé ; résultats discutés. Dispersion totale : 1,7 %, écart-type : 0,5 %.
- Système international de référence. Programme à long terme ; actuellement 300 résultats de 45 radionucléides différents.

Section III — Mesures neutroniques

- Comparaisons internationales de mesures de taux d'émission de sources de neutrons de ^{252}Cf . Pour la source de 10^7 s^{-1} , l'analyse est achevée. Revue en cours par les participants. Écart-type des résidus : 0,52 %.
- Pour la source de 10^9 s^{-1} , la comparaison est retardée à cause de problèmes de manipulation. Elle sera recommencée avec une nouvelle source ou abandonnée.
- Comparaisons de débits de fluence de neutrons rapides. Les comparaisons de $^{115}\text{In}(n,n')$ à 2,5 et à 5,0 MeV sont terminées et publiées. Les corrections de diffusion à 14,8 MeV sont en cours d'analyse. À 2,5 MeV, les résultats sont en accord étant donné les domaines d'incertitudes qui sont de 1,5 à 2,7 %. À 5 MeV, les écarts sont inférieurs aux incertitudes qui sont de 2,4 à 2,7 %.
- La comparaison Nb/Zr à 14,8 MeV est terminée et publiée. La plupart des résultats s'accordent à 1,3 % près.
- La comparaison $^{115}\text{In}(n,\gamma)$ à 144 et à 565 keV est terminée. L'analyse est en cours.
- La comparaison de débit de fluence avec des chambres à fission comme instruments de transfert est en cours.
- Comparaisons de dosimétrie neutronique. Comparaison organisée par le NPL à 14,7 MeV : analyse terminée. Les écarts-types des doses totales sont de 1 à 2 %.
- Début de la comparaison à long terme organisée par le BIPM avec des instruments de transfert.
-

ANNEXE B

**Programme des travaux du Laboratoire
des Rayonnements Ionisants du BIPM**

Progrès accomplis de 1983 à 1985

Programme prévu de 1985 à 1987

Section I — Rayons X et γ , électrons

Comparaisons internationales d'éta-
lons d'exposition (rayons X, 10 à
50 kV et 100 à 250 kV ; rayonnement γ
du ^{60}Co).

Étalonnage d'instruments de référence
nationaux en termes d'exposition et
de dose absorbée.

Révision de la compilation des valeurs
de W , énergie nécessaire pour produire
une paire d'ions dans l'air.

Calcul de g , fraction d'énergie perdue
par un électron par rayonnement de
freinage.

Étude de la perturbation due à la
présence d'une chambre à cavité en
graphite dans un fantôme d'eau.

Détermination expérimentale de rap-
ports (C_λ) de la dose absorbée aux
facteurs d'étalonnage en exposition.

Collaboration avec le groupe de me-
sures neutroniques pour étudier des
chambres d'ionisation de référence.

Poursuite des comparaisons interna-
tionales et des étalonnages en termes
d'exposition, de kerma dans l'air et
de dose absorbée.

Participation aux comparaisons inter-
nationales de dose absorbée dans l'eau
avec des dosimètres passifs.

Détermination des facteurs nécessaires
pour obtenir l'équivalent de dose
ambiant à partir de l'exposition et du
kerma dans l'air, pour les qualités de
rayonnement du système actuel.

Détermination expérimentale de la
dose absorbée dans l'eau dans un
fantôme d'eau et achèvement de la
détermination de la correction de
perturbation.

Poursuite de la détermination expé-
rimentale de rapports (C_λ) de la dose
absorbée aux facteurs d'étalonnage en
exposition.

Poursuite de la collaboration avec le
groupe de mesures neutroniques pour
étudier les caractéristiques des
chambres d'ionisation de référence.

Section II — Mesure des radionucléides

Organisation de comparaisons inter-
nationales et participation : ^{133}Ba
(comparaisons restreinte et à grande
échelle), analyse.

Organisation de comparaisons inter-
nationales de radionucléides avec les
laboratoires nationaux.

Préparation et distribution de sources solides étalonnées.

Construction d'un convertisseur rapide pour mesures d'activité par la méthode d'échantillonnage sélectif.

Nouveaux résultats obtenus avec le Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons γ (SIR).

Poursuite d'études particulières de statistiques de comptage.

Installation d'un système de spectrométrie gamma à Ge(Li).

Mesure de l'énergie des particules α émises par le ^{236}Pu et emploi d'une nouvelle méthode de détection.

Préparation et fourniture de sources solides étalonnées.

Construction d'un compteur proportionnel à pression. Installation d'un second ensemble à coïncidences $4\pi\beta\gamma$.

Poursuite de la mesure par le SIR des échantillons fournis par les laboratoires nationaux.

Corrections de mesures d'activité dues à un premier temps mort et évaluation des perturbations que peut produire ce temps mort.

Mesures d'activité reliées aux mesures neutroniques. Mesures d'impuretés radionucléidiques.

Mesures d'énergie des particules α émises par le ^{227}Ac et le ^{231}Pa .

Section III — Mesures neutroniques

Détermination de la contribution de neutrons diffusés par le support de cible dans la comparaison de débit de fluence de neutrons à 14,8 MeV par la réaction $^{115}\text{In}(n,n')$.

Participation à la comparaison de mesures de débit de fluence à 14,65 MeV avec des chambres de transfert à fission.

Étalonnage du faisceau de neutrons (d+T) du BIPM en kerma dans le tissu, dans l'air, par la méthode de fluence et la méthode de chambre d'ionisation. Accord à 0,8 % près.

Étude de chambres d'ionisation Mg/Ar et de chambres à parois équivalentes au tissu pour servir de références et d'instruments de transfert pour la comparaison de dosimétrie neutronique à long terme organisée par le BIPM. Mesures faites dans le faisceau de rayonnement γ du ^{60}Co et dans le faisceau de neutrons (d+T) du BIPM.

Maintien et développement d'étalons de référence pour étalonnages: bain de sulfate de manganèse pour sources de neutrons, faisceaux de neutrons de 2,5 et 14,65 MeV de fluence connue, chambres d'ionisation TE pour étalonnage de dose neutronique.

Fourniture des instruments de dosimétrie neutronique et organisation de la comparaison BIPM à long terme qui vient de commencer. L'ensemble des instruments comprend deux chambres d'ionisation TE, une chambre d'ionisation Mg/Ar et un compteur GM particulièrement peu sensible aux neutrons.

Établissement d'étalons de transfert pour comparaisons internationales: source Ra-Be(α,n) du BIPM, irradiation de feuilles telles que Nb/Zr et $^{197}\text{Au}(n,\gamma)$, et instrument du type sphère modératrice.

ANNEXE C

Liste des laboratoires et organisations mentionnés dans le rapport

- AERE : Atomic Energy Research Establishment, Harwell, Royaume-Uni
AIEA : Agence Internationale de l'Énergie Atomique, Vienne, Autriche
BCMNI : Bureau Central de Mesures Nucléaires (Commission des Communautés Européennes), Geel, Belgique
BIPM : Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France
CCEMRI : Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants
CIPM : Comité International des Poids et Mesures
ETL : Electrotechnical Laboratory, Ibaraki, Japon
ICRP : International Commission on Radiological Protection, Sutton, Royaume-Uni
ICRU : International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD, États-Unis d'Amérique
NAC : National Accelerator Centre, Faure, Afrique du Sud
NBS : National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, États-Unis d'Amérique
NPL : National Physical Laboratory, Teddington, Royaume-Uni
OMH : Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest, Hongrie
PTB : Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, République Fédérale d'Allemagne
-

NOTICE NÉCROLOGIQUE

VLADIMIR I. KIPARENKO
(1930-1985)

Le 13 octobre 1985 un accident de la route absurde a coûté la vie à Vladimir Ivanovitch Kiparenko, homme plein de force et d'énergie, spécialiste soviétique réputé dans le domaine de la métrologie, membre du Comité International des Poids et Mesures, premier vice-président du Gosstandart de l'U.R.S.S.

V. I. Kiparenko est né à Stavropol, dans le nord du Caucase, le 18 février 1930. Après avoir terminé ses études secondaires, il est entré en 1948 à la faculté de physique et de mathématiques de l'Université de Rostov-sur-le-Don. Après la soutenance de sa thèse il a été envoyé, comme ingénieur, dans une entreprise industrielle où il s'est occupé de l'étude de l'appareillage électronique. Il s'est intéressé de plus en plus aux problèmes métrologiques ; en 1954, il a commencé à travailler dans un laboratoire d'État de vérification d'appareillage radiotechnique, à Rostov-sur-le-Don, et il en est devenu le directeur.

C'était une époque difficile dans la vie de l'Union Soviétique qui guérissait des grandes blessures de la seconde guerre mondiale et bâtissait simultanément son économie nationale moderne.

Le système d'État d'unification des mesures fondé sur les étalons nationaux et sur le développement d'un réseau de laboratoires de vérification devint l'un des éléments importants de la nouvelle base technique de l'économie du pays. Dans ces conditions les capacités de V. I. Kiparenko comme spécialiste et organisateur s'épanouirent et il commença une carrière remarquable de métrologiste, qu'il a poursuivie plus tard à Moscou comme collaborateur puis comme sous-directeur de l'Institut d'État de recherche du Service métrologique.

Il commença alors ses travaux sur les problèmes de la métrologie générale, tels que la structure optimale des étalons primaires, spéciaux et secondaires pour les unités de base et les unités dérivées, le passage au système SI dans l'économie nationale de l'U.R.S.S., l'harmonisation des normes dans le domaine de la métrologie, l'installation rationnelle des laboratoires de vérification sur le vaste territoire du pays, etc.

En 1974, V. I. Kiparenko fut nommé chef du département de métrologie du Gosstandart de l'U.R.S.S. Là on lui confia de grandes responsabilités : développement du service métrologique au niveau de l'État et des branches industrielles de l'U.R.S.S., création de nouvelles générations d'étalons nationaux sur la base des dernières acquisitions de la physique, de l'électronique et des sciences mathématiques, développement des liens pratiques des métrologistes soviétiques avec leurs collègues des pays socialistes et d'autres pays du monde.

Il prit une part directe aux études et à la création de nouveaux types d'horloges atomiques, dressa le programme d'application des lasers asservis dans

la métrologie nationale, participa à la création des appareils automatiques de référence pour les mesures de longueur, élaborera les propositions de perfectionnement et d'unification des mesures électriques, etc.

V. I. Kiparenko devint président de la section métrologique de la Commission permanente pour la normalisation du Conseil d'Assistance Économique Mutuelle (COMECON).

En 1979, V. I. Kiparenko était à la tête de la délégation soviétique à la 17^e Conférence Générale des Poids et Mesures, au cours de laquelle fut confirmée son élection comme membre du Comité International des Poids et Mesures. Il prit une part active aux travaux des commissions de la 16^e et de la 17^e CGPM, en étudiant les questions pratiques du programme et du budget de l'Organisation de la Convention du Mètre. Il s'est toujours efforcé de contribuer à l'unification mondiale des mesures, qui jouait à son avis un rôle important pour faciliter le développement des relations scientifiques et économiques entre tous les pays et tous les peuples.

Au cours de la même année 1979, V. I. Kiparenko fut nommé vice-président du Gosstandart de l'U.R.S.S. Son talent de dirigeant énergique, combinant un travail actif d'administrateur avec la compétence du spécialiste, se révéla de façon la plus frappante à ce poste. Il devint rédacteur en chef de la revue « Izmeritelnaya tehnika », prit part à divers conseils scientifiques, publia plusieurs articles concernant les problèmes principaux du développement de la métrologie en U.R.S.S. En 1984, il fut élu Vice-président du Bureau du Conseil intergouvernemental du Programme général d'information de l'UNESCO.

Malgré ses nombreuses occupations quotidiennes, V. I. Kiparenko maintenait des relations étroites avec les instituts de recherche métrologique et avec les collaborateurs scientifiques qui étudiaient de nouvelles méthodes et de nouveaux moyens de mesure des grandeurs physiques. En visitant les laboratoires, il proposait souvent aux chercheurs ses propres idées originales pour la solution scientifique ou technique des problèmes parfois compliqués de la métrologie moderne.

Tous ses collègues appréciaient beaucoup ses qualités humaines extraordinaires ; il combinait heureusement l'énergie d'action avec la minutie de la préparation, l'intransigeance avec la bonne volonté, l'humour et la plaisanterie avec le sérieux et la responsabilité. Il aimait beaucoup la vie, sa famille, ses collègues ; il avait de la bonté et de la sympathie pour chaque interlocuteur.

Le Gouvernement soviétique a hautement manifesté son appréciation des mérites de V. I. Kiparenko et de sa contribution au développement de la métrologie nationale en le décorant de nombreux ordres et médailles.

L'homme n'est plus, mais son image, son exemple, l'œuvre à laquelle il a consacré sa vie resteront longtemps dans la mémoire de ceux qui l'ont connu.

L. K. ISSAEV
Gosstandart

INDEX

- Balances (*voir* Masses)
- Base géodésique
fils et invar, 48 ; abandon des étalonnages, 34
- Bâtiments
dépendances, 40
Observatoire (aménagement des salles 11 et 12), 40
Petit Pavillon (ravalement des façades et réfection des peintures), 39
plan à long terme pour les bâtiments, 2, 24
Rayonnements Ionisants (étanchéité), 40
- BIH (*voir* Temps)
- Certificats et Notes d'étude, 116
- Comités consultatifs
Définition de la Seconde, 4 ; rapport, S1
Rayonnements Ionisants, 8 ; rapport du président, R1 ; présidence, 36 ; révision des structures, 9, 29
Masse et grandeurs apparentées, 11 ; rapport, M1
Thermométrie, rapport, T1
réunions (CCDS, CCM, CCEMRI), 3
réunions futures, 13
- Comité International
composition, VII
décès (V.I. Kiparenko), 1, 3
démissions (M. Kawata, A. Perlstain), 2
élections (J. Kovalevsky, P. Dean, A. P. Mitra), 2
prochaine session, 38
rapport du secrétaire, 2
sièges vacants, 35
- Comparaisons internationales
²⁴¹Am, R5
¹³³Ba, 8, 19, 99, R8, R19, R21
¹⁰⁹Cd, 99, R8, R10, R20
²⁵²Cf, R12, R20
¹³⁷Cs, 8, R5, R8, R19
¹²⁵I, R11
étalons électriques, 17, 18, 83
gravimètres (2^e comparaison internationale), 15, 16, 40, 78
manométrie (mesures de pression de 11 à 101 kPa), 16, 82
- masses (3^e comparaison internationale), 10, 11, G21 ; avec le NBS, 68, G5 ; avec le NRLM, 70
mesures neutroniques, 8, 20, 112, R7, R12, R15, R20, R22
photométrie (lampes à incandescence), 18, 93
rayons X et γ , 94, R4 ; rayonnement γ du ⁶⁰Co, 95, R4
règles divisées, 15, 41, 43
thermométrie (cellules à point triple de l'argon), T2
- Conférence Générale (préparation de la 18^e), 35
- Convention du mètre (adhésion d'Israël), 2
- Dépôt des prototypes métriques (visite du), 20
- Dosimétrie, 19
dose absorbée, 19, R3, R6, R15
Fricke, R3, R4
neutronique, 20, R11, R15
- Échantillonnage sélectif (méthode d') (*voir* Radionucléides)
- Échelle Internationale Pratique de Température (*voir* Thermométrie)
- Électricité, 17, 32, 34
comparateur automatique de piles étalons, 89
comparateur cryogénique de courants, 88
conservation et transfert du volt, 89
constante $(h/e)^2$, pression pour une valeur recommandée, 18
effet Hall quantique, 15, 17, 18, 25, 32 ; mise en œuvre au BIPM, 88 ; attribution du prix Nobel à von Klitzing, 2
effet Josephson, 25, 32
rattachement de Ω_{CSIRO} à Ω_{69-81} , 83
- Électrons, 98, R2, R19
- Étalons
Électricité : condensateurs de référence du BIPM, 93 ; étalons de résistance de 1 Ω , 18, 84 ; de 10 K Ω ; 17, 84 ; de tension à diode de Zener, 90 ; de capacité en silice de 10 pF, 91

- Longueur
à traits, 44
à bouts plans, 47; abandon des étalonnages, 34
Masse en Pt/Ir, 66; stabilité, 68, G6; conservation, G4
Temps: étalons atomiques de fréquence, progrès des, S2
- Gravimétrie, 16, 26, 31, 77
variation à long terme de la pesanteur, 77
- Groupes de travail
sur les grandeurs aux radiofréquences, 13
sur l'expression des incertitudes, 37, R5
du CCM, 11, 82, G2-G15
- Informatique (adaptation des programmes), 41
- Lasers, 16, 30, 48
à He-Ne asservis sur l'iode en cuve interne, 49; en cuve externe, 52; sur le « Lamb dip », 43, 55; sur le méthane en cuve interne, 56; « OPTIMAL », 61
approvisionnement (tubes à décharge et cuves d'absorption), 63
- Longueurs, 15, 26, 30, 34, 43
mesures de longueur d'onde, 47
- Manométrie, 16, 33, 82
jauges de pression, 83
hautes pressions, G10; moyennes pressions, G12; basses pressions, G14; très basses pressions, G14
manobaromètre interférentiel, 83
- Masses, 16, 25, 31, 64
analyses de surface, G19
balance à suspensions flexibles, 16, 70, G5, G15
balance hydrostatique, 64, G5, G16
balance NBS-2, 16, 44
définition du kilogramme, G22
masse volumique de l'air, G2
masse volumique de liquides et solides, G7
- Mesures neutroniques, 109, R11, R20
Metrologia, 112
- Neutrons (réorganisation), 8, 27, 29, 34
- Notices
nécrologique (V. I. Kiparenko), XI
sur les organes de la Convention du mètre, V
- Personnel
chercheurs associés, 31
départ, 39
engagements, 39
liste du, IX
nominations, 39
retraite, 20
- Photométrie, 18, 26, 32, 93
Plans à long terme
bâtiments, 24
travail scientifique, 25; résumé des conclusions, 34
- Publications
du BIPM, 112
extérieures, 113
rapports internes, 115
- Questions administratives
salaires, 22
- Questions financières
actif du BIPM, 3
comptes, 130
cotisation d'entrée d'Israël, 21
dépenses relatives au TAI, 21
États dont les contributions ont un retard de plus de 6 ans, 37
projet de budget pour 1986, 21
- Radiométrie, 26, 32
- Radionucléides, 99, R7, R19, R21
activité (mesure d'), 99
coïncidences (méthode des), R10
construction d'un compteur proportionnel à pression, 101
échantillonnage sélectif (méthode d'), 19
Guide du métrologue de la radioactivité, 102
statistiques de comptage et correction due aux temps morts, 102
- Rayonnements ionisants, 19; réorganisation, 27, 34
- Rayons X et γ , 94, R2, R19, R21; rayonnement γ du ^{60}Co , 95, 109, R6
- Recommandations
CCDS (Groupe de travail du CCDS sur le TAI), S22; (Corrections nécessaires pour la réalisation de la seconde), S24
CCM (État superficiel des étalons de masse), G25; (Vérification des prototypes du kilogramme du BIPM), G26
- Spectrométrie α (^{252}Cf), 19, 106, R12, R20
- Système International d'Unités (SI)
5^e édition de la brochure, 13, 119
- Système international de référence (SIR), 19, 100, R7, R9, R21
- Temps
algorithmes, 17, 72, 75, A3, S14
atomique international (TAI), 33, 40, A1, S14; établissement du, 5, 17, 72, 74, A3; transfert au BIPM, 5, 25, S16; influence des théories relativistes, 7, S20; dissémination, A3
BIH, 74, 77, A1; rapport d'activité, S14
échelles de temps, 35, 72
EAL (évaluation, pilotage), 72, 74, A3, S14
Global Positioning System (GPS), 5, 17, 73, 76, A4, S8, S10, S14

- horloges à césium à pompage optique, 4, S3, S9
LASSO, 17, S4, S8
LORAN-C, 5, 74, A3, S8
masers à hydrogène, S3, S6, S8, S10
MERIT, S16
Universel Coordonné (UTC), 73, A1
Thermométrie, 26, 32, 34, 79
abandon des étalonnages, 34
Échelle Internationale Pratique de Température (EIPT), 13, 79, T2; point triple de l'eau, 79, T2; thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures, 80, T2
température thermodynamique, étude par pyrométrie infrarouge, 80
Travaux du BIPM
présentation des, 15
programme à long terme, 25, 27, 30
Travaux en liaison avec les organismes internationaux et nationaux, 120
Visites et stages au BIPM, 125
Voyages, visites, conférences et exposés du personnel, 120
W (mesure de), 98, R5
-

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

74^e session (Octobre 1985)

	Pages
Notice sur les organes de la Convention du Mètre.	v
Liste des membres du Comité International	vii
Liste du personnel du Bureau International	ix
Ordre du jour de la session	x
Procès-verbaux des séances, 22-24 octobre 1985.	1
1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour.	1
2. Rapport du secrétaire du CIPM (adhésion d'Israël ; décès de V. I. Kiparenko ; démissions de M. Kawata, A. Perlstain ; élections de J. Kovalevsky, P. Dean et A. P. Mitra)	2
3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité	4
4. Comités Consultatifs.	4
4.1. pour la Définition de la Seconde	4
4.2. pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants.	8
4.3. pour la Masse et les grandeurs apparentées	11
4.4. Réunions futures	13
5. Travaux du BIPM	15
6. Visite du Dépôt des Prototypes métriques	20
7. Questions administratives et financières	21
8. Plan à long terme pour le travail scientifique	25
Résumé des conclusions	34
9. Préparation du programme de travail et de la dotation à présenter à la 18 ^e CGPM	35
10. Sièges vacants au CIPM.	35
11. Questions diverses	36
11.1. Présidence du CCEMRI	36
11.2. Groupe de travail sur l'expression des incertitudes	37
11.3. États dont les contributions ont un retard supérieur à six ans	37
11.4. Séjour de Mr Quinn à Cambridge	38
11.5. Prochaine session du CIPM	38

Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International des Poids et Mesures (octobre 1984-septembre 1985).	39
I. Personnel. — Nominations (J. Bonhoure, J. Leroux, J. Dias, A. Gama, D. Le Coz). Engagements (W. Lewandowski, H. Konaté). Départ (A. Witt)	39
II. Bâtiments. — Petit Pavillon (ravalement des façades et réfection des peintures des ouvertures). Bâtiment des rayonnements ionisants (réfection de l'étanchéité du bâtiment principal). Observatoire (aménagement des salles 11 et 12 pour les mesures de l'effet Hall quantique). Dépandances	39
III. Instruments et travaux.	40
Remarques générales	40
1. Informatique (adaptation des programmes à la nouvelle installation)	41
2. Longueurs	43
2.1. Étalons à traits (rapport final sur la comparaison internationale de la règle divisée N° 12924; règle N° 15481 [Irlande]; règle N° 10230 [CERN]; réglette N° 1644 de 0,1 m [Portugal]; règle N° 871 [Yougoslavie]).	44
2.2. Étalons à bouts plans (mesure de calibres [Suisse, Hongrie, Tchécoslovaquie])	47
2.3. Mesures de longueurs d'onde (de lampes à Kr et à He pour la Yougoslavie)	47
2.4. Base géodésique (fils et rubans géodésiques; invar géodésique)	48
3. Lasers	48
3.1. Lasers à He-Ne asservis sur l'iode en cuve interne (comparaisons entre BIPM3 et BIPM2 et entre BIPM2 et lasers extérieurs [JAEGER 101; ETCA-RI-84-02]; intervalles de fréquence; comparaisons de cuves à iode)	49
3.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'iode en cuve externe	52
3.3. Autres lasers à He-Ne asservis (sur le « Lamb dip »; sur deux modes; en température)	55
3.4. Lasers à He-Ne asservis sur le méthane en cuve interne (à cavité « classique »; à cavité optimale; comparaisons avec l'IMPR)	56
3.5. Approvisionnement en tubes à décharge ($\lambda = 633 \text{ nm}$; $\lambda = 3,39 \text{ }\mu\text{m}$) et en cuves d'absorption (à iode pour $\lambda = 633 \text{ nm}$ et à méthane pour $\lambda = 3,39 \text{ }\mu\text{m}$)	63
4. Masses	64
4.1. Prototypes et autres étalons du kilogramme en platine iridié (étalonnages des N° 18 [Royaume-Uni], N° 23 [Finlande], N° 55 [Rép. Dém. Allemande], N° 52 [Rép. Féd. d'Allemagne], N° 57 [Inde], N° 45 [Argentine], N° 50 [Canada], B [NPL] N° 44* et JM15 [INM, Paris]; stabilité des prototypes du kilogramme [nécessité de procéder à une nouvelle détermination de la masse des témoins du Kilogramme international et des étalons d'usage du BIPM]; comparaison de masses de 1 kg avec le NBS, avec le NRLM)	66
4.2. Étude d'autres étalons de masse (Cameroun, Belgique, Irlande, Italie)	70
4.3. Balance à suspensions flexibles (poursuite de l'étude de la balance prototype)	70
4.4. Divers (masse de 20 g en Pt/Ir fournie à l'IMGC; achats)	71
5. Échelles de temps (transfert au BIPM des travaux sur TAI)	72
5.1. Établissement du TAI, organisation générale (évaluation de l'EAL; évaluation de la durée de l'intervalle unitaire de l'EAL; pilotage)	72
5.2. Pratique de l'établissement du TAI en 1985 (données, résultats, publications, utilisation du Global Positioning System, relativité, travaux sur les algorithmes)	74

6. Gravimétrie	77
6.1. Études préliminaires sur la variation à long terme de la pesanteur . . .	77
6.2. Deuxième comparaison internationale de gravimètres	78
7. Thermométrie	79
7.1. Échelle Internationale Pratique de Température (point triple de l'eau ; thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures)	79
7.2. Températures thermodynamiques : étude par pyrométrie infra-rouge (suite des travaux)	80
7.3. Études courantes (Rép. Pop. Dém. de Corée, Portugal, Suède)	81
8. Manométrie	82
8.1. Comparaison internationale (mesures de pression de 11 à 101 kPa) . . .	82
8.2. Manobaromètre interférentiel	83
8.3. Études courantes (jauges de pression en service à la section des masses)	83
9. Électricité	83
9.1. Comparaisons de représentations nationales de l'ohm (rattachement de Ω_{CSIRO} à Ω_{BIPM})	83
9.2. Amélioration des mesures de résistance (étalons de résistance de 1 Ω en alliage or-chrome ; étalons de 10 k Ω ; comparateur cryogénique de courants)	84
9.3. Mise en œuvre de l'effet Hall quantique (aménagement des salles 11a et 12 ; achat d'équipement)	88
9.4. Travaux relatifs à la conservation et au transfert de $V_{76\text{-BI}}$ (maintenance de $V_{76\text{-BI}}$; comparateur automatique de piles étalons ; étude d'un étalon de tension à diode de Zener)	88
9.5. Étalons de capacité (troisième comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF ; étalonnage des condensateurs de référence du BIPM)	91
9.6. Études courantes (étalons divers [Suisse, Afrique du Sud, Belgique, Irlande, Norvège, Suède, Tchécoslovaquie, Yougoslavie] ; deux étalons de tension à diode de Zener appartenant à la PTB)	93
10. Photométrie	93
10.1. Comparaison internationale de lampes à incandescence	94
10.2. Études courantes (Pologne, Suède, Yougoslavie)	94
11. Rayons X et γ , électrons	94
11.1. Rayons X (comparaison d'étalons d'exposition [Italie] ; étalonnages de chambres d'ionisation [Brésil, France, Suède] ; passage de l'exposition au kerma dans l'air)	94
11.2. Rayonnement γ du ^{60}Co (étalonnages de chambres d'ionisation [Brésil, Yougoslavie, AIEA] ; dose absorbée dans l'eau : construction d'un étalon et étude de la correction de perturbation)	95
11.3. Électrons (révision de la valeur de W publiée par l'ICRU)	98
12. Radionucléides	99
12.1. Mesures d'activité (comparaisons internationales [^{133}Ba , ^{109}Cd] ; mesures relatives effectuées au moyen d'une chambre d'ionisation à puits pressurisée ; SIR ; construction d'un compteur proportionnel à pression ; guide du métrologue de la radioactivité)	99
12.2. Statistiques de comptage (choix d'une impulsion au hasard ; intervalles après un temps mort généralisé)	102
12.3. Spectrométrie alpha (préparation de sources ; contrôle de la position des sources ; mesures absolues d'énergie de particules alpha)	106

13. Mesures neutroniques.....	109
13.1. Étude des chambres d'ionisation (dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co ; dans un faisceau de neutrons de 14,65 MeV)	109
13.2. Préparation de la comparaison internationale de mesures de débit de kerma	112
14. Publications.....	112
Publications du BIPM	112
Monographies	112
Metrologia.....	112
Publications extérieures.....	113
Rapports.....	115
15. Certificats et Notes d'étude.....	116
IV. Activités et relations extérieures	119
Documentation ; Système International d'Unités	119
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux	120
Voyages, visites, conférences, exposés du personnel.....	120
Visites et stages au BIPM	125
V. Comptes	130

ANNEXES

Le Temps atomique international au BIPM.....	A 1
Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie (15^e session — 1984) au CIPM, par M. Durieux	T 1
Rapport du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (10^e session — 1985) au CIPM, par M. Granveaud.....	S 1
Rapport du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (2^e session — 1985) au CIPM, par M. Kochsiek	G 1
Rapport du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants au CIPM (1985), par E. Ambler.....	R 1
Notice nécrologique	
V. I. Kiparenko, par <i>L. K. Issaev</i>	XI
INDEX	XIII