

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

SESSION DE 1991

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ CONSULTATIF
POUR
LES ÉTALONS DE MESURE DES
RAYONNEMENTS IONISANTS

Rapport de la 12^e session
Report of the 12th Meeting

1991

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

ISSN 0255-3147
ISBN 92-822-2123-7

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME
LIST OF ACRONYMS USED IN THE PRESENT VOLUME

1. Sigles des laboratoires, comités et commissions
Acronyms for laboratories and committees

AECL	AECL Research, Chalk River (Canada)
AIEA/IAEA	Agence internationale de l'énergie atomique/International Atomic Energy Agency
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai (Australie)
ARCS	<i>voir</i> ÖFS
ARL	Australian Radiation Laboratory, Yallambie (Australie)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
BCMNI/CBNI	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, Geel (Belgique)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
CBNI	<i>voir</i> BCMNI
CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
CENB	Centre d'études nucléaires, Bruyères-le-Châtel (France)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro et São Paulo (Brésil)
ENEA	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome (Italie)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
GSF	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Neuherberg (Allemagne)
IAEA	<i>voir</i> AIEA
IAEB	Institute of Atomic Energy, Beijing (Rép. pop. de Chine)
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRP	International Commission on Radiological Protection

ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEA	Instytut Energii Atomowej, Swierk (Pologne)
IER	Institut d'électrochimie et radiochimie, École polytechnique fédérale, Lausanne (Suisse)
IRA	Institut de radiophysique appliquée, École polytechnique fédérale, Lausanne (Suisse)
IRD	<i>Voir</i> LNMRI
IRK	Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne (Autriche)
ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization
ITRI-TNO	Institute of Applied Radiobiology and Immunology, Rijswijk (Pays-Bas)
LMRI	Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay (France)
LNMRI	(ex IRD) Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LPRI	(ex LMRI) Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIRP/SSI	National Institute of Radiation Protection, Stockholm (Suède)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NMI	(ex RIVM) Nederlands Meetinstituut, Bilthoven (Pays-Bas)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
NRL	National Radiation Laboratory, Christchurch (Nouvelle-Zélande)
ÖFS	Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, GmbH/Austrian Research Centre, Seibersdorf (Autriche)
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OMS/WHO	Organisation mondiale de la santé/World Health Organization
PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne)
PSPKR	Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, Jakarta (Indonésie)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
RIVM	<i>Voir</i> NMI
SSI	<i>Voir</i> NIRP

SRPI	(ex NIRP/SSI) Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
UKAEA	UK Atomic Energy Authority, Harwell (Royaume-Uni)
UVVVR	Ústav pro výzkum, výrobu a využití radioisotopu, Prague (Tchécoslovaquie)
VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques/All Union Research Institute for Physical, Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou (URSS)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev/D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, Leningrad (URSS)
WHO	<i>voir</i> OMS

2. Sigles des termes scientifiques Acronyms for scientific terms

ESR	Résonance de spin de l'électron/Electron spin resonance
LS	Scintillateur liquide/Liquid scintillator
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma/International reference system for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides
TLD	Dosimètre thermoluminescent/Thermoluminescent dosimeter
TPR	Tissue-phantom ratio

LE BIPM

ET 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), des rayonnements ionisants (1960) et aux échelles de temps (1988). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers et en 1988 a été inauguré un bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux.

(¹) Au 31 décembre 1991, quarante-sept États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, 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, Nouvelle-Zélande, 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.

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), créé 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), créé 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 multicoopiés).

Le Bureau international publie aussi des monographies sur des sujets métrologiques particuliers 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.

Comité international des poids et mesures

Secrétaire
J. KOVALEVSKY

Président
D. KIND

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Président : O. SALA, Universitaria Armando Salles de Oliveria, São Paulo.

Membres :

- A. ALLISY, International Commission on Radiation Units and Measurements.
 - G. DIETZE, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
 - A. DUTREIX, Hôpital universitaire St-Rafael, Louvain.
 - A.M. KELLERER, Institut für Strahlenbiologie, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Neuherberg.
 - G.F. KNOLL, University of Michigan, Ann Arbor.
 - V.E. LEWIS, président de la Section III, National Physical Laboratory, Teddington.
 - J.-P. SIMOËN, président de la Section I, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay.
 - J.G.V. TAYLOR, président de la Section II, AECL Research, Chalk River.
- Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

SECTION I. *Rayons X et γ , électrons*

Président : J.-P. SIMOËN, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay.

Membres :

AUSTRALIAN RADIATION LABORATORY [ARL], Yallambie.

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris: Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA [NRC], Ottawa.

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D.I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Leningrad.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS [ICRU].

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

NEDERLANDS MEETINSTITUUT [NMI], Bilthoven.

ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI HIVATAL [OMH], Budapest.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

POLSKI KOMITET NORMALIZACJI, MIAR I JAKOŚCI [PKNM], Varsovie.

SWEDISH RADIATION PROTECTION INSTITUTE [SRPI], Stockholm.

A. BROSED, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

SECTION II. *Mesure des radionucléides*

Président : J.G.V. TAYLOR, AECL Research, Chalk River.

Membres :

AUSTRALIAN NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION [ANSTO], Menai.

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris: Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA [NRC], Ottawa.

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D.I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Leningrad.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

NATIONAL ACCELERATOR CENTRE [NAC], Faure.
NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg.
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.
ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI HIVATAL [OMH], Budapest.
PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.
W. BAMBYNEK, Bureau central de mesures nucléaires [BCMN], Geel.
J.-J. GOSTELY, Institut d'électrochimie et radiochimie [IER], EPFL,
Lausanne.
J.G.V. TAYLOR, AECL Research [AECL], Chalk River.
G. WINKLER, Institut für Radiumforschung und Kernphysik [IRK],
Vienne.
Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

SECTION III. *Mesures neutroniques*

Président : V.E. LEWIS, National Physical Laboratory, Teddington.

Membres :

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris: Laboratoire primaire des
rayonnements ionisants [LPRI], Saclay.
ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.
INSTITUT DE MÉTROLOGIE D.I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Leningrad.
INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.
NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg.
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.
PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.
E.J. AXTON, président du Groupe de travail sur les méthodes de transfert
des mesures de fluence.
J.J. BROERSE, Institute of Applied Radiobiology and Immunology [ITRI-
TNO], Rijswijk.
Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

ORDRE DU JOUR
de la 12^e session

1. Rapports d'activité des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM.
 2. Questions diverses.
-

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS
(12^e session — 1991)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par J.G.V. TAYLOR, rapporteur

Résumé. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa douzième session en mai 1991. Un compte rendu d'activité a été préparé par les trois Sections : I (Rayons X et γ , électrons), II (Mesure des radionucléides), III (Mesures neutroniques). La Section I a rendu compte des travaux concernant les étalons de kerma dans l'air et la calorimétrie dans l'eau, et discuté des incertitudes sur les rapports de pouvoirs de ralentissement graphite/air et des chambres à cavité. La Section II a présenté les résultats d'une comparaison restreinte de mesures d'activité de ^{75}Se , les progrès concernant l'extension du Système international de référence aux émetteurs de rayons bêta et aux photons de faible énergie, et les nouveaux résultats obtenus en statistiques de comptage. La Section III a discuté des travaux de spectrométrie neutronique avec un scintillateur organique, des mesures de débit de fluence de neutrons rapides et des besoins futurs en dosimétrie neutronique. Le personnel du BIPM a présenté quelques-uns de ses travaux récents. Des recommandations ont été faites au CIPM sur les sujets suivants : extension des étalons au rayonnement γ du ^{137}Cs , mesures en curiethérapie, mesures en thérapie par protons et spectrométrie neutronique. Des suggestions ont été faites pour améliorer le déroulement des réunions du CCEMRI et de ses sections.

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI*) a tenu sa douzième session au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, le 24 mai 1991.

(*) Voir page V pour la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport.

Étaient présents :

- O. SALA, membre du CIPM, président du CCEMRI.
- A. ALLISY, International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU).
- G. DIETZE, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig.
- A. DUTREIX, Hôpital universitaire St-Rafael, Louvain.
- A.M. KELLERER, Institut für Strahlenbiologie, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF), Neuherberg.
- G.F. KNOLL, University of Michigan, Ann Arbor.
- V.E. LEWIS, président de la Section III, National Physical Laboratory (NPL), Teddington.
- J.-P. SIMOËN, président de la Section I, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants (LPRI), Saclay.
- J.G.V. TAYLOR, président de la Section II, AECL Research (AECL), Chalk River.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures (T.J. QUINN).

Invités :

- N.J. HARGRAVE, rapporteur de la Section I.
 - D.D. HOPPE, rapporteur de la Section II.
 - E.J. AXTON et R. JAHR, rapporteurs de la Section III.
- Assistaient aussi à la réunion : P. GIACOMO, directeur honoraire du BIPM, M. BOUTILLON, V.D. HUYNH, D. MÜLLER, J.W. MÜLLER et G. RATEL (BIPM); A.-M. PERROCHE (en stage au BIPM).

Le président, M. Sala, ouvre la session et souhaite la bienvenue aux membres du comité, aux rapporteurs des trois sections et au personnel du BIPM.

L'ordre du jour est adopté. M. Taylor est désigné comme rapporteur.

1. Rapports d'activité des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM

Chaque président, ou rapporteur, résume l'activité de sa section et le personnel du BIPM présente quelques travaux récents effectués dans le laboratoire des rayonnements ionisants.

Section I — Rayons X et γ , électrons (Président : J.-P. Simoën)

M. Simoën, président de la Section I (Rayons X et γ , électrons), présente les travaux de sa section. Trente-huit documents ont été distribués.

Les travaux de recherche du BIPM sur la dose absorbée dans l'eau pour le rayonnement γ du ^{60}Co ont été présentés, ainsi qu'une comparaison de codes de Monte Carlo et les résultats de comparaisons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans le graphite.

Le Groupe de travail sur les méthodes de comparaison aux énergies élevées a indiqué qu'une comparaison utilisant les dosimètres Fricke a eu lieu entre le NPL, la PTB et le NRC. Cette comparaison a été rattachée à l'étalon de ^{60}Co du BIPM. On a obtenu quelques résultats inattendus, attribués à la filtration produite par les ampoules contenant la solution Fricke.

L'influence des parois de chambres à cavité en graphite utilisées comme étalons pour le rayonnement γ du ^{60}Co a été discutée. Les résultats obtenus récemment au NRC par des calculs de Monte Carlo pourraient entraîner une modification allant jusqu'à 0,9 % de la valeur mesurée par certains étalons nationaux. On a décidé, cependant, de reporter à la prochaine réunion toute décision sur la prise en compte de ces changements.

La question de l'incertitude à attribuer au rapport des pouvoirs de ralentissement graphite/air a été soulevée et on a constitué un groupe de travail qui est chargé de soumettre un projet de recommandation sur les incertitudes à la prochaine réunion.

Les délégués du NIST, du NRC et de la PTB ont fait des rapports sur la situation, dans leurs laboratoires respectifs, des étalons de dose absorbée dans l'eau et sur des études concernant la chimie des rayonnements, le défaut de chaleur et la convection. Le VNIIFTRI et le NPL travaillent à la mise au point de calorimètres à eau. Le BIPM envisage également de se lancer dans la calorimétrie à eau.

La Section I a recommandé que les laboratoires de métrologie et le BIPM étendent le domaine actuel d'énergie des étalons de kerma dans l'air au rayonnement gamma du ^{137}Cs et qu'ils mettent en œuvre les moyens nécessaires pour faire des étalonnages et des comparaisons dans ce domaine (Recommandation R 1 (1991), p. R 9). Selon l'AIEA, 50 laboratoires du réseau SSDL de l'AIEA/OMS utilisent des faisceaux de ^{137}Cs . Ce réseau comprend 66 laboratoires membres, dont 55 sont actifs. En 1989, les SSDL ont étalonné environ 1 000 instruments et mesuré plus de 800 000 dosimètres TLD et autant de films. L'AIEA organise trois sessions de formation par an pour le personnel des SSDL.

La dosimétrie en curiethérapie (sources de ^{192}Ir et ^{125}I , en particulier) est un autre sujet de préoccupation de la Section I. Il est recommandé

aux laboratoires de métrologie et au BIPM d'étudier des méthodes appropriées pour la mesure du kerma dans l'air, des moyens adéquats pour le transfert des étalonnages, ainsi que des méthodes de mesure de dose absorbée dans l'eau adaptées à de telles sources (Recommandation R 2 (1991), p. R 10).

Le président invite les membres du CCEMRI à faire des commentaires sur le rapport de M. Simoën. Une discussion générale a lieu sur la disponibilité des codes de Monte Carlo. M. Allisy indique que les comparaisons de codes ne sont pas un sujet nouveau et que l'AIEA a décidé que toutes les comparaisons faites sous les auspices de l'Agence seront rattachées au BIPM. M^{me} Boutillon décrit les résultats de la comparaison de codes et indique que l'accord obtenu n'est pas aussi bon que prévu. M. Kellerer demande si ces codes sont disponibles au BIPM. M^{me} Dutreix fait remarquer que chaque laboratoire utilise ses propres codes. Le BIPM ne possède pas les codes individuels et il n'existe pas de code universel susceptible d'être implanté sur des ordinateurs de conception différente. M. Dietze souligne qu'il y a un danger à essayer d'utiliser ces codes pour des problèmes pour lesquels ils ne sont pas conçus.

M. Quinn demande si l'extension des mesures de kerma dans l'air au rayonnement du ¹³⁷Cs ne représentera pas une charge excessive pour le personnel ou les finances du BIPM. De l'avis général (MM. Allisy, Kellerer et Müller), ceci ne constitue pas un obstacle sérieux. M. Dietze pense que des mesures de distribution spectrale seront nécessaires. M^{me} Dutreix fait remarquer que ceci ne devrait pas entrer dans les responsabilités du BIPM; celui-ci doit fournir une mesure de référence pour une géométrie donnée; ainsi chaque laboratoire pourra l'utiliser en tenant compte de ses propres spectres.

En ce qui concerne la curiethérapie, M^{me} Dutreix souligne qu'il existe un besoin urgent en étalonnages du fait que le radium a été remplacé par d'autres radionucléides, et que le comité ne peut pas se permettre d'attendre la prochaine réunion pour agir dans ce domaine.

Section II — Mesure des radionucléides (Président: J.G.V. Taylor)

En résumant le rapport de la Section II (Mesure des radionucléides), le rapporteur, M. Hoppes, fait remarquer que l'un des problèmes liés à la tenue simultanée des réunions des trois sections est que M. Müller n'était pas souvent présent pour donner son avis ou répondre aux questions soulevées lors de discussions sur des points critiques.

Vingt-trois rapports provenant de laboratoires, de groupes de travail et du BIPM ont été distribués. Les résultats d'une comparaison restreinte de mesures d'activité de ⁷⁵Se ont été présentés. Ce nucléide avait été choisi non seulement à cause de son importance en médecine et de son emploi dans les étalonnages de spectromètres à rayonnement γ , mais

surtout parce que, lors de sa décroissance, il passe en partie par un état métastable de 17 ms, ce qui constitue une difficulté qui n'existait pas dans les comparaisons précédentes de mesures d'activité. L'essai a été très concluant puisque la comparaison des résultats préliminaires a mis en lumière un effet insoupçonné, d'ordre instrumental, qui a été analysé et expliqué. Des mesures ultérieures ont fait apparaître un accord satisfaisant entre les résultats et ont montré comment éviter une telle difficulté dans une comparaison internationale. Des versions abrégées des rapports sur les comparaisons précédentes de ^{133}Ba et de ^{109}Cd ont été préparées pour publication.

Le nombre d'enregistrements de nouveaux résultats continue de croître dans le cadre du Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR). Le groupe de travail responsable de l'extension du SIR aux émetteurs alpha, bêta et aux photons de faible énergie a choisi le comptage par scintillation liquide parce que c'est la plus souple de toutes les méthodes envisagées. Le BIPM a fait l'acquisition d'un spectromètre à scintillation liquide et l'a installé dans son laboratoire. Les essais préliminaires ont commencé. M. Ratel a visité le NIST pour se familiariser avec les techniques d'utilisation.

Le Groupe de travail sur les principes de la méthode des coïncidences a décrit deux nouvelles méthodes pour déterminer l'activité de rayonnements corrélés sans enregistrer de coïncidences, à savoir un système double de temps morts (LPRI) et un système de comptage modulo 2 (BIPM).

Le Groupe de travail sur les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité (compteurs $4\pi\gamma$) incorporera dans son prochain rapport, rédigé par M. Winkler (IRK), une description du détecteur $4\pi\text{CsI}$ du BCMN, dont l'efficacité est élevée pour les électrons et les photons de faible énergie. M. Hoppes explique comment les compteurs $4\pi\gamma$ peuvent donner une mesure de l'activité des nucléides émettant plusieurs rayons gamma en cascade, sans avoir besoin de connaître les probabilités exactes d'émission des rayons gamma.

Le Groupe de travail sur les comparaisons futures a présenté les résultats d'une étude sur les nucléides à envisager pour les comparaisons à venir. Étant donné les résultats positifs de la comparaison restreinte de ^{75}Se , le groupe a décidé qu'une comparaison internationale de ce nucléide devrait avoir lieu en 1992. Pour la comparaison suivante (fin 1992 ou début 1993), le ^{204}Tl a été préféré, au terme d'une longue discussion, au favori du groupe de travail (^{152}Eu), parce que le ^{204}Tl permettra de faire un étalonnage fiable du nouveau système à scintillation liquide du SIR.

D'autres activités du BIPM ont été exposées, telles que la recherche sur les temps morts généralisés, le comptage modulo 2 et une mesure de la période de l'état métastable de 17 ms du $^{75}\text{As}^m$ obtenue avec une meilleure exactitude.

Les rapports des autres laboratoires décrivent les travaux en cours. Parmi les sujets d'intérêt particulier, on peut citer l'existence dans plusieurs laboratoires (NPL, BCMN, OMH) de stocks disponibles d'ampoules de dimensions suffisamment uniformes pour qu'elles soient utilisables pour des étalonnages précis de chambres d'ionisation, des valeurs améliorées de $T_{1/2}$, et de P_γ qui sont nécessaires pour les calculs en thérapie et pour les besoins de la législation, et une collaboration entre l'AECL et le NIST pour produire des sources de référence de ^{94}Nb pur.

La réunion de la Section II s'est terminée par une discussion sur la difficulté à se procurer plusieurs nucléides (par exemple le ^{139}Ce) qui sont nécessaires en tant que sources de référence de rayonnement gamma et sur un travail éventuel à entreprendre pour améliorer la situation.

Au cours de la discussion qui suit le rapport de M. Hoppes, on constate que seul un petit nombre des radionucléides d'usage courant a fait l'objet de comparaisons. Parmi ceux qui ont été comparés on trouve des nucléides à période longue (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{133}Ba) pouvant servir d'étalons de référence et d'autres dont la mesure présente des difficultés particulières (^{125}I , ^{75}Se). Certains candidats, tels que les nucléides à période courte utilisés en médecine nucléaire, ne conviennent pas pour des comparaisons internationales.

Section III — Mesures neutroniques (Président : V.E. Lewis)

MM. Lewis et Jahr exposent les travaux de la Section III (Mesures neutroniques). Des mesures en vue d'obtenir des spectres de neutrons ont été faites au BIPM avec un scintillateur liquide organique, type NE 213. Une étude de la chambre Mg/Ar du BIPM dans un champ de ^{60}Co , faite avec différents tubes pour la circulation du gaz, a permis d'identifier la cause d'une différence apparente de 2 % dans la réponse de la chambre lors d'une comparaison de dosimétrie neutronique.

Deux laboratoires ont mesuré le taux d'émission d'une source intense de neutrons de ^{252}Cf ($\approx 6 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$). Aucun autre laboratoire n'envisage actuellement de faire de nouvelles mesures de cette source qui est disponible sous les auspices de la Section III ; ceci est dû en partie à la nécessité d'améliorer les conditions expérimentales liées aux problèmes de radioprotection. Des comparaisons bilatérales, avec des sources d'intensité moindre, seront organisées à l'avenir entre les membres de la section. Dans le passé, les comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides ont couvert le domaine d'énergie de 144 keV à 14,8 MeV. On envisage d'étendre ce domaine à des énergies plus faibles en organisant une comparaison à 25 keV avec des sphères de Bonner. Lors de la dernière comparaison faite avec des sphères de Bonner à 2,5 MeV et 14,7 MeV, entre 1987 et 1990, des écarts pouvant atteindre 17 % ont été observés entre les résultats. Ces différences ont été attribuées à la sensibilité des détecteurs aux neutrons diffusés d'énergie

plus faible. Une étude est en cours pour déterminer les corrections à appliquer dans ce cas, ainsi que dans celui d'une comparaison antérieure.

La Section III est convaincue que les possibilités de mesure du BIPM dans le domaine des neutrons doivent être maintenues après le départ à la retraite de M. Huynh. Il existe des projets urgents qui nécessitent l'équipement et le savoir-faire du BIPM. La dosimétrie en radioprotection neutronique doit couvrir neuf puissances de dix en énergie. Étant donnée la variation du facteur de qualité dans ce domaine, des mesures complémentaires de spectres de neutrons sont nécessaires pour mesurer l'équivalent de dose. De plus, les composantes en photons et en neutrons d'un champ de rayonnement doivent être mesurées séparément. La dosimétrie des neutrons utilisés en thérapie nécessitera des comparaisons de mesures de dose absorbée jusqu'à 60 MeV. Pour la fusion nucléaire, des comparaisons d'étalons de fluence de neutrons dans le domaine de 1 MeV à 15 MeV seront nécessaires. Pour organiser des comparaisons en vue de toutes ces applications, on aura besoin des instruments et des étalons de transfert du BIPM.

Par ailleurs, il faudra envisager des comparaisons de fluence spectrale dans un proche avenir. À cette fin, on a constitué un groupe de travail chargé d'organiser des comparaisons de fluences spectrales de sources de $^{241}\text{Am-Be}$ et de $^{241}\text{Am-B}$. La Section III recommande que le BIPM étudie l'instrumentation nécessaire pour ces mesures et les moyens d'effectuer les comparaisons, ce qui demandera un personnel capable d'assurer la continuité à long terme des comparaisons dans les domaines de la dosimétrie et des mesures de spectres de neutrons.

Au cours de la discussion qui suit la présentation du rapport de la Section III, M. Quinn souligne que le BIPM n'a pas pris de décision en ce qui concerne la succession de M. Huynh ; cette décision sera prise par le CIPM après étude des priorités actuelles et futures. Plusieurs membres (MM. Dietze, Kellerer, Knoll) insistent sur le rôle essentiel du BIPM dans les comparaisons internationales de mesures de fluence et de dosimétrie neutronique et sur la nécessité d'assurer la continuité, faute de quoi le savoir-faire accumulé par le BIPM pendant des années, à un prix élevé, sera perdu. M. Quinn répond qu'il serait plus facile de justifier le programme du BIPM si les laboratoires nationaux soutenaient plus clairement les travaux dans le domaine des mesures neutroniques. Si les laboratoires nationaux réduisent leurs efforts dans certains domaines, il n'est pas réaliste d'attendre que le BIPM adopte une attitude différente.

Travaux du BIPM

Le personnel du BIPM est invité à présenter quelques-uns de ses travaux récents. M^{me} Boutillon décrit les mesures de dose absorbée dans l'eau ainsi que les corrections qui tiennent compte de la perturbation

de la fluence due à la chambre et aux effets de parois. M. Ratel présente les résultats de la comparaison restreinte des mesures d'activité d'une solution de ^{75}Se , au cours de laquelle un effet inattendu, d'ordre instrumental, a été identifié et éliminé par la suite. M. Huynh résume une comparaison de kerma de neutrons avec les dosimètres étalonnés du BIPM. Il montre également comment un scintillateur organique équipé d'un discriminateur de forme produit une séparation nette entre les composantes photoniques et neutroniques d'un champ de rayonnement. Des informations détaillées sur tous ces sujets se trouvent dans les rapports des trois sections.

2. Questions diverses

À titre d'information, M. Quinn lit les parties de son rapport à la CGPM d'octobre 1991 qui concernent les rayonnements ionisants. Il invite les membres à poser des questions ou à faire des commentaires pour clarifier certains points mais il ne peut accepter aucun changement puisque la version finale est déjà imprimée.

M^{me} Dutreix attire l'attention sur l'intérêt croissant pour la thérapie par faisceaux de protons. Le comité pense que les laboratoires nationaux et le BIPM devraient étudier des méthodes permettant de mesurer la dose absorbée dans les faisceaux de protons et fait une recommandation à cet effet (Recommandation R 3 (1991), p. R 10).

M. Allisy suggère que les demandes de la Section III concernant les travaux à effectuer par le BIPM dans le domaine de la spectrométrie neutronique et celui des comparaisons de spectres de neutrons fassent l'objet d'une recommandation. Ceci a donné lieu à la Recommandation R 4 (1991), p. R 11.

Des rapports seront rédigés pour le CIPM et la CGPM.

L'organisation des réunions futures du CCEMRI et de ses trois sections est discutée. Les réunions simultanées des trois sections ne se sont pas déroulées aussi bien que prévu. Les membres du personnel du BIPM n'ont pas toujours pu assister à des discussions importantes concernant leurs travaux et les sections ont regretté leur absence quand il était nécessaire d'avoir leur avis. Par ailleurs, les travaux de dactylographie et de photocopie pour trois réunions simultanées ont représenté une charge importante pour la secrétaire de la Section des rayonnements ionisants. Le comité pense que, si l'on veut qu'un tel schéma réussisse à l'avenir, les réunions devront être organisées avec le plus grand soin. Le président formule trois conditions : 1) les réunions devraient se dérouler sur une semaine entière ; 2) des ordres du jour détaillés devraient être préparés suffisamment à l'avance, avec des horaires précis permettant aux membres du CCEMRI de se déplacer d'une section à l'autre ; 3) un membre du BIPM devrait être responsable de chaque section pendant la durée des réunions, pour permettre à

M. Müller de passer du temps dans les trois groupes. Il serait également nécessaire que tous les documents en provenance des membres soient dactylographiés, photocopiés et adressés au BIPM suffisamment tôt pour que la secrétaire puisse consacrer davantage de temps aux travaux qui se présentent pendant les réunions. Aucune décision officielle n'a été prise quant au déroulement de la prochaine réunion qui se tiendra en 1993.

Avant de clore la session, le président remercie les rapporteurs et les membres du CCEMRI pour leur contribution et le personnel du BIPM pour ses comptes rendus d'activité et son hospitalité.

Août 1991, révisé novembre 1991

Recommandations*
du Comité consultatif pour les étalons de mesure
des rayonnements ionisants
présentées
au Comité international des poids et mesures

Extension des étalons au rayonnement γ du ^{137}Cs

RECOMMANDATION R 1 (1991)

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants,

considérant que les faisceaux de rayonnement γ du ^{137}Cs sont généralement utilisés comme référence pour l'étalonnage des dosimètres en radioprotection,

recommande que les laboratoires de métrologie et le BIPM

— étendent le domaine d'énergie actuel des étalons de kerma dans l'air pour y inclure le rayonnement γ du ^{137}Cs , et

— mettent en œuvre les moyens nécessaires pour les étalonnages et les comparaisons dans ce domaine.

(*) Le CIPM a approuvé les Recommandations R 1 et R 2 en septembre 1991 ; il a pris note de la Recommandation R 3 et réexaminera la Recommandation R 4 dans le contexte du programme de travail à long terme du BIPM.

Mesures en curiethérapie

RECOMMANDATION R 2 (1991)

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants,

reconnaissant

— que la grandeur à utiliser en curiethérapie est la dose absorbée dans l'eau ou dans le tissu, et

— que l'ICRU recommande de caractériser les sources utilisées dans ce domaine par le débit de kerma dans l'air,

recommande aux laboratoires de métrologie et au BIPM

i) d'étudier pour ces sources des méthodes appropriées de mesure du kerma dans l'air,

ii) d'étudier des méthodes adéquates (telles que l'utilisation de chambres d'ionisation à puits) pour le transfert des étalonnages aux sources diverses utilisées en curiethérapie, et

iii) d'étudier des méthodes de mesure de la dose absorbée dans l'eau adaptées à de telles sources.

Mesures en thérapie par protons

RECOMMANDATION R 3 (1991)

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants,

reconnaissant l'intérêt croissant porté par la communauté médicale à la thérapie par protons,

considère que les faisceaux de protons font partie de ses attributions et

recommande que les laboratoires de métrologie et le BIPM étudient des méthodes permettant de mesurer la dose absorbée dans les faisceaux de protons.

Spectrométrie neutronique

RECOMMANDATION R 4 (1991)

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants,

reconnaisant

— que la métrologie de la radioprotection neutronique doit couvrir neuf puissances de dix en énergie de 20 meV à 20 MeV et au-delà, et que l'interprétation des mesures fournies par les dosimètres requiert des informations sur le spectre d'énergie des neutrons,

— que des mesures spectrales sont nécessaires pour la radiothérapie par neutrons et pour la technologie de la fusion nucléaire,

recommande que le BIPM

— étudie l'instrumentation nécessaire pour la mesure des spectres de neutrons,

— étudie les moyens d'effectuer des comparaisons dans ce domaine.

Section I — Rayons X et γ , électrons

10^e réunion (mai 1991)

ORDRE DU JOUR
de la 10^e réunion

1. Travaux récents effectués au BIPM.
 2. Travaux futurs du BIPM.
 3. Comparaisons d'étalons.
 4. Étalons de dose absorbée dans l'eau.
 5. Étalons dans le domaine de la radioprotection.
 6. Étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel.
 7. Étalons dans le domaine de la curiethérapie.
 8. Rapports d'activité des laboratoires.
 9. Rapport de l'AIEA.
 10. Publicité.
 11. Questions diverses.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION I. — Rayons X et γ , électrons

10^e réunion (mai 1991)

RAPPORT

par N.J. HARGRAVE, rapporteur

Résumé. La Section I (Rayons X et γ , électrons) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) a tenu sa dixième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, en mai 1991. Les travaux récents effectués au BIPM ont été examinés et, après discussion des problèmes soulevés au cours de la réunion et des rapports des délégués, le programme des travaux futurs a été accepté. Les résultats de plusieurs comparaisons internationales effectuées au BIPM ou entre laboratoires nationaux ont été présentés, ainsi que les résultats d'une comparaison préliminaire dans le domaine des rayons X d'énergie élevée (jusqu'à 20 MV). Les progrès effectués dans la mesure calorimétrique de la dose absorbée dans l'eau ont été décrits. Une discussion sur les étalons utilisés dans le domaine de la radioprotection et en curiethérapie a conduit à l'élaboration de deux recommandations qui seront soumises au CCEMRI. Des rapports d'activité établis par divers laboratoires décrivent leurs nouvelles installations, services et programmes de recherche.

La Section I (Rayons X et γ , électrons)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI**) a tenu sa dixième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 21, 22 et 23 mai 1991.

* Pour la liste des membres, voir page XII.

** Pour la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport, voir page V.

Étaient présents :

J.-P. SIMOËN, président de la Section I, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

Australian Radiation Laboratory [ARL], Yallambie (N.J. HARGRAVE).

Bureau national de métrologie, Paris: Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay (J.-P. SIMOËN).

Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa (D. W. O. ROGERS).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (N. TAKATA).

Institut de métrologie D. I. Mendéléév [VNIIM], Leningrad (V. I. FOMINYCH) (deux jours).

Institut national de métrologie [NIM], Beijing (XU Mian).

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] (W. A. JENNINGS).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (B. M. COURSEY).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (B. OWEN).

Nederlands Meetinstituut [NMI], Bilthoven (A. H. L. AALBERS).

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (A. JAKAB).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (K. HOHLFELD).

Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości [PKNM], Varsovie (Z. REFEROWSKI).

Swedish Radiation Protection Institute [SRPI], Stockholm (L. LINDBORG).

Membre nominativement désigné :

A. BROSED, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

Invités :

Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA], Vienne (H. SVENSSON).

Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf GmbH [ÖFS], Seibersdorf (K. E. DUFTSCHMID).

Ont assisté au moins à une partie de la réunion : T. J. QUINN, directeur du BIPM ; O. SALA, membre du CIPM, président du CCEMRI ; P. GIACOMO, directeur honoraire du BIPM ; A. ALLISY, G. DIETZE et M^{me} A. DUTREIX, membres du CCEMRI ; M^{me} M. BOUTILLON (BIPM) ; M^{me} A.-M. PERROCHE et Z. YIN (en stage au BIPM).

Le directeur du BIPM déclare la séance ouverte. Il souhaite la bienvenue aux membres et observateurs des Sections I, II et III, réunis dans la Grande Salle pour l'ouverture des réunions. Il explique le but de celles-ci pour ceux qui ne sont pas familiers avec le travail des sections : il s'agit de discuter les travaux accomplis au BIPM et de donner des orientations pour les activités futures à entreprendre en collaboration étroite avec les laboratoires nationaux. Ceci peut conduire à soumettre des recommandations au CIPM. De plus, un tel forum est une excellente occasion d'échanger des informations sur les travaux en cours dans les divers laboratoires. Le directeur présente les membres du CCEMRI récemment nommés, ainsi que les présidents des trois sections. L'assemblée se divise en trois groupes correspondant aux trois sections qui se dirigent vers leurs lieux de réunions respectifs.

Le président de la Section I, J.-P. Simoën, propose de discuter le projet d'ordre du jour. Celui-ci est adopté après quelques modifications. N. J. Hargrave est nommé rapporteur.

1. Travaux récents effectués au BIPM

M^{me} Boutillon présente les travaux concernant la mise au point au BIPM de l'étalon ionométrique pour la mesure de la dose absorbée dans l'eau (91-1*). Des mesures quotidiennes de la dose absorbée dans le faisceau de ⁶⁰Co du BIPM ont été effectuées pendant une période de deux ans, à des profondeurs comprises entre 3 et 17 g cm⁻² dans un fantôme d'eau de 30 cm de côté. La chambre d'ionisation utilisée est semblable à celles qui servent à maintenir au BIPM les étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans le graphite, pour le rayonnement gamma du ⁶⁰Co. Le fantôme est rempli d'eau et vidé tous les jours pour éviter les variations à long terme du courant d'ionisation dues à une influence éventuelle de l'humidité sur la chambre et à une déformation à long terme du fantôme.

Le volume de la chambre d'ionisation a été déterminé par comparaison ionométrique avec l'étalon de dose absorbée dans le graphite. On a constaté une légère variation du rapport des volumes apparents selon que les chambres sont comparées dans l'air ou à différentes profondeurs dans le graphite et l'eau. On a également remarqué un effet dû à la rotation de la chambre. Ces effets ne sont pas expliqués actuellement ; ils pourraient être dus à des inhomogénéités des parois de la chambre.

L'incertitude totale de la méthode ionométrique est de l'ordre de 0,4 %. Cependant, on a remarqué une légère diminution systématique du débit de dose absorbée (0,05 % par an) qui n'est pas entièrement expliquée, même si l'on tient compte de l'incertitude sur la période du ⁶⁰Co.

* L'Annexe R(I)1 donne la liste des documents de travail présentés à la réunion. Ils sont cités dans le texte sous la forme 91-1, 91-2, etc.

La valeur ionométrique de la dose absorbée dans l'eau est en bon accord avec les valeurs calculées au BIPM à partir de la dose absorbée dans le graphite ou du kerma dans l'air. Elle est aussi en accord avec la valeur obtenue par la méthode du « scaling theorem ».

Les résultats obtenus par la méthode ionométrique du BIPM et par d'autres méthodes expérimentales utilisées dans différents laboratoires (NPL, NRC et PTB) ont été comparés. L'accord global, de l'ordre de 1 %, est compatible avec les incertitudes estimées.

2. Travaux futurs du BIPM

La section approuve les travaux concernant les comparaisons internationales, la détermination ionométrique de la dose absorbée dans l'eau et la comparaison des codes de Monte Carlo utilisés dans les laboratoires nationaux.

Elle souligne l'importance des travaux envisagés sur le défaut de chaleur de l'eau et la convection en vue de la mise au point d'un calorimètre à eau.

L'acquisition d'une source adéquate de ^{137}Cs et l'extension des étalons de kerma dans l'air au rayonnement gamma du ^{137}Cs en vue de faciliter les comparaisons dans le domaine de la radioprotection, ainsi que la mise au point de méthodes de mesure de sources utilisées en curiethérapie, sont considérées comme des directions importantes dans lesquelles le BIPM devrait s'engager à l'avenir.

3. Comparaisons d'étalons

Plusieurs laboratoires ont effectué des comparaisons avec le BIPM.

L'OMH a fait une nouvelle comparaison de son étalon dans le domaine des rayons X de faible énergie. Depuis la comparaison précédente, en 1979, ce laboratoire a construit un nouveau diaphragme pour sa chambre d'ionisation ; l'accord entre les résultats est maintenant de l'ordre de 0,4 %, ce qui est une amélioration.

Le NIST a fait une nouvelle comparaison dans le domaine des rayons X de moyenne énergie, en utilisant deux chambres d'ionisation de transfert, de type Shonka. Pendant cette comparaison, le NIST a utilisé ses propres qualités de rayonnement, et les valeurs obtenues pour les qualités utilisées par le BIPM ont été déduites par interpolation. Ces résultats sont en bon accord avec ceux qui avaient été obtenus en 1975.

L'ARL a effectué une nouvelle comparaison dans le domaine des rayons X d'énergie moyenne. Depuis la comparaison de 1979, les laboratoires de l'ARL ont emménagé dans de nouveaux locaux. Un

changement de l'étalon de près de 0,4 % est apparu lors de la comparaison avec le BIPM. On pense que ce changement est dû au déménagement, mais aucune explication n'a été trouvée jusqu'à présent. En 1988, l'ARL avait fait une première comparaison à l'étalon du BIPM dans le rayonnement gamma du ^{60}Co et l'accord était satisfaisant (0,1 %).

Le NRC et la PTB ont aussi effectué une nouvelle comparaison avec l'étalon de kerma dans l'air du BIPM, dans le rayonnement du ^{60}Co . Le résultat du NRC est légèrement différent du précédent parce que ce laboratoire a utilisé des facteurs de correction différents pour sa chambre. Le résultat de la PTB est le même que précédemment. La figure 1 montre les résultats de toutes les comparaisons d'étalons de kerma dans l'air qui ont été effectuées dans le faisceau de ^{60}Co du BIPM.

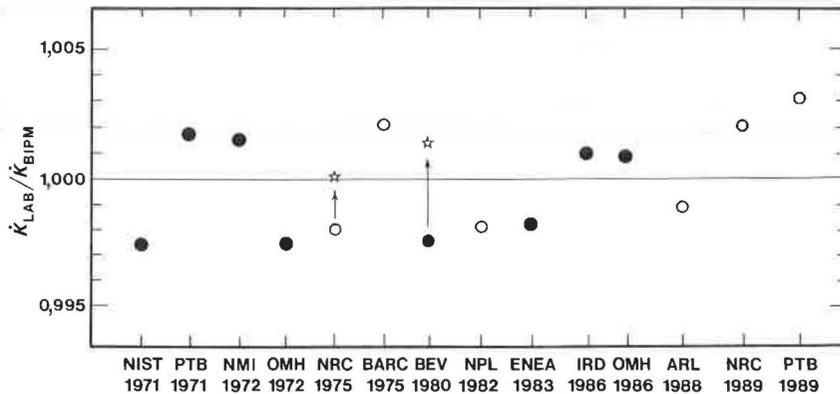


Fig. 1. — Résultats de toutes les comparaisons d'étalons de kerma dans l'air effectuées dans le faisceau de ^{60}Co du BIPM. Les constantes physiques utilisées sont celles qui ont été recommandées par le CCEMRI.

● comparaisons directes ; ○ comparaisons indirectes ; ☆ résultats révisés en 1990.

L'IRA a comparé son étalon calorimétrique de dose absorbée dans le graphite à l'étalon ionométrique du BIPM, à différentes profondeurs dans le graphite, en utilisant le rayonnement gamma du ^{60}Co . L'accord est meilleur que 0,3 %.

Les résultats de toutes les comparaisons de dose absorbée dans le graphite effectuées au BIPM sont représentés sur la figure 2.

Plusieurs comparaisons organisées entre laboratoires nationaux, sans participation du BIPM, ont été signalées également.

Lors de sa dernière réunion, la section avait créé un Groupe de travail sur la comparaison de méthodes de mesure aux énergies élevées. B. Owen, coordonnateur du groupe, présente les résultats de comparaisons préliminaires de dose absorbée dans l'eau en termes d'étalonnage de chambres d'ionisation dans le domaine d'énergie allant du rayonnement

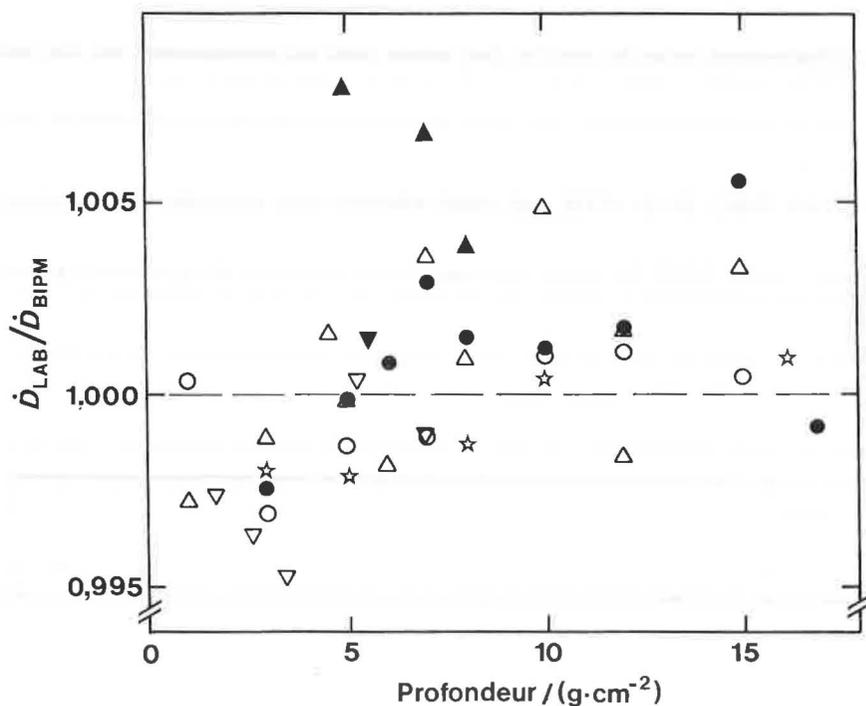


Fig. 2. — Comparaisons de dose absorbée dans le graphite effectuées au BIPM dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .
Rapport des débits de dose absorbée dans le graphite, \dot{D}_{LAB} et \dot{D}_{BIPM} , mesurés, d'une part, avec les calorimètres des laboratoires nationaux et, d'autre part, avec l'étalon ionométrique du BIPM.

Symbole	○	●	▲	△	▽	▼	☆	---
Laboratoire	NIST	LPRI	PTB	NMI	OMH	NPL	IRA	BIPM
Date	1977	1977	1977	1979	1986	1987	1989	-
σ (%)	0,07	0,17	0,35	0,11	0,35	0,18	0,35	0,26

du ^{60}Co aux rayons X de 20 MV. Ces comparaisons ont eu lieu entre le NPL, la PTB et le NRC. Les résultats ont été rattachés à l'étalon de dose absorbée dans l'eau dans le rayonnement du ^{60}Co du BIPM.

La dosimétrie Fricke au NPL, à la PTB et au NRC repose respectivement sur un calorimètre en graphite utilisé dans le rayonnement du ^{60}Co , sur la mesure de G déterminée pour des électrons de 6 MeV et sur un calorimètre à eau. Les résultats s'accordent à 1,5 % près. Les valeurs obtenues par dosimétrie Fricke aux énergies élevées étaient jusqu'à 2 % supérieures à celles qui sont dérivées du calorimètre en graphite du NPL. Cette différence a été réduite de façon significative au NRC après application d'une correction calculée dans ce laboratoire pour tenir compte de l'influence du conteneur en quartz de la solution Fricke. Les calculs du NRC montrent que la correction pour la paroi

du conteneur varie de façon linéaire, en fonction de l'indice de qualité du faisceau, celui-ci étant de 0 % pour le ^{60}Co et de 1,7 % pour un rayonnement de TPR égal à 0,79. Des calculs similaires restent à faire pour les ampoules de verre du NPL et de la PTB.

Pour le rayonnement du ^{60}Co , la valeur de la dose absorbée dans l'eau, dérivée des mesures faites avec le calorimètre en graphite du NPL se situe à 1 % au-dessus de la courbe qui passe par les valeurs obtenues pour les rayons X ; de plus, on a noté comme un fait nouveau la dépendance du facteur d'étalonnage de la chambre avec la filtration du faisceau de rayons X pour le même indice de qualité. Ces effets, ainsi que la correction de paroi des ampoules Fricke, demandent des études plus approfondies et il est prévu que le groupe de travail continue ses recherches jusqu'à la prochaine réunion de la section.

Une comparaison a eu lieu entre les étalons de kerma dans l'air du NPL et de l'ENEA dans le domaine des rayons X de faible et de moyenne énergie. Dans le domaine des faibles énergies, il s'agit d'une comparaison directe et l'accord est de 0,4 % pour les rayonnements de 10, 25 et 50 kV, tandis que dans le domaine des énergies moyennes l'accord entre les deux instruments de transfert était de 0,6 % pour les qualités de référence du BIPM. Si l'on tient compte de la différence qui existe entre les étalons du NPL et du BIPM, on obtient un accord de 0,35 % entre le BIPM et l'ENEA.

Une comparaison indirecte a eu lieu entre l'ARL et le NRL dans le domaine des rayons X d'énergie moyenne et pour le rayonnement gamma du ^{60}Co . Un dosimètre NE 2560/2561 et sa source de référence de ^{90}Sr ont été utilisés pour les mesures. Les résultats ont été corrigés au moyen de la source de référence de ^{90}Sr et on a trouvé un accord de 0,3 %.

Z. Referowski signale une comparaison entre l'URSS, la Hongrie, la Tchécoslovaquie, la République démocratique allemande et la Pologne aux qualités de rayons X de faible énergie. L'accord obtenu est de 0,7 %.

Une longue discussion a lieu sur les facteurs de correction à appliquer aux étalons d'exposition. Le NRC présente des résultats de calculs effectués dans le domaine des rayons X sur les corrections de pertes d'électrons appliquées aux chambres d'ionisation à parois d'air. On discute de même les incertitudes sur les rapports des pouvoirs de ralentissement utilisés pour le rayonnement gamma du ^{60}Co . D. W. O. Rogers souligne que l'incertitude sur la valeur de I pour le carbone est telle que l'incertitude sur le pouvoir de ralentissement du carbone atteint peut-être 0,7 %. On remarque, toutefois, que l'incertitude sur le produit $W/e\bar{s}_{c,a}$, utilisé dans la détermination du kerma dans l'air, est inférieure à l'incertitude sur $\bar{s}_{c,a}$. H. Svensson signale que W/e peut avoir une faible dépendance par rapport à l'énergie. Un groupe de travail est constitué sous la responsabilité de D. W. O. Rogers pour présenter, à la prochaine réunion, des recommandations sur les incertitudes

à appliquer à ces facteurs par les laboratoires nationaux. Les membres de ce groupe sont M. Boutillon, N. J. Hargrave, K. Hohlfeld et J.-P. Simoën.

Deux questions qui avaient été soulevées à la réunion précédente sont discutées à nouveau : le facteur de correction de paroi et le facteur de correction d'une source non ponctuelle qui sont appliqués aux chambres à cavité en graphite utilisées comme étalons pour le rayonnement gamma du ^{60}Co . De nouveaux calculs ont été faits au NRC pour treize chambres à cavité étalons en usage dans les laboratoires nationaux. Le délégué du NRC propose de faire des calculs de correction de parois et de correction pour la taille des sources pour d'autres chambres utilisées comme étalons par des laboratoires nationaux, si ceux-ci fournissent les informations nécessaires sur la construction de ces instruments. Si l'on applique les facteurs de correction ainsi modifiés, le changement des valeurs de certains étalons nationaux de kerma dans l'air pourrait atteindre 0,9 %. Dans ce cas, la relation entre les étalons nationaux et l'étalon du BIPM passerait d'une valeur moyenne de 1,0005 à 1,0039, avec le même écart-type. Ceci serait encore compatible avec les incertitudes des comparaisons. Le bien-fondé de la méthode d'extrapolation utilisée dans la mesure expérimentale de la correction de paroi a été discuté dans le cas des chambres sphériques et des chambres cylindriques et plates.

M^{me} Dutreix fait remarquer que les changements dus aux modifications des corrections de parois des étalons ne seraient pas significatifs pour la communauté médicale et que de fréquentes modifications mineures apportées aux étalons ne sont pas utiles. L. Lindborg indique qu'une connaissance précise des étalons est importante dans certains domaines de recherche. Il suggère que l'on mentionne dans les rapports d'étalonnage les modifications qu'on envisage d'apporter aux étalons, même si celles-ci ne sont pas encore effectives.

Étant donné l'importance de ces étalons pour les usagers de la communauté scientifique médicale et le fait que la stabilité est aussi importante que la valeur absolue, la Section I décide de reporter à la prochaine réunion toute décision concernant l'application de ces changements aux corrections de paroi.

On signale que le NPL et le LPRI adopteront les nouvelles valeurs de $\bar{s}_{c,a}$, W , et g recommandées à la réunion de 1985 à partir du 1^{er} janvier 1992. Le NRC a procédé à un tel changement le 1^{er} juillet 1990.

H. Svensson demande si les changements envisagés pourraient avoir un effet sur les protocoles employés couramment pour déterminer la dose absorbée en radiothérapie. On lui a assuré qu'il n'en serait rien.

4. Étalons de dose absorbée dans l'eau

Les travaux en cours au NIST, à la PTB et au NRC sur les étalons de dose absorbée dans l'eau sont exposés. On décrit des expériences se rapportant au défaut de chaleur de l'eau. À la PTB, ces expériences utilisent l'absorption totale des rayons X de faible énergie ou des électrons, tandis qu'au NRC elles concernent la radiochimie. Le NRC a utilisé un système à bulle de H_2/O_2 et un système saturé de H_2 . On a constaté que, si le système saturé de H_2 présente quelques problèmes, il pourrait permettre d'atteindre un état stable dans lequel le problème de défaut de chaleur disparaît, pourvu que le système ait reçu une dose de rayonnement suffisante. À la PTB, les mesures ont été faites à $4^\circ C$ afin d'éviter les problèmes de convection dans l'eau.

Le VNIIFTRI a mis au point un calorimètre à eau et le NPL est en train d'en construire un. Ainsi qu'il est mentionné plus haut, le BIPM envisage d'entreprendre la construction d'un calorimètre à eau.

5. Étalons dans le domaine de la radioprotection

K. E. Duftschmid donne des informations sur la mise au point d'une chambre d'ionisation conçue pour faire des mesures directes en termes d'équivalent de dose ambiant. La paroi de la chambre en Delrin (équivalent à l'air) a été modifiée en ajoutant sur la face intérieure une couche mince de bismuth et d'aluminium pour obtenir un facteur d'étalonnage indépendant de l'énergie à 5 % près. La méthode a été appliquée à des chambres dont les volumes sont compris entre 30 ml et 10 l; les capuchons supplémentaires ne sont pas nécessaires aux énergies élevées.

La section prend note de ce que les grandeurs opérationnelles d'équivalent de dose ont été adoptées en Suède et au Japon.

Le problème des rayonnements de référence utilisés pour étalonner les instruments servant en radioprotection et la question de l'organisation éventuelle d'une comparaison internationale en conformité avec les nouvelles grandeurs ICRU sont soulevés. On note que 50 des laboratoires du réseau SSDL de l'AIEA ont accès à des sources de ^{137}Cs pour des étalonnages en radioprotection et que l'ISO a recommandé le ^{137}Cs comme rayonnement de référence à cette fin.

En conséquence, la Section I prend deux décisions à ce sujet. Une recommandation est faite aux laboratoires nationaux et au BIPM pour que le domaine actuel des comparaisons soit étendu pour y inclure le ^{137}Cs (Recommandation R(I)-1 (1991)). B. Coursey rassemblera les informations sur les sources et les débits de kerma dans l'air disponibles dans les laboratoires d'étalonnage, de façon à permettre à la section d'étudier, lors de sa prochaine réunion, les besoins concernant des comparaisons dans le domaine de la protection.

6. Étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel

Aucun document concernant les étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel n'a été préparé pour la réunion. Toutefois, H. Svensson mentionne un programme de mesures qui comprend actuellement 100 mesures de comparaison par an dans ce domaine. L'AIEA est en train d'installer son propre système de résonance de spin de l'électron (ESR) et de l'appliquer à des dosimètres à l'alanine. H. Svensson signale qu'il serait utile de pouvoir faire une comparaison dans ce domaine avec des laboratoires nationaux. Le NPL mentionne ses travaux sur les dosimètres au dichromate, ainsi que l'ouverture imminente, en septembre 1991, d'un service ESR à l'alanine pour irradier des denrées alimentaires. Au NIST, ces deux techniques sont utilisées mais actuellement l'attention se porte principalement sur le domaine des cartes d'isodoses obtenues par lecture de films radiochromiques au moyen d'un faisceau laser.

La meilleure précision obtenue à présent avec les techniques ESR a un écart-type de 1 % entre 4 Gy et 5 Gy. L'AIEA s'intéresse à une application éventuelle des techniques ESR aux comparaisons de dosimétrie en radiothérapie et dans le domaine de la surveillance du personnel.

7. Étalons dans le domaine de la curiethérapie

a) Rayons X

La section prend note de l'utilisation croissante de sources scellées en curiethérapie, en particulier pour traiter les tumeurs de la tête, du cou, du col de l'utérus, du poumon et des yeux. Le problème dû à l'absence de bonnes techniques d'étalonnage pour des photons de faible énergie (par exemple ^{192}Ir et ^{125}I) est soulevé. La nécessité de mettre au point des étalons fiables à utiliser aux environs de 400 keV est considérée comme un sujet d'étude potentiel.

Une recommandation est faite pour encourager les laboratoires nationaux et le BIPM à mettre au point des étalons de kerma dans l'air pour les sources utilisées en curiethérapie ainsi que des techniques de transfert d'étalonnages (Recommandation R(I)-2 (1991)). Ces laboratoires sont aussi encouragés à étudier des méthodes de mesure de dose absorbée dans l'eau à partir de telles sources.

b) Rayons β

On présente des travaux qui ont permis de résoudre les différences qui existaient entre les laboratoires nationaux et les producteurs de quelques applicateurs émetteurs de rayonnement β . Dans plusieurs laboratoires on utilise des méthodes fondées sur des chambres à extrapolation.

8. Rapports d'activité des laboratoires

Des rapports sur des travaux en cours non cités dans ce rapport ont été soumis par dix laboratoires (91-5, 6, 7, 22, 25, 26, 28, 29, 30, 33, 34 et 35). Ces documents décrivent les progrès accomplis depuis la dernière réunion en ce qui concerne les installations, les services et la recherche. Le BIPM est très intéressé par les travaux en cours dans les laboratoires nationaux et est heureux d'en être informé.

9. Rapport de l'AIEA

H. Svensson décrit l'activité des 66 laboratoires du réseau SSDL. Ces laboratoires effectuent annuellement un millier d'étalonnages d'instruments utilisés en radiothérapie et mesurent environ 1 500 000 dosimètres servant à la protection du personnel.

Le problème de l'exactitude de la dose délivrée et de l'assurance de qualité en radiothérapie est d'un intérêt permanent pour l'AIEA. Dans ce contexte, l'Agence organise actuellement trois cours de formation par an dans différentes régions du monde et met au point un procédé de contrôle pour la radiothérapie.

Le procédé de vérification comporte trois étapes. D'abord la mesure dosimétrique dans un rayonnement d'incidence normale sur un fantôme d'eau de forme cubique doit être en accord avec la référence de l'AIEA à 3 % près. Dans le cas d'un fantôme d'eau de forme irrégulière, irradié sous différents angles, l'accord doit être de 5 %. Enfin, il doit être aussi de 5 % dans le cas d'un fantôme en forme de vessie irradié par plusieurs champs. La méthode a été contrôlée dans des cliniques européennes de radiothérapie et on envisage de l'utiliser en Amérique du Nord.

10. Publicité

Le président préparera un résumé de la réunion qui sera soumis à *Medical Physics* et à *Physics in Medicine and Biology*. Les membres de la section sont invités, de leur côté, à informer leurs pays respectifs des points importants de la réunion.

11. Questions diverses

a) Comparaison de codes de Monte Carlo

Lors de la réunion précédente, la Section avait demandé à D. W. O. Rogers de coordonner une comparaison de codes de Monte Carlo en usage dans les laboratoires nationaux. D. W. O. Rogers présente

le rapport préliminaire d'une comparaison entre cinq codes employés actuellement. On remarque que ces codes n'utilisent pas tous les mêmes données de base et que l'accord au-dessus de 1 MeV est bon. Toutefois, il y a des différences notables pour des photons incidents de 20 keV. On souligne la nature préliminaire du rapport. D'autres travaux sont prévus avant la prochaine réunion et on espère qu'un rapport complet sera disponible à cette époque.

b) Mesure de perte d'ionisation

Le délégué de l'ETL présente des travaux sur la saturation dans des chambres d'ionisation à parois d'air et sur le facteur m concernant le rapport des coefficients de recombinaison des ions et des mobilités des ions dans l'air (91-27, 28).

c) Prochaine réunion

La Section I pense que la prochaine réunion devrait se tenir dans deux ans.

Avant de clore la réunion, le président remercie le personnel du BIPM pour son hospitalité et passe la parole au directeur du BIPM qui remercie les participants pour leur contribution et exprime sa reconnaissance pour l'important travail qu'ils effectuent pour le BIPM.

Juin 1991, révisé septembre 1991

**Recommandations
de la Section I (Rayons X et γ , électrons) du CCEMRI**

Extension des étalons au rayonnement γ du ^{137}Cs

RECOMMANDATION R(I)-1 (1991)

La Section I du CCEMRI

considérant que les faisceaux de rayonnement γ du ^{137}Cs sont généralement utilisés comme référence pour l'étalonnage des dosimètres en radioprotection,

recommande que les laboratoires de métrologie et le BIPM

— étendent le domaine d'énergie actuel des étalons de kerma dans l'air pour y inclure le rayonnement γ du ^{137}Cs , et

— mettent en œuvre les moyens nécessaires pour les étalonnages et les comparaisons dans ce domaine.

Mesures en curiethérapie

RECOMMANDATION R(I)-2 (1991)

La Section I du CCEMRI

reconnaissant

— que la grandeur à utiliser en curiethérapie est la dose absorbée dans l'eau ou dans le tissu, et

— que l'ICRU recommande de caractériser les sources utilisées dans ce domaine par le débit de kerma dans l'air,

recommande aux laboratoires de métrologie et au BIPM

i) d'étudier pour ces sources des méthodes appropriées de mesure du kerma dans l'air,

ii) d'étudier des méthodes adéquates (telles que l'utilisation de chambres d'ionisation à puits) pour le transfert des étalonnages aux sources diverses utilisées en curiethérapie, et

iii) d'étudier des méthodes de mesure de la dose absorbée dans l'eau adaptées à de telles sources.

ANNEXE R(I) 1

Documents de travail présentés à la 10^e réunion de la Section I du CCEMRI

Ces documents de travail peuvent être obtenus sur demande adressée au BIPM.

Document
CCEMRI(I)/

- 91-1 BIPM. — Ionometric determination of absorbed dose in water for cobalt-60 gamma rays, draft, by M. Boutillon and A.-M. Perroche, 24 pages.
- 91-2 NPL (Royaume-Uni). — A summary of high energy photon absorbed dose to water comparisons, by B. Owen, 4 pages.
- 91-3 NPL (Royaume-Uni). — NPL absorbed dose to water calibrations for Co-60 and 4 to 19 MV X-rays, by B. Owen, 7 pages.
- 91-4 NPL (Royaume-Uni). — Air kerma rate calibration of small sources of ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra and ¹⁹²Ir, by M. J. Rossiter, T. T. Williams and G. A. Bass, *Phys. Med. Biol.*, 1991, **36**, 279-284.
- 91-5 SSI (Suède). — Uncertainties in calibration at a secondary standard dosimetry laboratory, by J. E. Grindborg, O. Gullberg, L. Lindborg, M. Ljungberg, G. Samuelson and B. Schüberg, *SSI-rapport 91-04*, 1991, 27 pages.
- 91-6 SSI (Suède). — On the calibration of plane-parallel ionisation chambers for electron beam dosimetry, by P. Andreo, L. Natal-Rodrigues, L. Lindborg, T. Kraepelien, *Report RI 1991-01*, 1991, 16 pages.
- 91-7 ARCS (Autriche). — Intercomparisons since last meeting, by K. E. Duftschmid, 1991, 1 page.

Document
CCEMRI(I)/

- 91-8 ARCS (Autriche). — A secondary standard ionization chamber for the direct measurement of ambient dose equivalent $H^*(10)$, by K. E. Duftschmid, J. Hizo, Ch. Strachotinsky, 1991, 10 pages.
- 91-9 BIPM. — **Errata.** Gap correction for the calorimetric measurement of absorbed dose in graphite in a ^{60}Co beam, by M. Boutillon, [*Phys. Med. Biol.*, 1989, **34**, 1809-1821], *Phys. Med. Biol.*, 1991, **36**, 566.
- 91-10 NRC (Canada). — Letter from D. W. O. Rogers to J.-P. Simoën, April 24, 1991, 3 pages.
- 91-11 NRC (Canada). — Implications of new correction factors on primary air kerma standards in ^{60}Co -beams, draft, by A. F. Bielajew and D. W. O. Rogers, 1991, 16 pages.
- 91-12 NRC (Canada). — Uncertainties in graphite to air stopping-power ratios, by D. W. O. Rogers, 1991, 2 pages.
- 91-13 NRC (Canada). — Absorbed dose calorimetry using various aqueous solutions, by N. V. Klassen and C. K. Ross, to be published in *Rad. Phys. Chem.*, 10 pages.
- 91-14 NIST (États-Unis d'Amérique). — Report to the CCEMRI, Programs in radiation interactions and dosimetry at the NIST, by B. M. Coursey, 1991, 7 pages.
- 91-15 NIST (États-Unis d'Amérique). — Calibration of ophthalmic applicators at NIST: A revised approach, by C. G. Soares, 31 pages.
- 91-16 NRC (Canada). — Comparison of absorbed dose to water standards for high energy X-rays, (Preliminary report (not to be quoted) to CCEMRI), by K. R. Shortt and C. K. Ross, 2 pages.
- 91-17 NRC (Canada). — Current status of heat defect research at NRC, by N. V. Klassen and C. K. Ross, 1991, 1 page.
- 91-18 NRC (Canada). — Electron ionization losses due to inadequate plate separation in free air ionization chambers, by L. v.d. Zwan, 1991, 2 pages.
- 91-19 NRC (Canada). — A direct comparison of the NRC Fricke dosimetry system and the NIST sealed water calorimeter for measuring absorbed dose (Preliminary report (not to be quoted) to CCEMRI), by K. R. Shortt and S. R. Domen, 1991, 2 pages.

Document
CCEMRI(I)/

- 91-20 NRC (Canada). — Preliminary results of a comparison of Monte Carlo codes used in standards laboratories (very preliminary draft, not to be quoted), by D. W. O. Rogers, C. Malamut, H. M. Kramer, M. Boutillon, 1991, 11 pages.
- 91-21 NRC (Canada). — Monte Carlo calculated wall correction and absorbed dose conversion factors for Fricke dosimetry using NRC vials, by C. Ma, A. E. Nahum, D. W. O. Rogers and A. F. Bielajew, 1991, 19 pages.
- 91-22 PKNM (Pologne). — Progress report 1988-1991 to CCEMRI, Polish Committee for Standardization and Measures, Ionizing Radiation Laboratory, by Z. Referowski, 3 pages.
- 91-23 NPL (Royaume-Uni). — Intercomparison of low energy free air primary standards, 2 pages.
- 91-24 NPL (Royaume-Uni). — Intercomparison of medium energy free air primary standards, by C. J. Moretti and J. A. Heaton (NPL), R. F. Laitano and M. P. Toni (ENEA), 4 pages.
- 91-25 NIM (République populaire de Chine). — Progress report, 1991, National Institute of Metrology, 2 pages.
- 91-26 ETL (Japon). — Present status of standards for X and γ rays at the Electrotechnical Laboratory, by N. Takata, 2 pages.
- 91-27 ETL (Japon). — The effect of the applied voltage on ionization in a parallel plate ionization chamber, by N. Takata and T. Matsumoto, 6 pages.
- 91-28 ETL (Japon). — Dependence of the value of m on the lifetime of ions in parallel-plate ionization chambers, by N. Takata and Matiullah, *Phys. Med. Biol.*, 1991, **36**, 449-459.
- 91-29 OMH (Hongrie). — Progress report on the dosimetry (1988-1991), by A. Jakab, 3 pages.
- 91-30 SSI (Suède). — Progress report, Swedish Radiation Dosimetry Standards, *SSI-rapport 91-06*, by L. Lindborg, 5 pages.
- 91-31 ARL (Australie). — Outline of some activities at the Australian Radiation Laboratory since CCEMRI(I) meeting held in 1988, 1 page.

Document
CCEMRI(I)/

- 91-32 ARL (Australie). — Preliminary report on an intercomparison of the national exposure standards of New Zealand and Australia, by N. J. Hargrave, P. D. Allen and R. B. Huntley (ARL, Australia) and V. G. Smyth (NRL, New Zealand), 4 pages.
- 91-33 ARL (Australie). — The congruence of the Australian primary standards for absorbed dose and exposure/air kerma, by S. L. Sherlock (ANSTO), N. J. Hargrave (ARL) and R. B. Huntley (ARL), 2 pages.
- 91-34 NMI (Pays-Bas). — Radiation standards, facilities and related topics, 1988-1991. A report to CCEMRI(I), by A. H. L. Aalbers, 5 pages.
- 91-35 PTB (Allemagne). — List of publications 1988-1990, PTB, Braunschweig, Gruppe für Photonen und Elektronendosimetrie, 3 pages.
- 91-36 PTB (Allemagne). — The problem of convection in the water absorbed dose calorimeter (draft), by S. R. Domen, A. Krauss and M. Roos, 9 pages.
- 91-37 PTB (Allemagne). — Determination of the heat defect of water at the PTB - Results, by K. Hohlfeld, H. M. Kramer, H. J. Selbach, 4 pages.
- 91-38 BIPM. — International comparisons performed at the BIPM from May 1988 to May 1991, 7 pages.
-

Section II — Mesure des radionucléides

10^e réunion (mai 1989)

ORDRE DU JOUR
de la 10^e réunion

1. Comparaisons internationales récentes de mesures d'activité.
 2. Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR).
 3. Rapports des groupes de travail.
 4. Travaux du Bureau international des poids et mesures.
 5. Comparaisons internationales futures.
 6. Rapports d'activité des laboratoires.
 7. Questions diverses.
 8. Visite de laboratoires du BIPM.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION II. — Mesure des radionucléides

10^e réunion (mai 1989)

RAPPORT

par D. SMITH, rapporteur

Résumé. La Section II (Mesure des radionucléides) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa dixième réunion en mai 1989. Elle a discuté le projet de rapport sur la comparaison internationale de ¹²⁵I. Les résultats de la comparaison ont été jugés satisfaisants ; l'écart-type de l'activité massique est de 0,2 %. Toutefois, la dispersion des résultats est plus importante que lors des comparaisons précédentes et on a étudié les causes éventuelles de cette différence. Une version abrégée du rapport de la comparaison internationale de ¹⁰⁹Cd sera préparée pour publication. Une comparaison internationale de ⁷⁵Se est envisagée après l'achèvement de la comparaison restreinte qui est prévue pour la fin de 1989. La situation actuelle du Système international de référence (SIR) et sa stabilité avérée sont décrites. Différents projets d'extension du système, en vue d'y inclure des radionucléides gazeux et des émetteurs β , ont été discutés : chambre d'ionisation sensible aux faibles énergies et système à scintillateur liquide. Les deux systèmes seront étudiés soigneusement. Les groupes de travail ont présenté leur rapport d'activité et le BIPM a décrit les travaux du laboratoire de mesure des radionucléides depuis la dernière réunion.

La Section II (Mesure des radionucléides)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI**) a tenu sa dixième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, du 29 au 31 mai 1989.

* Pour la liste des membres, voir page XII.

** Pour la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport, voir page V.

Étaient présents :

J.G.V. TAYLOR, président de la Section II, Atomic Energy of Canada Limited [AECL], Chalk River.

Les délégués des laboratoires membres :

Bureau national de métrologie, Paris : Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants [LMRI], Saclay (B. CHAUVENET).

Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa (D.C. SANTRY).

Institut de métrologie D.I. Mendéléev [VNIIM], Leningrad (N.I. KARMALITSYN).

National Accelerator Centre [NAC], Faure (B.R.S. SIMPSON).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (D.D. HOPPES).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (D. SMITH).

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (Á. SZÖRÉNYI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (K. DEBERTIN).

Membres nominativement désignés :

W. BAMBYNEK, Bureau central de mesures nucléaires d'Euratom [BCMNI], Geel.

J.-J. GOSTELY, Institut d'électrochimie et radiochimie [IER], École polytechnique fédérale, Lausanne.

J.G.V. TAYLOR, Atomic Energy of Canada Limited [AECL], Chalk River.

G. WINKLER, Institut für Radiumforschung und Kernphysik [IRK], Vienne.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM] (T.J. QUINN) (une partie de la réunion).

Assistaient aussi à la réunion : P. GIACOMO, directeur honoraire du BIPM; A. ALLISY, J.W. MÜLLER, G. RATEL, M. BOUTILLON, V.D. HUYNH, P. BRÉONCE et D. MÜLLER (BIPM).

Excusés :

Australian Nuclear Science and Technology Organisation [ANSTO], Menai.

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA], Vienne.

En l'absence du directeur du BIPM, T.J. Quinn, l'ancien directeur, P. Giacomo, ouvre la réunion en souhaitant la bienvenue aux participants. T.J. Quinn accueillera personnellement le groupe le lendemain. On

rappelle que le but principal de la réunion est de discuter les travaux effectués au BIPM et de lui prodiguer avis, encouragements et soutien pour la mise en œuvre de son programme. La réunion est aussi une excellente occasion pour échanger des informations sur les travaux en cours dans les laboratoires des participants.

Le président, J.G.V. Taylor, propose D. Smith comme rapporteur. Il souhaite la bienvenue en particulier à B.R.S. Simpson, délégué par le NAC à la place de B.R. Meyer.

L'ordre du jour est adopté sans modification.

1. Comparaisons internationales récentes de mesures d'activité

a) Comparaison internationale de ^{109}Cd

G. Ratel donne des informations complémentaires sur la comparaison de ^{109}Cd de 1986, au sujet de l'estimation du coefficient de conversion interne α_i de la transition à 88 keV. Le BIPM a été chargé de préparer un projet de version condensée du rapport de la comparaison (*BIPM Rapport BIPM-88/4*), qui sera soumis aux membres de la section pour commentaires, puis publié dans la littérature. Les délégués conviennent qu'il faut être prudent en citant l'incertitude sur α_i qui est fondée sur la distribution des valeurs contenues dans le rapport, car d'autres causes d'incertitude peuvent entrer en ligne de compte.

b) Comparaison internationale de ^{125}I

G. Ratel résume le volumineux rapport (89-2*) sur la comparaison des mesures d'activité de ^{125}I qui a eu lieu en juin 1988. La solution active avait été fournie par le NIST, diluée et mise en ampoules par l'OMH, et expédiée par le LMRI le 19 avril 1988 aux 19 participants. Les contrôles de pureté avaient été faits par le NIST, l'OMH et le LMRI. Huit méthodes différentes de mesure d'activité ont été utilisées ; plusieurs laboratoires en ont utilisé deux, trois ou même quatre. Treize laboratoires ont employé la méthode d'Eldridge et Crowther qui nécessite l'emploi d'un seul détecteur, généralement un détecteur à NaI, et permet de mesurer les intensités des raies correspondant à des événements individuels ou sommés. Onze laboratoires ont choisi la méthode de Taylor qui utilise deux détecteurs à efficacité élevée et enregistre les taux de comptage des coïncidences. Les autres méthodes employées sont l'extrapolation de l'efficacité des coïncidences $4\pi\epsilon\text{-(X, } \gamma\text{)}$, le système

* L'Annexe R(II) 1 donne la liste des documents de travail présentés à la réunion. Ils sont cités dans le texte sous la forme 89-1, 89-2, etc.

$4\pi(\text{CsI})$, l'extrapolation $4\pi(\text{LS})e\text{-X}$ et le comptage par anticoincidence $4\pi(\text{PC})e\text{-photon}$.

La figure 1 donne la répartition des résultats et les méthodes utilisées. La dispersion totale des résultats est de 7,2 % (3,5 % si l'on exclut un laboratoire qui n'est pas représenté sur la figure); la moyenne générale non pondérée est $(1\,429,9 \pm 2,6) \text{ Bq mg}^{-1}$. Les résultats ont été également groupés selon les méthodes de mesure. Trois laboratoires ont mesuré la période pour la comparaison. D'autres déterminations de la période, qui sont en cours, seront publiées.

Le président félicite G. Ratel pour la façon impressionnante dont il a rassemblé les informations disponibles pour établir le projet de rapport. Au cours d'une discussion générale, les participants donnent quelques informations complémentaires sur les mesures effectuées dans leurs laboratoires. J.G.V. Taylor indique que, bien que les résultats de l'AECL soient très précis, leur exactitude est douteuse car les résultats des mesures de concentration de l'activité de la solution non diluée étaient plus élevés d'environ 1,5 % que ceux obtenus par des mesures faites avec deux solutions. Il convient donc de donner beaucoup moins de poids à ces résultats dans le rapport final. La dispersion importante de l'ensemble des résultats (environ 7 %, comparée par exemple à 2,4 % pour le ^{137}Cs) montre que des problèmes indépendants des comptages ont affecté les mesures. Les membres de la section sont instamment priés de rechercher les causes de cette dispersion.

La Section II remercie vivement les laboratoires qui ont participé activement à l'organisation de la comparaison.

Toute remarque complémentaire concernant le rapport de cette comparaison doit être adressée au BIPM le plus rapidement possible, pour permettre la rédaction d'un document définitif qui sera publié comme rapport BIPM.

c) Comparaison restreinte de ^{75}Se

Á. Szörényi indique que la comparaison restreinte de ^{75}Se , prévue entre six laboratoires pour le printemps de 1989, a été retardée parce que la société Amersham-Buchler n'était pas en mesure de fournir la solution de ^{75}Se à la date prévue. Seul l'AECL a terminé ses mesures. Une discussion s'engage sur les problèmes dus à l'existence d'un état isomère dans la décroissance du ^{75}Se , à sa période et aux intensités de conversion interne des transitions de rayons γ consécutives. Les participants sont priés d'utiliser comme date de référence le 15 juin 1989 et d'envoyer leurs résultats au BIPM pour le 31 août 1989. Il convient d'indiquer la période utilisée et les dates des mesures. Les résultats doivent être donnés avec et sans la correction qui tient compte de la présence d'un état isomère dans le ^{75}As , de telle sorte que l'on puisse ajuster les valeurs ultérieurement si l'on dispose d'une meilleure estimation

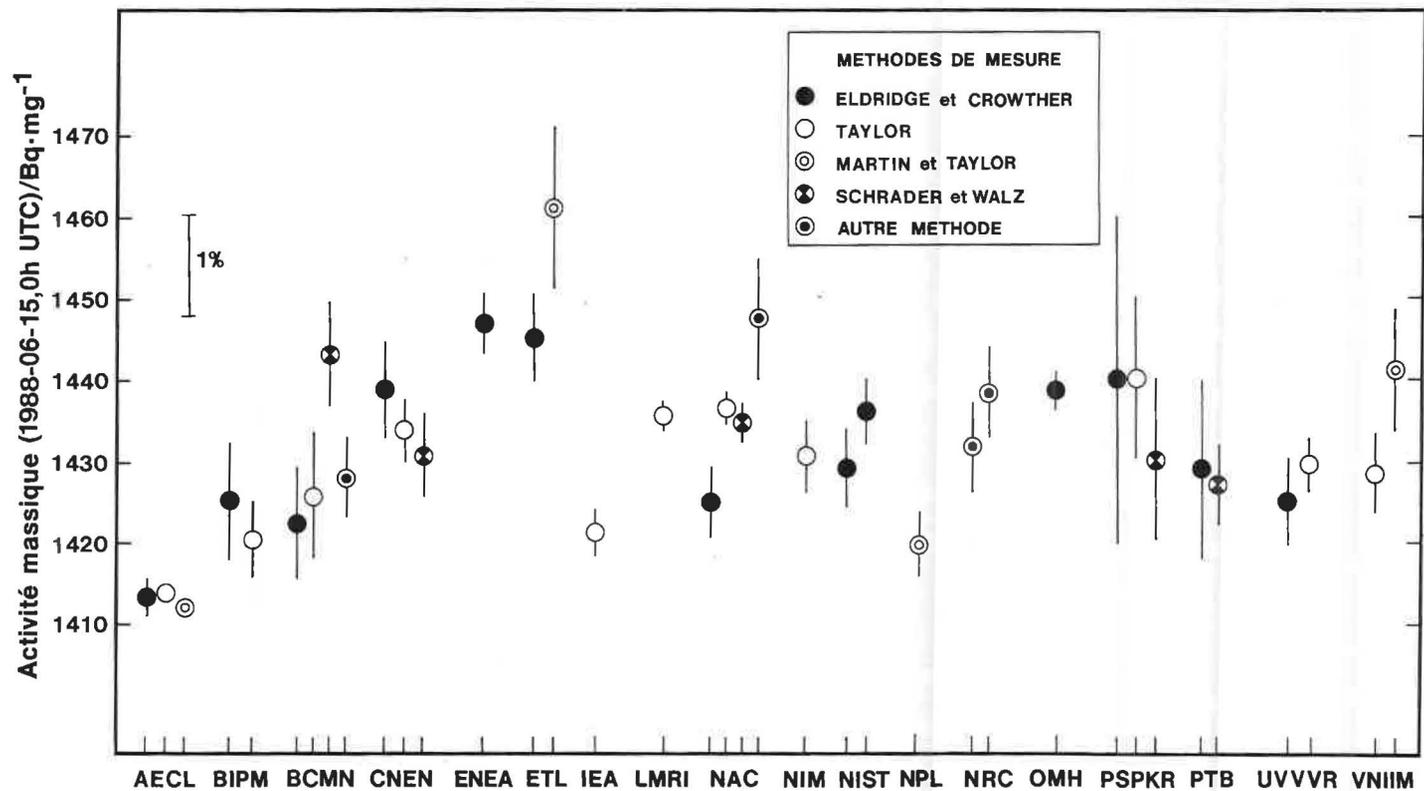


Fig. 1. — Représentation graphique des résultats de la comparaison internationale de ¹²⁵I.

Note. — Des mesures faites ultérieurement à l'AECL avec une solution non diluée indiquent que les résultats de ce laboratoire qui sont représentés ci-dessus pourraient être sous-estimés d'environ 1,5 %.

de la fraction des décroissances qui passent par cet isomère. G. Ratel essaiera de rédiger un rapport sur cette comparaison restreinte en septembre 1989. En raison d'autres obligations, le BCMN fera parvenir ses résultats au BIPM à une date ultérieure.

2. Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR)

G. Ratel signale que le SIR, pendant ses treize ans d'existence, a reçu 516 ampoules de solutions concernant 48 radionucléides en provenance de 25 laboratoires, ce qui donne un total de 373 résultats indépendants. Les tableaux d'enregistrement des résultats montrent aussi combien de résultats ont été retirés par les laboratoires (en moyenne un par an) et de quels radionucléides il s'agit, ce qui indique où il peut y avoir des problèmes. La stabilité des chambres d'ionisation est toujours excellente, avec des variations $\leq 3,5 \times 10^{-4}$ pour les rapports des résultats de mesure des sources de radium de référence prises deux par deux. On est en train de mettre au point un programme d'ordinateur pour analyser l'efficacité de la chambre d'ionisation en fonction de l'énergie des rayons gamma. Ceci permettra d'incorporer directement des données nucléaires mises à jour, comme par exemple les valeurs de P_γ . La courbe de réponse ainsi obtenue sera à la disposition des participants.

3. Rapports des groupes de travail

a) *Extension du système SIR* (Coordonnateur : D. D. Hoppes)

En dépit du succès du SIR, il reste un nombre non négligeable de nucléides que leur rayonnement rend impossibles à mesurer avec ce système et pour lesquels il n'existe pas de possibilité d'étalonnage au BIPM. En janvier 1989, le Groupe de travail pour l'extension du SIR a établi un rapport contenant une longue liste de nucléides à mesurer avec un système SIR étendu et il a suggéré des méthodes pour élargir le système.

— *Émetteurs α* : seul le ^{241}Am est d'un intérêt général et il peut être mesuré avec le système actuel, bien qu'il soit nécessaire de disposer d'une activité relativement élevée.

— *Gaz* : le ^{85}Kr , le ^{133}Xe et quelques autres nucléides peuvent être mesurés avec l'installation actuelle, à condition de disposer d'ampoules appropriées.

— *Émetteurs β* : les émetteurs β d'énergie élevée pourraient être mesurés avec une chambre d'ionisation ayant une bonne réponse aux

énergies faibles. Les émetteurs β de faible énergie pourraient être mesurés par scintillateur liquide ou par des méthodes calorimétriques.

Les participants à la réunion s'accordent sur les points suivants :

i) Les laboratoires intéressés par ces mesures recevront des ampoules de gaz du NIST et enverront au BIPM, dès que possible, des échantillons de ^{85}Kr ou de ^{133}Xe . Pendant ce temps, le NIST continuera à faire des essais sur la reproductibilité des ampoules dont le BIPM pourra recevoir un lot ultérieurement pour le SIR.

ii) Le groupe de travail devra décider, pour le 31 décembre 1989, s'il peut recommander un type de chambre d'ionisation susceptible d'être achetée ou construite par le BIPM (chambre de type PTB, chambre NPL-Vinten, ou toute autre chambre disponible dans le commerce). Les commentaires et suggestions concernant ce sujet devront être adressés au coordonnateur pour le 15 octobre 1989.

iii) La meilleure approche en ce qui concerne le comptage par scintillateur liquide (LS) est que les laboratoires adoptent un procédé bien défini, de façon à pouvoir expédier au BIPM des ampoules d'échantillons scellées et prêtes à être mesurées. Le système LS approprié sera étudié par le groupe de travail et le BIPM. À cette fin, G. Ratel se rendra au NIST en août 1989. Il faut éviter, dans toute la mesure du possible, que le BIPM ait à préparer des échantillons à partir des solutions qui lui seront envoyées. La préparation des échantillons au BIPM demanderait beaucoup de temps, serait onéreuse et pourrait donner lieu à des controverses en cas de désaccord. B. R. S. Simpson décrit une méthode LS prometteuse qui utilise le rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles obtenues avec un système de comptage à trois photomultiplicateurs.

b) *Principes de la méthode des coïncidences* (Coordonnateur : J. W. Müller)

Dix-neuf articles, rapports ou notes ont été envoyés aux membres du groupe de travail sur les principes de la méthode des coïncidences depuis la dernière réunion (89-6). Les principaux sujets traités sont le comptage par coïncidences et les formules de correction, les effets d'un temps mort généralisé et les effets d'empilement. La bibliographie sur les temps morts (*BIPM Rapport BIPM-81/11*) fera l'objet d'une mise à jour. On demande aux membres de la section d'adresser des références sur le sujet au coordonnateur pour le 31 décembre 1989, en particulier celles qui ont été publiées depuis la dernière révision, en 1981.

c) *Les étalons Hönigschmid et leur remplacement éventuel* (Coordonnateur : D. Smith)

D. Smith résume les réponses au questionnaire (87-12) établi par le NPL et le VNIIM et adressé à tous les membres de la section. Le but

était d'obtenir des informations sur la situation des mesures de radium dans les laboratoires nationaux, la localisation des étalons Hönigschmid et l'opportunité de les remplacer par des étalons de radium plus robustes. Seuls le VNIIM et l'UVVVR sont intéressés par de nouveaux étalons : aucun autre laboratoire ne reçoit de demandes importantes pour des mesures de radium. La fragilité des étalons Hönigschmid reste un sujet de préoccupation, bien qu'il existe des indications que les dégâts dus à la pression à l'intérieur du tube de verre et à l'effet du rayonnement sur ses parois soient moins sérieux qu'on ne le pensait. Étant donné le peu d'intérêt manifesté par les laboratoires, on décide de ne pas recommander de modifier la définition de l'activité du radium et de dissoudre le groupe de travail de la Section II. N. I. Karmalitsyn indique que son laboratoire désire continuer à fabriquer de nouveaux étalons de radium qui seront préparés avec de la matière première provenant de quelques étalons Hönigschmid.

d) Mesure de taux de comptage élevés (Coordonnateur : J.-J. Gostely)

Le Groupe de travail sur la mesure des taux de comptage élevés a pour tâche d'étudier les possibilités de mesure des activités atteignant le domaine du mégabecquerel en utilisant les progrès accomplis pendant la décade passée dans l'équipement et les méthodes de calcul. Les réponses à un questionnaire établi par le coordonnateur ont permis de définir des approches éventuelles. Un travail important pourrait être fait par des laboratoires individuels en suivant un radionucléide à période courte (tel que le $^{99}\text{Tc}^m$ ou le ^{24}Na) pendant plusieurs périodes. Il est apparu clairement qu'en cas de distribution de sources, les laboratoires préfèrent des sources solides de ^{60}Co ; le BIPM serait, en principe, disposé à les préparer. Le groupe de travail continuera à affiner ses propositions et adressera le prochain questionnaire ou ses études à tous les membres de la Section II. Aucune date limite n'est fixée pour la mise en oeuvre de ces propositions.

e) Expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité (Coordonnateur : G. Winkler)

G. Winkler a déjà adressé un rapport détaillé à tous les membres de la Section II et, depuis cette date, il n'a reçu aucune information complémentaire. Les contributions éventuelles doivent être envoyées au coordonnateur qui rédigera un rapport final en vue d'une publication dans une revue scientifique dans un délai d'environ un an. Le projet de rapport sera adressé aux membres de la section pour commentaires. Une note indiquera que ce travail a été entrepris à l'initiative de la Section II.

f) *Préparation de sources minces et problèmes chimiques associés*
(Coordonnateur : D. C. Santry)

Une nouvelle recherche bibliographique a été faite en 1987-1988, dans l'espoir de trouver des informations récentes sur la préparation de sources minces. On a constaté que, dans ce domaine, il n'y a pas eu de progrès significatifs récents susceptibles d'applications à la métrologie des radionucléides. Depuis l'article de revue publié par van der Eijk en 1973, la seule méthode nouvelle de préparation de sources minces pour l'étalonnage des radionucléides est l'emploi de supports de résines à échange d'ions décrit par G. C. Löwenthal. Le groupe de travail est officiellement dissous mais on demande à D. C. Santry de continuer à se tenir au courant et d'informer la section de tout développement important dans le domaine de la préparation des sources.

g) *Comptage à gaz interne* (Coordonnateur : D. D. Hoppes)

Aucun travail n'est à signaler en dehors des études effectuées dans le domaine du comptage à gaz, dont le Groupe de travail pour l'extension du SIR a rendu compte.

4. Travaux du Bureau international des poids et mesures

a) *Mesure de la période de l'état métastable dans la décroissance du ^{75}Se*
(J.W. Müller)

Au cours de mesures préliminaires de la période (environ 17 ms) du niveau métastable du ^{75}Se , on a remarqué un effet qui, s'il est négligé, peut conduire à une erreur dans l'estimation de la période. La méthode accumule des intervalles de temps entre les rayonnements gamma

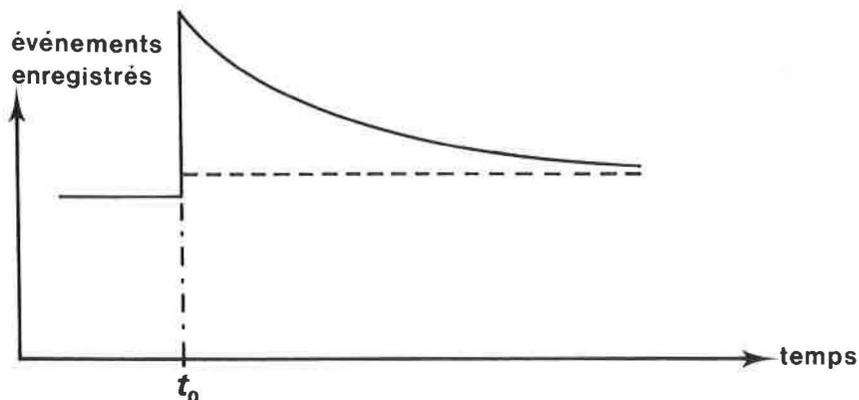


Fig. 2. — Représentation schématique en mode temporel, sur un analyseur multicanal, de la décroissance exponentielle d'un niveau métastable. t_0 est le temps d'arrivée de l'événement de départ.

apparaissant « avant » et « après » le niveau métastable, qui sont visibles sur un analyseur multicanal (MCA) en mode temporel (figure 2) et dont le comportement exponentiel est évident. Toutefois, on a constaté que le taux de comptage du « niveau de bruit de fond » qui précède le pic est nettement inférieur au niveau atteint en suivant la décroissance exponentielle. Ceci peut s'expliquer en considérant qu'un départ aléatoire a une plus grande probabilité de se produire dans un intervalle de temps long, ce qui conduit à une région où la densité de comptage est plus faible. On en déduit que, pour de telles méthodes, le niveau situé à gauche du pic ne doit pas être utilisé pour déterminer la période.

b) Une dérivation élémentaire de la formule de Takács (J. W. Müller)

La formule de Takács donne la correction applicable à une distribution de Poisson en présence d'un temps mort généralisé. La méthode consiste essentiellement à considérer le cas d'un temps mort étendu, ainsi que celui d'un temps mort non étendu, en fonction de la distribution des impulsions à la sortie et d'estimer la probabilité d'extension du temps mort pour un ou plusieurs événements. Dans le cas d'un temps mort généralisé, seule une fraction des impulsions peut contribuer à l'extension d'un temps mort. On peut alors obtenir aisément le taux de comptage à la sortie.

c) Temps mort et décroissance (J. W. Müller)

On a établi la formule de correction pour un temps mort généralisé pour tenir compte de la décroissance et du mouvement propre. Elle est en accord avec les formules précédentes connues pour les cas particuliers de temps morts étendus et non étendus.

d) Arrangements en série de temps morts (J. W. Müller)

Pour les arrangements en série de deux temps morts, on peut exprimer les changements supplémentaires et de nature compliquée, qui sont produits par le premier élément sur le taux de comptage à la sortie, au moyen d'un facteur de transmission. Des expressions exactes, dont certaines sont assez complexes, sont connues pour les quatre combinaisons possibles de deux temps morts de type traditionnel. Un développement en série est souvent plus utile, et on peut alors observer des similitudes frappantes entre les coefficients correspondant aux différents arrangements. Des essais de généralisation des formules pour ces coefficients dans le cas où les deux temps morts sont de type généralisé ont été faits avec succès. Le résultat de ce travail pourrait être une méthode qui permettra de choisir le second temps mort de telle sorte que l'influence du premier sur le taux de comptage de sortie soit complètement éliminée.

e) *Comptage par corrélations modulo 2* (J. W. Müller)

J. W. Müller décrit la méthode de comptage modulo 2, ainsi qu'un circuit électronique conçu par P. Bréonce pour sa réalisation. La méthode permet de déterminer le type et l'importance d'un temps mort pour lequel on ne peut pas utiliser les méthodes traditionnelles. On étudie la possibilité d'étendre la méthode modulo 2 à plus d'un canal de comptage.

5. Comparaisons internationales futures

Á. Szörényi, président du Groupe de travail sur les comparaisons futures de mesures d'activité, rappelle les travaux entrepris récemment, y compris l'organisation de plusieurs comparaisons restreintes ou à grande échelle, et donne un bref aperçu des 28 comparaisons organisées depuis 1961.

a) *Comparaison internationale de ^{75}Se*

Les résultats de la comparaison restreinte de ^{75}Se ne seront pas disponibles avant l'automne 1989 ; avant cette date, on ne pourra donc décider ni de la nécessité d'une nouvelle comparaison restreinte, ni de la date à laquelle une comparaison internationale pourra être envisagée.

b) *Comparaisons futures*

Une discussion s'engage sur les nucléides qui présentent de l'intérêt et sont susceptibles de faire l'objet de comparaisons internationales futures, quand celle du ^{75}Se sera terminée. Les nucléides suivants sont mentionnés : ^{99}Tc , ^{152}Eu , ^{144}Ce , ^{125}Sb , ^{147}Pm , ^7Be , ^{237}Np et ^{210}Pb ; ils sont cités ici par ordre approximatif d'intérêt décroissant. Le groupe de travail fera une étude plus approfondie de trois d'entre eux (^{99}Tc , ^{152}Eu et ^{144}Ce), ce qui n'exclut pas d'autres possibilités. Les membres qui auraient des informations sur des fournisseurs éventuels, ainsi que sur la pureté, la disponibilité, le prix, etc., de ces nucléides sont priés de les communiquer à Á. Szörényi pour le 1^{er} octobre 1989. Une copie de la correspondance doit être adressée au BIPM.

En décembre 1989, le groupe de travail enverra un résumé des différentes options aux membres de la section, ainsi qu'un questionnaire qui aidera à prendre une décision quant aux comparaisons futures susceptibles d'être les plus utiles.

6. Rapports d'activité des laboratoires

Les rapports d'activité de la plupart des laboratoires sont disponibles sur demande adressée au BIPM (89-3, 4, 5, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17). De plus, chaque délégué fait un compte rendu du travail en cours dans son laboratoire, en mettant en évidence les sujets d'intérêt général et en répondant aux questions qui lui sont posées.

7. Questions diverses

a) *Difficultés d'ordre non chimique rencontrées dans les étalonnages de certains radionucléides ; document sur les chambres d'ionisation*

Ce groupe de travail, qui était coordonné par H.-M. Weiss (PTB, à la retraite), avait entrepris un travail important, mais n'a pas rédigé de rapport final. Un tel document, s'il était terminé, serait très utile. K. Debertin et J. G. V. Taylor contacteront H.-M. Weiss pour savoir si ce travail pourra être mené à bonne fin.

b) *Source de contrôle de ^{94}Nb pour chambres d'ionisation*

Étant donné quelques difficultés rencontrées avec les sources de contrôle de radium, à savoir le déséquilibre dû au ^{210}Pb , dont la période est de 22 ans, l'emploi éventuel du ^{94}Nb est suggéré (période de 2×10^4 ans). Le NIST pourrait mettre plusieurs mégabecquerels de ^{94}Nb à la disposition du BIPM.

c) *Publications du BIPM dans le domaine des mesures de radioactivité*

La liste des monographies et des nombreux rapports BIPM qui ont été rédigés au fil des ans devrait être communiquée aux membres de la Section II. Cette bibliographie leur sera adressée en même temps que le projet de rapport de la réunion.

d) *Prochaine réunion*

La prochaine réunion devrait avoir lieu dans deux ans. Pour réduire le nombre des déplacements des membres, il est souhaitable que les dates s'harmonisent avec celles d'autres réunions scientifiques prévues à la même époque. Entre-temps, le président se chargera de transmettre aux membres de la section toutes informations sur les travaux d'intérêt général ou particulier qui seront entrepris.

8. Visite de laboratoires du BIPM

Le directeur du BIPM a fait visiter plusieurs laboratoires en dehors du domaine des rayonnements ionisants. De plus, ceux qui le souhaitent ont pu visiter le laboratoire de mesure de radioactivité et assister à une démonstration de la méthode, discutée pendant la réunion, permettant la détermination de la période d'un état isomère.

Avant de clore la réunion, le président remercie les participants pour leur contribution et particulièrement le personnel du BIPM pour l'organisation de la réunion et pour son hospitalité.

Au nom du BIPM, J. W. Müller remercie le président pour l'efficacité et la compétence avec lesquelles il a dirigé la réunion. Il remercie également tous les membres de la Section II pour leur travail et le soutien qu'ils apportent à la Section des rayonnements ionisants du BIPM.

L'ordre du jour étant épuisé, J. G. V. Taylor déclare close la dixième réunion de la Section II du CCEMRI.

Juin 1989, révisé septembre 1989

ANNEXE R(II) 1

Documents de travail présentés à la 10^e réunion de la Section II du CCEMRI

Ces documents de travail peuvent être obtenus sur demande adressée au BIPM.

Document
CCEMRI(II)/

- 89-1 IER (Suisse). — Counting signals from radioactivity measurement systems, by J.-J. Gostely and P. Lerch, 26 pages.
- 89-2 BIPM. — International comparison of activity measurements of a solution of ¹²⁵I (May 1988), draft, by G. Ratel, 85 pages.
- 89-3 BCMN. — Progress report 1987-1989 on radionuclide metrology at the CEC-JRC, Central Bureau for Nuclear Measurements, Geel, by W. Bambynek, 10 pages.
- 89-4 IER (Suisse). — Progress report 1987-1989 on radionuclide metrology, by J.-J. Gostely, 2 pages.
- 89-5 PTB (République fédérale d'Allemagne). — Review of recent work and projects in the laboratories of attendees (July 1987 to May 1989), 5 pages.
- 89-6 BIPM. — List of Reports distributed within the Working Party "Principles of the Coincidence Method", by J. W. Müller, 2 pages.
- 89-7 AECL (Canada). — Progress report to members and observers of CCEMRI(II), Interim reports for 1987-1989, by J. G. V. Taylor, 4 pages.
- 89-8 AECL (Canada). — Radionuclide Metrology at AECL, Chalk River, 1987-89, 2 pages.
- 89-9 IRK (Autriche). — Summary of the research program for the years 1988 and 1989 at the "Institut für Radiumforschung und Kernphysik" (IRK) of the University of Vienna, Austria, by G. Winkler, 4 pages.

Document
CCEMRI(II)/

- 89-10 IER (Suisse). — Progress report 1987-1989 on a future comparison of activity measurements using counting methods at high count rate, by J.-J. Gostely.
- 89-11 NPL (Royaume-Uni). — Topics from NPL programmes, prepared for Section II, 1989, by D. Smith, 3 pages.
- 89-12 NPL (Royaume-Uni). — The Hönigschmid Standards, by D. Smith, 5 pages.
- 89-13 OMH (Hongrie). — Progress report on radionuclide metrology (1987-88), National Office of Measures (OMH), by Á. Szörényi, 3 pages.
- 89-14 VNIIM (URSS). — Report to CCEMRI (Section II) on the work done at VNIIM in the field of radionuclide metrology in 1987-1988, by M.F. Yudin *et al.*, 2 pages.
- 89-15 NAC (Afrique du Sud). — Activities at the NAC standardization laboratory during 1987-1989, by B. R. S. Simpson, National Accelerator Centre, Faure, Republic of South Africa, 2 pages.
- 89-16 NRC (Canada). — Radionuclide Metrology Progress Report, by D. C. Santry, 2 pages.
- 89-17 NIM (République populaire de Chine). — Progress Report 1987-1989 on Radionuclide Metrology at NIM, People's Rep. of China, 1 page.
-

Section II — Mesure des radionucléides

11^e réunion (mai 1991)

ORDRE DU JOUR
de la 11^e réunion

1. Résultats de comparaisons récentes de mesures d'activité.
 2. Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR).
 3. Rapports des groupes de travail.
 4. Travaux du Bureau international des poids et mesures.
 5. Comparaisons internationales futures.
 6. Rapports d'activité des laboratoires.
 7. Questions diverses.
 8. Visite de laboratoires du BIPM.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION II. — **Mesure des radionucléides**

11^e réunion (mai 1991)

RAPPORT

par D. D. HOPPES, rapporteur

Résumé. La 11^e réunion de la Section II (Mesure des radionucléides) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants s'est tenue en mai 1991, en parallèle avec les réunions des autres sections. Des mesures ultérieures ont permis de déceler l'origine d'une différence importante apparue dans la comparaison préliminaire de ⁷⁵Se et une comparaison à grande échelle des mesures d'activité de ce radionucléide est prévue au début de 1992. Des projets d'articles résumant les trois comparaisons précédentes ont été préparés et seront soumis pour publication avant la fin de l'année. Des contrôles de mesure d'émetteurs de particules bêta purs sont en cours au sein du Groupe de travail pour l'extension du SIR. Une méthode de « temps mort double », équivalente au comptage par coïncidences, a été discutée dans un autre groupe de travail, ainsi que l'effet d'empilement, étudié par simulation ou par une étude théorique. On a présenté une méthode, mise au point au BIPM, qui permet d'éviter les corrections dues aux coïncidences fortuites dans les mesures par coïncidences, ainsi qu'une méthode de haute précision, par modulo 2, pour la mesure d'intervalles de temps de l'ordre d'une microseconde. La comparaison internationale de ²⁰⁴Tl, qui suivra celle du ⁷⁵Se, donnera un repère pour les mesures qui seront faites dans le cadre du système SIR étendu.

La Section II (Mesure des radionucléides)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI**) a tenu sa onzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 21, 22 et 23 mai 1991.

* Pour la liste des membres, voir page XII.

** Pour la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport, voir page V.

Étaient présents :

J. G. V. TAYLOR, président de la Section II, AECL Research [AECL],
Chalk River.

Les délégués des laboratoires membres :

Australian Nuclear Science and Technology Organisation [ANSTO],
Menai (S. BUCKMAN).

Bureau national de métrologie, Paris: Laboratoire primaire des
rayonnements ionisants [LPRI], Saclay (B. CHAUVENET).

Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa
(D.C. SANTRY).

National Accelerator Centre [NAC], Faure (B. R. S. SIMPSON).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithers-
burg (D. D. HOPPES).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (D. SMITH).

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (Á. SZÖRÉNYI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(K. DEBERTIN).

Membres nominativement désignés :

W. BAMBYNEK, Bureau central de mesures nucléaires [BCMNI],
Geel.

J.-J. GOSTELY, Institut d'électrochimie et radiochimie [IER], École
polytechnique fédérale, Lausanne.

J. G. V. TAYLOR, AECL Research [AECL], Chalk River.

G. WINKLER, Institut für Radiumforschung und Kernphysik [IRK],
Vienne.

Invité :

D. REHER, Bureau central de mesures nucléaires [BCMNI], Geel.

Ont assisté au moins à une partie de la réunion : T. J. QUINN,
directeur du BIPM ; O. SALA, membre du CIPM, président du
CCEMRI ; A. ALLISY, G. DIETZE, A. M. KELLERER (membres du
CCEMRI) ; J. W. MÜLLER, G. RATEL, P. BRÉONCE et D. MÜLLER
(BIPM).

Excusés :

Institut de métrologie D.I. Mendéléev [VNIIM], Leningrad
(V. I. FOMINYCH).

Institut national de métrologie [NIM], Beijing (XU Mian).

Absent :

Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA], Vienne.

Le directeur du BIPM ouvre la réunion. Il souhaite la bienvenue aux membres des trois sections du CCEMRI et leur rappelle le but de ces réunions avant qu'ils ne gagnent leurs salles respectives.

Le président de la Section II nomme D. D. Hoppes rapporteur et souhaite la bienvenue à S. Buckman, le nouveau délégué de l'ANSTO, et à D. Reher, invité. Le projet d'ordre du jour est adopté avec de légères modifications.

1. Résultats de comparaisons récentes de mesures d'activité

a) Comparaison restreinte de ^{75}Se

G. Ratel résume et complète le rapport (91-1)* sur la comparaison restreinte de mesures d'activité de ^{75}Se à laquelle cinq laboratoires ont participé (AECL, BIPM, LPRI, OMH et PTB). La faible valeur obtenue tout d'abord par le BIPM en extrapolant en fonction de la pression à l'intérieur du compteur proportionnel n'a pas été confirmée en faisant varier l'efficacité de détection par discrimination en énergie. Dans ce dernier cas, l'ajustement linéaire des points expérimentaux est excellent. Il semble que l'extrapolation obtenue en faisant varier la pression ne soit pas une méthode à recommander pour ce radionucléide.

Bien que la correction pour l'état métastable de 17 ms ait été faite de différentes façons, y compris par une mesure des émissions retardées à l'OMH et à la PTB, l'accord entre les résultats finaux est satisfaisant (figure 1).

Alors que les cinq résultats fondés sur des mesures de coïncidences $4\pi(e,X)\text{-}\gamma$ (ou équivalentes) nécessitent une correction spéciale dépassant 5 %, celle-ci n'est pas nécessaire pour des mesures $4\pi\gamma$ où l'efficacité calculée tient compte des désintégrations par l'état isomère et est presque indépendante du rapport des embranchements. Toutefois, il faut supposer que la capture électronique directe (interdite au second ordre) conduisant à l'état fondamental du ^{75}As est négligeable. Cette hypothèse est confirmée par les résultats de la comparaison. On peut maintenant organiser une comparaison internationale de mesures d'activité de ^{75}Se .

* L'Annexe R(II) 1 donne la liste des documents de travail présentés à la réunion. Ils sont cités dans le texte sous la forme 91-1, 91-2, etc.

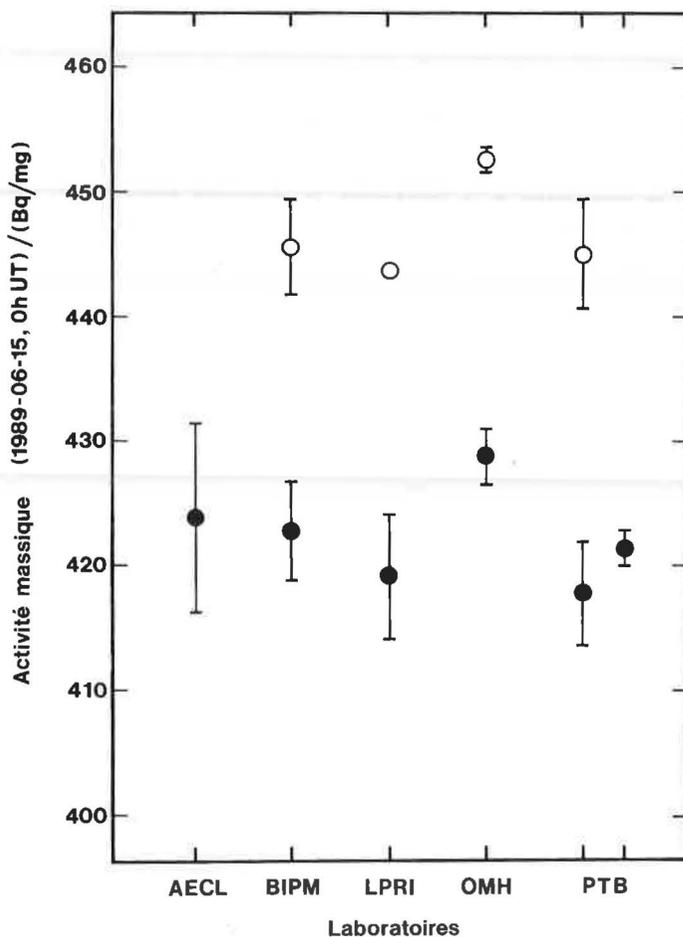


Fig. 1. — Résultats de la comparaison restreinte de ^{75}Se obtenus avant (○) et après (●) correction pour événements retardés.

b) Publication des rapports de comparaisons précédentes

Des projets de versions abrégées des rapports des comparaisons de ^{109}Cd et de ^{133}Ba ont été adressés aux membres, pour commentaires avant la fin de juin 1991. Un projet de la version abrégée du rapport du ^{125}I sera expédié avant la fin de juillet, pour commentaires avant fin octobre 1991. Après étude de tous les commentaires, ces articles seront rapidement soumis pour publication, car les informations sur l'accord entre les étalons nationaux et sur le soin apporté à leur réalisation devraient être largement diffusées.

2. Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR)

G. Ratel indique que jusqu'à présent 403 résultats indépendants, pour 50 radionucléides fournis par 25 participants, ont été obtenus avec les chambres d'ionisation du BIPM. Les informations sur l'importance de ce système, qui fournit la base du raccordement des mesures de radionucléides entre les pays, devraient être plus largement diffusées. Le système SIR représente un moyen stable et fiable pour conserver de tels étalons, tout en demandant peu de travail et d'entretien. Un effort particulier devrait être fait pour y inclure tous les nouveaux radionucléides au fur et à mesure qu'ils sont étalonnés dans différents pays. Il est même possible de mesurer des radionucléides dont la période est inférieure à un jour si leur expédition est annoncée au BIPM un mois à l'avance.

3. Rapports des groupes de travail

a) *Extension du système SIR* (Coordonnateur : D. D. Hoppes)

Pour que le système SIR soit vraiment complet, il faut y inclure deux autres types de radionucléides : les gaz nobles émetteurs de rayons gamma et les radionucléides dont les photons ne sont pas suffisamment énergétiques ou nombreux pour permettre des mesures fiables avec la chambre d'ionisation actuelle. Le type d'ampoule utilisé par le NIST pour les gaz devrait convenir pour les rayonnements gamma dont l'énergie est supérieure à 200 keV, mais son emploi dans le cadre du système SIR est douteux pour des énergies inférieures. Une ampoule contenant une faible activité de ^{85}Kr a été utilisée pour contrôler la réponse à 514 keV.

Des essais sont en cours concernant l'emploi du comptage par scintillateur liquide pour la plupart des autres radionucléides qui ne font pas partie du système SIR actuel. Deux méthodes de correction sont proposées pour tenir compte des changements intervenant au cours du temps et des variations de la réponse des échantillons préparés dans différents laboratoires. La première méthode consiste à calculer les rapports des coïncidences pour deux et trois photomultiplicateurs qui mesurent en coïncidence la même solution de scintillateur dont l'activité est connue. La seconde consiste, avec un appareil commercial, à utiliser le spectre d'une source extérieure de rayonnement gamma pour déterminer les différences d'intensité lumineuse. Dans ce cas, la relation entre l'efficacité de comptage et la réponse produite par le rayonnement gamma peut être établie expérimentalement pour chaque radionucléide.

On peut aussi calculer cette relation à partir du modèle employé dans le premier cas, mais en utilisant un radionucléide dont l'activité est connue pour déterminer le paramètre inconnu.

Le BIPM a fait l'acquisition d'un appareil commercial ; il a été utilisé pour contrôler un échantillon de ^{204}Tl et étudier les petites différences que l'on a remarquées entre différents types d'ampoules, de scintillateurs et de remplissages. Une étude plus complète des nouveaux scintillateurs disponibles dans le commerce a été faite au NIST. Celui-ci fait circuler actuellement entre plusieurs laboratoires (PTB, BIPM, CIEMAT, IEA et NAC) des ampoules scellées de ^3H , ^{14}C et ^{99}Tc sous forme de composés organiques dans le scintillateur commercial le plus prometteur pour établir un lien entre ces étalons et ceux qui seront mesurés par le système SIR étendu.

Un rapport (91-2) écrit par G. Ratel sur sa visite au NIST indique les étapes proposées. Un autre rapport (91-3) du NIST montre la compensation des différences d'efficacité qu'on peut obtenir avec les méthodes simples utilisées dans les mesures de routine du ^3H . D'autres détails sur les contrôles de stabilité seront fournis par J. M. Calhoun (NIST) à la réunion de l'ICRM à Madrid.

b) Principes de la méthode des coïncidences (Coordonnateur : J. W. Müller)

Les six documents envoyés, sous forme de projets ou de rapports, aux membres du Groupe de travail sur les principes de la méthode des coïncidences (91-15), montrent que le terme « coïncidence » doit être pris dans un sens plus large que celui qui est associé à l'emploi d'un circuit de coïncidences. En effet, l'un des documents étudie les méthodes de corrélation et un autre introduit une nouvelle variante appelée « méthode de deux temps morts », dans laquelle les impulsions en provenance d'un circuit mélangeur sont enregistrées, qu'elles se produisent à la fois dans les voies d'électrons et de rayons gamma ou dans une seule voie. D'autres documents étudient les temps morts généralisés, la propagation de parités ou les conséquences dues aux empilements d'impulsions.

La discussion porte sur les difficultés rencontrées dans la recherche par ordinateur des articles à ajouter à la bibliographie sur les temps morts. Quelques membres du groupe feront une dernière tentative, puis la bibliographie sera remise à jour.

c) Mesure de taux de comptage élevés (Coordonnateur : J.-J. Gostely)

J.-J. Gostely présente des données qui montrent comment, par une correction simple, on peut réduire les erreurs dues à l'empilement d'impulsions, effet qui enlève des impulsions dans un domaine d'énergie déterminé.

Les opinions recueillies au cours d'une enquête sur une éventuelle comparaison de mesures de taux de comptage élevés sont très diverses (91-6). Parmi les possibilités envisagées, on peut citer la distribution d'un ensemble de sources d'activités sélectionnées, la préparation d'un tel ensemble dans chaque laboratoire, l'étude de la décroissance d'un radionucléide à période courte ou simplement un rapport sur les techniques utilisées dans chaque laboratoire afin de justifier la méthode employée pour corriger le taux de comptage observé. Cette dernière proposition a été retenue. Les informations sont à transmettre au coordonnateur avant janvier 1992 et un rapport sera préparé par J.-J. Gostely ou G. Ratel pour la fin de l'année 1992.

d) Comparaisons futures de mesures d'activité (Coordonnateur : Á. Szörényi)

Il ressort d'un questionnaire envoyé aux laboratoires en mars 1991 que le ^{152}Eu est le radionucléide le plus souvent mentionné pour la comparaison qui suivra celle du ^{75}Se . Le document 91-18 montre qu'il existe quelque 16 autres radionucléides présentant des intérêts divers. La discussion porte sur l'importance d'un radionucléide en fonction de ses applications (^{192}Ir , ^{152}Eu) ou comme base pour l'extension du système SIR aux émetteurs de rayons bêta purs (^{63}Ni , ^{90}Sr). Finalement, on choisit le ^{204}Tl , radionucléide émettant des particules bêta d'énergie moyenne.

e) Expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité (Coordonnateur : G. Winkler)

Un rapport, qui sera bientôt terminé, contiendra des informations détaillées sur l'emploi des systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée pour les mesures d'activité du ^{24}Na et du ^{75}Se . Le domaine des travaux futurs sera élargi pour y inclure le système complexe CsI du BCMN, qui permet de mesurer les électrons et les rayons gamma jusqu'à 200 keV avec une efficacité élevée. Toute information complémentaire doit être adressée au coordonnateur avant la fin de 1991 ; le rapport sera ensuite soumis à une revue pour publication.

f) Monographie sur les chambres d'ionisation

H. Schrader, de la PTB, a préparé un projet détaillé de monographie sur les chambres d'ionisation et assemblé une bibliographie de plus de 250 publications. Il est prévu d'adresser un projet aux membres de la section d'ici un an et de préparer la version finale pour la prochaine réunion de la Section II.

g) Autres groupes de travail

Le Groupe de travail sur la préparation de sources minces (Coordonnateur : D. C. Santry) n'a pas trouvé d'autre référence nouvelle que celle qui a été signalée par le LPRI sur les microsphères en résine et les films organiques conducteurs. La rédaction d'un rapport ne semble pas opportune.

Le Groupe de travail sur le comptage à gaz interne (Coordonnateur : D. D. Hoppes) signale la comparaison EUROMET de mesures de tritium gazeux qui est en cours et à laquelle participe le NIST. Il semble que, parmi les laboratoires intéressés, beaucoup se soient engagés dans ce qui est sans doute la mesure la plus difficile et qu'il ne faille donc pas prévoir d'autres mesures avant de connaître le résultat de ce travail.

4. Travaux du Bureau international des poids et mesures

a) Mesure de taux de coïncidences sans utiliser de formule de correction pour les coïncidences fortuites (J. W. Müller)

Les comptages dans les voies bêta et gamma peuvent, en principe, être subdivisés en deux classes, selon que les impulsions ont un partenaire dans la voie opposée provenant de la même décroissance ou qu'elles sont « seules ». Si, pour un intervalle de temps donné t , nous considérons la somme S des événements bêta et gamma, celle-ci est de la forme $S = b + g + 2c$, où c est le nombre d'événements pairs (coïncidences), tandis que b et g représentent le nombre d'événements sans partenaire. Ceci montre que la parité de S (paire ou impaire) est indépendante de c . Une mesure expérimentale de cette parité donnera donc $b + g$, d'où l'on peut déduire le taux de comptage des coïncidences vraies, $C = c/t$, en partant du nombre total d'événements comptés.

Cette nouvelle approche a été contrôlée au moyen de circuits électroniques construits et décrits par P. Bréonce. Pour une mesure significative de la parité, chaque intervalle sélectionné doit contenir, en moyenne, moins d'une impulsion. Ceci demande une mesure exacte d'intervalles de temps dans le domaine de la microseconde et l'accumulation d'un grand nombre d'intervalles de temps. Au cours d'un essai, la méthode a donné, à 0,01 % près, la même activité que celle qui est calculée en utilisant la formule habituelle de Cox-Isham pour la correction des coïncidences fortuites. Bien que, pour le même temps de comptage total, les incertitudes soient plus grandes qu'avec la méthode traditionnelle, l'exactitude est encore plus que suffisante.

b) *Mesure exacte d'intervalles de temps courts* (J. W. Müller)

La meilleure façon de mesurer les intervalles de temps mentionnés ci-dessus est d'utiliser une méthode de parité et, de préférence, d'observer la parité dans un intervalle où l'arrivée de plus d'une impulsion est exclue. Dans notre cas, le temps était mesuré avec une incertitude meilleure que 3×10^{-5} . Si l'on remplace les impulsions aléatoires par celles d'un oscillateur, cette incertitude se réduit à 1×10^{-6} .

c) *Mesure de la période du niveau de 304 keV du ^{75}As* (J.W. Müller)

Un analyseur multicanal en mode multiéchelle a été utilisé pour mesurer la période d'un état apparaissant dans la décroissance du ^{75}Se . Le résultat, obtenu après un temps de comptage d'environ quatre mois, est $T_{1/2} = (16,75 \pm 0,05)$ ms. Le taux optimal de comptage était d'environ 1 s^{-1} . On a ajusté une fonction exponentielle du temps aux données obtenues, mais en omettant la partie « plate » précédant le point de retard zéro. En effet, cette région a été reconnue comme systématiquement « basse », en raison du choix préférentiel d'intervalles longs lors d'un départ « aléatoire » dans un processus de Poisson.

d) *Points d'intersection de distributions de Poisson pures et déformées*
(J. W. Müller)

Les effets de temps morts réduisent la dispersion relative des distributions expérimentales de comptage, comparées aux distributions de Poisson originelles. Les points d'intersection de la distribution déformée et de la distribution de Poisson (pour la même valeur moyenne) sont donnés par une relation simple qui ne dépend que de la valeur moyenne expérimentale. On a montré que ceci est valable, par exemple, pour les comptages de scintillation, effectués jadis à l'oeil nu par Geiger, qui impliquent un « temps mort » de l'œil de l'observateur de 0,05 s. Plus récemment, des mesures hongroises de taux de comptage élevés ont fait apparaître le même effet.

e) *Autres activités du BIPM* (G. Ratel)

Les progrès accomplis dans le domaine du comptage par scintillation liquide et dans l'interprétation du comptage par coïncidences du ^{75}Se sont décrits plus haut et montrent que le groupe de mesures de radioactivité du BIPM a élargi la gamme des radionucléides qui peuvent être mesurés. Ces nouvelles possibilités complètent utilement le Système international de référence et s'ajoutent aux explorations nouvelles dans le domaine des techniques de comptage.

5. Comparaisons internationales futures

a) *Comparaison internationale de mesures d'activité de ^{75}Se*

Étant donné que l'écart obtenu dans la comparaison préliminaire de ^{75}Se a été expliqué et éliminé, on peut maintenant prévoir une comparaison internationale. G. Ratel se renseignera sur les possibilités de se procurer de la substance radioactive fraîche et de préparer les ampoules. Le LPRI se chargera de la distribution ; le NIST et la PTB feront les contrôles de pureté. Un questionnaire sera adressé aux participants éventuels en juin 1991, dans la perspective que la comparaison aura lieu dans un délai d'un an.

b) *Comparaison suivante*

Bien que les laboratoires ayant répondu au questionnaire du Groupe de travail sur les comparaisons futures de mesures d'activité aient clairement choisi le ^{152}Eu , les progrès réalisés pour étendre le système SIR font penser qu'on devrait essayer de mesurer directement un radionucléide entrant dans le cadre de ce programme, afin d'effectuer un contrôle préliminaire du système. Le ^{63}Ni et le ^{90}Sr sont proposés, mais le choix se porte finalement sur le ^{204}Tl qui est d'un intérêt général et dont la mesure n'est pas trop difficile. Une comparaison restreinte sera envisagée une fois la comparaison internationale de ^{75}Se terminée. Sept laboratoires sont intéressés à y participer.

6. Rapports d'activité des laboratoires

Chaque délégué fait un rapport oral sur les travaux en cours dans son laboratoire et sur les effectifs dont il dispose (qui varient de 2 à 25 personnes). Des rapports d'activité écrits (91-4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 21, 22) ont été envoyés au BIPM par tous les laboratoires, y compris par les deux qui n'ont pas pu envoyer de représentant à la réunion. La section pense que ce point de l'ordre du jour est très important car il favorise une compréhension mutuelle entre les scientifiques et aide à discerner les possibilités des divers laboratoires.

7. Questions diverses

a) Sources de ^{94}Nb pour chambres d'ionisation et spectromètres

Les chimistes de l'AECL Research ont enlevé une impureté de ^{60}Co dans un lot d'environ 200 MBq de ^{94}Nb en provenance du NIST, lors de la préparation du niobium destiné à faire des sources ayant une période longue (2×10^4 ans) et servant de références stables, par exemple pour des chambres d'ionisation. Il est prévu de préparer une vingtaine d'échantillons d'environ 7,5 MBq chacun, sous forme d'oxyde enfermé dans une capsule métallique étanche qui est placée dans une enveloppe en plastique en forme d'ampoule. Le coût est estimé à environ US \$ 1000 ; les ampoules seront fournies par l'AECL ou le NIST. On prévoit également de préparer, pour la spectrométrie du rayonnement gamma, des sources de référence qui pourraient aussi servir pour des étalonnages à condition que leur activité soit connue exactement. Malheureusement, la présence d'une quantité importante de $^{93}\text{Nb}^m$ pourrait être gênante pour certaines mesures d'activité.

b) Approvisionnement en radionucléides servant de sources étalons

K. Debertain propose de chercher un fournisseur fiable de radionucléides actuellement difficiles à trouver et destinés à servir de sources étalons. Le ^{139}Ce en est l'exemple le plus caractéristique. Il pense que l'élaboration d'un plan d'achats groupés, effectués à intervalles réguliers, pourrait inciter un producteur à fournir les matériaux souhaités. On suggère de poser la question à la réunion de l'ICRM, car d'autres laboratoires pourraient s'y intéresser.

c) Départ à la retraite de membres de la Section

Le président indique que W. Bambynek, qui a participé à de nombreuses réunions de la Section II, va se retirer après cette réunion. Il lui exprime la reconnaissance de la section et souligne la contribution du BCMN à la métrologie de la radioactivité.

J. W. Müller passe en revue la longue et fructueuse association du président, J. G. V. Taylor, avec la Section II, depuis la première réunion en 1970. Il indique que la réunion en cours est la dernière pour le président qui, par ses innovations et son esprit de discernement, a contribué de façon efficace au succès des réunions. En réponse aux applaudissements, le président remercie les membres de la section, et en particulier le personnel du BIPM, pour leur collaboration et leur soutien.

d) Désignation du nouveau président

D. D. Hoppes, du NIST, est proposé comme nouveau président et est accepté par la section.

e) Prochaine réunion

On pense que la prochaine réunion aura lieu en 1993, à une date qui sera choisie en fonction d'autres réunions européennes sur la métrologie des radionucléides. Les progrès réalisés entre-temps seront portés à la connaissance des membres de la Section.

8. Visite de laboratoires du BIPM

Les membres de la Section sont invités à regarder les circuits électroniques ingénieux construits par le groupe de mesure des radionucléides, le nouveau système de scintillation liquide, le système SIR originel, ainsi que des expériences en cours. Ils ont également pu visiter des laboratoires du BIPM en dehors des rayonnements ionisants.

Avant de clore la réunion, le président remercie les participants pour leur contribution et le personnel du BIPM pour son hospitalité.

Juin 1991, révisé septembre 1991

ANNEXE R(II) 1

Documents de travail présentés à la 11^e réunion de la Section II du CCEMRI

Ces documents de travail peuvent être obtenus sur demande adressée au BIPM.

Document
CCEMRI(II)/

- 91-1 BIPM. — Trial comparison of activity measurements of a solution of ^{75}Se , by G. Ratel, *BIPM Rapport BIPM-90/8*, November 1990, 28 pages.
- 91-2 BIPM. — Report on a stay at the National Institute of Standards and Technology (NIST) in August 1989, by G. Ratel, 6 pages.
- 91-3 NIST (États-Unis d'Amérique). — Extension of the SIR, 7 pages.
- 91-4 NIST (États-Unis d'Amérique). — FY 1991 Activities — NIST Radioactivity Group, 8 pages.
- 91-5 IER (Suisse). — Progress report 1989-1991 on radionuclide metrology, 2 pages.
- 91-6 IER (Suisse). — Progress report 1990-1991 on a future intercomparison of activity measurements using counting methods at high count rate, by J.-J. Gostely, 2 pages.
- 91-7 BCMN. — Progress Report 1989-1991 on Radionuclide Metrology at the CEC-JRC Central Bureau for Nuclear Measurements CBNM, by W. Bambynek, 1991, 8 pages.
- 91-8 NPL (Royaume-Uni). — Topics from NPL programmes, prepared for Section II, by D. Smith, 1991, 2 pages.
- 91-9 IRK (Autriche). — Summary of the research programme related to nuclide metrology for the years 1990 and 1991 at the "Institut für Radiumforschung und Kernphysik" (IRK) of the University of Vienna, Austria, by G. Winkler, 4 pages.

Document
CCEMRI(II)/

- 91-10 NAC (Afrique du Sud). — Contribution to CCEMRI(II) on the activities at the NAC standardization laboratory during 1989-1991, 2 pages.
- 91-11 LPRI (France). — Radioactivity metrology programme LPRI in 1990. LPRI tentative programme 1991, 6 pages.
- 91-12 PTB (Allemagne). — Review of recent work and projects (June 1989 to April 1991), 5 pages.
- 91-13 ANSTO (Australie). — Progress report, 1 page.
- 91-14 VNIIM (URSS). — Report to Section II CCEMRI on the work done at VNIIM (Leningrad) in the field of radionuclide metrology in 1989/90, by M. F. Yudin, A. E. Kotchin, T. E. Sazonova, E. A. Frolov, E. A. Kholnova, I. I. Karmalitsin, 2 pages.
- 91-15 BIPM. — List of Reports distributed within the Working Party "Principles of the Coincidence Method", by J. W. Müller, 1 page.
- 91-16 BIPM. — Activity concentration of a solution of ^{133}Ba . Results of an international comparison, draft, by G. Ratel, 1991, 18 pages.
- 91-17 BIPM. — International comparison of activity measurements of a solution of ^{109}Cd , draft, by G. Ratel, 1991, 19 pages.
- 91-18 OMH (Hongrie). — Summary of the proposals of laboratories for a future activity intercomparison, by Á. Szörényi, 1991, 5 pages.
- 91-19 OMH (Hongrie). — Progress Report on Radionuclide Metrology (1989-91), by Á. Szörényi, 4 pages.
- 91-20 NRC (Canada). — Radionuclide Metrology Progress Report 1989-1991, by D. Santry, 1 page.
- 91-21 AECL (Canada). — Radionuclide Metrology at the CRL, AECL Research, 1989-91, by R. H. Martin, 2 pages.
- 91-22 NIM (République populaire de Chine). — Progress Report, 1991, 1 page.
- 91-23 BIPM. — Generalized dead times, by J. W. Müller, *Nucl. Instr. and Methods*, 1991, **A301**, 543-551.
-

Section III — Mesures neutroniques

9^e réunion (mai 1991)

ORDRE DU JOUR
de la 9^e réunion

1. Rapport sur les travaux du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques.
 2. Comparaison internationale de mesures du taux d'émission d'une source de neutrons de ²⁵²Cf.
 3. Comparaisons internationales de mesures de débit de fluence de neutrons.
 4. Comparaison internationale de dosimétrie neutronique.
 5. Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence disponibles en permanence et à long terme.
 6. Activités futures de la Section III.
 7. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires représentés à la réunion.
 8. Visite de laboratoires du BIPM.
 9. Questions diverses.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION III. — Mesures neutroniques

9^e réunion (mai 1991)

RAPPORT

par E. J. AXTON et R. JAHR, rapporteurs

Résumé. La Section III (Mesures neutroniques) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa neuvième réunion en mai 1991. On y a présenté les travaux récents effectués au BIPM dans le domaine des mesures neutroniques. Les résultats de plusieurs comparaisons ont été discutés : mesure du taux d'émission d'une source de neutrons de ^{252}Cf , mesure du débit de fluence de neutrons utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$, résultats préliminaires d'une comparaison de mesure de débit de fluence utilisant deux sphères de Bonner. L'organisation d'une nouvelle comparaison de mesure de débit de fluence à 25 keV a été décidée ; on a discuté un projet de comparaison de mesures de fluence spectrale de neutrons et, éventuellement, de fluence de neutrons thermiques. Des mesures additionnelles destinées à compléter les travaux de la comparaison de dosimétrie neutronique du BIPM ont été présentées et les résultats obtenus seront publiés. Le Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence a exposé ses travaux et fait des recommandations sur les références de transfert à conserver au BIPM. L'activité future de la Section III, y compris le personnel du BIPM, a fait l'objet de discussions. Enfin, la réunion s'est terminée par un échange d'informations sur les travaux en cours dans les différents laboratoires représentés.

La Section III (Mesures neutroniques)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI**) a tenu sa neuvième réunion au Pavillon de Breteuil, Sèvres, les 21, 22 et 23 mai 1991.

* Pour la liste des membres, voir page XIII.

** Pour la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport, voir page V.

Étaient présents :

V. E. LEWIS, président de la Section III, National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Les délégués des laboratoires membres :

Bureau national de métrologie, Paris: Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay (Mme N. COURSOL).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (D. M. GILLIAM).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (V. E. LEWIS).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (R. JAHR).

Membres nominativement désignés :

E. J. AXTON, président du Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence.

J. J. BROERSE, Institute of Applied Radiobiology and Immunology [ITRI-TNO], Rijswijk.

Invités :

Commissariat à l'énergie atomique, Centre d'études nucléaires de Bruyères-le-Châtel [CENB] (S. CRESPIN).

E. WATTECAMPS, Bureau central de mesures nucléaires [BCMN], Geel.

Ont assisté au moins à une partie de la réunion : T. J. QUINN, directeur du BIPM ; P. GIACOMO, directeur honoraire du BIPM ; O. SALA, membre du CIPM, président du CCEMRI ; A. ALLISY, G. DIETZE et A. M. KELLERER, membres du CCEMRI ; V. D. HUYNH et J. W. MÜLLER (BIPM).

Excusés :

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (K. KUDO).

Institut de métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], Leningrad.

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

Le directeur du BIPM accueille les participants des Sections I, II et III et leur expose la nouvelle organisation des réunions.

Le président de la Section III souhaite la bienvenue aux membres et observateurs, en particulier à ceux qui assistent à la réunion pour la première fois : Mme Coursol du LPRI, D. M. Gilliam du NIST et E. Wattecamps du BCMN. Il exprime aussi ses remerciements à

R. S. Caswell pour le travail qu'il a accompli pendant ses nombreuses années de présidence de la Section III.

E. J. Axton et R. Jahr acceptent d'être rapporteurs.

L'ordre du jour est adopté après quelques légères modifications ou additions qui sont incluses dans le rapport.

1. Rapport sur les travaux du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques

V. D. Huynh résume l'activité du groupe de mesures neutroniques du BIPM depuis 1988.

a) Comparaison internationale de dosimétrie neutronique du BIPM

À la demande de l'ETL, la comparaison internationale de dosimétrie neutronique du BIPM a été complétée par des mesures additionnelles faites à l'ETL, ce qui a permis d'y inclure les résultats révisés de ce laboratoire. Le contrôle des instruments de transfert du BIPM a été effectué au BIPM avant et après les mesures.

Afin d'élucider les différences observées entre les réponses des chambres Mg/Ar mesurées au BIPM, une étude de ces chambres a été faite au BIPM (*BIPM Rapport BIPM-90/1*, 1990). Cette question est discutée dans la quatrième partie du présent rapport.

b) Étude d'un détecteur à scintillation liquide, type NE 213

En accord avec la proposition faite par la Section III à sa réunion de 1988, les caractéristiques d'un détecteur à scintillation liquide NE 213 ont été étudiées dans les faisceaux de neutrons de 2,5 MeV et 14,65 MeV du BIPM, dans le but d'inclure dans les programmes futurs la mesure et le calcul des spectres de neutrons des faisceaux de neutrons « monocinétiques » du BIPM.

2. Comparaison internationale de mesures du taux d'émission d'une source de neutrons de ^{252}Cf

Lors de la réunion précédente, quatre laboratoires (LPRI, NIST, NPL et PTB) avaient exprimé, à des degrés divers, de l'intérêt pour une comparaison de mesures d'une source intense de ^{252}Cf , mais aucune suggestion n'avait été faite quant à l'organisation d'une comparaison officielle sous les auspices de la Section III.

Le NPL possédait une source appropriée dont le taux d'émission, à l'époque, était d'environ 10^9 s^{-1} . Le NIST avait fait des mesures avec

cette source pendant l'été 1987, puis l'avait retournée au NPL qui avait fait des mesures en mars 1989, après que des améliorations du système de protection de leur laboratoire aient rendu les expériences possibles. Le taux d'émission en mars 1989 était $6,2 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ et il sera d'environ la moitié en septembre 1991. L'accord entre les résultats dépend de la valeur admise pour la période de la source. Le NPL fera d'autres mesures vers la fin de 1991. Bien que le LPRI collabore avec le NPL au sein de l'EUROMET, il n'envisage pas de mesurer la source dans le cadre de cet accord. Actuellement, ce laboratoire ne peut pratiquement pas mesurer des sources dont l'intensité dépasse 10^8 s^{-1} .

Il est convenu que les comparaisons futures seront organisées bilatéralement entre les membres, selon les besoins.

3. Comparaisons internationales de mesures de débit de fluence de neutrons

a) Analyse de la comparaison utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ à 14,8 MeV (Coordonnateur : H. Liskien)

Des difficultés étaient apparues dans la comparaison utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ à 14,8 MeV à cause de la sensibilité des instruments de mesure aux neutrons de faible énergie provenant en particulier de la diffusion dans la cible. Comme on n'a pas tenu compte de cet effet, on a obtenu une grande dispersion des résultats (30 %), alors que celle-ci n'était que d'environ 4 % pour la comparaison effectuée en utilisant l'activation du niobium.

Lors de la dernière réunion, quelque sept ans après la fin des mesures, les calculs des corrections pour les cibles utilisées par la plupart des participants n'étaient pas encore faits. La PTB avait proposé l'emploi d'un code d'ordinateur approprié mis au point à Braunschweig, mais peu de progrès ont été faits depuis cette date.

Les résultats remontent maintenant à dix ans ; leur intérêt a diminué et le coordonnateur est parti à la retraite. Il ne semble pas indispensable de terminer ce travail, mais il convient de souligner qu'il a été utile car il a mis en évidence l'importance du problème dû à la contamination par les neutrons de faible énergie. L'effet perturbateur des neutrons diffusés dans la cible affecte presque toutes les comparaisons de débit de fluence de neutrons, y compris la comparaison en cours qui utilise des sphères de Bonner et qui est décrite ci-dessous.

R. Jahr décrit les calculs de Monte Carlo faits à la PTB qui donnent des corrections pour trois énergies de neutrons et pour des cibles d'épaisseurs différentes. Les calculs tiennent compte des neutrons de diffusion élastique et inélastique et des réactions (n,2n) qui deviennent importantes pour les énergies de neutrons supérieures à 8 MeV pour les

supports de cibles en cuivre ou en argent. Le programme d'ordinateur de la PTB peut être mis à la disposition d'autres laboratoires. Les travaux vont se poursuivre.

b) Comparaison à 2,5 MeV et 14,7 MeV avec des sphères de Bonner
(Coordonnateur : E. J. Axton)

Les deux sphères modératrices, appelées sphère B et sphère H, ont été fabriquées au NPL avec du polyéthylène de masse volumique élevée ; leurs diamètres respectifs sont 89 mm et 241 mm. Chacune a une cavité sphérique centrale dans laquelle on peut placer un compteur proportionnel sphérique à ^3He , type SP 90, fourni par le BIPM. Les efficacités de détection de neutrons de ces deux instruments ont été déterminées par chacun des quatre participants (BIPM, BCMN, PTB et NPL) pour des énergies de neutrons de 2,5 MeV et 14,7 MeV, de 1986 au début de 1990. Cette comparaison avait été décidée à la réunion de 1985, à la suite d'une proposition de J. B. Hunt qui avait établi un protocole de mesure. Ce protocole recommandait de faire des mesures à un grand nombre de distances comprises entre 2,5 m et une fois et demie le rayon de la sphère. Un modèle non linéaire était fourni pour déterminer des constantes inconnues liées à l'efficacité de détection et à des effets dus à la diffusion et à la géométrie, à l'aide d'un ajustement par moindres carrés.

Les principaux objectifs de la comparaison étaient les suivants :

1. Comparer les mesures de fluence dans des locaux de forme et de taille différentes dans les divers laboratoires, et donc dans des champs de neutrons diffusés différents, par comparaison des efficacités de détection de la sphère ainsi obtenues,
2. Voir s'il est possible d'obtenir la même valeur de l'efficacité, avec un petit nombre de mesures à proximité de la source de neutrons où les taux de comptage sont élevés, et sans utiliser de cône d'ombre. Si ceci est possible, le temps nécessaire à l'étalonnage des détecteurs de neutrons sera réduit considérablement.

Bien que des mesures avec cône d'ombre n'étaient pas demandées, la plupart des laboratoires en ont fait.

Le protocole comprenait un questionnaire détaillé sur l'équipement, les méthodes de mesure et les corrections à appliquer aux résultats. Certains laboratoires n'ont pas fourni toutes les informations nécessaires à leur évaluation.

Trois participants ont adressé des rapports au coordonnateur ; le BIPM lui a fourni les données brutes de ses mesures (taux de comptage en fonction de la distance). L'idée initiale était de traiter simultanément les quatre séries de données en utilisant une méthode habituelle de moindres carrés non linéaires mais, puisque le dernier rapport est arrivé

peu avant la réunion, le temps a manqué pour effectuer une évaluation simultanée. Les résultats présentés doivent donc être considérés comme préliminaires. Si une analyse plus approfondie est nécessaire, un questionnaire sera adressé aux participants ; il est vraisemblable qu'il concernera surtout l'évaluation des incertitudes.

Le document 91-4* préparé pour la réunion donne un résumé sommaire du travail expérimental. Il contient des résultats préliminaires sur l'efficacité des sphères et d'autres paramètres mentionnés dans le protocole, ainsi que des références aux rapports concernés. L'efficacité des sphères est donnée dans le compte rendu en termes de l'écart relatif par rapport à la valeur moyenne pondérée à l'aide de la matrice des covariances pour chaque combinaison sphère/énergie de neutrons. Une mesure «étrange», très élevée, n'est pas prise en compte dans la moyenne pondérée. Certains résultats sont obtenus par la méthode décrite dans le protocole, qui consiste à analyser des résultats partiels pour obtenir des valeurs pour certaines variables ajustables et ensuite à utiliser celles-ci comme constantes dans d'autres ajustements par moindres carrés linéaires pour ajuster les autres variables. D'autres résultats sont obtenus directement par des calculs de moindres carrés non linéaires. Il est peu probable que les différences dans le traitement des données puissent expliquer la dispersion des résultats.

Trois laboratoires ont fait des mesures avec la méthode de cône d'ombre pour déterminer les paramètres de la diffusion (méthode 1 de la figure de 91-4), la méthode 2 étant un ajustement polynomial par moindres carrés des données obtenues dans le faisceau direct, sans cône d'ombre. Dans l'un des cas, la méthode 1 représente un ajustement non linéaire par moindres carrés de toutes les données, cône d'ombre compris, tandis que la méthode 2 a simplement éliminé les données de cône d'ombre. La figure montre aussi la valeur des moyennes pondérées et non pondérées pour chaque combinaison sphère/énergie de neutrons. Il y a une dispersion de 17 % entre les 27 séries de résultats, le plus mauvais cas étant celui de la petite sphère avec des neutrons de 14,7 MeV.

Deux laboratoires ont réduit de façon significative les valeurs de leurs résultats dus aux corrections pour les neutrons diffusés dans la cible ; les deux autres laboratoires n'ont pas mentionné ces corrections. Ceci peut expliquer certaines différences dans les résultats. Dans l'ensemble, l'accord entre les laboratoires n'est pas aussi bon qu'attendu ou espéré. En ce qui concerne le deuxième objectif, à savoir s'il est possible d'obtenir la même efficacité avec un petit nombre de mesures à courtes distances de la source, deux laboratoires ont obtenu un bon accord entre les deux méthodes. Dans le troisième laboratoire l'accord

* L'Annexe R(III) 1 donne la liste des documents de travail présentés à la réunion. Ils sont cités dans le texte sous la forme 91-1, 91-2, etc.

est médiocre et le quatrième n'a pas utilisé de cône d'ombre. L'un des laboratoires a signalé qu'avec le cône d'ombre les mesures sont plus faciles et plus rapides.

Les résultats font l'objet d'une longue discussion. On signale qu'aucun contrôle n'avait été prévu pour vérifier la stabilité de la réponse du détecteur ^3He pendant toute la comparaison qui a duré plusieurs années. On décide donc que le premier laboratoire participant (BIPM), dont les mesures ont été faites en 1986, devrait refaire certaines mesures pour contrôler cette stabilité. Ceci pourrait expliquer une partie de la dispersion des résultats. V. D. Huynh cherchera à savoir si les neutrons parasites produits dans l'aimant séparateur pourraient être responsables du manque d'accord entre les méthodes 1 et 2.

Par ailleurs, comme on n'a pas fait de correction pour tenir compte de l'effet des neutrons diffusés dans la cible, V. D. Huynh étudiera également ce problème, par des mesures ou des calculs. Ceci est particulièrement important dans le cas de la petite sphère à 14,7 MeV.

On s'est aperçu d'une anomalie dans la distribution des résidus de l'ajustement non linéaire par moindres carrés des résultats du BIPM, en particulier pour les distances courtes. E. J. Axton étudiera l'effet produit par l'élimination de certaines données obtenues à courte distance.

Il est recommandé de ne prendre aucune décision avant que les participants n'aient eu la possibilité d'étudier le rapport.

c) Comparaison envisagée à 24,5 keV

À la réunion de 1988 un groupe de travail avait été constitué pour étudier l'intérêt d'une comparaison de mesures de débit de fluence dans le domaine d'énergie de 20 keV à 50 keV et pour faire des propositions. D'après l'enquête effectuée, six laboratoires sont intéressés : ETL, IAEB, NIST, NPL, PTB et VNIIM. On leur avait demandé de fournir des informations sur leur choix concernant le type de champ de neutrons, leur énergie et l'instrument de transfert (91-2).

Les participants suggèrent quatre types de champs de neutrons. L'énergie la plus faible qui est envisagée est celle d'une source antimoine-béryllium, dont le groupe principal de neutrons a une énergie moyenne de 22,8 keV qui est légèrement réduite par les effets de diffusion dans la source. Un faisceau produit par un réacteur avec filtre de fer a une énergie qui correspond à la « fenêtré » située dans la section efficace d'absorption du fer à environ 24,5 keV. Le troisième champ neutronique est produit par la réaction $^{45}\text{Sc}(p,n)^{45}\text{Ti}$, pour laquelle l'énergie des neutrons dépend de l'énergie du faisceau de protons et de l'angle d'émission choisi pour la mesure des neutrons. Une résonance qui est couramment utilisée est celle qui produit des neutrons dont l'énergie peut atteindre 27,4 keV à 0° par rapport à l'axe du faisceau de protons. Étant donné que le domaine d'énergie indiqué est relativement étroit, on a choisi une seule énergie de référence à 24,5 keV pour cette

comparaison. La quatrième possibilité est offerte par la réaction ${}^7\text{Li}(p,n)$ qui donne des neutrons de 30 keV juste au-dessus du seuil.

Trois méthodes de transfert sont étudiées. L'ETL avait offert en 1985 un spectromètre à hélium-3 pour une comparaison de spectroscopie de neutrons de 14 MeV. On avait jugé que l'instrument ne convenait pas pour des neutrons de faible énergie à cause de sa grande sensibilité aux neutrons thermiques. Une résolution habituelle de l'ordre de 20 keV ne permettrait pas une séparation satisfaisante du pic thermique de celui de 25 keV, par exemple. De plus, ce spectromètre ne serait pas facile à manipuler ni à étalonner et il aurait besoin d'un accompagnateur.

Un compteur proportionnel à hydrogène serait sensible au rayonnement gamma. Par conséquent, la soustraction d'un tel mouvement propre du spectre de protons de recul entraînerait des inexactitudes. La discrimination neutron-gamma serait une complication fâcheuse pour l'électronique du détecteur et son succès total ne saurait être garanti. Plusieurs autres problèmes restent à résoudre : l'acquisition d'un instrument approprié, un système étalonné pour le remplissage avec un gaz et la robustesse de l'ensemble.

Les sphères de Bonner sont sensibles au mouvement propre des neutrons de faible énergie ; il faut donc au moins deux tailles, avec différentes sensibilités en énergie. Un diamètre d'environ 10 cm convient pour 25 keV et un d'environ 20 cm pour les énergies plus élevées. La dépendance en énergie de chaque instrument doit être connue pour le domaine considéré.

Après mûre réflexion on a choisi comme instrument de transfert l'ensemble de sphères de Bonner utilisé pour la comparaison de mesures de débit de fluence à 2,5 MeV et 14,7 MeV. Le but de cette comparaison est de mesurer la sensibilité au débit de fluence de neutrons de 24,5 keV de ces deux sphères et d'une sphère plus petite, de 6,35 cm de diamètre.

On espère que chaque participant n'aura pas besoin de plus de six mois pour faire la comparaison, y compris la réception et l'expédition des instruments. Chaque participant sera responsable, en ce qui le concerne, du transport des instruments.

Le projet de calendrier est le suivant :

1992 : ETL, IAEB, NIST

1993/1994 : PTB, VNIIM, NPL.

V. D. Huynh accepte d'être le coordonnateur et de rédiger un rapport dont la publication est envisagée dans *Metrologia*, après soumission aux participants et approbation de la Section III.

d) Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons thermiques

D. M. Gilliam attire l'attention sur le besoin croissant de mesures plus exactes de densité ou de débit de fluence de neutrons thermiques. Des exactitudes de 0,5 % ou mieux sont nécessaires pour améliorer la

construction de réacteurs, la durée de vie des neutrons libres, les faisceaux de neutrons froids et les forces nucléaires fondamentales. La dernière comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons thermiques organisée par la Section III a eu lieu entre 1966 et 1968. Depuis cette période, des progrès significatifs ont été faits dans la connaissance de sections efficaces de référence, telles que celles de l'or, du bore, du lithium, du cobalt et des nucléides fissiles comme le ^{233}U , le ^{235}U , le ^{239}Pu et le ^{241}Pu . Des travaux sont en cours à ce sujet au NIST et, s'il existe d'autres participants potentiels, une nouvelle comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons thermiques pourrait être organisée. D. M. Gilliam apportera une proposition et un protocole à la prochaine réunion ; entretemps, il discutera la proposition avec les laboratoires susceptibles d'y participer.

E. J. Axton pense que la compilation des données de neutrons thermiques pourrait être améliorée considérablement, même sans nouvelles mesures, par une analyse simultanée par moindres carrés de toutes les mesures existantes. La grande majorité des mesures sont en réalité des mesures de rapports et elles sont donc fortement corrélées. L'existence de quelques nucléides dont les sections efficaces sont connues très exactement aurait donc une influence sur les valeurs de la plupart des nucléides de la table périodique des éléments. Dans le passé, les données concernant les différents nucléides ont été habituellement analysées séparément.

e) *Fluence spectrale de neutrons*

Jusqu'à présent aucune comparaison internationale de mesures de fluence spectrale n'a été faite sous les auspices de la Section III, bien que les spectromètres à neutrons soient largement utilisés, par exemple dans la protection contre les rayonnements ionisants, en thérapie neutronique et dans la recherche sur la fusion. Pour cette raison, on envisage des mesures comparatives pour la période de 1993 à 1996.

Une telle comparaison consisterait à faire circuler parmi les participants une ou deux sources de neutrons, par exemple des sources de $^{241}\text{Am-Be}$ et de $^{241}\text{Am-B}$. La tâche des laboratoires serait de déterminer le débit absolu de fluence spectrale des neutrons émis par ces sources à une distance donnée. On sait que le spectre du $^{241}\text{Am-Be}$ a une structure caractéristique qui s'étend de 100 keV à 11 MeV. Le spectre du $^{241}\text{Am-B}$ semble avoir un seul pic aux environs de 3 MeV. Étant donné la période longue du ^{241}Am (432 ans), on peut s'attendre à une bonne stabilité de la forme du spectre. Il est possible qu'il existe déjà dans les laboratoires participants des sources appropriées et qui seraient disponibles pour la comparaison. Un groupe de travail est constitué pour organiser une telle comparaison et contacter les participants éventuels ; il comprend R. Jahr et H. Klein (coordonnateurs), et V. D. Huynh.

4. Comparaison internationale de dosimétrie neutronique

Comparaison de mesures de dosimétrie neutronique organisée par le BIPM par circulation d'instruments de transfert (Coordonnateur : V. D. Huynh)

V. D. Huynh a rédigé un rapport sur les résultats de la comparaison de dosimétrie neutronique organisée par le BIPM (*BIPM Rapport BIPM-88/5*). Les résultats de l'ETL s'écartaient des valeurs moyennes de tous les autres participants d'environ 5 %. Pour faire la lumière sur ce point, l'ETL a effectué des mesures complémentaires. Les nouveaux résultats sont en bon accord avec ceux des autres participants. L'écart entre les nouveaux résultats de l'ETL et les précédents provient des facteurs d'étalonnage pour photons des dosimètres du BIPM mesurés à l'ETL, mais l'origine de la différence n'est pas connue.

Un autre écart observé dans cette comparaison concerne les mesures faites avec la chambre Mg/Ar du BIPM. Les réponses de la chambre Mg/Ar du BIPM, mesurée au BIPM, sont inférieures d'environ 2 % à celles qui sont obtenues dans les laboratoires des participants. Pour trouver l'origine de cette différence, une étude des chambres Mg/Ar a été faite au BIPM, dans le champ de photons du ^{60}Co , en utilisant, pour la circulation du gaz, des tuyaux faits de matériaux différents, tels que voltalef, téflon, chlorure de polyvinyle, tygon et caoutchouc. De plus, on a fait des mesures en doublant la longueur de certains tuyaux et en faisant varier le débit du gaz. Les résultats de ces études montrent que les réponses de la chambre Mg/Ar munie de tuyaux en voltalef, tuyaux qui sont employés couramment au BIPM et seulement au BIPM, sont inférieures à celles qui sont obtenues avec les types de tuyaux utilisés par les autres laboratoires. De plus, les différences augmentent avec la longueur des tuyaux.

Une version abrégée du *Rapport BIPM-88/5* sera soumise pour publication à *Metrologia*, et une présentation sous forme de « poster » sera faite à la prochaine conférence sur la dosimétrie neutronique à Berlin. Les instruments seront conservés au BIPM et resteront à la disposition d'éventuels nouveaux participants.

5. Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence disponibles en permanence et à long terme

Depuis la réunion de 1988 le groupe de travail a perdu un autre de ses membres principaux, H. Liskien. La section le remercie pour les services importants qu'il a rendus dans le passé et lui souhaite une retraite longue et heureuse.

a) *Méthodes d'activation*

À la réunion de 1985 la section avait recommandé que le BIPM implante la méthode d'activation de feuilles d'or pour mesurer la fluence de neutrons thermiques et des échantillons de niobium/zirconium pour mesurer la fluence de neutrons dans le domaine d'énergie de 14 MeV à 15 MeV. Aucun progrès n'a été accompli dans ce domaine et il n'y a rien d'autre à ajouter.

b) *Instruments de transfert*

Les résultats de la comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons utilisant deux chambres à fission comme instruments de transfert ont été publiés par D. B. Gayther dans *Metrologia*. Maintenant que ce travail est terminé, on espère que les chambres à fission pourront être conservées au BIPM et utilisées pour des comparaisons futures ; un prêt à long terme par l'UKAEA pourrait être envisagé. V. E. Lewis accepte de discuter la question avec l'UKAEA de la part du BIPM.

D'autres sujets qui sont du ressort de ce groupe, à savoir la comparaison de mesures de fluence de neutrons à 2,5 MeV et 14,7 MeV avec des sphères de Bonner, et la comparaison de fluence de neutrons proposée à 24,5 keV, ont déjà été discutés dans ce rapport.

6. Activités futures de la Section III

Le programme de comparaisons de la Section III a pour but de fournir une base scientifique solide pour les étalons servant à mesurer les grandeurs suivantes : fluence de neutrons, intensité de sources de neutrons, énergie de neutrons, kerma et dose absorbée.

Les mesures neutroniques sont importantes dans de nombreuses applications en médecine, dans l'industrie et la recherche. Dans le domaine en développement de la radiothérapie neutronique, il est reconnu que, pour certains types de tumeurs, la thérapie par neutrons est supérieure à la thérapie par rayons gamma ou électrons. La tendance actuelle est de s'orienter vers des énergies plus élevées (50 MeV à 60 MeV). L'effet thérapeutique dépend de manière décisive de l'exactitude de l'étalonnage des dosimètres. En général, une exactitude de 1 % est nécessaire. Une autre utilisation prometteuse des neutrons est la thérapie utilisant la capture de neutrons par le bore qui demande que l'on dispose d'étalons de neutrons de faible énergie.

Dans le domaine de la radioprotection, des mesures exactes de fluence sont requises actuellement pour tout le domaine d'énergie s'étendant de 0,02 eV à 20 MeV, et à l'avenir au-delà de 20 MeV. Les facteurs de qualité pour les neutrons, qui peuvent servir d'indicateur de

risque, ont été récemment augmentés par l'ICRP, réduisant ainsi le niveau maximal d'exposition autorisé. Les dosimètres neutroniques actuellement utilisés par le personnel et les instruments de surveillance doivent être améliorés, ce qui nécessite l'étalonnage des champs neutroniques avec des exactitudes de 3 à 10 % dans le domaine d'énergie mentionné ci-dessus.

On a besoin d'étalons de mesure de débit de fluence de neutrons pour développer l'énergie nucléaire de façon efficace et sûre dans les réacteurs utilisant comme principe soit la fission, soit la fusion. De tels étalons sont nécessaires pour déterminer les sections efficaces de neutrons des matériaux de construction et pour étalonner les instruments utilisés dans l'environnement hostile de ces réacteurs. Des exactitudes aussi rigoureuses que 1 % sont souvent nécessaires dans le domaine d'énergie de 1 MeV à 15 MeV.

Par ailleurs, les mesures neutroniques sont importantes dans d'autres domaines, tels que la détermination des propriétés de la matière condensée par diffusion de neutrons de faible énergie, l'analyse par activation, la radiographie neutronique, la recherche en biologie, la théorie fondamentale des forces nucléaires, les forages pétroliers et la détermination non destructive du contenu en eau des matériaux.

Pendant les trente années écoulées, le but de la Section III, qui était à l'origine un groupe de travail du CCEMRI, a été de jeter les bases d'un système international cohérent de mesures neutroniques afin de répondre aux besoins créés par les applications décrites ci-dessus. Le BIPM est le centre naturel pour ce travail. Beaucoup a été fait mais il reste encore beaucoup à faire.

Les objectifs de la Section III sont les suivants :

a) établir les conditions expérimentales permettant au BIPM de faire les mesures suivantes :

- intensité de sources de neutrons,
- débit de fluence (densité) de neutrons thermiques,
- débit de fluence de neutrons rapides,
- dose absorbée due aux neutrons,
- fluence spectrale de neutrons ;

b) participer aux comparaisons internationales de mesures de ces grandeurs ;

c) établir des étalons de référence du BIPM qui garantissent le maintien du niveau atteint lors des comparaisons internationales.

Les comparaisons internationales demandent du temps et de l'argent. On en organise seulement quand, au bout d'un certain nombre d'années, on est en droit de penser qu'une amélioration significative de l'exactitude des mesures peut être obtenue par les participants. Le but de la conservation des divers étalons de référence au BIPM est d'établir un

lien entre les résultats de comparaisons précédentes et les mesures de laboratoires nouvellement engagés dans le domaine ou de laboratoires n'ayant pas pu participer aux comparaisons internationales pour une raison ou une autre. Ce lien peut alors être établi sans qu'il soit nécessaire d'organiser une nouvelle comparaison internationale.

Actuellement, les étalons de référence disponibles et contrôlés avec succès lors de comparaisons internationales sont les suivants :

- a) bain de sulfate de manganèse pour étalonnage de sources de neutrons,
- b) sphères de Bonner pour la mesure de débit de fluence de neutrons à toutes les énergies,
- c) chambres d'ionisation pour la mesure de la dose absorbée de neutrons,
- d) comptage par la méthode de la particule associée pour la mesure de débits de fluence de neutrons à 2,5 MeV et 14,7 MeV.

On espère y ajouter à l'avenir les étalons suivants :

- e) feuilles d'or pour la mesure de débit de fluence de neutrons thermiques,
- f) échantillons de Nb/Zr pour la mesure de l'énergie et du débit de fluence de neutrons dans le domaine de 14 MeV à 15 MeV,
- g) chambres à fission à $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ pour la mesure du débit de fluence à toutes les énergies.

Pour la comparaison de spectrométrie neutronique envisagée, il est recommandé que le laboratoire de mesures neutroniques du BIPM mette au point son propre système de spectrométrie neutronique. Pour couvrir tout le domaine d'énergie concerné, l'équipement suivant devrait être disponible : un compteur à scintillation, un compteur proportionnel à protons de recul et peut-être un spectromètre à sphères de Bonner.

Le but est d'étendre le domaine et d'améliorer l'exactitude de ces références. On envisage de faire de ces étalons des références pérennes.

Il est évident que si la continuité de ce programme n'est pas assurée, une grande partie du savoir-faire et des résultats risque d'être perdue pour les générations futures. Il est par conséquent essentiel, du point de vue de la Section III, que le BIPM ait en permanence un physicien capable de faire fonctionner le laboratoire de mesures neutroniques du BIPM et d'utiliser les étalons de référence quand une demande en est faite. Il est donc évident que le remplaçant de V. D. Huynh, après le départ à la retraite de ce dernier dans quelques années, devra avoir les capacités requises et une expérience solide en métrologie neutronique.

7. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires représentés à la réunion

Un échange d'informations très fructueux et intéressant a lieu. La section continue de penser que ce point de l'ordre du jour est important car il favorise une compréhension mutuelle entre les scientifiques et aide à discerner les diverses possibilités des laboratoires.

8. Visite de laboratoires du BIPM

Une visite instructive du laboratoire de mesures électriques a lieu.

9. Questions diverses

Lors de réunions précédentes, il avait été convenu de préparer un article décrivant les activités de la section et de le soumettre à un journal ayant une large diffusion auprès des métrologistes des rayonnements ionisants. On a décidé que la présentation d'un « poster » à la conférence de Berlin sur la dosimétrie neutronique serait un bon moyen d'atteindre ce but. L'ancien président (R. S. Caswell, NIST) sera invité à préparer un résumé avant la date limite ; le président actuel l'aidera, si nécessaire. L'article décrira aussi les services offerts par le BIPM.

Le président communiquera à l'AIEA des informations détaillées sur les étalons de référence disponibles au BIPM dans le domaine de la métrologie neutronique. Il est possible que beaucoup de pays ne sachent pas que ces références sont à la disposition des États membres de la Convention du Mètre et des autres.

Le président remercie les participants et exprime sa gratitude au personnel du BIPM pour son hospitalité.

Juin 1991, révisé septembre 1991

ANNEXE R(III) 1

Documents de travail présentés à la 9^e réunion de la Section III du CCEMRI

Ces documents de travail peuvent être obtenus sur demande adressée au BIPM.

Document
CCEMRI(III)/

- 91-1 ITRI-TNO (Pays-Bas). — Protocols for the determination of absorbed dose in mixed neutron-photon beams, by J. J. Broerse, B. J. Mijnheer and J. Zoetelief, 20 pages.
 - 91-2 NPL (Royaume-Uni). — Proposed fast neutron flux density measurements comparison at 24.5 keV, by V. E. Lewis, 3 pages.
 - 91-3 Report of the Working Group on fluence transfer methods with continued long term availability, by E. J. Axton, 2 pages.
 - 91-4 Report on the intercomparison of neutron fluence using two Bonner spheres as transfer instruments, by E. J. Axton, 30 pages.
 - 91-5 NIM (République populaire de Chine). — Progress report, 1991, 1 page.
 - 91-6 LPRI (France). — LPRI progress report for BIPM-CCEMRI section III, 2 pages.
-

**COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS
MEETING IN 1991**

Note on the use of the English text

To make its reports and those of its various Comités Consultatifs more widely accessible the Comité International des Poids et Mesures has decided to publish an English version of these reports. Readers should note that the official record is always that of the French text. This must be used when an authoritative reference is required or when there is doubt about the interpretation of the text.

Note sur l'utilisation du texte anglais

Afin de faciliter l'accès à ses rapports et à ceux des divers Comités consultatifs, le Comité international des poids et mesures a décidé de publier une version en anglais de ces rapports. Le lecteur doit cependant noter que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. C'est le texte français qui fait autorité si une référence est nécessaire ou s'il y a doute sur l'interprétation.

THE BIPM AND THE CONVENTION DU MÈTRE

The Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) was set up by the Convention du Mètre signed in Paris on 20 May 1875 by seventeen States during the final session of the Diplomatic Conference of the Metre. This Convention was amended in 1921.

BIPM has its headquarters near Paris, in the grounds (43 520 m²) of the Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) placed at its disposal by the French Government; its upkeep is financed jointly by the Member States of the Convention du Mètre*.

The task of BIPM is to ensure world-wide unification of physical measurements; it is responsible for:

- establishing the fundamental standards and scales for measurement of the principal physical quantities and maintaining the international prototypes;
- carrying out comparisons of national and international standards;
- ensuring the co-ordination of corresponding measuring techniques;
- carrying out and co-ordinating determinations relating to the fundamental physical constants that are involved in the above-mentioned activities.

BIPM operates under the exclusive supervision of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) which itself comes under the authority of the Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

The Conférence Générale consists of delegates from all the Member States of the Convention du Mètre and meets at present every four years. At each meeting it receives the Report of the Comité International on the work accomplished, and it is responsible for:

- discussing and instigating the arrangements required to ensure the propagation and improvement of the International System of Units (SI), which is the modern form of the metric system;
- confirming the results of new fundamental metrological determinations and the various scientific resolutions of international scope;
- adopting the important decisions concerning the organization and development of BIPM.

The Comité International consists of eighteen members each belonging to a different State; it meets at present every year. The officers of this committee issue an Annual Report on the administrative and financial position of BIPM to the Governments of the Member States of the Convention du Mètre.

The activities of BIPM, which in the beginning were limited to the measurements of length and mass and to metrological studies in relation to these quantities, have been extended to standards of measurement for electricity (1927), photometry (1937), ionizing radiations (1960) and to time scales (1988). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929; new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories, in 1984 for the laser work and in 1988 a new building for a library and offices was opened.

* As of 31 December 1991 forty-seven States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, Germany, Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep. of), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, New Zealand, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, U.S.S.R., United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela, Yugoslavia.

Some forty physicists or technicians are working in the BIPM laboratories. They are mainly conducting metrological research, international comparisons of realizations of units and the checking of standards used in the above-mentioned areas. An annual report published in *Procès-Verbaux des séances du Comité International* gives the details of the work in progress.

In view of the extension of the work entrusted to BIPM, CIPM has set up since 1927, under the name of *Comités Consultatifs*, bodies designed to provide it with information on matters that it refers to them for study and advice. These *Comités Consultatifs*, which may form temporary or permanent Working Groups to study special subjects, are responsible for co-ordinating the international work carried out in their respective fields and proposing recommendations concerning units. In order to ensure world-wide uniformity in units of measurement, the *Comité International* accordingly acts directly or submits proposals for sanction by the *Conférence Générale*.

The *Comités Consultatifs* have common regulations (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 31, 1963, p. 97). Each *Comité Consultatif*, the chairman of which is normally a member of CIPM, is composed of delegates from the major metrology laboratories and specialized institutes, a list of which is drawn up by CIPM, as well as individual members also appointed by CIPM and one representative of BIPM. These committees hold their meetings at irregular intervals; at present there are eight of them in existence:

1. The *Comité Consultatif d'Électricité* (CCE), set up in 1927.
2. The *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie* (CCPR), new name given in 1971 to the *Comité Consultatif de Photométrie* set up in 1933 (between 1930 and 1933 the preceding committee (CCE) dealt with matters concerning Photometry).
3. The *Comité Consultatif de Thermométrie* (CCT), set up in 1937.
4. The *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (CCDM), set up in 1952.
5. The *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (CCDS), set up in 1956.
6. The *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* (CCEMRI), set up in 1958. In 1969 this committee established four sections: Section I (Measurement of X and γ rays, electrons); Section II (Measurement of radionuclides); Section III (Neutron measurements); Section IV (α -energy standards). In 1975 this last section was dissolved and Section II made responsible for its field of activity.
7. The *Comité Consultatif des Unités* (CCU), set up in 1964 (this committee replaced the "Commission for the System of Units" set up by the CIPM in 1954).
8. The *Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées* (CCM), set up in 1980.

The proceedings of the *Conférence Générale*, the *Comité International*, the *Comités Consultatifs*, and the *Bureau International* are published under the auspices of the latter in the following series:

- *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* (this collection for private distribution brings together articles published in scientific and technical journals and books, as well as certain work published in the form of duplicated reports).

The *Bureau International* also publishes monographs on special metrological subjects and, under the title «Le Système International d'Unités (SI)», a booklet, periodically up-dated, in which all the decisions and recommendations concerning units are collected.

The collection of the *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 volumes published between 1881 and 1966) ceased in 1966 by a decision of CIPM.

Since 1965 the international journal *Metrologia*, edited under the auspices of CIPM, has published articles on the more important work on scientific metrology carried out throughout the world, on the improvement in measuring methods and standards, on units, etc., as well as reports concerning the activities, decisions, and recommendations of the various bodies created under the *Convention du Mètre*.

AGENDA
for the 12th Meeting

1. Reports of the three Sections of the CCEMRI and related BIPM work.
 2. Other business.
-

REPORT
OF THE
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS
(12th Meeting — 1991)
TO THE
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by J. G. V. TAYLOR, Rapporteur

Abstract. The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its twelfth meeting in May 1991. Reports were presented from the three Sections: I (X and γ rays, electrons), II (Measurement of radionuclides), III (Neutron measurements). Section I reviewed work on air kerma standards and water calorimetry, and discussed the uncertainties of graphite/air stopping power ratios and of cavity chambers. Section II reported on a trial comparison of ^{75}Se activity, progress towards the extension of the Système International de Référence to beta rays and low-energy photons and new results in counting statistics. Section III discussed neutron spectrometry with an organic scintillator, fast neutron fluence measurements and future needs in neutron dosimetry. The BIPM staff members reviewed some of their recent work. Recommendations for new investigations of air kerma standards of ^{137}Cs , brachytherapy standards, proton beam measurements and neutron spectrometry were adopted for submission to the CIPM. Improvements for the format of the next meeting of the CCEMRI and its Sections were suggested.

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI*) held its twelfth meeting at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres, on 24 May 1991.

Present:

- O. SALA, member of the CIPM, Chairman of the CCEMRI.
- A. ALLISY, International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU).
- G. DIETZE, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig.

(*) See the list of acronyms on page V.

A. DUTREIX, University Hospital St-Rafael, Leuven.

A. M. KELLERER, Institut für Strahlenbiologie, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF), Neuherberg.

G. F. KNOLL, University of Michigan, Ann Arbor.

V. E. LEWIS, Chairman of Section III ; National Physical Laboratory (NPL), Teddington.

J.-P. SIMOËN, Chairman of Section I ; Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants (LPRI), Saclay.

J. G. V. TAYLOR, Chairman of Section II ; AECL Research (AECL), Chalk River.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures (T. J. QUINN).

Invited :

N. J. HARGRAVE, Rapporteur of Section I.

D. D. HOPPE, Rapporteur of Section II.

E. J. AXTON and R. JAHR, Rapporteurs of Section III.

Also attending the meeting were : P. GIACOMO, Directeur honoraire of BIPM, M. BOUTILLON, V. D. HUYNH, D. MÜLLER, J. W. MÜLLER and G. RATEL (BIPM); A.-M. PERROCHE (guest worker at the BIPM).

The Chairman, Prof. Sala, opened the meeting by welcoming the Committee members, the rapporteurs of the three sections and the BIPM staff.

The agenda was approved. Mr Taylor was appointed rapporteur.

1. Reports of the three Sections of the CCEMRI and related BIPM work

Each Chairman, or Rapporteur, summarized his Section's activities and the BIPM staff presented selected topics from the work performed in the ionizing-radiations laboratory.

Section I — X and γ rays, electrons (Chairman : J.-P. Simoën)

Mr Simoën, Chairman of Section I (X and γ rays, electrons), presented the report of his section. Thirty-eight documents were distributed.

Research by the BIPM on absorbed dose to water for ^{60}Co γ rays was reviewed. This included a comparison of Monte-Carlo codes and comparisons of air kerma and absorbed dose to graphite.

The Working Group on High Energy Intercomparison Procedures reported that a comparison using Fricke dosimeters had taken place between the NPL, the PTB and the NRC. These had been referenced to the BIPM ^{60}Co standard. Some unexpected results, related to the filtration introduced by the ampoules used to contain the Fricke solution, had been found.

The wall effect was discussed for graphite-cavity chambers used as standards for ^{60}Co γ rays. It was noted that the recent results obtained by Monte-Carlo calculations at the NRC could change the value of some national standards by as much as 0,9 %. It was decided, however, to defer a decision regarding the incorporation of these changes until the next meeting.

The question of the uncertainty to be attributed to the graphite/air stopping power ratio was also raised and a working group was established to report at the next meeting on the uncertainties to be recommended.

Work was reported on progress relating to the development of standards of absorbed dose to water at the NIST, the NRC and the PTB. This included radiation chemistry studies, heat defect and convection studies. Water calorimeters are under development at the VNIIFTRI and at the NPL. The BIPM also is planning to embark on water calorimetry.

Section I recommended that standards laboratories and the BIPM extend the existing range of air kerma standards to include ^{137}Cs and develop facilities for the calibration and comparison of these standards (Recommendation R 1 (1991), p. R 98). The IAEA reported that 50 laboratories in the IAEA/WHO SSDL network use ^{137}Cs beams. The network includes 66 member laboratories of which 55 are active. In 1989 these SSDLs performed about 1 000 instrument calibrations and they measured over 800 000 TLDs and a similar number of films. The IAEA organizes three training courses for SSDL staff per year.

There is concern about the dosimetry of brachytherapy sources (^{192}Ir and ^{125}I , in particular). A recommendation was made that standards laboratories and the BIPM develop air kerma measuring techniques, means for transferring calibrations and methods for measuring absorbed dose to water from brachytherapy sources (Recommendation R 2 (1991), p. R 99).

The Chairman invited comments on Mr Simoën's report. A general discussion of the availability of Monte-Carlo codes followed. Prof. Allisy noted that comparisons of codes are not a new subject and that the IAEA had agreed that all Agency sponsored comparisons will be linked to the BIPM. Mme Boutillon described the results of the code comparison and noted that agreement was not as close as had been expected. Prof. Kellerer asked if these codes were available from the BIPM. Prof. Dutreix noted that each laboratory uses its own codes. The BIPM does not have the source codes and there is no universal code which

can be run on different computers. Dr Dietze pointed out that there is a danger in attempting to apply these codes to problems they were not designed to treat.

Dr Quinn asked if the extension of air kerma measurements to ^{137}Cs would strain the staff or financial resources of the BIPM. There was general agreement (Messrs. Allisy, Kellerer, Müller) that this will not be a serious concern. Dr Dietze suggested measurements of the spectral distribution would be needed. Prof. Dutreix replied that this should not be a BIPM responsibility; the BIPM must provide a reference measurement in a defined geometry so that each laboratory can combine this with its own spectra.

Concerning brachytherapy, Prof. Dutreix emphasized that since radium has been replaced by other radionuclides, the need for calibrations is urgent and the committee cannot afford to wait until the next meeting to take action.

Section II — Measurement of radionuclides (Chairman : J. G. V. Taylor)

In summarizing the report of Section II (Measurement of radionuclides), the rapporteur, Dr Hoppes, noted that one of the problems of holding parallel sessions for the three sections is that Dr Müller was often not present to give advice or to answer questions on critical points in the discussions.

Twenty-three reports from laboratories, working groups and the BIPM were distributed. Results from a trial comparison of ^{75}Se activity concentration were presented. This nuclide had been chosen for its medical interest and for its use in γ -ray spectrometer calibrations, but primarily because the decay proceeds partially through a 17 ms metastable state which presented a challenge not encountered in previous comparisons of activity. The trial was particularly valuable because a comparison of preliminary results revealed an unsuspected instrumental effect which was analyzed and explained. New measurements brought the results into satisfactory agreement and show how the problem can be avoided in a full-scale comparison. Condensed reports of the earlier comparisons of ^{133}Ba and ^{109}Cd have been drafted for publication.

The continued growth of registrations in the International reference system for γ -ray emitting nuclides (SIR) was noted. The working group charged with the extension of the SIR to alpha, beta and low-energy photon emitters has chosen liquid scintillation counting as the most versatile of the methods considered. A commercial liquid scintillation spectrometer has been purchased and installed at the BIPM. Preliminary tests have begun. It was noted that Dr Ratel had visited the NIST to gain familiarity with the techniques.

The Working Group on Principles of the Coincidence Method has described two new methods for determining activity from correlated

radiations without recording coincidences, viz., a double dead-time system (LPRI) and a modulo 2 counter (BIPM).

The Working Group on High Efficiency γ -ray Detectors ($4\pi\gamma$ counters) will include in its forthcoming report by Dr Winkler (IRK) a description of the CBNM $4\pi\text{CsI}$ detector, which has a high efficiency for electrons and low-energy photons. Dr Hoppes explained how $4\pi\gamma$ counters can give a measure of activity for nuclides emitting several gamma rays in cascade, without requiring accurate γ -ray emission probabilities.

The Working Group on Future Comparisons presented the results of a survey to find which nuclides should be considered for the next comparisons. Following the successful trial comparison, the group agreed that a full-scale ^{75}Se comparison should take place in 1992. For the next comparison (late 1992 or early 1993), ^{204}Tl was chosen, after much discussion, over the survey favourite (^{152}Eu), because it provides a good calibration for the new SIR liquid scintillation system.

Other BIPM activities reported include research on generalized dead times and modulo 2 counting as well as a more accurate measurement of the half-life of the 17 ms metastable state of $^{75}\text{As}^m$.

Reports from the other laboratories described work in progress. Some topics of interest were the availability, at several laboratories (NPL, CBNM, OMH), of stocks of ampoules of dimensions sufficiently uniform to make them suitable for precise ionization chamber calibrations, improved $T_{1/2}$ and P_γ data needed for therapy calculations and regulatory requirements, and an AECL-NIST collaboration to produce pure ^{94}Nb reference sources.

The Section II meeting concluded with a discussion of the unavailability of several nuclides (e.g. ^{139}Ce) needed for γ -ray reference sources, and of possible action to improve the supply.

In the discussion following Dr Hoppes' report, it was noted that only a few of the many radionuclides in common use have been the subject of comparisons. Among those compared are nuclides suitable as long-lived reference standards (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{133}Ba) and some which present special problems in activity measurement (^{125}I , ^{75}Se). Some nuclides are not suitable subjects for comparison, for example short-lived nuclides used in nuclear medicine.

Section III — Neutron measurements (Chairman : V. E. Lewis)

Dr Lewis and Dr Jahr reviewed the work of Section III (Neutron measurements). Measurements have been made at the BIPM with a view to obtaining the neutron spectra using an organic liquid scintillator, NE 213. A study of the BIPM Mg/Ar chamber in a ^{60}Co field using different gas tubes has resolved an apparent 2 % discrepancy in the response of the chamber in a neutron dosimetry comparison.

Two laboratories have made measurements of the emission rate of a "strong" ($\approx 6 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$) ^{252}Cf neutron source. No other laboratories intend to make further measurements of this source which is available under the auspices of Section III; this is partly due to the need for better handling facilities. Future comparisons, of weaker sources, will be organized bilaterally between members. Comparisons of fast neutron fluence measurements have in the past covered the energy range from 144 keV to 14,8 MeV. It is planned to extend this work to lower energies with a comparison at 25 keV using Bonner spheres. In the last exercise, held between 1987 and 1990, and involving measurements with Bonner spheres at 2,5 MeV and 14,7 MeV, spreads of results of up to 17 % were observed. This problem was thought to be due to the sensitivity of the detectors to lower energy scattered neutrons. A study is under way to obtain the necessary corrections both for this work and for an earlier comparison.

Section III is strongly of the opinion that the neutron measurement capability of the BIPM must be retained after Dr Huynh's retirement. There are a number of urgent projects which require BIPM equipment and expertise: dosimetry for radiation protection must cover nine orders of magnitude in neutron energy; the variation of quality factor over this range means that dose equivalent measurements require complementary measurements of the neutron spectra; also the neutron and photon components of a radiation field must be separately measured. Dosimetry for neutron therapy will require comparison of absorbed dose measurements at up to 60 MeV. Neutron metrology for nuclear fusion will need comparisons of fluence standards in the range 1 to 15 MeV. Comparisons for all these applications will require BIPM instrumentation and transfer standards.

In addition, spectral fluence comparisons will be needed over the next few years. For this purpose, a working group has been appointed to plan comparisons of the spectral fluences from $^{241}\text{Am-Be}$ and $^{241}\text{Am-B}$ sources. Section III has recommended that the BIPM develop the necessary capability and facilities for these measurements, all of which will require expert personnel to ensure long-term continuity in both spectral and dosimetry comparisons.

In the discussion following the Section III report, Dr Quinn emphasized that the BIPM has made no decision on a successor to Dr Huynh; this will be decided by the CIPM after consideration of the priorities of new and continuing work. Several members (Messrs. Dietze, Kellerer, Knoll) stressed the essential role of the BIPM in international neutron dosimetry and fluence comparisons and the need for continuity lest the BIPM's years of expertise, accumulated at considerable expense, be lost. Dr Quinn responded that it would be easier to justify the BIPM programme if there were more evidence of support for neutron work from the national laboratories. If national laboratories reduce their effort in one field relative to another, it is not realistic to expect the BIPM to do otherwise.

Work performed at the BIPM

Members of the BIPM staff were invited to present selected topics from their recent work. Mme Boutillon described her measurements of absorbed dose in water including corrections for fluence perturbation by the chamber and wall effects. Dr Ratel discussed the results of a trial comparison of ^{75}Se activity in which an unexpected instrumental effect was revealed and subsequently resolved. Dr Huynh reported on a comparison of neutron kerma with BIPM calibrated dosimeters. He also showed how pulse shape discrimination with an organic scintillator gives a clear separation between the photon and neutron components of a radiation field. Details of all the topics presented may be found in the reports of the three sections.

2. Other business

For the information of the Committee, Dr Quinn read from his report to the 1991 October meeting of the CGPM those sections dealing with ionizing radiations. Questions and comments were invited for clarification, but the possibility of change was not offered as the final version had been printed.

Prof. Dutreix called attention to the increased interest in proton-beam therapy. The Committee agreed that the national laboratories and the BIPM should develop methods to measure absorbed dose from proton beams and a recommendation to this effect was adopted (Recommendation R 3 (1991), p. R 99).

Prof. Allisy suggested that requests from Section III for BIPM neutron spectrometry measurements, and comparisons of neutron spectra, be formalized in a recommendation. This was done and Recommendation R 4 (1991) (p. R 100) was approved.

Reports to the CIPM and CGPM will be prepared.

The organization of future meetings of CCEMRI and its three sections was discussed. It was agreed that simultaneous meetings for the three sections had not worked as well as anticipated: BIPM staff missed important discussions relevant to their work and the sections found that staff members were sometimes at another section when their advice was needed. In addition, requests for typing and photocopying from three simultaneous meetings put an unreasonable load on the secretary of the Ionizing Radiations Section. It was felt that, if this format were to succeed, future sessions would have to be very carefully organized. The Chairman suggested three requirements: first, the meetings should cover a whole week; second, detailed agenda should be prepared well in advance with precise timetables arranged to allow Committee members to move from section to section; third, one BIPM staff

member should be responsible for each section at all times so that Dr Müller could spend time with each group. It would also be necessary for all documents from outside to be typed, photocopied and sent to the BIPM well in advance so that the secretary would have more time to deal with matters arising during the meetings. No final decision was made on the format of the next meeting which will be in 1993.

Before the meeting adjourned, the Chairman thanked the rapporteurs and CCEMRI members for their contributions, and the staff of the BIPM for their reports and hospitality.

August 1991, revised November 1991

Recommendations*
of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure
des Rayonnements Ionisants
submitted
to the Comité International des Poids et Mesures

Extension of γ -ray standards to include ^{137}Cs

RECOMMENDATION R 1 (1991)

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants,

considering that the ^{137}Cs gamma-ray beams are widely used as references in the calibration of radiation protection dosimeters,

recommends that standards laboratories and the BIPM

- extend the existing energy range of air kerma standards to include ^{137}Cs gamma rays, and
- develop facilities for calibrations and for comparisons.

* The CIPM approved Recommendations R 1 and R 2 in September 1991; it took note of Recommendation R 3 and will re-examine Recommendation R 4 in the context of the long-term programme of the BIPM.

Measurements in brachytherapy

RECOMMENDATION R 2 (1991)

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants,

recognizing

— that the required quantity for use in brachytherapy is absorbed dose to water or tissue, and

— that the ICRU recommends air kerma rate to characterize the sources used for such purposes,

recommends that standards laboratories and the BIPM

i) develop air-kerma measuring techniques appropriate for these sources,

ii) develop convenient techniques (such as use of re-entrant ionization chambers) for transferring such calibrations to the wide variety of sources used in brachytherapy, and

iii) investigate measuring methods for absorbed dose to water from such sources.

Measurements in proton therapy

RECOMMENDATION R 3 (1991)

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants,

recognizing the increasing interest of the medical community in proton therapy,

considers that proton beams are within its scope, and

recommends that standards laboratories and BIPM develop methods to measure absorbed dose from proton beams.

Neutron spectrometry

RECOMMENDATION R 4 (1991)

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants,

recognizing

— that radiation protection metrology for neutrons is necessary over nine decades of energy from 20 meV to 20 MeV and higher, and that spectral information is necessary to interpret the reading of dosimeters,

— that spectral measurements are needed in neutron radiation therapy and nuclear fusion technology,

recommends that the BIPM

— develop the necessary instrumentation for the measurement of neutron spectra,

— develop facilities for comparisons in this area.

Section I — X and γ rays, electrons

10th Meeting (May 1991)

AGENDA
for the 10th Meeting

1. Recent work at the BIPM.
 2. Future work at the BIPM.
 3. Comparison of measurement standards.
 4. Standards of absorbed dose to water.
 5. Standards for radiation protection.
 6. Standards for radiation processing.
 7. Standards for brachytherapy.
 8. Reports from member laboratories.
 9. Report from the IAEA.
 10. Publicity.
 11. Other items.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION I. — X and γ rays, electrons

10th Meeting (May 1991)

REPORT

by N. J. HARGRAVE, Rapporteur

Abstract. Section I (X and γ rays, electrons) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) held its tenth meeting at the Pavillon de Breteuil, Sèvres, in May 1991. The recent work of the BIPM was reviewed and, after discussion of the points raised at the meeting and of the reports from member laboratories, the programme for future work was agreed. The results of several international comparisons, involving the BIPM or carried out independently between standards laboratories, were reported, as well as the results of a preliminary comparison using high-energy X rays up to 20 MV. Progress in water calorimetry of absorbed dose to water was described. Standards for radiation protection and brachytherapy were discussed and two formal recommendations relating to these matters were made to the CCEMRI. Progress in facilities, new services and research was outlined in reports from member laboratories.

Section I (X and γ rays, electrons) * of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI **) held its tenth meeting at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres, on 21, 22 and 23 May 1991.

(*) For the list of the members, see page XII.

(**) Laboratories and organizations mentioned in this report are listed on page V.

Present :

J.-P. SIMOËN, Chairman of Section I, Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay.

Delegates of the member laboratories and organizations :

Australian Radiation Laboratory [ARL], Yallambie (N. J. HARGRAVE).

Bureau National de Métrologie, Paris: Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay (J.-P. SIMOËN).

D. I. Mendeleev Institute for Metrology [VNIIM], Leningrad (V. I. FOMINYCH) (two days).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (N. TAKATA).

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] (W. A. JENNINGS).

National Institute of Metrology [NIM], Beijing (Xu Mian).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (B. M. COURSEY).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (B. OWEN).

National Research Council of Canada [NRC], Ottawa (D. W. O. ROGERS).

Nederlands Meetinstituut [NMI], Bilthoven (A. H. L. AALBERS).

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (A. JAKAB).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (K. HOHLFELD).

Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości [PKNM], Warsaw (Z. REFEROWSKI).

Swedish Radiation Protection Institute [SRPI], Stockholm (L. LINDBORG).

Member :

A. BROSED, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

Observers :

International Atomic Energy Agency [IAEA], Vienna (H. SVENSSON).

Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf GmbH [ÖFS], Seibersdorf (K. E. DUFTSCHMID).

Attended all or part of the meeting : T. J. QUINN, Director of the BIPM; O. SALA, member of the CIPM, Chairman of CCEMRI; P. GIACOMO, Directeur honoraire of the BIPM; A. ALLISY, G. DIETZE and Mme A. DUTREIX, members of CCEMRI; Mme M. BOUTILLON (BIPM); Mme A.-M. PERROCHE and Z. YIN (guest workers at the BIPM).

The Director of the BIPM opened the meeting. He welcomed the members and observers of Sections I, II and III assembled in the Grande Salle. He explained the purpose of the meetings for those not familiar with the work of the sections, namely to discuss the work performed at the BIPM and to give guidelines for future activities, normally in close cooperation with the national laboratories. This may lead to recommendations to be submitted to the CIPM. In addition, such a forum provides an excellent opportunity for exchanging information on the work in progress at the various laboratories. The Director briefly introduced the recently designated members of the CCEMRI, as well as the Chairmen of the three sections to the meeting. The company then divided, each section meeting in a different room.

The Chairman of Section I, J.-P. Simoën, invited discussion of the draft agenda which was adopted with minor changes. N. J. Hargrave was appointed Rapporteur.

1. Recent work at the BIPM

Current work relating to the development of the BIPM ionometric standard of absorbed dose to water was outlined by Mme Boutillon (91-1 *). In this, daily measurements of absorbed dose in the BIPM ^{60}Co beam extending over a period of two years were made at depths ranging from 3 to 17 g cm^{-2} in a 30 cm cube water phantom. The ionization chamber used was very similar to that used to maintain the BIPM standards of air kerma and absorbed dose to graphite for ^{60}Co radiation. The phantom was filled up with water and drained daily to prevent long-term variations of the ionization current due to a possible influence of humidity on the chamber and to long-term distortion of the phantom.

The volume of the ionization chamber was determined by ionometric comparison with the standard of absorbed dose to graphite. The ratio of the effective volumes was found to vary slightly if the chambers were compared in air, graphite or water at different depths. There was also an effect due to rotation of the chamber. These effects are not understood at present; they may be due to inhomogeneities in the chamber walls.

The overall uncertainty of the ionometric method is of the order of 0,4 %. However, it was noted that there had been a small systematic decrease in the absorbed dose rate (0,05 % per year) which is not fully explained, even by the uncertainty on the ^{60}Co half life.

* Documents submitted by the participants are listed in Annexe R(I) 1, and are referred to in the text in the form 91-1, 91-2, etc.

The ionometric value of absorbed dose to water is in good agreement with the values derived by calculation at the BIPM from the absorbed dose to graphite or from the air kerma. It is also in agreement with the value obtained by the scaling-theorem method.

Comparisons of the BIPM ionometric method have been made with other experimental methods used in various laboratories (NPL, NRC and PTB). The overall agreement, of the order of 1 %, is consistent with the estimated uncertainties.

2. Future work at the BIPM

The Section endorsed the present work on international comparisons, the ionometric determination of absorbed dose to water and the comparison of Monte-Carlo codes in use at standards laboratories.

The planned work on water heat defect and convection directed towards the development of a water calorimeter was seen to be important.

The acquisition of an appropriate ^{137}Cs source and the extension of air kerma standards to the gamma rays for ^{137}Cs , in order to facilitate comparisons in the radiation protection field, was seen to be an important future direction for the BIPM to follow, as was the development of measurement methods for brachytherapy sources.

3. Comparison of measurement standards

It was reported that several laboratories had performed comparisons in conjunction with the BIPM.

The OMH again brought its low-energy X-ray standard to the BIPM. Since the previous comparison in 1979 a new diaphragm had been made for the OMH chamber and results now indicate agreement to within 0,4 %, which is an improvement.

The NIST brought two Shonka ionization chambers for re-comparison at medium energy X-ray qualities. During the present comparison the NIST used its own radiation qualities and the values obtained for the qualities used by the BIPM were derived by interpolation. The recent results agree well with those obtained in 1975.

The ARL re-compared in the medium energy X-ray qualities. Since the 1979 comparison the ARL facilities have been relocated in a new building and a change of close to 0,4 % in the standard was noted by comparison with the BIPM. It is believed that the change was caused by the relocation, but it cannot be explained at present. In 1988 the ARL made a first comparison against the BIPM standard using ^{60}Co gamma radiation and satisfactory agreement (0,1 %) was obtained.

The NRC and the PTB also re-compared with the BIPM air kerma standard using ^{60}Co radiation. The NRC result shows a small change due to the use of different correction factors for the NRC chamber, but the PTB result remains unchanged. Figure 1 shows the results of all the comparisons of air kerma standards performed in the BIPM ^{60}Co beam.

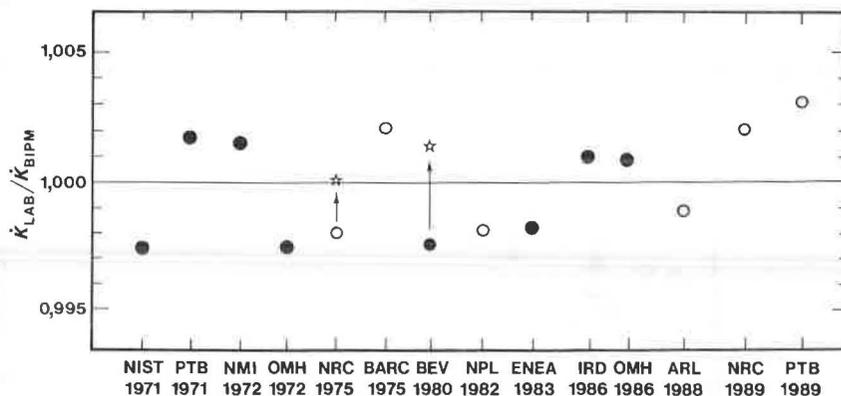


Fig. 1. — Results of all comparisons of air kerma standards performed in the BIPM ^{60}Co beam. The physical constants used are those recommended by the CCEMRI.

● direct comparisons ; ○ indirect comparisons ; ☆ results revised in 1990.

The IRA compared its calorimetric standard of absorbed dose to graphite with the ionometric standard of the BIPM, at different depths in graphite, using ^{60}Co gamma rays. The agreement is better than 0,3 %.

The results of all the comparisons of absorbed dose to graphite performed at the BIPM are given in Figure 2.

Several comparisons arranged between primary laboratories, but not involving the BIPM, were also reported.

At its last meeting Section I formed a High-Energy Intercomparison Procedures Working Group. B. Owen, the convener of the group, reported on the results of preliminary comparisons in terms of the calibration of ionization chambers over the range from ^{60}Co to 20 MV X rays which had taken place between the NPL, the PTB and the NRC. All results were referenced to the BIPM ^{60}Co absorbed dose to water standard.

The NPL, PTB and NRC Fricke dosimetry is based respectively on a graphite calorimeter at ^{60}Co , measurement of the G value for 6 MeV electrons and a water calorimeter, and the results show agreement within 1,5 %. The Fricke values at high energy were up to 2 % higher than the NPL graphite calorimeter-based values but this difference for the NRC was significantly reduced after application of an NRC calculated correction for the effect of the quartz container of the Fricke

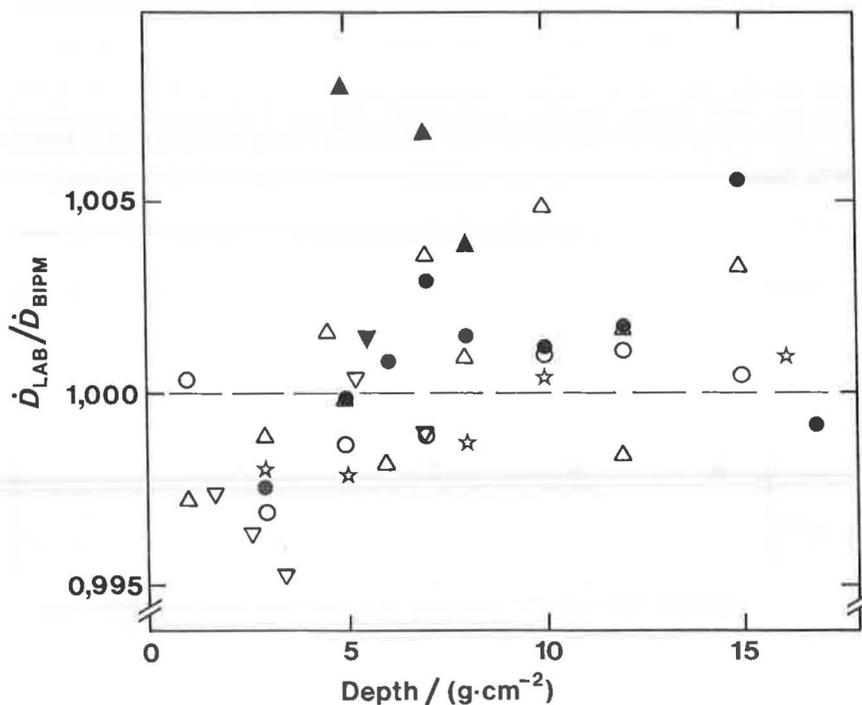


Fig. 2. — Comparisons of absorbed dose to graphite performed at the BIPM for ^{60}Co radiation.

Ratio of the absorbed dose rate to graphite, \dot{D}_{LAB} and \dot{D}_{BIPM} , measured with the calorimeters of the national laboratories and with the BIPM ionometric standard, respectively.

Symbol	○	●	▲	△	▽	▼	☆	—
Laboratory	NIST	LPRI	PTB	NMI	OMH	NPL	IRA	BIPM
Date	1977	1977	1977	1979	1986	1987	1989	—
$\sigma(\%)$	0,07	0,17	0,35	0,11	0,35	0,18	0,35	0,26

solution. The NRC calculations show that the container wall correction varies linearly with beam quality index being 0 % for ^{60}Co and 1,7 % at 0,79 TPR. Similar calculations remain to be made for the NPL and PTB glass ampoules.

The NPL graphite calorimeter-based measurements show the ^{60}Co value 1 % above the curve through the X-ray values: a new feature is the dependence of the chamber calibration factor on the X-ray beam filtration for the same quality index. These effects and the Fricke wall correction need further investigation and it is planned that the working group will continue until the next meeting of the Section.

A comparison of the NPL and ENEA air kerma standards in the low — and medium — energy X-ray range was reported. In the low-energy range, the chambers agreed to within 0,4 % for radiations at

10, 25 and 50 kV as a result of a direct comparison, while in the medium-energy range the two transfer chambers agreed to within 0,6 % at the BIPM reference qualities. When account is taken of the known difference between the NPL and BIPM standards the agreement between the BIPM and the ENEA is within 0,35 %.

An indirect comparison between the ARL and the NRL was reported in the medium-energy X-ray range and also for ^{60}Co gamma rays. An NE 2560/2561 dosimeter and its ^{90}Sr reference were used for the measurements. The results were corrected using the ^{90}Sr reference, and agreement was obtained to within 0,3 %.

Z. Referowski reported a comparison between the USSR, Hungary, Czechoslovakia, GDR and Poland using the soft X-ray qualities. Agreement was reported to be within 0,7 %.

There was considerable discussion regarding the correction factors to be applied to exposure standards. In the X-ray region, the results of calculations at the NRC on the electron loss corrections applied in free-air ionization chambers were reported. The uncertainties involved in the stopping power ratios used for ^{60}Co gamma rays were also discussed in some detail. It was stressed by D.W.O. Rogers that the uncertainty in the I value for carbon is such that the uncertainty in the stopping power of carbon is perhaps as high as 0,7 %. It was noted, however, that the uncertainty on the product $W/e\bar{s}_{c,a}$, used in the air kerma determination, is lower than the uncertainty on $\bar{s}_{c,a}$. H. Svensson mentioned that W/e may have a small energy dependence. A working group under the chairmanship of D. W. O. Rogers was established to report to the next meeting on the uncertainties to be recommended for use by member laboratories for these factors. The members were to be M. Boutillon, N. J. Hargrave, K. Hohlfield and J.-P. Simoën.

The question of the wall correction factor and point source correction factor to be applied to carbon cavity chambers used as standards for ^{60}Co gamma rays, which had been raised at the previous meeting, was again discussed. Further calculations had been made at the NRC for the thirteen primary cavity chambers in use at member laboratories. The NRC representative offered to perform calculations of the wall corrections and point source correction for other chambers used as standards by members if they would supply the necessary constructional details. It was noted that if these modified correction factors were to be applied, the values of some national air kerma standards could change by as much as 0,9 %. It was shown that the relationship of the national standards to the BIPM standard would change from a mean value of 1,0005 to 1,0039 with the same standard deviation. This would still be within the uncertainties of the comparisons. The nature of the extrapolation procedure used in the experimental measurement of the wall correction was discussed for the case of spherical and pancake chambers.

Mme Dutreix noted that the changes in the standards due to the modified wall corrections would not be significant to the medical community and that frequent small modifications to standards were not helpful. L. Lindborg suggested that in some areas of radiation research the precise knowledge of standards was important. He suggested that calibration reports could include a statement about possible modifications to standards which are foreseen but not yet incorporated.

Because of the importance of these standards to users in the medical physics community, and the view that constancy is as important as absolute value, it was decided to defer a decision regarding the incorporation of these changes in wall corrections until the next meeting.

It was noted that the NPL and the LPRI would make the change to the new data ($\bar{s}_{c,a}$, W, g) recommended at the 1985 meeting as from 1992-01-01. This change was made by the NRC on 1990-07-01.

H. Svensson asked if the changes foreseen were likely to have any effect on the protocols commonly in use to determine absorbed dose in radiotherapy. He was reassured that this would not be the case.

4. Standards of absorbed dose to water

Work in progress at the NIST, the PTB and the NRC relating to standards for absorbed dose to water was outlined. Experiments relating to the heat defect of water were described. At the PTB, these experiments involved the total absorption of low-energy X rays or electrons, while at the NRC they involved radiation chemistry. The NRC had used a H_2/O_2 bubbled system and a H_2 -saturated system. It was noted that, while it presented some problems, the H_2 -saturated system eventually reached a stable state in which the heat defect problem vanished provided that the system had received a sufficiently large radiation exposure. At the PTB measurements were made at 4 °C in order to avoid convection problems in the water.

It was reported that the VNIIFTRI had developed a water calorimeter and that the NPL was developing one. The BIPM was planning to embark on water calorimetry as noted above.

5. Standards for radiation protection

K. E. Duftschmid presented information on the development of an ionization chamber designed to measure directly in terms of ambient dose equivalent. The air-equivalent Delrin wall of the chamber had been modified by the addition of a thin inner coating of bismuth and aluminium to give a calibration factor energy-independent to within 5%. The method had been applied to chambers ranging in volume from 30 ml to 10 l; buildup caps at high energies were not required.

The Section noted that the use of operational dose-equivalent quantities had been adopted in Sweden and Japan.

The matter of the reference radiations used for the calibration of protection instruments, and the question of the possibility of arranging an international comparison in terms of the new ICRU quantities, were raised. It was noted that 50 of the SSDLs in the IAEA dosimetry network had access to ^{137}Cs sources for protection calibration and that the ISO had recommended ^{137}Cs as a reference radiation for this purpose.

Therefore, Section I took two actions on the matter. A recommendation was made to the standardizing laboratories, and to the BIPM, that the existing range of facilities be extended to include ^{137}Cs (Recommendation R(I)-I (1991)). A collection of data on the sources and air-kerma rates available in the standards laboratories is to be made by B. Coursey so that the Section may consider the needs for protection level comparisons at its next meeting.

6. Standards for radiation processing

No documents on standards for radiation processing were prepared prior to the meeting. However, H. Svensson spoke of the measurement programme which now involves 100 comparison measurements per year in this field. The IAEA is setting up its own electron spin resonance (ESR) and alanine facilities to do this. H. Svensson stated that a comparison with primary standards laboratories in this area would be useful. The work of the NPL with dichromate dosimetry and its imminent launch of an ESR alanine service for food irradiation in September 1991 was mentioned. At the NIST both these techniques are in use, but at present the major interest is in the field of dose contour mapping using laser scanning of radiochromic films.

The best accuracy currently available with ESR techniques was stated to have about a standard deviation of 1% at 4 Gy to 5 Gy. The IAEA is interested in applying ESR techniques to radiotherapeutic dosimetry comparisons and monitoring.

7. Standards for brachytherapy

a) X rays

The Section noted the increasing use of a range of sealed sources for use in brachytherapy, particularly for the treatment of tumors of the head, neck, cervix, lung and eye. The problem of the lack of good standardizing techniques in low-energy photon methods (for example

those for ^{192}Ir and ^{125}I) was raised. The need to develop good standards for use around 400 keV was seen to be a potential problem area.

A recommendation was made encouraging standards laboratories and the BIPM to develop means to establish air kerma standards for brachytherapy sources and to devise techniques for transferring the calibration (Recommendation R(I)-2 (1991)). This also encourages these laboratories to investigate methods for measuring absorbed dose to water from such sources.

b) β rays

Some work on the resolution of differences between standardizing laboratories and the suppliers of some β -ray applicators was presented. The use of extrapolation chamber methods in several laboratories was noted.

8. Reports from member laboratories

Reports on work in progress not dealt with elsewhere in this report were submitted from ten laboratories (91-5, 6, 7, 22, 25, 26, 28, 29, 30, 33, 34 and 35). The documents outlined the progress in facilities, services and research which occurred since the last meeting. It was stressed that the BIPM is always interested in work in progress in member laboratories and appreciates being kept informed.

9. Report from the IAEA

H. Svensson spoke of the activities in the 66 member laboratories of the SSDL network. He noted that these laboratories perform about 1 000 calibrations of therapy instruments and evaluate around 1 500 000 personnel dosimeters per year.

The question of accuracy of dose delivery and quality assurance in radiotherapy is of continuing interest to the IAEA. In pursuit of this interest the Agency currently runs three training courses per year in different regions of the world and is developing a radiotherapy test procedure.

The test procedure employs a three-step process. Initially dosimetry of radiation at normal incidence on a cubic water phantom should show agreement to the IAEA reference at the 3 % level. The agreement on an irregularly-shaped water phantom irradiated from several directions should show agreement at the 5 % level. Finally, agreement on a realistic bladder phantom, irradiated with several fields, should agree at the 5 % level. The method has been tested in European radiotherapy clinics and is planned for use in North America.

10. Publicity

The Chairman agreed to prepare brief reports of the meeting for submission to the journals *Medical Physics* and *Physics in Medicine and Biology*. Member laboratories were urged to also report on salient points of the meeting to their local communities.

11. Other items

a) *Comparison of Monte-Carlo codes*

At its last meeting the Section requested D. W. O. Rogers to coordinate a comparison of the Monte-Carlo codes in use in the standardizing laboratories. He presented a preliminary report of an intercomparison between five codes in use at present. It was noted that these codes do not all use the same data base and that agreement above 1 MeV is good. However, there were marked discrepancies in the test cases when 20 keV photons were incident. The preliminary nature of the report was emphasized. More work is planned before next meeting, when it is hoped a full report will be available.

b) *Ionization loss measurement*

Work at the ETL on the saturation behaviour in free-air ionization chambers and on the factor m , related to the ratio of the ion-recombination coefficients to the ion mobilities in air, was presented (91-27, 28).

c) *Next meeting*

It was agreed that the next meeting of Section I should occur in two years time.

Before adjourning the meeting the Chairman thanked the staff of the BIPM for their hospitality and then passed the meeting over to the Director of the BIPM who thanked the participants for their contributions and expressed appreciation of the amount of work they do for the BIPM.

June 1991, revised September 1991

**Recommendations
of Section I (X and γ rays, electrons) of CCEMRI**

Extension of γ -ray standards to include ^{137}Cs

RECOMMENDATION R(I)-1 (1991)

CCEMRI Section I

considering that the ^{137}Cs gamma-ray beams are widely used as references in the calibration of radiation protection dosimeters,

recommends that the standards laboratories and the BIPM

- extend the existing energy range of air kerma standards to include ^{137}Cs gamma rays, and
- develop facilities for calibrations and for comparisons.

Measurements in brachytherapy

RECOMMENDATION R(I)-2 (1991)

CCEMRI Section I

recognizing

- that the required quantity for use in brachytherapy is absorbed dose to water or tissue, and
- that the ICRU recommends air kerma rate to characterize the sources used for such purposes,

recommends that standards laboratories and the BIPM

- i) develop air kerma measuring techniques appropriate for these sources,
 - ii) develop convenient techniques (such as use of reentrant ionization chambers) for transferring such calibrations to the wide variety of sources used in brachytherapy, and
 - iii) investigate measuring methods for absorbed dose to water from such sources.
-

APPENDIX R(I) 1

**Working documents submitted to
Section I of the CCEMRI at its 10th Meeting**
(*see* the list of documents on page R 28)

Section II — Measurement of radionuclides

10th Meeting (May 1989)

AGENDA
for the 10th Meeting

1. Recent international comparisons of activity measurements.
 2. International reference system for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR).
 3. Reports of the working groups. . .
 4. Work at the BIPM.
 5. Future international comparisons.
 6. Reports from member laboratories.
 7. Other business.
 8. Visit to BIPM laboratories.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION II. — Measurement of radionuclides

10th Meeting (May 1989)

REPORT

by D. SMITH, Rapporteur

Abstract. Section II (Measurement of radionuclides) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its tenth meeting in May 1989. The report on the 1988 full-scale comparison of ^{125}I was presented and discussed. The results were considered satisfactory with a standard deviation in the mean activity concentration of 0,2 %. The range of reported values, however, was larger than for recent comparisons and possible reasons for this were discussed. The report on the earlier full-scale ^{109}Cd comparison will be prepared for publication in condensed form. A full-scale ^{75}Se comparison may be scheduled after the trial comparison is completed in late 1989. The International Reference System (SIR) and its proven stability were described, and options for the extension of the system to include gases and β emitters were discussed. Possible devices to be used include an ionization chamber, sensitive at low energy, and a liquid-scintillation system, both of which will be investigated further. Reports from the working groups were presented and recent BIPM activities described.

Section II (Measurement of radionuclides) * of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI **) held its tenth meeting at the Pavillon de Breteuil, at Sèvres, from 29 through 31 May 1989.

* For the list of the members, see p. XII.

** For the list of the abbreviations used in the report, see p. V.

Present :

J. G. V. TAYLOR, Chairman of Section II, Atomic Energy of Canada Limited [AECL], Chalk River.

Delegates of the member laboratories and organizations :

Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay (B. CHAUVENET).

D. I. Mendeleev Institute for Metrology [VNIIM], Leningrad (N. I. KARMALITSYN).

National Accelerator Centre [NAC], Faure (B.R.S. SIMPSON).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (D. D. HOPPES).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (D. SMITH).

National Research Council of Canada [NRC], Ottawa (D. C. SANTRY).

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (Á. SZÖRÉNYI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (K. DEBERTIN).

Members :

W. BAMBYNEK, Central Bureau for Nuclear Measurements, Euratom [CBNM], Geel.

J.-J. GOSTELY, Institut d'Électrochimie et Radiochimie [IER], École Polytechnique Fédérale, Lausanne.

J. G. V. TAYLOR, Atomic Energy of Canada Limited [AECL], Chalk River.

G. WINKLER, Institut für Radiumforschung und Kernphysik [IRK], Vienna.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures (T. J. QUINN) (part of the meeting).

Also attending the meeting : P. GIACOMO, Directeur honoraire of the BIPM; A. ALLISY, J. W. MÜLLER, G. RATEL, M. BOUTILLON, V. D. HUYNH, P. BRÉONCE and D. MÜLLER (BIPM).

Apologies for absence received from :

Australian Nuclear Science and Technology Organisation [ANSTO], Menai.

National Institute of Metrology [NIM], Beijing.

International Atomic Energy Agency [IAEA], Vienna.

In the absence of the Director of the BIPM, T. J. Quinn, the recently retired Director, P. Giacomo, opened the meeting by welcoming the participants. T. J. Quinn welcomed the group in person on the second

day. It was recalled that the main purpose of the meeting is to discuss the activities carried out at the BIPM and to provide advice, encouragement and support for its programmes. The other purpose is to provide an opportunity for the exchange of information on work and developments at all the laboratories represented.

The Chairman, J. G. V. Taylor, proposed D. Smith as rapporteur. He also welcomed particularly B. R. S. Simpson as the new delegate from the NAC in place of B. R. Meyer.

The agenda was approved without change.

1. Recent international comparisons of activity measurements

a) ^{109}Cd full-scale comparison

G. Ratel presented additional information on the 1986 comparison of ^{109}Cd concerning the estimation of the internal conversion coefficient α_i of the 88 keV transition. The BIPM was asked to prepare a draft condensed version of the ^{109}Cd report (*BIPM Rapport BIPM-88/4*), to be first circulated to all members for comments with a view to later publication in the open literature. It was agreed that care should be exercised in quoting the uncertainty of α_i , as deduced from the distribution of values in the report, because other contributions may need to be considered.

b) ^{125}I full-scale comparison

G. Ratel presented a summary of the comprehensive report (89-2 *) on the June 1988 comparison of ^{125}I activity measurements. The active solution was supplied by the NIST, then diluted and bottled by the OMH, and finally dispatched by the LMRI on 19 April 1988 to 19 participating laboratories. Purity tests were performed by the NIST, the OMH and the LMRI. A total of eight different methods of activity measurement were employed, and several laboratories used two, three or even four methods. Thirteen laboratories used the method of Eldridge and Crowther, which requires only a single detector, usually NaI, and measured the single and sum peak intensities. Eleven members applied the Taylor method using two highly efficient detectors, recording single-channel and coincidence count rates. Other methods included $4\pi\epsilon\text{-}(X,\gamma)$ coincidence efficiency extrapolation, a $4\pi(\text{CsI})$ system, a $4\pi(\text{LS})\text{e-X}$ extrapolation, and $4\pi(\text{PC})\text{e-photon}$ anticoincidence counting.

* Documents submitted by the participants are listed in Annexe R(II) 1, and are referred to in the text in the form 89-1, 89-2, etc.

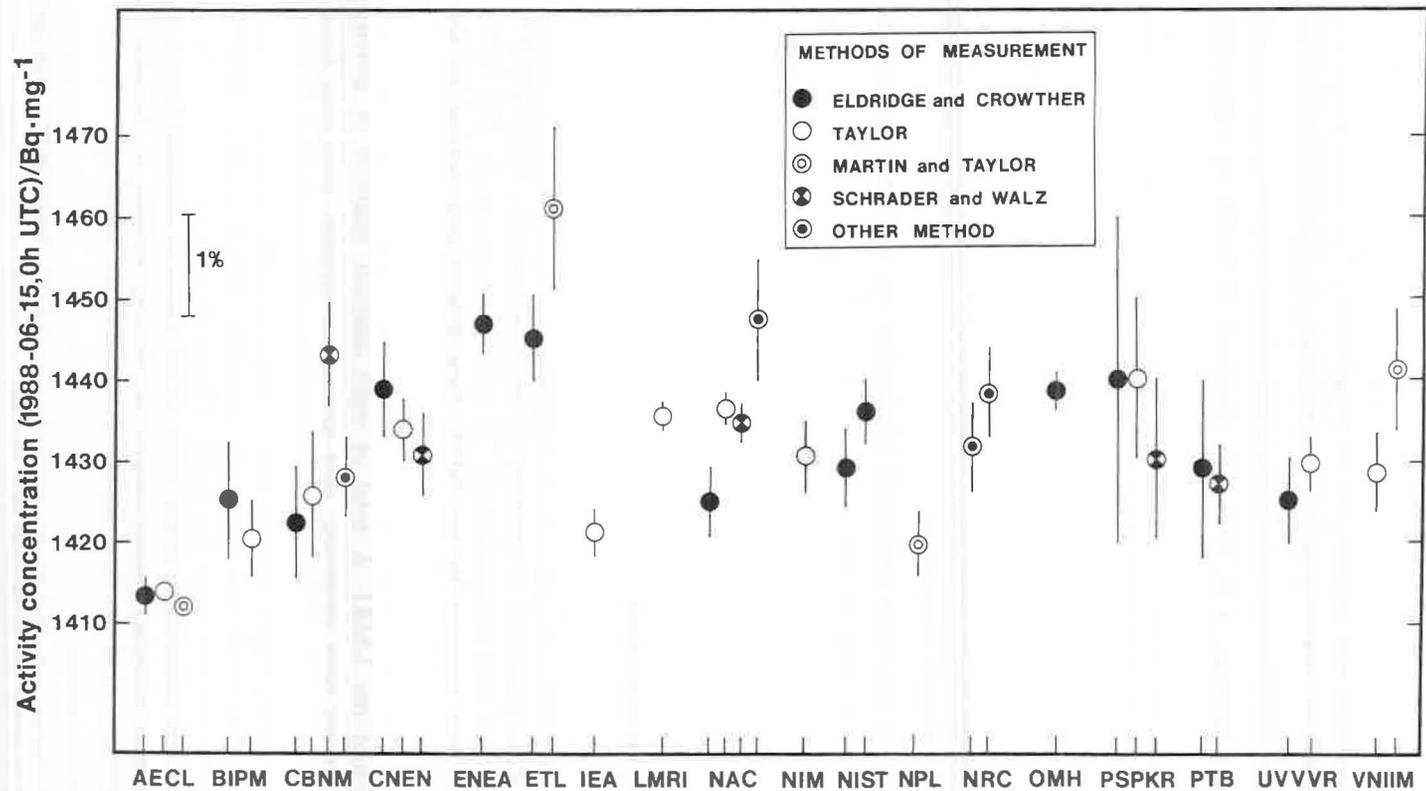


Fig. 1. — Graphical representation of the results of the ¹²⁵I international comparison.

Note. — Subsequent measurements performed at AECL with an undiluted solution indicate that their results as given above may be low by about 1,5 %.

Figure 1 shows the distribution of the results and the methods used. The total range of values was 7,2 % (3,5 % if one outlier, not on the figure, is excluded), with an overall unweighted mean of $(1\,429,9 \pm 2,6)$ Bq mg⁻¹. Results were also classified in terms of the measurement methods. Three laboratories carried out half-life determinations for the comparison, and various further ongoing half-life measurements were noted as being in preparation for publication.

The Chairman congratulated G. Ratel on the impressive manner in which he had drawn up the draft report from all the submitted data. Members added some few extra details on their measurements in a general discussion. J. G. V. Taylor noted that, although the AECL results are of high precision, they are also of uncertain accuracy because the AECL measurements of the activity concentration of the undiluted solution were about 1,5 % higher than values given by measurements from two dilutions. Accordingly, these results should be given much less weight in the final report. The large range of the reported results (about 7 % compared to, e.g., 2,4 % for ¹³⁷Cs) shows that problems other than counting probably affected the measurements, and members were encouraged to look for possible reasons for them.

Section II thanked all the laboratories which have taken an active part in the organization of this comparison.

It was agreed that any additional comments on the report should be submitted to the BIPM as soon as possible, to allow preparation of the final document and its publication as a BIPM report.

c) ⁷⁵Se trial comparison

Á. Szörényi reported that the ⁷⁵Se trial comparison scheduled for spring 1989, involving six laboratories, had been delayed due to Amersham-Buchler being unable to supply the ⁷⁵Se. Only the AECL had been able to complete measurements. Discussion took place on the problems introduced by the delayed state produced in the decay of ⁷⁵Se, its half life and the internal conversion intensities of subsequent γ -ray transitions. All laboratories taking part were asked to submit their results to the BIPM by 31 August 1989, with a reference date of 15 June 1989. The half life used and dates of measurements should be recorded. Participants were requested to give their results with and without the correction required to account for the delayed state of ⁷⁵As, so that the values may be adjusted later if better estimates of the fraction of decays proceeding through this isomer become available. G. Ratel will aim to draw up a report of the trial comparison in September 1989. Due to other commitments, the CBNM will send its results later.

2. International reference system for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR)

G. Ratel reported that in its 13 years of operation the SIR has received 516 ampoules for 48 radionuclides from 25 participants, giving a total of 373 independent results. The record sheets also show how many values have been withdrawn (about one per year) and the radionuclides concerned, in order to indicate where problems might exist. The stability of the ionization chambers remains excellent, with variations of $\leq 3,5 \times 10^{-4}$ in measured ratios of pairs of radium reference sources. A computer program is being developed to analyze data for the response vs. gamma-ray energy to enable, for instance, updated P_γ values to be readily incorporated. This response curve will be available for members.

3. Reports of the working groups

a) *Extension of the SIR* (Coordinator: D. D. Hoppes)

Despite the success of the SIR, there remains a significant number of nuclides whose radiations render them unsuitable for SIR measurement, and for which no repository of calibrations exists at the BIPM. The working group report, issued in January 1989, gave a comprehensive list of nuclides to be measured by an extended SIR system, and suggested methods by which this could be achieved.

— α emitters: Only ^{241}Am is of general interest, and this is measurable by the present SIR, although a relatively large amount of activity is needed.

— gases: ^{85}Kr , ^{133}Xe , and a few other nuclides can be measured by the present SIR, provided suitable ampoules are available.

— β emitters: The higher-energy β emitters may be measured using an ionization chamber with good low-energy response. The lower-energy β emitters may be measured by liquid scintillation or calorimetric methods.

It was agreed that

i) Interested laboratories would obtain gas ampoules from the NIST and submit ^{85}Kr or ^{133}Xe to the SIR, as soon as convenient. At the same time, the NIST will continue tests on the reproducibility of ampoules and, at a later date, the BIPM may obtain a batch for SIR use.

ii) The working group should decide by 31 December 1989 if a suitable ionization chamber can be recommended for purchase or construction by the BIPM. Possibilities include a PTB design, the NPL-Vinten chamber, and other commercial chambers. Comments and suggestions by members should be sent to the coordinator by 15 October 1989.

iii) The preferred approach to liquid-scintillation (LS) counting was for laboratories to use closely defined procedures, allowing samples to be sent to the BIPM sealed and ready for measurement. The appropriate LS system will be studied by the working group and the BIPM. G. Ratel will visit the NIST in August 1989 for this purpose. It was felt that the preparation of samples at the BIPM from solutions submitted to it should be avoided if at all possible. Sample preparation at the BIPM would be time-consuming, expensive and possibly, in case of disagreement, controversial. A promising LS method involving the triple-to-double coincidence ratio obtained with a three-phototube counting system was described by B. R. S. Simpson.

b) Principles of the coincidence method (Coordinator: J. W. Müller)

Nineteen articles, reports or notes have been distributed within the working group since its last meeting (89-6). The primary interest was in coincidence counting and correction formulae, in the effects of a generalized dead time and in pile-up effects. An updated version of the dead-time bibliography (*BIPM Rapport BIPM-81/11*) is to be produced. All members should send relevant references, particularly those published since the last revision in 1981, to the coordinator by 31 December 1989.

c) Hönigschmid standards and possible replacement (Coordinator: D. Smith)

D. Smith reported on the results of a questionnaire (87-12) drawn up by the NPL and the VNIIM, and circulated to all members, seeking information on the status of radium measurements in their laboratories, the whereabouts of the Hönigschmid standards and whether substitute robust radium standards were required. Only the VNIIM and the UVVVR expressed any definite interest in obtaining new standards: no other laboratory has any significant requirement for radium measurements. The fragility of the Hönigschmid standards remains a major concern, although there is some evidence that pressure buildup and radiation damage to the glass may not be as severe as once thought. In view of the limited interest, it was agreed that no change should be recommended in the definition of radium activity, and that this Section II working group should be discontinued. N. I. Karmalitsyn noted that his laboratory wishes to proceed with the manufacture of new radium standards, prepared from raw material retrieved from some of the Hönigschmid standards.

d) *High-count-rate measurements* (Coordinator : J.-J. Gostely)

The high-count-rate measurements group was set up to consider the possibilities of measuring activities at rates extending into the MBq region, using advances in equipment and calculation techniques made in the last decade. Responses to a questionnaire from the coordinator have helped to define possible approaches. Significant work could be carried out by individual laboratories following a short-lived radionuclide (e.g. $^{99}\text{Tc}^m$, ^{24}Na) over many half lives. In any distribution of activity between laboratories, a preference for solid ^{60}Co sources was evident and the BIPM, in principle, would be willing to make these. It was agreed that the working group would continue to refine its proposals, and to include all members of Section II in future questionnaires or surveys. No deadline was set for these proposals.

e) *Experiments with high-efficiency NaI(Tl) systems used for activity measurements* (Coordinator : G. Winkler)

A detailed report by G. Winkler has already been circulated to all Section II members, and no further information has materialized since that time. Any further contributions should be sent to the coordinator, who has agreed to produce a final report in a form suitable for publication in a scientific journal, in approximately one year. This final draft will be circulated to members, and will include a footnote mentioning that the work was inspired by Section II.

f) *Thin-source preparation and associated chemical problems* (Coordinator : D. C. Santry)

An additional literature survey was carried out in 1987/1988 to look for more recent information on thin-source preparation. It would appear that there have been no recent significant improvements in the preparation of thin sources applicable to radionuclide metrology. Since the review published by van der Eijk in 1973, the only new technique for the preparation of thin sources for radionuclide standardizations was the use of the electrospayed pads of ion-exchange resins described by G. C. Löwenthal. The working group was formally terminated, but D. C. Santry was asked to keep a watching brief in the field, and to alert the Section to any major developments in source-preparation methods.

g) *Internal gas counting* (Coordinator : D. D. Hoppes)

Apart from the activities in the field of gas counting reported under the Working Group for Extension of the SIR, no other actions have taken place.

4. Work at the BIPM

a) Half-life measurement of the metastable state in ^{75}Se decay (J. W. Müller)

During preliminary measurements of the half life (about 17 ms) of the metastable level of ^{75}Se , an effect has been noted which, if not appreciated, might lead to an error in the estimate of half life. The method accumulates time intervals between γ rays from « before » and « after » the metastable level, which can be displayed on a multichannel analyzer (MCA) in time mode, as in Figure 2, where the exponential behaviour is evident. However, the « background level » count rate before the peak is found to be significantly less than that reached by following the decay of the exponential. This can be fully explained in terms of the random start which has an increased probability of occurring within a long time interval, so giving rise to a region of lower count density. The conclusion is that, in such methods, the level to the left of the peak should not be used in the half-life determination.

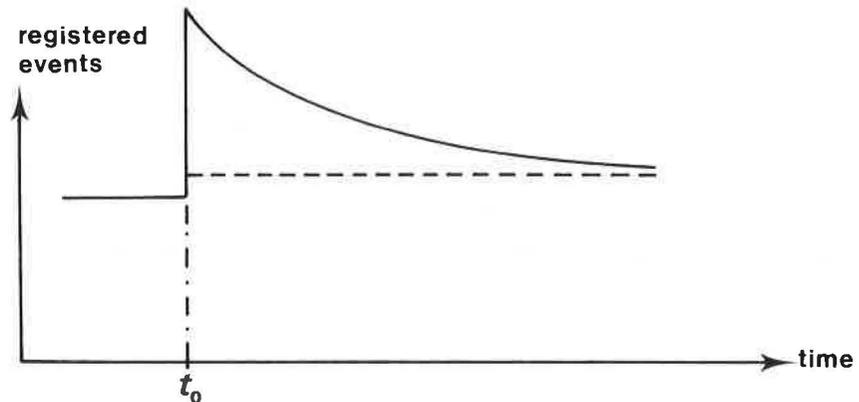


Fig. 2. — Schematic display on a multichannel analyzer in time mode of the exponential decay of a metastable level. The time t_0 is the time of arrival of the initial event.

b) An elementary derivation of Takács formula (J. W. Müller)

The Takács formula gives the correction applicable to a Poisson distribution in the presence of a generalized dead time. The essence of the method is to treat the extendable dead-time case, as well as the non-extendable case, in terms of the output pulse distribution and to evaluate the probability of dead-time extension for one or more events. In the generalized dead-time case, only a fraction of the pulses may contribute to a dead-time extension. The output count rate can then easily be obtained.

c) Dead time and decay (J. W. Müller)

The correction formula for a generalized dead time, taking account of decay and background, has been derived. It is consistent with the previously known formulae for the special cases of extendable and non-extendable dead times.

d) Series arrangements of dead times (J. W. Müller)

For the series arrangement of two dead times, the difficult additional changes produced by the first element on the output count rate can be described formally by a transmission factor. Exact expressions, some rather complicated, are known for the four possible combinations of two dead times of the traditional type. A series expansion is often more useful, and then some striking similarities can be observed in the coefficients for the different arrangements. Attempts to generalize the formulae for these coefficients to the case when both dead times are of the generalized type have been successful. The outcome of this work may be a method which allows the second dead time to be chosen in such a way that the influence of the first on the output count rate is fully eliminated.

e) Modulo 2 correlation counting (J. W. Müller)

J. W. Müller described the modulo 2 counting method and an electronic circuit devised by P. Bréonce for its implementation. The method allows the determination of the type and magnitude of a dead time for which the traditional approaches are not applicable. The extension of the modulo 2 approach to more than one counting channel is being considered.

5. Future international comparisons

Á. Szörényi, Chairman of the Working Group on future comparisons of activity, noted the tasks recently undertaken, including the organization of the various trial and full-scale comparisons, and presented a short review of the 28 comparisons organized since 1961.

a) ⁷⁵Se full-scale comparison

The results of the trial ⁷⁵Se comparison will not be available until at least Autumn 1989. Decisions on the need for a further trial and on the date at which to proceed with the full-scale comparison cannot be made before that time.

b) Possibilities for further comparisons

Discussion took place on nuclides which are of interest and may be suitable subjects for future international comparisons, after the current ^{75}Se comparison is completed. Nuclides considered included ^{99}Tc , ^{152}Eu , ^{144}Ce , ^{125}Sb , ^{147}Pm , ^7Be , ^{237}Np and ^{210}Pb listed here in order, approximately, of the degree of interest expressed in each nuclide. The working group is to investigate further the nuclides ^{99}Tc , ^{152}Eu and ^{144}Ce , although other options are not excluded. All members with information on possible suppliers, purity, availability, cost, etc., of these nuclides should communicate it to Á. Szörényi by 1 October 1989. Copies of all correspondence should be addressed to the BIPM.

By December 1989, the working group will send a summary of future options to all members. It will be accompanied by a questionnaire to help decide on the comparisons which will be of most benefit.

6. Reports from member laboratories

Written reports from most of the laboratories are available from the BIPM upon request (89-3, 4, 5, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17). In addition, all members present gave accounts of work in progress at their laboratories, highlighting items of general interest, and answering consequent questions from other members.

7. Other business

a) Non-chemical difficulties in activity calibrations of radionuclides ; ionization-chamber handbook

This was the title of a previous working group, coordinated by H.-M. Weiss (PTB, retired), which undertook a significant amount of work, but did not produce a final report. Such a report, if finished, would be very useful. K. Debertain and J. G. V. Taylor will see if this action can be completed.

b) ^{94}Nb check source for ionization chambers

In view of some problems with radium check sources, namely the disequilibrium with 22 year ^{210}Pb , the possible use of 2×10^4 year ^{94}Nb was suggested. Several MBq of ^{94}Nb may be made available from the NIST for use by the BIPM.

c) Publications of the BIPM in the field of activity measurements

Over the years many monographs and detailed BIPM reports of which current members should be aware have been compiled. It was agreed that a copy of the bibliography would be circulated to all members along with the draft report of the meeting.

d) Next meeting

The next meeting is expected in two years time. To facilitate the attendance of members, it will, if possible, be appropriately synchronized with other relevant scientific meetings. The Chairman will again assume responsibility for informing all members of interim actions that are of general or specific concern.

8. Visit to BIPM laboratories

The Director of the BIPM arranged and conducted a tour of several laboratories of the BIPM outside the ionizing radiation field. Informal tours of the radioactivity measurement laboratories were also arranged including a demonstration of a method of half-life determination discussed during the meeting.

Before closing the meeting, the Chairman thanked the participants for all their efforts and particularly the staff of the BIPM for a well-organized meeting and for their hospitality.

On behalf of the BIPM, J. W. Müller thanked the Chairman for the efficient and harmonious way in which the meeting was conducted. Thanks were also expressed to all members of Section II for their work and for the support they gave to the BIPM Ionizing Radiations Section.

There being no other topics on the agenda, J. G. V. Taylor closed the tenth meeting of Section II of the CCEMRI.

June 1989, revised September 1989

APPENDIX R(II) 1

**Working documents submitted to
Section II of the CCEMRI at its 10th Meeting**

(see the list of documents on page R 48)

Section II — Measurement of radionuclides

11th Meeting (May 1991)

AGENDA
for the 11th Meeting

1. Results of recent comparisons of activity measurements.
 2. International reference system for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR).
 3. Reports of the working groups.
 4. Work at the BIPM.
 5. Future international comparisons.
 6. Reports from member laboratories.
 7. Other business.
 8. Visit to the BIPM laboratories.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION II. — Measurement of radionuclides

11th Meeting (May 1991)

REPORT

by D. D. HOPPES, Rapporteur

Abstract. The 11th meeting of Section II (Measurement of radionuclides) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants was held in May 1991, in parallel with the meetings of the other Sections. Remeasurement revealed the source of the major discrepancy in the trial ^{75}Se comparison and a full comparison of activity measurements of that radionuclide is planned for early 1992. Articles summarizing three previous comparisons have been drafted and will be submitted for journal publication before year end. Tests of pure-beta-particle measurements are underway in the working group for extension of the SIR. A « double-dead-time » method equivalent to coincidence counting was discussed in another working group, as were simulated and theoretical pile-up effects. A BIPM-developed method for avoiding corrections for accidentals in coincidence counting was described, together with an accurate modulo 2 method for measuring the microsecond time intervals involved. The comparison to follow that of ^{75}Se will be of ^{204}Tl , which will furnish a benchmark for measurements with the extended SIR.

Section II (Measurement of radionuclides)* of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI**) held its eleventh meeting at the Pavillon de Breteuil, at Sèvres, on May 21, 22 and 23, 1991.

(*) For the list of the members, see page XII.

(**) Laboratories and organizations mentioned in this report are listed on page V.

Present :

J. G. V. TAYLOR, Chairman of Section II, AECL Research [AECL],
Chalk River.

Delegates of the member laboratories and organizations :

Australian Nuclear Science and Technology Organisation [ANSTO],
Menai (S. BUCKMAN).

Bureau National de Métrologie, Paris: Laboratoire Primaire des
Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay (B. CHAUVENET).

National Accelerator Centre [NAC], Faure (B. R. S. SIMPSON).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithers-
burg (D. D. HOPPE).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (D. SMITH).

National Research Council of Canada [NRC], Ottawa
(D. C. SANTRY).

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (Á. SZÖRÉNYI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(K. DEBERTIN).

Members :

W. BAMBYNEK, Central Bureau for Nuclear Measurements [CBNM],
Geel.

J.-J. GOSTELY, Institut d'Électrochimie et Radiochimie [IER], École
Polytechnique Fédérale, Lausanne.

J. G. V. TAYLOR, AECL Research [AECL], Chalk River.

G. WINKLER, Institut für Radiumforschung und Kernphysik [IRK],
Vienna.

Observer :

D. REHER, Central Bureau for Nuclear Measurements [CBNM],
Geel.

Attended at least a portion of the meeting : T. J. QUINN, Director
of the BIPM ; O. SALA, member of the CIPM, Chairman of CCEMRI ;
A. ALLISY, G. DIETZE, A. M. KELLERER (members of the CCEMRI),
J. W. MÜLLER, G. RATEL, P. BRÉONCE and D. MÜLLER (BIPM).

Sent regrets :

D. I. Mendeleev Institute for Metrology [VNIIM], Leningrad
(V. I. FOMINYCH).

National Institute of Metrology [NIM], Beijing (XU Mian).

Absent :

International Atomic Energy Agency [IAEA], Vienna.

The Director of the BIPM opened the meeting. He welcomed the members of the three sections of the CCEMRI, and reminded them of their charge before they went to their separate parallel meetings.

The Chairman of Section II appointed D. D. Hoppes as rapporteur, and welcomed S. Buckman as the new delegate of the ANSTO and D. Reher as an observer. The tentative agenda was accepted with minor modifications.

1. Results of recent comparisons of activity measurements

a) ⁷⁵Se trial comparison

G. Ratel summarized and supplemented the report (91-1)* on the trial comparison of ⁷⁵Se activity measurements by five laboratories (AECL, BIPM, LPRI, OMH, and PTB). The low original value measured by the BIPM with an extrapolation by variation of the pressure in the proportional counter was not reproduced when discriminator variation was substituted. In the latter case the experimental points were well fitted by a linear function. Extrapolation by pressure variation does not appear to be a good technique for this radionuclide.

Although the correction for the 17 ms metastable state was made in different ways, including a measurement of the delayed decays by the OMH and the PTB, the final results show the satisfactory agreement displayed in Figure 1.

While the five results based on $4\pi(e,X)\text{-}\gamma$ coincidence (or equivalent) measurements require an explicit correction of over 5 %, this correction is not required for $4\pi\gamma$ -ray measurements where the calculated efficiency includes decays via the isomeric state and is almost independent of the branching ratio. However, it must be supposed that direct electron capture (of second-forbidden order) to the ⁷⁵As ground state is negligible. This supposition is supported by the results of this comparison. A full comparison of ⁷⁵Se activity measurements can now be planned.

b) Publication of the reports of past comparisons

Drafts of shortened versions of the reports for the ¹⁰⁹Cd and ¹³³Ba comparisons were distributed for comment before the end of June 1991. A draft of the shortened ¹²⁵I report will be distributed before the end of July, with comments to be supplied before the end of October. After consideration of all comments, the articles are to be rapidly submitted for publication, as the agreement of national standards, and the precautions exercised in their production, should be widely publicized.

* Documents submitted by the participants are listed in Annexe R(II) 1, and are referred to in the text in the form 91-1, 91-2, etc.

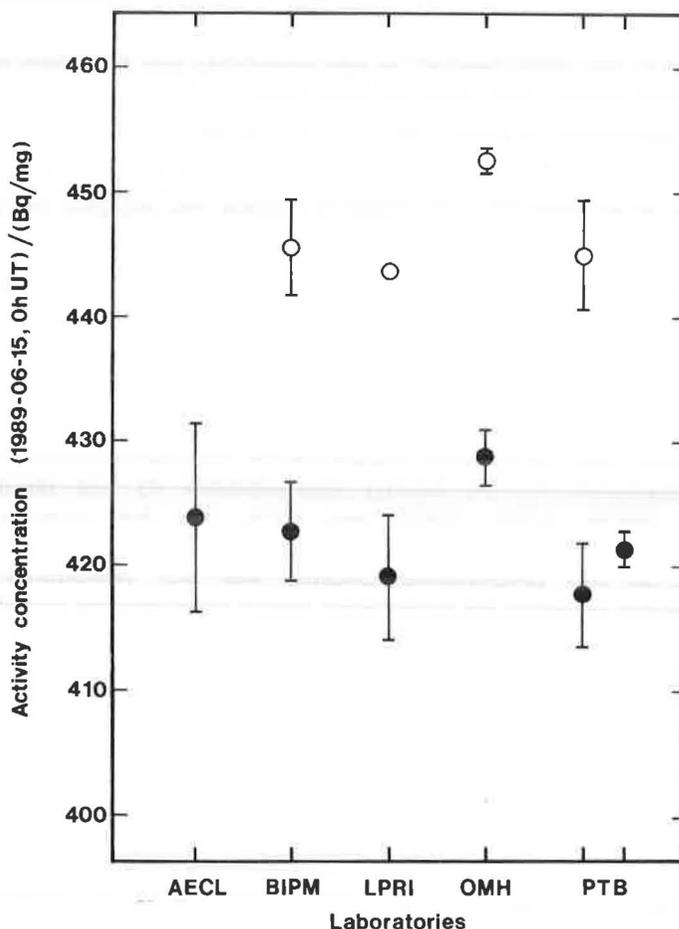


Fig. 1. — Results of the ^{75}Se trial comparison obtained before (○) and after (●) correction for delayed events.

2. International reference system for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR)

G. Ratel reported that to date 403 independent results for 50 radionuclides from 25 standardizing laboratories have been recorded on the BIPM ionization chambers. The significance of this system in providing a basis for the traceability of standards of radionuclides among nations should be made better known. The SIR system provides a stable and dependable repository for such standards with little effort and maintenance. A special effort should be made to add all new radionuclides as they are standardized in each country. Even radionuclides with half lives shorter than one day can be accommodated if one month's notice is given before transmission to the BIPM.

3. Reports of the Working Groups

a) *Extension of the SIR system* (Coordinator : D. D. Hoppes)

If the SIR system is to be truly comprehensive, two further types of radionuclides must be included. One type is gamma-ray emitting noble gases and the other type is those radionuclides with photons inadequate in energy or number for consistent measurement with the present ionization chamber. A gas ampoule used by the NIST should be acceptable for use with gamma rays higher than 200 keV in energy, but at lower energies its use is questionable for SIR purposes. A low-activity ampoule of ^{85}Kr was submitted to check the response at 514 keV.

The use of liquid-scintillation counting for almost all other radionuclides not now covered is under test. Two methods were proposed to correct for changes with time and for variations in response among samples prepared by different laboratories. One involves the calculated ratios for two and three phototubes in coincidence viewing the same scintillator solution containing the certified activity. The other, based on commercial apparatus, uses the spectrum from an external gamma-ray source to judge differences in light output. In the second case the relation between counting efficiency and the gamma-ray response can be established experimentally for each radionuclide. Alternatively, the relationship can be calculated from the model of the first case, but using a reference radionuclide of known activity to establish a single parameter.

A commercial instrument was installed at the BIPM; it has been used to check a sample of ^{204}Tl and probe the small differences seen with different vial types, scintillators, and fillings. A more comprehensive test of new commercial scintillators was performed at the NIST, and that laboratory is circulating sealed vials of ^3H , ^{14}C and ^{99}Tc as organic compounds in the most promising commercial scintillator to the PTB, BIPM, CIEMAT, IEA, and NAC to establish agreement of standards with those to be measured by the extended SIR system.

A report (91-2) by G. Ratel of his visit to the NIST gives the steps proposed, and another from the NIST (91-3) shows the compensation that can be achieved by the simple procedures used in routine measurements of ^3H . Further details of stability tests will be given by J. M. Calhoun (NIST) at the Madrid meeting of the ICRM.

b) *Principles of the coincidence method* (Coordinator : J. W. Müller)

The six papers circulated in the draft or report stage, to the Working Group on the principles of the coincidence method (91-15), illustrate

that « coincidence » is to be taken in a more general sense than the simple use of a coincidence circuit, for one paper considered correlation techniques and another introduced a new variant called the « double-dead-time method » in which pulses from a mixing circuit are recorded whether they occur in both the electron and gamma-ray channels or in only one. Other papers explored generalized dead times, the propagation of parities, or the consequences of pulse pile-up.

The difficulty of making computer searches for articles to add to the bibliography on dead times was discussed. Group members agreed to make a final search and then the bibliography will be assembled.

c) High-count-rate measurements (Coordinator : J.-J. Gostely)

J.-J. Gostely presented data that show how a simple correction can reduce errors due to pulse pile-up, an effect which removes counts from a selected energy region.

Opinions given in a survey regarding a comparison of high-count-rate measurements varied widely (91-6). Possibilities considered were the distribution of a set of sources of graduated activity, the preparation of such a set in each laboratory, the following of the decay of a short-lived radionuclide, or the simple reporting of techniques used in each laboratory to justify the rate-correction method used. The last method was chosen, with data to be submitted to the coordinator before January 1992 and a report to be prepared by J.-J. Gostely or G. Ratel before the end of that year.

d) Future comparisons of activity measurements (Coordinator : Á. Szörényi)

A questionnaire circulated in March 1991 showed ^{152}Eu to be the most popular radionuclide for the comparison to follow that of ^{75}Se . A summary (91-18) showed some 16 other radionuclides of varying interest. Discussion centered on the significance of the radionuclide in applications (^{192}Ir , ^{152}Eu), or in laying a foundation for the extension of the SIR system to pure beta-ray emitters (^{63}Ni , ^{90}Sr). Finally, ^{204}Tl , a radionuclide with moderate energy beta particles, was chosen.

e) Experiments with high-efficiency NaI(Tl) systems used for activity measurements (Coordinator : G. Winkler)

A report, now near completion, will detail the use of high-efficiency NaI(Tl) systems for measurements on ^{24}Na and ^{75}Se . The scope of future work will be broadened to include the complex CsI system at the CBNM, which can measure electrons and gamma rays of up to 200 keV with high efficiency. Further data should be submitted to the coordinator before the end of 1991, and the report should then be submitted for journal publication.

f) Ionization chamber monograph

H. Schrader (PTB) has prepared a detailed outline and collected a bibliography of over 250 publications. It is anticipated that a draft will be circulated to section members within one year, and that a final version will be ready by the next meeting of Section II.

g) Other working groups

The Working Group on thin sources (Coordinator: D. C. Santry) has found no new references other than that reported by the LPRI on electro-sprayed latex microspheres and organic conducting films. A written report does not seem appropriate.

The Working Group on internal gas counting (Coordinator: D. D. Hoppes) noted the EUROMET comparison of gaseous tritium measurements now underway, with the NIST also a participant. It seems that many of the interested laboratories are involved in what is probably the most difficult measurement, so no others should be planned until the outcome of this work is known.

4. Work at the BIPM

a) Measurement of coincidence rates without using a correction formula for accidentals (J. W. Müller)

Counts appearing in the beta and gamma channels can, in principle, be subdivided into two classes, according to whether they have a partner pulse in the opposite channel which originates from the same decay, or are «single». If, for a given time interval t , we consider the sum S of the beta and gamma events, this can be written in the form $S = b + g + 2c$, where c is the number of paired events (coincidences), while b and g denote the number of single events. This shows that the parity of S (even or odd) is independent of c . A measurement of this parity will therefore yield $b + g$, from which the count rate of true coincidences $C = c/t$ can be obtained by a subtraction from the total number of counted events.

This approach has been tested with electronic circuits, constructed and described by P. Bréonce. For a meaningful measurement of parity, each sampling interval should contain, on average, less than one count. This requires accurate measurement of time intervals in the microsecond time region and collection of a large number of time intervals. In a test case, this method gave an activity within 0,01 % of that calculated with the usual Cox-Isham formula for the correction of accidental coincidences. Although, for the same total counting time, uncertainties are larger than in the traditional method, the accuracy is still more than sufficient.

b) Accurate measurement of short time intervals (J. W. Müller)

The time intervals mentioned above can best be measured by a parity method, and preferably by observing the parity in an interval where at most one count is possible. Applied to our case, the time was measured with an uncertainty of less than 1 part in 3×10^4 . By using an oscillator instead of a random pulse train, this uncertainty shrinks to 1 part in 10^6 .

c) Measurement of the half life of the 304 keV state in ^{75}As (J. W. Müller)

A multichannel analyzer in time mode was used to measure the half life of a state involved in the decay of ^{75}Se . The result, after some four months of counting, is $T_{1/2} = (16,75 \pm 0,05)$ ms. The optimum count rate was about 1 s^{-1} . The fit was to an exponential function of time, but omitting the « flat » part preceding the zero delay point, as this region is recognized as being systematically « low », due to the preferred selection effect of long intervals by a « random » start in a Poisson process.

d) Crossing points of pure and distorted Poisson distributions (J. W. Müller)

Dead-time effects reduce the relative scatter of real counting distributions, with respect to the original Poissonian ones. The two points at which the distorted distribution crosses a Poisson distribution of the same mean value are given by a simple relation which involves only the experimental mean. This was shown to hold, for instance, in early visual scintillation counting by Geiger, when an eye « dead time » of the observer of 0,05 s was found. More recent, Hungarian measurements with high count rates show the same effect.

e) Other BIPM activities (G. Ratel)

The progress made in liquid-scintillation counting and in the interpretation of coincidence counting on ^{75}Se have already been described, and show that the BIPM group for radioactivity measurements has broadened the types of radionuclides which can be measured. These capabilities offer a useful supplement to the unique SIR service and the innovative reassessment of counting techniques.

5. Future international comparisons

a) Full-scale comparison of ^{75}Se activity measurements

With the discrepancy uncovered in the trial ^{75}Se comparison rectified, the full comparison may now take place. G. Ratel will check when suitable fresh material is available and look into possibilities for

preparing ampoules; the LPRI will handle distribution, and the NIST and PTB will check for impurities. A questionnaire will be sent to possible participants in June 1991, with the intention that the comparison will take place within one year.

b) *Following comparison*

Although ^{152}Eu was the clear choice of the laboratories returning the questionnaire distributed by the Working Group on future comparisons, it was felt that the progress made in the extension of the SIR system now suggested that a radionuclide of interest in that program should be directly tested in a comparison to provide for the early checking of the system. Although both ^{63}Ni and ^{90}Sr were suggested, ^{204}Tl was the ultimate choice. It was felt to be of moderate difficulty and of general interest. A trial comparison will be scheduled once the ^{75}Se full comparison is completed: seven laboratories are interested in taking part.

6. Reports from member laboratories

Delegates reviewed the current activity in their laboratories, and indicated the number of staff involved (which ranged from 2 to 25). Written reports (91-4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 21, 22) were received from all laboratories, even the two which did not send representatives. The group considered this to be a very important item on the agenda as it furthers mutual understanding among scientists and helps to distinguish the capabilities of the various laboratories.

7. Other business

a) *^{94}Nb sources for ionization chambers and spectrometers*

AECL Research chemists have separated a ^{60}Co impurity from about 200 MBq of ^{94}Nb supplied by the NIST, in preparation for packaging the niobium as stable, long-lived (2×10^4 years) comparison sources, e.g. for repository ionization chambers. It is planned to prepare about 20 samples of about 7,5 MBq each in the form of the oxide tightly sealed in a metal capsule, which is in turn placed in a plastic simulated «ampoule». Cost is estimated at about US \$ 1000; sources will be available from either the AECL or the NIST. Reference sources for gamma-ray spectrometry are also planned. These may even serve as calibration sources, if an activity standardization is performed. Unfortunately, a large $^{93}\text{Nb}^m$ impurity will make some types of activity measurement uncertain.

b) Availability of radionuclides for standard reference materials

K. Debertin offered to seek a reliable supply of radionuclides which are desired for calibration sources, but now difficult to obtain. Among these, ^{139}Ce is the outstanding example. He suggested that a coordinated plan for joint purchases on a routine basis might lead a producer to make the materials available. It was suggested that the question be raised at the ICRM meeting, where others might be interested.

c) Retirement of section members

The Chairman noted that W. Bambynek, who has contributed to many Section II meetings, would be leaving after this meeting. He expressed the appreciation of the group and noted the contributions to radioactivity metrology that had come from the CBNM laboratory.

J. W. Müller then reviewed the long and valuable association of the chairman, J. G. V. Taylor, with Section II, starting with the formative meeting in 1970. He noted that this would also be the last meeting for the chairman, whose innovations and insights had provided a notable contribution to the meetings. In response to a round of applause the chairman thanked the Section members, especially the BIPM staff, for their cooperation and support.

d) Appointment of the new chairman

D. D. Hoppes of NIST was proposed as the new chairman: this was accepted by the Section.

e) Next meeting

It was anticipated that the next meeting will take place in 1993, to be coordinated with other European meetings concerned with radionuclide metrology. Developments before that time will be communicated to Section members.

8. Visit to the BIPM laboratories

Section members were invited to see the sophisticated circuitry constructed in the Radionuclide Group, the new liquid-scintillation system, the original SIR system, and other activities. A tour of BIPM projects outside the ionizing radiations area was also organized.

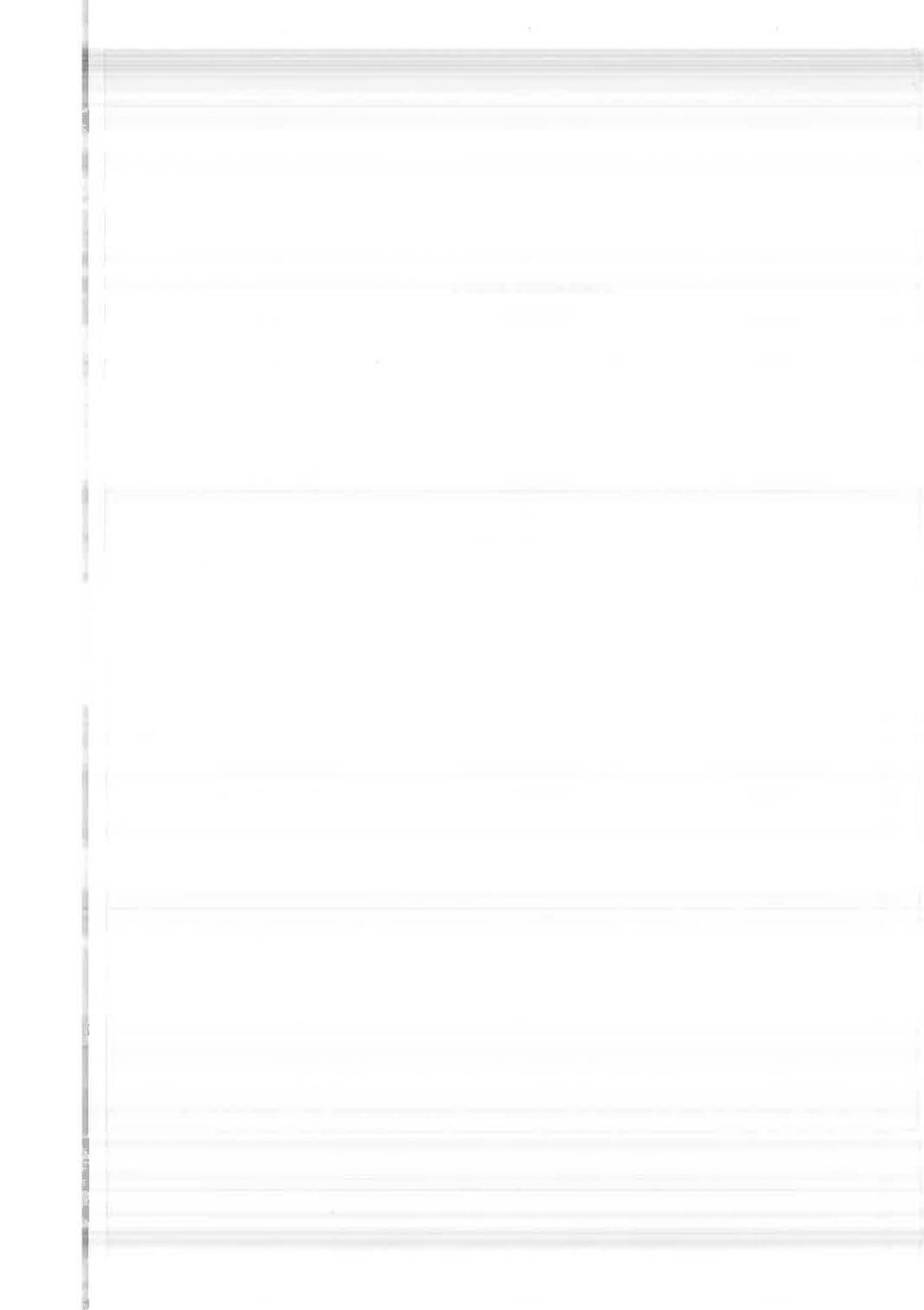
Before adjourning the meeting, the Chairman thanked the participants for their contributions and the staff of the BIPM for their hospitality.

June 1991, revised September 1991

APPENDIX R(II) 1

**Working documents submitted to
Section II of the CCEMRI at its 11th Meeting**

(see the list of documents on page R 65)



Section III — Neutron measurements

9th Meeting (May 1991)

AGENDA
for the 9th Meeting

1. Report on neutron work in progress at the BIPM.
 2. ^{252}Cf neutron source emission-rate comparison.
 3. Neutron fluence-rate comparisons.
 4. Neutron-dosimetry comparison.
 5. Working Group on fluence-measurements transfer methods with continued long-term availability.
 6. Future activity of Section III.
 7. Exchange of information on work in progress at the participants' laboratories.
 8. Visit to BIPM metrology laboratories.
 9. Other business.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION III. — Neutron measurements

9th Meeting (May 1991)

REPORT

by E. J. AXTON and R. JAHR, Rapporteurs

Abstract. Section III (Neutron measurements) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its ninth meeting in May 1991. Recent work carried out at the BIPM in the field of neutron measurements was reported. A neutron emission rate comparison using a ^{252}Cf source was discussed and also a fluence comparison based on the $^{115}\text{In}(n,n')$ $^{115}\text{In}^m$ reaction. Preliminary results of a fluence comparison involving a Bonner sphere set were reported and plans for a further comparison of 25 keV fluence measurements were approved. Plans were discussed for a future international comparison of neutron spectral fluence, and possibly also of thermal neutron fluence. Further measurements, completing the work on the BIPM neutron dosimetry comparison, were described; this work will be published. The Working Group on fluence transfer methods reported progress and made recommendations on the transfer standards to be held at the BIPM. The future activity of Section III, including staff at the BIPM, was discussed. Finally, there was an exchange of information on work in progress at the participants' laboratories.

Section III (Neutron measurements)* of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI**) held its ninth meeting at the Pavillon de Breteuil, Sèvres, on 21, 22, 23 May 1991.

* For the list of the members, see page XIII.

** Laboratories and organizations mentioned in this report are listed on page V.

Present :

V. E. LEWIS, Chairman of Section III, National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Delegates of the member laboratories and organizations :

Bureau National de Métrologie, Paris: Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay (Mme N. COURSOL).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (D. M. GILLIAM).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (V. E. LEWIS).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (R. JAHR).

Members :

E. J. AXTON, Chairman, Working Group on fluence-measurements transfer methods.

J. J. BROERSE, Institute of Applied Radiobiology and Immunology [ITRI-TNO], Rijswijk.

Observers :

Commissariat à l'Énergie Atomique, Centre d'Études Nucléaires de Bruyères-le-Châtel [CENB] (S. CRESPIN).

E. WATTECAMPS, Central Bureau for Nuclear Measurements [CBNM], Geel.

Attended all or part of the meeting : T. J. QUINN, Director of the BIPM, P. GIACOMO, Directeur honoraire of the BIPM ; O. SALA, member of the CIPM, Chairman of CCEMRI ; A. ALLISY, G. DIETZE and A. M. KELLERER, members of CCEMRI ; V. D. HUYNH and J. W. MÜLLER (BIPM).

Sent regrets :

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (K. KUDO).

D. I. Mendeleyev Institute for Metrology [VNIIM], Leningrad.

National Institute of Metrology [NIM], Beijing.

The Director of the BIPM welcomed the participants of Sections I, II and III combined, and explained the new arrangement.

The Chairman of Section III welcomed its members and observers, especially those attending for the first time : Mme Coursol from the LPRI, D. M. Gilliam from the NIST and E. Wattecamps from the CBNM. He also expressed his appreciation of the work of R. S. Caswell, extending over many years, as the previous Chairman of Section III.

E. J. Axton and R. Jahr accepted the task of rapporteurs.

The minor changes or additions to the agenda are included in the report.

1. Report on neutron work in progress at the BIPM

V. D. Huynh summarized the main activities of the BIPM neutron measurement group since 1988.

a) *BIPM neutron-dosimetry international comparison*

At the request of the ETL, the BIPM neutron-dosimetry international comparison has been completed using additional measurements from the ETL to give revised results for this laboratory. Checks on the BIPM transfer instruments were made at the BIPM before and after these measurements.

To clarify discrepancies in the responses of the Mg/Ar chambers measured at the BIPM, a study of these chambers has been carried out at the BIPM (*BIPM Rapport BIPM-90/1*, 1990). These matters are further discussed in section 4 of this report.

b) *Investigation of an NE 213 type liquid scintillation detector*

As proposed by Section III at its 1988 meeting, the properties of an NE 213 liquid scintillation detector have been investigated in the BIPM 2,5 MeV and 14,65 MeV neutron beams with a view to including, in future programmes, the measurement and the calculation of the spectra of neutrons from the BIPM « monoenergetic » neutron beams.

2. ^{252}Cf neutron source emission-rate comparison

At the previous meeting, four laboratories (LPRI, NIST, NPL and PTB) expressed varying degrees of interest in comparing measurements of a « strong » ^{252}Cf source. There was no suggestion that a formal comparison, held under the auspices of Section III, should be organized.

The NPL possessed a suitable source which then had an emission rate of about 10^9 s^{-1} . The NIST made measurements on this source in the summer of 1987 and returned it to the NPL where measurements were made in March 1989 after improvements to the shielding of their facility had made its handling possible. The emission rate in March 1989 was $6,2 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ and will be about half this by September 1991. Agreement among the data depends on the value assumed for the half life of the source. Further measurements will be made later this year by the NPL. The LPRI, although collaborating with the NPL under a

EUROMET agreement, does not expect to measure this source within the framework of this project. At present, source strengths greater than some 10^8 s^{-1} cannot easily be handled at the LPRI.

It was agreed that future comparisons would be organized bilaterally between members as and when the need arises.

3. Neutron fluence-rate comparisons

a) *Analysis of the $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ comparison at 14,8 MeV (Coordinator: H. Liskien)*

Difficulties were encountered from the sensitivity of the instrumentation to scattered neutrons of lower energies produced mainly by the target interactions. Failure to take this effect into account led to a wide spread (30 %) in the results, whereas the concurrent comparison using niobium activation showed a range of about 4 %.

At the last meeting, some seven years after the measurements had been made, calculations of the corrections applicable to the targets used by most of the participants were still outstanding. The PTB offered the use of a computer code developed at Braunschweig, but since then there has been little or no progress.

The results are now ten years old, are of diminishing relevance and the coordinator has retired. There seems little point in completing this exercise, but it should be stressed that the work was valuable in revealing the extent of the problem of low-energy neutron contamination. The perturbing effects of target-scattered neutrons is relevant to nearly all neutron fluence international comparisons including the current one, based on Bonner spheres and described below.

R. Jahr described the Monte-Carlo calculations of the PTB producing corrections obtained at three neutron energies and various target thicknesses. The calculations allow both for elastically and inelastically scattered neutrons, and for (n,2n) reactions which become important for neutron energies above 8 MeV for copper or silver target backing. The PTB computer program can be made available to other laboratories, and work on this problem will continue.

b) *Bonner sphere comparison at 2,5 MeV and 14,7 MeV (Coordinator: E. J. Axton)*

The two moderating spheres, designated sphere B and sphere H, were made at the NPL of high-density polyethylene with diameters of 89 mm and 241 mm, respectively. Each has a central spherical cavity in which a spherical ^3He proportional counter type SP 90, provided by the BIPM, can be fitted. The neutron detection efficiencies of these two instruments were determined by each of the four participants (BIPM, CBNM, PTB

and NPL) for neutron energies of 2,5 MeV and 14,7 MeV during the period from 1986 until early 1990. The decision to arrange the comparison was taken at the 1985 meeting following proposals by J. B. Hunt, who also provided a protocol. The protocol called for measurements at a large number of distances from 2,5 m down to 1,5 times the radius of the sphere. A non-linear model was provided in order to derive unknown constants, related to the detection efficiency and various scattering and geometrical effects, by least squares fitting.

The main objectives of the comparison were :

1. To compare fluence measurements in rooms of different shapes and sizes at the different laboratories, and therefore with different scattered neutron fields, by comparing the derived sphere detection efficiency,

2. To determine whether it is possible to derive the same value for the efficiency from a small number of measurements close to the neutron source, where the count rates are high, and without the use of shadow cones. If this can be done it will greatly shorten the time required to calibrate neutron detectors.

Shadow-cone measurements were not mandatory in the protocol, but most laboratories provided them.

The protocol contained a detailed questionnaire listing information on equipment, procedures and corrections to the measured data. Some laboratories did not provide all of the information required for the evaluation.

Reports from three participants were sent to the coordinator ; the BIPM sent the original raw data (count rate as a function of distance). The original intention was to evaluate all four sets of data simultaneously using a standard non-linear least squares technique, but the last report was received very recently and there was insufficient time for the simultaneous evaluation. Consequently, the results presented here should be regarded as preliminary. If further analysis is necessary, questionnaires will be sent to participants : it is likely that this will relate particularly to the evaluation of uncertainties.

A report (91-4)* prepared for the meeting gives a brief summary of the experimental work. It includes preliminary results for the sphere efficiencies and other parameters specified on the protocol, as well as references to the relevant reports. The sphere efficiencies are shown in the report as the percentage deviation from the covariance-weighted mean for each sphere/neutron energy combination. One «rogue» measurement was very high, and was omitted from the weighted mean. Some results were obtained by the method described in the protocol,

* Documents submitted by the participants are listed in Annexe R(III) 1, and are referred to in the text in the form 91-1, 91-2, etc.

which involves analyzing subsets of the data to obtain values for some of the floating variables, and then using these as constants in other linear least squares calculations to obtain the other floating variables. Other results were obtained by straightforward non-linear least squares calculations. It is unlikely that differences in the treatment of data could explain the observed discrepancies in the result.

Three laboratories carried out shadow-cone measurements, which were used to determine the scattering parameters (method 1 in the figure of 91-4), method 2 being least squares polynomial fitting of direct-beam data. In one case, method 1 represented non-linear least squares fitting of all data including shadow-cone data whilst method 2 simply eliminated the shadow-cone data. Also shown in the figure are the positions of variance-weighted and unweighted means for each sphere/neutron energy combination. There is a spread of 17 % between the 27 sets of results, the worst case being that of the small sphere with 14,7 MeV neutrons.

Two laboratories made significant downward corrections for target-scattered neutrons and two did not mention them. This fact may explain some of the differences in results. In general, agreement between laboratories is not as good as expected or hoped for. Regarding the second objective, namely whether it is possible to derive the same value for the efficiency from a small number of measurements close to the neutron source, good agreement between the two methods was achieved at two laboratories. At the third, the agreement was poor, and at the fourth, shadow cones were not used. One laboratory commented that the use of shadow cones was both easier and quicker.

There was considerable discussion of the results. It was observed that no checks were built into the comparison to ensure that the ^3He detector response remained stable throughout the measurement period, which occupied several years. It was therefore decided that the first laboratory, BIPM, whose measurements were made in 1986, should repeat some of the measurements to check this stability. This might explain some of the discrepancies in the results. V. D. Huynh agreed to investigate whether additional neutrons generated in the analysing magnet could be responsible for the failure to reach agreement between methods 1 and 2.

Since no corrections were made for the effects of target scattered neutrons, V. D. Huynh also agreed to investigate this problem either by measurement or calculation. This is most important for the case of the small sphere at 14,7 MeV.

It was found that the residuals in the non-linear least-squares fitting of the BIPM data were abnormally distributed, particularly at short distances. E. J. Axton agreed to try the effect of deleting some of the short-distance data.

It was recommended that no further action be taken until the participants have had an opportunity to study the report.

c) *Proposed comparison at 24,5 keV*

At the 1988 meeting, a working group was appointed to determine the degree of interest in, and to put forward proposals for, a comparison of neutron fluence measurements in the energy range from 20 keV to 50 keV. A survey was carried out which indicated that six laboratories (ETL, IAEB, NIST, NPL, PTB and VNIIM) were interested in participating. They were asked for details of their choice of neutron field and energy, and transfer instrument (91-2).

Four types of neutron field were suggested by the participants. The lowest energy considered was that of an antimony-beryllium source. This has a main neutron group with a mean energy of 22,8 keV that is lowered slightly by source scattering effects. A reactor beam with an iron filter has an energy corresponding to the window in the iron absorption cross section at about 24,5 keV. The third field is that produced by the $^{45}\text{Sc}(p,n)^{45}\text{Ti}$ reaction, for which the neutron energy depends on the proton beam energy and the angle of emission chosen for the neutron measurement. A widely-used resonance yields neutrons with energies of up to 27,4 keV at 0° to the proton beam axis. Because the range of energies indicated is relatively narrow, a single reference energy of 24,5 keV was chosen for this comparison. The fourth field is that produced by the $^7\text{Li}(p,n)$ reaction producing neutrons of energy 30 keV just above the threshold.

Three transfer techniques were considered. A helium-3 spectrometer was originally offered by the ETL in 1985 for a comparison of 14 MeV neutron spectroscopy. However, it was considered to be unsuitable for low-energy neutrons because of its high sensitivity to thermal neutrons. A typical resolution of the order of 20 keV would not enable adequate separation of the thermal peak from that at, say, 25 keV. Furthermore, the equipment would not be easy to handle or to calibrate, and would really need somebody to accompany it.

A hydrogen-filled proportional counter would be sensitive to gamma radiation, so inaccuracies would arise in subtracting such events from the recoil proton spectrum. Neutron-gamma discrimination would be an undesirable complication of the detector electronics, and could not be guaranteed to be completely successful. There is also the question of acquiring a suitable device, the problem of a standardized gas-filling system, and the requirement that the device be sufficiently robust.

Bonner spheres are sensitive to low-energy neutron background and therefore at least two sizes, with different energy response functions, are required. A diameter of about 10 cm is suitable for 25 keV and one of about 20 cm for higher energies. The energy dependence of each must be known over the range of interest.

After due consideration the Bonner sphere set used for the 2,5 MeV and 14,7 MeV fluence comparison was chosen for the transfer instrument. The aim of this comparison is to measure the 24,5 keV neutron fluence

sensitivities of these two spheres plus that of a smaller sphere of diameter 6,35 cm.

It is hoped that participating laboratories will take no more than six months each to complete their part of the exercise, including measurements, receipt and despatch of instrumentation. Participants will be responsible for arranging for the transport of the transfer instrumentation as appropriate.

The tentative timetable is:

1992 : ETL, IAEB, NIST

1993/1994 : PTB, VNIIM, NPL.

V. D. Huynh has agreed to be coordinator and will compile a report which, it is envisaged, will be published in *Metrologia* after circulation to all participants and approval by Section III.

d) *Thermal neutron fluence comparisons*

D. M. Gilliam drew attention to the growing need for more accurate thermal neutron fluence or density measurements. Accuracies of 0,5 % or better are required in connection with studies of reactor design, the free-neutron life time, cold neutron beams, and fundamental nuclear forces. The last international comparison of thermal neutron fluence measurements arranged by Section III was carried out between 1966 and 1968. Since then, there have been significant improvements in our knowledge of the standard cross sections such as those of gold, boron, lithium, cobalt, and the fissile nuclides such as ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu and ^{241}Pu . Some work on this subject is in progress at the NIST and, if there are other potential participants, a new comparison of thermal neutron fluence measurements could be arranged. D. M. Gilliam agreed to bring a proposal and a protocol to the next meeting, and meanwhile to discuss the proposal with possible interested parties.

E. J. Axton suggested that the thermal neutron data compilations might be improved considerably, even without further measurements, by means of a simultaneous least squares analysis of all existing measurements. The vast majority of measurements are in fact ratio measurements, and are therefore highly correlated. The existence of a few nuclides of which the cross sections are known very accurately would therefore influence the values for most of the nuclides in the Periodic Table. In the past, data for individual nuclides have usually been processed separately.

e) *Neutron spectral fluence*

So far no international comparison of spectral fluence has been performed under the auspices of Section III, although neutron spectrometers are widely used, for instance, for radiation protection purposes, in neutron therapy and in fusion research. For this reason some comparative measurements are envisaged for the period 1993 to 1996.

Such a comparison would call for the circulation of one or two radionuclide-type neutron sources to the participating laboratories, for instance $^{241}\text{Am-Be}$ and $^{241}\text{Am-B}$. The task of the laboratories would be to determine the absolute spectral neutron fluence emitted from these sources at a certain distance. The spectrum of $^{241}\text{Am-Be}$ is known to have a distinct structure which extends between 100 keV and 11 MeV. The spectrum of $^{241}\text{Am-B}$ appears to have a single peak around 3 MeV. Because of the long half life of ^{241}Am (432 years), a good stability in the shape of the spectrum may be expected. Possibly, suitable sources already exist in the participating laboratories and may be made available for this comparison. It was decided to appoint a working group consisting of R. Jahr and H. Klein (coordinators), and V. D. Huynh, to plan such a comparison and determine possible participants.

4. Neutron-dosimetry comparison

BIPM neutron-dosimetry comparison based on the circulation of a set of transfer instruments (Coordinator: V. D. Huynh)

A report on the results of the BIPM neutron-dosimetry comparison has been produced by the BIPM (*BIPM Rapport BIPM-88/5*). The ETL results deviate from the mean values of those of all the other participants by about 5%. In order to clarify the reason for this deviation, additional measurements have been performed at the ETL. The new results are now in good agreement with those of all the participating laboratories. The difference between the new ETL measurements and the previous ones comes from the photon calibration factors of the BIPM dosimeters measured at the ETL, but the reason for the difference is not clear.

Another deviation observed in this comparison concerned the BIPM Mg/Ar chamber measurements. The responses of the BIPM Mg/Ar chamber measured at the BIPM were about 2% lower than those obtained at the participating laboratories. In order to clarify the reason for this difference, a study of the Mg/Ar chambers has been performed in the BIPM ^{60}Co photon field using different types of gas tubes such as voltaef, teflon, polyvinyl chloride, tygon and rubber. Also, measurements were carried out by doubling the length of some tubes and by varying the flow rate of the gas. The results of these investigations indicate that the responses of the Mg/Ar chamber with voltaef-type tubes, which are usually employed at the BIPM, and only by the BIPM, are lower than those obtained with all the other types of tubes used by the other laboratories. Moreover, for longer tubes one obtains larger differences.

A shortened version of *Rapport BIPM-88/5* will be submitted for publication in *Metrologia*, and a poster will be presented at the forthcoming conference on neutron dosimetry in Berlin. The instrumentation will remain at the BIPM and will be available for use by possible future participants.

5. Working Group on fluence measurements transfer methods with continued long-term availability

Since the 1988 meeting the working group has lost another key member, H. Liskien. We thank him for his valuable service to the group and wish him a long and happy retirement.

a) Activation methods

At the 1985 meeting it was recommended that the BIPM should establish gold foils as activation standards for the measurement of thermal neutron fluence, and niobium/zirconium samples for neutron fluence and energy in the energy range 14 MeV to 15 MeV. There has been no progress in this area, and there is nothing else to report.

b) Transfer instruments

The results of the comparison of neutron fluence measurements using two fission chamber transfer instruments have been published by D. B. Gayther in *Metrologia*. Now that this exercise is completed it is hoped that it may be possible for the fission chambers to stay at the BIPM for use in future comparisons, perhaps on loan from UKAEA : V. E. Lewis agreed to negotiate with UKAEA on behalf of the BIPM.

Other matters pertaining to the work of the group, namely the neutron fluence comparison at 2,5 MeV and 14,7 MeV based on Bonner spheres, and the proposed neutron fluence comparison at 24,5 keV, have been discussed earlier in the report.

6. Future activity of Section III

The neutron comparison programme of Section III is aimed at providing a sound basis, in terms of physical standards, for the measurement of neutron fluence, neutron source strength, neutron energy, kerma and absorbed dose.

Neutron measurements are important in many applications in medicine, industry, and research. In the developing field of neutron radiotherapy, neutron therapy is known to be superior to gamma or

electron therapy for certain specific types of tumour. Future trends are towards higher energies (50 MeV to 60 MeV). The therapeutic effect depends critically on the accuracy of calibration of the dosimeters. Typically, 1 % accuracy is required. Another promising use of neutrons is the boron capture therapy which calls for low-energy neutron standards.

For radiation-protection dosimetry, accurate fluence measurements are required over the entire energy range from 0,02 eV to 20 MeV and, in the future, above the latter energy. The quality factors for neutrons, an indication of hazard, have recently been increased by the ICRP, thereby reducing maximum permissible levels of exposure. Present neutron personnel monitors and survey instruments need improvement, requiring neutron fields calibrated to accuracies of 3 to 10 % over the above energy range.

Standards of neutron fluence rate are required for the safe and efficient development of nuclear energy including both fission- and fusion-based power reactors. Such standards are required both for the determination of neutron cross sections of the structural materials and for the calibration of instruments used in the hostile environments of these reactors. Accuracy requirements as stringent as 1 % are frequent in the energy range from 1 MeV to 15 MeV.

Neutron measurements are also important in other fields, such as the determination of properties of condensed matter by low-energy neutron scattering, activation analysis, neutron radiography, biological research, fundamental nuclear theory, bore-hole logging, and non-destructive determination of the water content of materials.

Going back over a period of thirty years, the objectives of Section III, formerly a Working Group of the CCEMRI, have been to lay the foundations of an internationally coherent system of neutron measurements in order to satisfy the needs pertaining to the applications described above. The BIPM is the natural focal point for this work. Much has been done, but there is still much to do.

In more detail the objectives of Section III are :

a) to establish experimental conditions which would enable BIPM to make measurements of

- neutron source strength,
- thermal neutron fluence/density,
- fast neutron fluence,
- neutron absorbed dose,
- neutron spectral fluence ;

b) to take part in international comparisons of the measurement of these quantities ;

c) to establish the BIPM reference standards which permit continuity of the state of the art achieved in such international comparisons.

International comparisons are very expensive and time-consuming. They are only arranged when the passage of years has shown marked improvement in the accuracy of measurements attainable by participants. The purpose of the BIPM arsenal of reference standards is to provide a link between the results of previous comparisons and measurements both from newly established laboratories and from laboratories which were unable to participate in earlier international comparisons for one reason or another. This link is then served without the need for a new international comparison.

At present, the BIPM reference standards which are available, and which have all been successfully tested in international comparisons, are :

- a) the manganese sulphate bath for calibration of neutron sources,
- b) Bonner spheres for the measurement of neutron fluence at all energies,
- c) ionization chambers for the measurement of neutron absorbed dose,
- d) associated particle counting for the measurement of neutron fluence at 2,5 MeV and 14,7 MeV.

It is hoped in the future to add the following :

- e) gold foils for the measurement of thermal neutron fluence,
- f) Nb/Zr samples for the measurement of neutron fluence and energy at neutron energies in the 14 MeV to 15 MeV region,
- g) $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ fission chambers for the measurement of neutron fluence at all energies.

For the purpose of the envisaged neutron spectrometry comparison, it is recommended that the BIPM neutron laboratory develops its own neutron spectrometry system. In order to cover the whole energy range of interest, a scintillation counter, proton recoil proportional counter, and possibly a Bonner sphere spectrometer should be developed.

The intention is to extend the range and to improve the accuracy of these references. It is envisaged that these reference standards will remain in existence in perpetuity.

Needless to say, if continuity is not achieved in this programme, a vast amount of knowledge and achievement may be lost to future generations. It is therefore essential, from the point of view of Section III, that there must always be someone on the staff of BIPM who is capable of operating the neutron production facilities of the BIPM, and of operating the reference standards instrumentation whenever called upon to do so. It is obvious, therefore, that the person who replaces V. D. Huynh, on the occasion of his retirement in a few years time, should have these capabilities combined with a considerable experience in neutron metrology.

7. Exchange of information on work in progress at the participants' laboratories

A very fruitful and interesting exchange of information took place. The group feels that this is an important item on the agenda as it furthers the mutual understanding among scientists and helps to distinguish the various capabilities of the laboratories.

8. Visit to BIPM metrology laboratories

An informative tour of the electrical standards laboratory was arranged.

9. Other business

At previous meetings it was agreed that an article describing the activities of the Section should be written for submission to a journal widely read by radiation metrologists. It was decided that a poster at the forthcoming Berlin conference on neutron dosimetry would be a suitable way of achieving this end. It was agreed that the previous chairman (R. S. Caswell, NIST) should be asked to prepare an abstract in time to meet the impending deadline; the present Chairman would assist as necessary. The article would also describe the services offered by the BIPM.

The Chairman agreed to contact the IAEA with details of the reference standards for neutron metrology available at the BIPM. It was felt that many countries might be unaware that these facilities are available to both member and non-member states of the Convention du Mètre.

The Chairman thanked all the participants and expressed his gratitude to the staff of the BIPM for their hospitality.

June 1991, revised September 1991

APPENDIX R(III) 1

**Working documents submitted to
Section III of the CCEMRI at its 9th Meeting**

(see the list of documents on page R 83)

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS
DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

12^e session (1991)
12th meeting (1991)

	Pages
Liste des sigles	v
Le BIPM et la Convention du Mètre	ix
Liste des membres du CCEMRI	xi
Ordre du jour	xiv
Rapport au Comité international des poids et mesures, par J. G. V. Taylor	R 1
Résumé	1
Ouverture de la réunion	2
Rapports d'activité des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM :	
— Section I — Rayons X et γ , électrons (travaux et comparaisons concernant la dose absorbée dans l'eau, les étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans le graphite; comparaison de codes de Monte Carlo; effet de paroi pour les chambres à cavité en graphite; incertitude à attribuer au rapport des pouvoirs de ralentissement graphite/air; extension des mesures de kerma dans l'air au rayonnement γ du ^{137}Cs ; dosimétrie en curiethérapie)	3
— Section II — Mesure des radionucléides (comparaison restreinte de ^{75}Se ; Système international de référence et extension au comptage par scintillation liquide; nouvelles méthodes de comptage par coïncidences; mesure de l'activité des nucléides par compteurs $4\pi\gamma$; prochaine comparaison internationale (^{204}Tl); recherche sur les temps morts généralisés et le comptage modulo 2; mesure de la période de l'état métastable du $^{75}\text{As}^m$; sources de référence de ^{94}Nb pur)	4

— Section III — Mesures neutroniques (mesures de spectres de neutrons au BIPM; comparaison de mesures de taux d'émission d'une source intense de neutrons de ^{252}Cf ; projet de comparaison de mesures de fluence à 25 keV; importance du maintien des possibilités de mesure du BIPM dans le domaine des neutrons; comparaisons de mesures de fluence spectrale)	6
— Travaux du BIPM	7
Questions diverses (rapports au CIPM et à la CGPM; importance croissante de la thérapie par faisceaux de protons; spectrométrie neutronique; organisation des réunions du CCEMRI et de ses trois sections)	8
Recommandation R 1 (1991): Extension des étalons au rayonnement γ du ^{137}Cs	9
Recommandation R 2 (1991): Mesures en curiethérapie	10
Recommandation R 3 (1991): Mesures en thérapie par protons	10
Recommandation R 4 (1991): Spectrométrie neutronique	11
 SECTION I (Rayons X et γ , électrons), 10 ^e réunion (mai 1991)	 13
Ordre du jour	14
 Rapport par N. J. Hargrave	 15
Résumé	15
Ouverture de la réunion	17
1. Travaux récents effectués au BIPM: étalon ionométrique pour la mesure de la dose absorbée dans l'eau, comparaison à d'autres méthodes expérimentales	17
2. Travaux futurs du BIPM: comparaisons internationales, étude du défaut de chaleur de l'eau et de la convection; projets d'extension des étalons de kerma dans l'air au rayonnement γ du ^{137}Cs et de mesures en curiethérapie	18
3. Comparaisons d'étalons: comparaisons effectuées au BIPM, autres comparaisons, facteurs de correction	18
4. Étalons de dose absorbée dans l'eau: travaux en cours dans les laboratoires nationaux sur le défaut de chaleur de l'eau et la convection; calorimètres à eau	23
5. Étalons dans le domaine de la radioprotection: extension du domaine actuel pour γ inclure le rayonnement γ du ^{137}Cs	23
6. Étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel	24
7. Étalons dans le domaine de la curiethérapie: rayons X, rayons β	24
8. Rapports d'activité des laboratoires	25
9. Rapport de l'AIEA sur l'activité du réseau des SSDL	25
10. Publicité	25
11. Questions diverses: comparaison de codes de Monte Carlo, mesure de perte d'ionisation, prochaine réunion	25
Recommandation R(I)-1 (1991): Extension des étalons au rayonnement γ du ^{137}Cs	26
Recommandation R(I)-2 (1991): Mesures en curiethérapie	27
 Annexe	
R(I) 1. Documents de travail présentés à la 10 ^e réunion de la Section I du CCEMRI	28

SECTION II (Mesure des radionucléides), 10 ^e réunion (mai 1989)	33
Ordre du jour	34
Rapport par D. Smith	35
Résumé	35
Ouverture de la réunion	36
1. Comparaisons internationales récentes de mesures d'activité : ¹⁰⁹ Cd ; ¹²⁵ I ; comparaison restreinte de ⁷⁵ Se (en cours)	37
2. Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR)	40
3. Rapports des groupes de travail : extension du système SIR, principes de la méthode des coïncidences, les étalons Hönigschmid et leur remplacement éventuel, mesure de taux de comptage élevés, expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité, préparation de sources minces et problèmes chimiques associés, comptage à gaz interne	40
4. Travaux du BIPM : mesure de la période de l'état métastable dans la décroissance du ⁷⁵ Se, une dérivation élémentaire de la formule de Takács, temps mort et décroissance, arrangements en série de temps morts, comptage par corrélation modulo 2	43
5. Comparaisons internationales futures : comparaison internationale de ⁷⁵ Se, choix de nucléides pour des comparaisons futures	45
6. Rapports d'activité des laboratoires représentés à la réunion	46
7. Questions diverses : difficultés d'ordre non chimique rencontrées dans les étalonnages de certains radionucléides, document sur les chambres d'ionisation, source de contrôle de ⁹⁴ Nb pour chambres d'ionisation, publications du BIPM dans le domaine des mesures de radioactivité, prochaine réunion ...	46
8. Visite de laboratoires du BIPM	47
Annexe	
R(II) 1. Documents de travail présentés à la 10^e réunion de la Section II du CCEMRI	48
SECTION II (Mesure des radionucléides), 11 ^e réunion (mai 1991)	51
Ordre du jour	52
Rapport par D. D. Hoppes	53
Résumé	53
Ouverture de la réunion	55
1. Résultats de comparaisons récentes de mesures d'activité : comparaison restreinte de ⁷⁵ Se, publication des rapports de comparaisons précédentes (¹⁰⁹ Cd, ¹³³ Ba, ¹²⁵ I)	55
2. Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR)	57
3. Rapports des groupes de travail : extension du système SIR, principes de la méthode des coïncidences, mesure de taux de comptage élevés, comparaisons futures de mesures d'activité, expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité, monographie sur les chambres d'ionisation, préparation de sources minces, comptage à gaz interne.	57

4. Travaux du BIPM : mesure de taux de coïncidences sans utiliser de formule de correction pour les coïncidences fortuites, mesure exacte d'intervalles de temps courts, mesure de la période du niveau de 304 keV du ^{75}As , points d'intersection de distributions de Poisson pures et déformées, autres activités.	60
5. Comparaisons internationales futures : ^{75}Se , ^{204}Tl	62
6. Rapports d'activité des laboratoires	62
7. Questions diverses : sources de ^{94}Nb pour chambres d'ionisation et spectromètres, approvisionnement en radionucléides servant de sources étalons, départ à la retraite de membres de la section, désignation du nouveau président, prochaine réunion	63
8. Visite de laboratoires du BIPM	64
Annexe	
R(II) 1. Documents de travail présentés à la 11 ^e réunion de la Section II du CCEMRI	65
SECTION III (Mesures neutroniques), 9^e réunion (mai 1991)	67
Ordre du jour	68
Rapport par E. J. Axton et R. Jahr	69
Résumé	69
Ouverture de la réunion	70
1. Rapport sur les travaux du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques : comparaison internationale de dosimétrie neutronique du BIPM, étude d'un détecteur à scintillation liquide du type NE 213	71
2. Comparaison internationale de mesures du taux d'émission d'une source de neutrons de ^{252}Cf	71
3. Comparaisons internationales de mesures de débit de fluence de neutrons : analyse de la comparaison utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ à 14,8 MeV, comparaison à 2,5 MeV et 14,7 MeV avec des sphères de Bonner, comparaison envisagée à 24,5 keV, comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons thermiques, fluence spectrale de neutrons	72
4. Comparaison internationale de dosimétrie neutronique organisée par le BIPM par circulation d'instruments de transfert	78
5. Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence disponibles en permanence et à long terme : méthodes d'activation, instruments de transfert	78
6. Activités futures de la Section III : importance des mesures neutroniques, objectifs de la Section III, étalons de référence disponibles au BIPM, spectrométrie neutronique, importance du rôle du BIPM	79
7. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires représentés à la réunion	82
8. Visite de laboratoires du BIPM	82
9. Questions diverses	82
Annexe	
R(III) 1. Documents de travail présentés à la 9 ^e réunion de la Section III du CCEMRI	83

Note on the use of the English text. Note sur l'utilisation du texte anglais	85
The BIPM and the Convention du Mètre	87
Agenda	90
Report to the Comité International des Poids et Mesures, by J. G. V. Taylor	91
Abstract	91
Introduction	92
Reports of the three Sections of the CCEMRI and related BIPM work :	
— Section I — X and γ rays, electrons (measurements and comparisons concerning absorbed dose to water, standards of air kerma and absorbed dose to graphite; comparison of Monte-Carlo codes; wall effect for graphite cavity chambers; uncertainty to be attributed to the graphite/air stopping power ratio; extension of air kerma measurements to ^{137}Cs γ radiation; measurements in brachytherapy)	92
— Section II — Measurement of radionuclides (preliminary comparison of ^{75}Se ; International Reference System and its extension to liquid scintillation counting; new methods in coincidence counting; activity measurements using $4\pi\gamma$ counters; next international comparison (^{204}Tl); work on generalized dead times and modulo 2; counting measurement of the half life of the metastable state of $^{75}\text{As}^m$; pure ^{94}Nb reference sources)	94
— Section III — Neutron measurements (measurement of neutron spectra at the BIPM; comparison of measurements of the emission rate of a strong ^{252}Cf source; future comparison of fluence measurements at 25 keV; importance of maintaining the capabilities of the BIPM in the field of neutron measurements; spectral fluence comparisons)	95
— Work performed at the BIPM	97
Other business (reports to the CIPM and to the CGPM; increasing interest in proton-beam therapy; neutron spectrometry; organization of future meetings of the CCEMRI and its three sections)	97
Recommendation R 1 (1991): Extension of γ -ray standards to include ^{137}Cs ..	98
Recommendation R 2 (1991): Measurements in brachytherapy	99
Recommendation R 3 (1991): Measurements in proton therapy	99
Recommendation R 4 (1991): Neutron spectrometry	100
 SECTION I (X and γ rays, electrons), 10th Meeting (May 1991)	 101
Agenda	102
Report by N. J. Hargrave	103
Abstract	103
Introduction	105
1. Recent work at the BIPM: ionometric standard for measuring absorbed dose in water, comparison with other experimental methods	105
2. Future work at the BIPM: international comparisons, heat defect in water and convection, plans for extending air kerma standards for the γ radiation of ^{137}Cs and for measurements in brachytherapy	106
3. Comparison of measurement standards: comparisons made at the BIPM, other comparisons, correction factors	106

4. Standards of absorbed dose to water: work in progress in national laboratories on heat defect in water and convection; water calorimeters	110
5. Standards for radiation protection: extension to ^{137}Cs	110
6. Standards for radiation processing	111
7. Standards for brachytherapy: X rays, β rays	111
8. Reports from member laboratories	112
9. Report from the IAEA on the activity of the SSDL network	112
10. Publicity	113
11. Other items: comparison of Monte-Carlo codes, ionization loss measurement, next meeting	113
Recommendation R(I)-1 (1991): Extension of γ -ray standards to include ^{137}Cs .	114
Recommendation R(I)-2 (1991): Measurements in brachytherapy	114
Appendix	
R(I) 1. Working documents submitted by the member laboratories (<i>see</i> p. R 28).	115
SECTION II (Measurement of radionuclides), 10th Meeting (May 1989)	
Agenda	118
Report by D. Smith	
Abstract	119
Introduction	120
1. Recent international comparisons of activity measurements: ^{109}Cd , ^{125}I , ^{75}Se trial comparison	121
2. International reference system for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR)	124
3. Reports of the working groups: extension of the SIR, principles of the coincidence method, Hönigschmid standards and possible replacement, high-count-rate measurements, experiments with high-efficiency NaI(Tl) systems used for activity measurements, thin-source preparation and associated chemical problems, internal gas counting	124
4. Work at the BIPM: half-life measurement of the metastable state in ^{75}Se decay, an elementary derivation of the Takács formula, dead time and decay, series arrangements of dead times, modulo 2 correlation counting	127
5. Future international comparisons: ^{75}Se full-scale comparison, possibilities for further comparisons	128
6. Reports from member laboratories	129
7. Other business: non-chemical difficulties in activity calibrations of radionuclides, ionization-chamber handbook, ^{94}Nb check source for ionization chambers, publications of the BIPM in the field of activity measurements, next meeting	129
8. Visit to the BIPM laboratories	130
Appendix	
R(II) 1. Working documents submitted by the member laboratories (<i>see</i> p. R 48).	131

SECTION II (Measurement of radionuclides), 11th Meeting (May 1991)	133
Agenda	134
Report by D. D. Hoppes	135
Abstract	135
Introduction	137
1. Results of recent comparisons of activity measurements: ^{75}Se trial comparison, publication of the reports of past comparisons (^{109}Cd , ^{133}Ba , ^{125}I)	137
2. International reference system for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR)	138
3. Reports of the working groups: extension of the SIR system, principles of the coincidence method, high-count-rate measurements, future comparisons of activity measurements, experiments with high-efficiency NaI(Tl) systems used for activity measurements, ionization chamber monograph, thin source preparation, internal gas counting	139
4. Work at the BIPM: measurement of coincidence rates without using a correction formula for accidentals, accurate measurement of short time intervals, measurement of the half life of the 304 keV state in ^{75}As , crossing points of pure and distorted Poisson distributions, other activities	141
5. Future international comparisons: full-scale comparison of ^{75}Se activity measurements, following comparison	142
6. Reports from member laboratories	143
7. Other business: ^{94}Nb sources for ionization chambers and spectrometers, availability of radionuclides for standard reference materials, retirement of section members, appointment of the new chairman, next meeting	143
8. Visit to the BIPM laboratories	144
Appendix	
R(II) 1. Working documents submitted by the member laboratories (<i>see</i> p. R 65)	145
SECTION III (Neutron measurements), 9th Meeting (May 1991)	147
Agenda	148
Report by E. J. Axton and R. Jahr	149
Abstract	149
Introduction	150
1. Report on neutron work in progress at the BIPM: BIPM neutron-dosimetry international comparison, investigation of an NE 213 type liquid scintillation detector	151
2. ^{252}Cf neutron source emission-rate comparison	151
3. Neutron fluence-rate comparisons: analysis of the $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ comparison at 14,8 MeV, Bonner sphere comparison at 2,5 MeV and 14,7 MeV, proposed comparison at 24,5 keV, thermal neutron fluence comparisons, neutron spectral fluence	152
4. Neutron-dosimetry comparison: BIPM neutron-dosimetry comparison based on the circulation of a set of transfer instruments	157
5. Working Group on fluence-measurements transfer methods with continued long-term availability: activation methods, transfer instruments	158

6. Future activity of Section III : importance of neutron measurements, objectives of Section III, reference standards available at the BIPM, neutron spectrometry, importance of the role of the BIPM	158
7. Exchange of information on work in progress at the participants' laboratories.	161
8. Visit to BIPM metrology laboratories	161
9. Other business	161

Appendix

R(II) 1. Working documents submitted by the member laboratories (<i>see</i> p. R 83).	162
--	-----

—

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal : Imprimeur, 1992, n° 7968

ISBN 92-822-2123-7

ISSN 0255-3147

ACHEVÉ D'IMPRIMER : JUILLET 1992

Imprimé en France