

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ CONSULTATIF
POUR
LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Rapport de la 14^e session
Report of the 14th Meeting

1996

Organisation intergouvernementale de la Convention du Mètre

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

SESSION DE 1996

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ CONSULTATIF
POUR
LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Rapport de la 14^e session
Report of the 14th Meeting

1996

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

ISSN 0255-3147

ISBN 92-822-2149-0

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

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

AIEA/IAEA	Agence internationale de l'énergie atomique/International Atomic Energy Agency
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai (Australie)
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARCS	<i>voir</i> ÖFS
ARL	Australian Radiation Laboratory, Yallambie (Australie)
*BCM/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, IMMR-CCE, Geel (Belgique)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-LPRI	Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
*CBNM	<i>voir</i> IMMR/IRMM
CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
CCU	Comité consultatif des unités
CEA	Commissariat à l'énergie atomique, Bruyères-le Châtel (France)
CIAE	Chinese Institute of Atomic Energy, Beijing (Rép. pop. de Chine)
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
EC-JRC	European Communities, Joint Research Centre
ENEA/LMRI	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Laboratorio di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti, Rome (Italie)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)

* Les laboratoires ou organisations marqués d'un astérisque soit n'existent plus soit figurent sous un autre sigle.

Organizations marked with an asterisk either no longer exist or operate under a different acronym.

EURADOS	European Radiation Dosimetry Group
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
GUM	(ex PKNM) Główny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
IAEA	<i>voir</i> AIEA
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IIR	(ex UVVVR) Inspectorate for Ionizing Radiation, Prague (Rép. tchèque)
IMMR/IRMM	(ex BCMN/CBNM) Institute for Reference Materials and Measurements, Geel (Belgique)
IRA-OFMET	Institut de Radiophysique Appliquée, Lausanne (Suisse)
IRD	<i>voir</i> LNMRI
IRK	Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne (Autriche)
IRMM	<i>voir</i> IMMR
ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization
*ITRI-TNO	Institute of Applied Radiobiology and Immunology, Rijswijk (Pays-Bas), <i>voir</i> TNO-MBL
KRISS	(ex KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée), <i>voir</i> KRISS
LMRI	<i>voir</i> ENEA
LNMRI/IRD	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro (Brésil)
LPRI	Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> BNM
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), <i>voir</i> NIST
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
*NIRP/SSI	National Institute of Radiation Protection, Stockholm (Suède), <i>voir</i> SRPI
NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NMi	(ex VSL) Nederlands Meetinstituut, Delft (Pays-Bas)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
OFMET	Office fédéral de métrologie, Wabern (Suisse)
ÖFS/ARCS	Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, GmbH/Austrian Research Centre, Seibersdorf (Autriche)
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)

OMS/WHO	Organisation internationale de la santé/World Health Organization
*PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
RC	Radioisotope Centre, Otwock (Pologne)
SRPI	(ex NIRP/SSI) Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
TNO-MBL	TNO Medical Biological Laboratory, Rijswijk (Pays-Bas)
*UVVVR	Ústav pro výzkum, výrobu a využití radioisotopu, Prague (ex Tchécoslovaquie), <i>voir</i> IIR
VNIIM	Institut de métrologie D. I. Mendéléev/D. I. Mendeleyev Institute for Metrology, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
WHO	<i>voir</i> OMS

2. Sigles des termes scientifiques Acronyms for scientific terms

EGS4	Electron Gamma Showers Version 4
HVL	Couche de demi-atténuation/Half-value layer
LSC	Système de comptage à scintillation liquide/Liquid Scintillation Counting
MCNP	Code de transport de Los Alamos selon la méthode de Monte Carlo pour les neutrons et les photons/Los Alamos Monte-Carlo neutron and photon transport code
SI	Système international d'unités/International System of Units
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma/International Reference System for gamma-ray emitting radionuclides
TDCR	Rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles/Triple-to-double coincidence ratio
TLD	Dosimètre thermoluminescent/Thermoluminescent dosimeter

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*.

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 pour la mesure 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 mesures des constantes physiques fondamentales 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 rassemble 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 comprend 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. La principale mission du CIPM est d'assurer l'unification mondiale des unités de mesure, en agissant directement, ou en soumettant des propositions à la Conférence générale.

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 et radiométriques (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.

* Au 31 décembre 1996, quarante-huit États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép. d'), 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, Russie (Féd. de), Singapour, Slovaque (Rép.), Suède, Suisse, Tchéque (Rép.), Thaïlande, Turquie, Uruguay, Venezuela.

Environ quarante-cinq 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. 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 en 1927, le Comité international a institué, 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 au CIPM des recommandations concernant les unités.

Les comités consultatifs ont un règlement commun (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, **31**, 97). Ils tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers. Le président de chaque comité consultatif est désigné par le Comité international ; il est généralement membre du Comité international. Les comités consultatifs ont pour membres des laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés, dont la liste est établie en accord avec le Comité international, qui envoient des délégués de leur choix. Ils comportent aussi des membres nominativement désignés par le Comité international, et un représentant du Bureau international. Ces comités sont actuellement au nombre de neuf :

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 ;
9. Le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), créé en 1993.

Les travaux de la Conférence générale, du Comité international et des comités consultatifs sont publiés par les soins du Bureau international 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*.

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 par décision du Comité international, de même que le *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (11 volumes publiés de 1966 à 1988).

Les travaux scientifiques du BIPM font l'objet d'une publication dans des publications extérieures ; la liste de ces publications est donnée dans les *Procès-Verbaux* du Comité international.

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité international des poids et mesures, publie des articles sur la métrologie scientifique, sur l'amélioration des méthodes de mesure, les travaux sur les étalons et sur les unités, 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

G. MOSCATI, membre du Comité international des poids et mesures;
Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Membres

Le président de la Section I.

Le président de la Section II.

Le président de la Section III.

A. ALLISY, International Commission on Radiation Units and Measurements.

G. DIETZE, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

A. DUTREIX, Hôpital universitaire Saint-Rafaël, Louvain.

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

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

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 : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [BNM-LPRI], Saclay.

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

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.

GLÓWNY URZĄD MIAR [GUM], Varsovie.

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

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-VSL], Bilthoven.

ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI HIVATAL [OMH], Budapest.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

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], Sèvres.

SECTION II. *Mesure des radionucléides*

Président

K. DEBERTIN, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.*

* K. Debertin a remplacé D. Smith, National Physical Laboratory, Teddington, comme président de la Section II en 1994.

Membres

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

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

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

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

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.

J.-J. GOSTELY, Institut de radiophysique appliquée [IRA-OFMET],
Lausanne.

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

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

SECTION III. *Mesures neutroniques*

Président

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

Membres

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

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

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

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

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 14^e session

1. Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur.
 2. Rapports des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM :
 - 2.1 Section I — Rayons x et γ , électrons ;
 - 2.2 Section II — Mesure des radionucléides ;
 - 2.3 Section III — Mesures neutroniques.
 3. Programme de travaux futurs.
 4. Traçabilité et équivalence des étalons nationaux.
 5. Questions diverses.
 6. Composition et dates des prochaines réunions des sections du CCEMRI.
 7. Date de la prochaine session.
-

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS
(14^e session — 1996)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
par V. E. LEWIS, rapporteur

Résumé. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa quatorzième session en juin 1996. Les trois Sections ont présenté leurs rapports. La Section I (Rayons x et γ , électrons) a rendu compte des comparaisons d'étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans l'eau et a discuté des travaux sur les étalons utilisés en radioprotection et en radiothérapie. La Section II (Mesure des radionucléides) a présenté les comparaisons de radionucléides et les progrès du Système international de référence, ainsi que les activités de ses groupes de travail. La Section III (Mesures neutroniques) a exposé l'état d'avancement des comparaisons de mesures de neutrons rapides et de neutrons thermiques. Des membres du personnel du BIPM ont exposé certains de leurs travaux récents et le Comité a discuté des travaux à venir du BIPM. Il a aussi discuté de la question de l'équivalence. La composition du comité et de ses sections a été revue et les dates des prochaines réunions ont été fixées.

Introduction

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)* a tenu sa quatorzième session au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 27 et 28 juin 1996.

* Voir liste des sigles page V.

Étaient présents :

- G. MOSCATI, 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 Saint-Rafaël, Louvain.
- G. F. KNOLL, University of Michigan, Ann Arbor.
- J.-P. SIMOËN, président de la Section I, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [BNM-LPRI], Saclay.
- K. DEBERTIN, président de la Section II, Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.
- V. E. LEWIS, président de la Section III, National Physical Laboratory [NPL], Teddington.
- Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM] (T. J. QUINN).

Assistaient aussi à la réunion :

- P. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM), P. ALLISY-ROBERTS, M. BOUTILLON, D. BURNS, C. MICHOTTE, J. W. MÜLLER et G. RATEL (BIPM).

Excusé : A. M. KELLERER dans l'incapacité d'assister à la réunion.

1. Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur

Le président, M. Moscati, ouvre la session en souhaitant la bienvenue aux membres du Comité et aux membres du personnel du BIPM.

M. Lewis est désigné comme rapporteur.

Deux points sont ajoutés à l'ordre du jour provisoire : le point 4, sur la traçabilité et l'équivalence des étalons nationaux, et le point 6, sur la composition des sections du CCEMRI. L'ordre du jour ainsi modifié est approuvé.

2. Rapports des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM

Chaque président résume les activités de sa section et le personnel du BIPM présente quelques-uns des travaux effectués dans les laboratoires des rayonnements ionisants.

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

M. Simoën présente le rapport sur les activités de la Section I, qui a tenu sa douzième réunion en avril 1995.

Il dit que sept comparaisons d'étalons de kerma dans l'air ont été effectuées, dont une pour les rayons x de basse énergie, une pour les rayons x d'énergie moyenne, deux pour le rayonnement γ du ^{137}Cs et trois pour le rayonnement γ du ^{60}Co . Il y a eu six autres comparaisons de mesure au rayonnement du ^{60}Co , dont trois de dose absorbée dans l'eau et trois de dose absorbée dans le graphite. Sept laboratoires ont participé à ces treize comparaisons.

Trente-trois étalons secondaires appartenant à neuf pays et à l'AIEA ont été étalonnés, dont quatre aux rayons x de basse énergie, sept aux rayons x de moyenne énergie, trois au rayonnement γ du ^{137}Cs et dix-neuf au rayonnement γ du ^{60}Co . La plupart des étalonnages ont été faits en kerma dans l'air et en dose absorbée dans l'eau. De plus, neuf séries de dosimètres thermoluminescents ont été irradiés au ^{60}Co pour l'AIEA.

Une comparaison en « double-aveugle » de dose absorbée dans l'eau à des niveaux de dose élevée, organisée par l'AIEA avec des dosimètres à alanine, a montré des écarts-types relatifs de 2,1 % à 15 kGy et de 2,4 % à 45 kGy respectivement. Il a été suggéré que le BIPM organise une comparaison de mesures analogue dans le domaine de 10 kGy à 50 kGy, pour tous les laboratoires actifs dans le domaine des doses élevées.

La Section I a exprimé la préoccupation que le BIPM joue un rôle dans les comparaisons et les étalonnages dans le domaine des photons et des électrons de haute énergie, même s'il ne possède pas d'accélérateur linéaire. Elle recommande un système fondé sur une série de chambres d'ionisation qui serait conservé au BIPM. Trois laboratoires nationaux (NPL, NRC et PTB) ont accepté de participer à ce programme; un groupe de travail a été créé en vue d'étudier les conditions de référence d'irradiation dans les faisceaux de rayonnement de haute énergie.

M. Simoën poursuit son rapport en indiquant qu'il a été demandé aux membres d'étudier avec soin les incertitudes associées aux diverses grandeurs physiques employées pour établir les étalons de kerma dans l'air et citées dans les rapports. Un groupe de travail a été formé pour rassembler, résumer et présenter les résultats de toutes les comparaisons faites au BIPM et de toutes les comparaisons d'étalons primaires effectuées sous les auspices d'organisations telles qu'EUROMET. Les travaux de ce groupe seront présentés à la prochaine réunion de la Section I, sous une forme convenable pour publication dans *Metrologia*. Une telle publication facilitera l'accès aux informations relatives à la cohérence des étalons nationaux. Le groupe de travail fera aussi des propositions pour les comparaisons futures.

Mme Allisy-Roberts rend ensuite compte de l'étude en cours au BIPM de l'étalon de kerma dans l'air pour le ^{137}Cs , étalon constitué d'une

chambre d'ionisation à plaques parallèles et parois en graphite ; sa stabilité à long terme est meilleure que 0,2 % sur une période de deux ans. Elle ajoute qu'une comparaison d'étalons de kerma dans l'air pour le ^{137}Cs est en cours au BIPM, quatre laboratoires primaires y ont participé à ce jour.

Mme Boutillon rend compte des travaux en cours au BIPM sur les étalons pour les rayons x aux basses énergies ; elle mentionne en particulier l'influence des incertitudes dues à la qualité et au diamètre du faisceau, ainsi qu'à l'exactitude de la couche de demi atténuation dans les domaines d'énergie de 10 kV à 55 kV. M. Burns présente un projet d'utilisation du code de Monte Carlo EGS4 pour calculer les facteurs de correction qu'il convient d'appliquer aux chambres à parois d'air du BIPM.

Quatre qualités ISO avaient été choisies pour être ajoutées aux qualités de référence des rayons x disponibles au BIPM ; trois d'entre elles ont été considérées comme impropres à l'usage du BIPM en raison de leur très faible débit de kerma dans l'air.

2.2 Section II — Mesure des radionucléides (Président : K. Debertin)

M. Debertin présente les travaux de la Section II, qui a tenu sa treizième réunion en mai 1995. Les comparaisons d'étalons et l'extension du Système international de référence (SIR) constituent toujours les principales activités de cette section.

La comparaison restreinte d'étalons de ^{204}Tl , émetteur β pur, s'est achevée en 1995 ; six participants y ont pris part. Des mesures complémentaires ont permis d'obtenir une bonne cohérence. M. Debertin ajoute qu'une comparaison internationale est prévue pour la fin de 1996. Il a été recommandé d'envoyer, en plus de la solution radioactive, une aliquote d'un scintillateur approprié.

Le nucléide ^{192}Ir , qui est communément utilisé dans l'industrie et en médecine, a été choisi pour une comparaison restreinte en raison de divergences observées dans le SIR. M. Ratel, du BIPM, indique que les résultats semblent se répartir en deux groupes. Un rapport sur la comparaison restreinte, à laquelle ont pris part neuf laboratoires, est en préparation.

Une comparaison fondée sur le ^{90}Sr est envisagée. Pour cette comparaison, les participants seront appelés à soumettre au BIPM, tous en même temps, une solution étalon à mesurer dans le SIR. L'objectif est de vérifier l'aptitude du SIR à mesurer des émetteurs β purs, maintenant qu'il a été étendu par un système à scintillateur liquide.

M. Ratel explique que le BIPM a fait le point sur le SIR, qui a maintenant une vingtaine d'années. Le courant produit par la source étalon de radium du BIPM dans la chambre d'ionisation du SIR est resté stable à 0,2 % près pendant cette période. Depuis 1976, 491 résultats ont été obtenus avec 55 radionucléides en provenance de 26 laboratoires. Plus

de 665 ampoules ont été traitées. Tous ces résultats se rattachent à des mesures absolues effectuées dans les laboratoires nationaux.

Le Groupe de travail sur l'extension du SIR continue à soutenir l'extension de ce système et a commencé à étudier de nouvelles solutions pour le scintillateur. Un autre groupe de travail a effectué une analyse systématique des résultats du SIR pour évaluer les performances actuelles des laboratoires quant à l'étalonnage des solutions de radionucléides. Quelque 25 % des radionucléides mesurés ont, semble-t-il, présenté des problèmes, certains étant systématiques.

Pour le Groupe de travail chargé des comparaisons à venir, le nucléide ^{152}Eu semblait avoir la préférence pour une prochaine comparaison en raison de la complexité de son schéma de désintégration et de ses applications pratiques. Toutefois, ce choix ne faisant pas l'unanimité au sein de la Section II, ses membres seront appelés à revoir leurs critères de choix des radionucléides.

Un groupe de travail a été établi pour examiner les implications de l'équivalence et de la traçabilité en ce qui concerne les étalons en radioactivité, et mettre au point des directives pour établir l'équivalence entre les laboratoires d'étalonnage. Ce groupe de travail doit se réunir au cours de la semaine qui suivra la session du CCEMRI.

La tentative de commande groupée de radionucléides a posé des problèmes, en raison semble-t-il des brefs délais impartis par les fournisseurs. Le groupe de travail concerné prépare une base de données sur les fournisseurs. Le Groupe de travail sur la préparation des sources a été dissous et ses activités ont été prises en charge par le Groupe de travail sur l'extension du SIR.

Le second projet de la Monographie BIPM intitulée *Activity Measurements with Ionization Chambers* a été revu par M. Blackburn (rédacteur de *Metrologia*) en collaboration avec M. Müller. Les dernières corrections ont été faites à la PTB et une version finale devrait bientôt être envoyée au BIPM*, qui se chargera de la reproduction. Le travail de revue de M. Winkler (IRK) sur le thème *High Efficiency Detectors for Activity Measurements* est interrompu pour le moment.

Le Groupe de travail sur les principes de la méthode des coïncidences devrait probablement être dissous après le départ à la retraite de M. Müller du BIPM. Cette méthode semble maintenant bien établie; le rapport ICRU n° 52 publié récemment (*Particle Counting in Radioactivity Measurements*), qui a été préparé pour l'essentiel par les membres passés et présents de ce groupe, constitue une bonne conclusion à ses activités.

Dans la présentation de ses activités au BIPM, M. Ratel rend compte des progrès du SIR et décrit les résultats des comparaisons de ^{204}Tl et de ^{192}Ir .

* SCHRADER H., *Activity Measurements With Ionization Chambers, Monographie BIPM-4*, 1997.

Mlle Michotte décrit l'étalonnage d'un détecteur Ge(Li) dans le domaine de 50 keV à 3 MeV. Le détecteur sera d'abord utilisé pour identifier les impuretés présentes dans les échantillons radioactifs. Il pourrait être utilisé ultérieurement pour mesurer des probabilités d'émission. M. Knoll suggère qu'un détecteur au Ge serait préférable, mais M. Debertin est d'avis que la taille et la résolution du détecteur du BIPM semblent convenables. M. Müller présente la théorie de la méthode de parité appliquée à la mesure des coïncidences et dit qu'il espère qu'il sera possible d'expérimenter cette méthode au BIPM.

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

M. Lewis rend compte des activités de la Section III, qui a tenu sa onzième réunion en avril 1995.

Une comparaison de mesures de fluence neutronique à 2,5 MeV et à 14,7 MeV, avec une série de sphères de Bonner, s'est achevée avec succès, avec un bon accord entre les résultats expérimentaux et les valeurs calculées avec les corrections dues aux effets des interactions dans la cible.

La comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV, avec la même série de sphères de Bonner, devrait se terminer en 1997. Dans le cadre de ce projet, le BIPM était responsable des dispositions pour le transport des instruments et des vérifications de la stabilité entre les mesures effectuées par les participants. Les champs neutroniques dans ce domaine d'énergie peuvent être produits par les faisceaux d'un réacteur avec des filtres en fer, avec des sources d'antimoine-béryllium (γ, n) ou des accélérateurs de particules chargées utilisant la réaction $^{45}\text{Sc}(p, n) ^{45}\text{Ti}$. Les fonctions de réponse spectrale des sphères de Bonner, calculées à l'aide d'un code pour le transport neutrons-photons, seront utilisées pour corriger les valeurs mesurées et en déduire les valeurs équivalentes à celles des neutrons à 24,5 keV. L'évaluation des résultats sera faite par M. Lewis.

Une comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques est envisagée, dans le cadre de laquelle on fera circuler une série de chambres d'ionisation à plaques recouvertes de bore. Le NIST, qui organisera la comparaison, fournira les plaques et l'électronique. Cette comparaison a été ajournée en raison d'un problème relatif à la fabrication des chambres d'ionisation, dû à une perte apparente de bore au niveau des plaques. Le NIST envisage de remplacer les dépôts de ^{10}B par des dépôts de ^{235}U . L'adjonction de chambres à ^{235}U à la série d'instruments de transfert fournirait, de toute façon, des informations utiles car leur réponse spectrale est différente. Six laboratoires sont intéressés à participer à cette comparaison.

Le NPL et la PTB avaient exprimé leur intérêt pour une comparaison de mesures de fluence neutronique spectrale lors d'une précédente réunion. Il est maintenant inutile que la Section III organise une telle comparaison, car

elle ferait double emploi avec les comparaisons de mesures organisées par le groupe de travail d'EURADOS dans différents laboratoires européens.

Des comparaisons de mesures ont été faites sous les auspices de la Section III au cours des trente dernières années. Ces comparaisons de mesures de fluence couvrent le domaine d'énergie de 25 keV à 14,8 MeV, ainsi que le domaine des neutrons thermiques. Elles comprennent toutes les énergies ISO recommandées sauf 19 MeV. Des mesures du taux d'émission de sources radioactives ont fait l'objet de comparaisons et il y a eu deux comparaisons de mesures de dose absorbée. Il n'est pas nécessaire dans l'immédiat de répéter ces comparaisons ni de les étendre à des énergies plus hautes ou plus basses. La situation sera reconsidérée après examen de la cohérence entre les étalons actuels.

La Section III, reconnaissant le besoin d'assurance de qualité que doivent présenter les étalons de mesure, considère qu'il est nécessaire de ré-examiner les étalons de mesures neutroniques et de ré-évaluer le bilan de leurs incertitudes. Un tel travail devrait démontrer la traçabilité aux étalons primaires et permettre de voir s'il est nécessaire de faire d'autres comparaisons pour valider les étalons nationaux. Le NPL et la PTB envisagent de commencer la compilation d'un catalogue ou d'un manuel sur la méthode du bain de manganèse et les étalons de fluence, traitant d'aspects tels que les principes, les techniques, les critères requis pour d'autres étalons, les valeurs auxiliaires, les bilans d'incertitude et la validation.

Le BIPM a joué un rôle actif dans la plupart des comparaisons, bien que l'accélérateur du BIPM soit limité à seulement deux domaines d'énergie neutronique. L'arrêt des activités de mesures neutroniques au BIPM a posé quelques problèmes à la Section III, mais celle-ci considère maintenant que la cohérence mondiale des mesures neutroniques peut être maintenue par le biais des comparaisons effectuées entre les laboratoires représentés à la Section III, et par la dissémination des étalons aux autres pays. Les instruments qui, au BIPM et dans d'autres laboratoires, ont été utilisés et dont les caractéristiques ont été établies par la Section III et le BIPM pendant de nombreuses années, sont conservés au BIPM ou par des laboratoires membres du CCEMRI, qui les mettent à la disposition des autres laboratoires.

3. Programme de travaux futurs

Une grande partie du programme de travaux futurs a été présentée par les présidents des sections dans leurs rapports. Certains points particuliers sont de nouveau discutés dans le cadre du programme général.

Mme Allisy-Roberts rend compte des activités effectuées en réponse aux directives de la Section I et ajoute qu'un programme de comparaisons est en préparation. Il comprend une comparaison de mesures de rayons x

aux basses énergies (10 kV à 50 kV) prévue pour 1996. En ce qui concerne les rayons x aux hautes énergies, la PTB fournira au BIPM une chambre d'ionisation à plaques parallèles, qui sera étudiée en vue de son utilisation par le BIPM comme étalon de transfert pour la dose absorbée. Son étalonnage et sa stabilité seront déterminés au ^{60}Co et aux rayons x de haute énergie. Le BIPM étudiera un système de transfert robuste pour la mesure de la dose absorbée dans les faisceaux de rayonnements aux hautes énergies.

M. Allisy souligne l'importance du programme de comparaisons aux hautes énergies et propose que le BIPM rassemble un fonds commun de chambres d'ionisation qui seraient transportées d'un laboratoire à l'autre par le personnel du BIPM, la « meilleure » étant conservée comme étalon de référence au BIPM. Les participants approuvent cette proposition, qui est pratiquement identique à celle de la Section I, à cette addition près que le personnel du BIPM serait appelé à participer au travail d'autres laboratoires. Le déplacement du personnel du BIPM dans d'autres établissements est considéré comme une expérience utile pour tous, et il permettrait de faire des économies. Les laboratoires nationaux devront apporter leur soutien à cette proposition, mais cela ne devrait pas tarder.

Ce programme aboutirait à une comparaison internationale des étalons détenus par les laboratoires. La prochaine étape, d'ici quelques années, pourrait comprendre le transport d'un calorimètre en graphite, mais la priorité actuelle est d'établir un fonds commun de chambres d'ionisation.

La nécessité pour le BIPM de comparer ses étalons aux basses énergies à ceux des laboratoires nationaux fait l'objet d'une discussion. Les nombreux étalonnages de routine faits par le BIPM pour d'autres laboratoires reposent sur ces étalons. Mme Boutillon suggère que les comparaisons soient faites tous les dix ans, mais les participants pensent qu'il faut étudier cette question plus en détail et ne font aucune recommandation officielle.

Les étalons pour les sources en curiethérapie sont discutés et il est admis qu'ils devraient être caractérisés en débit de kerma à une distance de référence. Le BIPM devrait aussi étalonner les sources de ^{192}Ir et de ^{137}Cs en kerma dans l'air à une distance de 1 mètre, ce qui rend nécessaire l'usage de sources d'activité élevée. Les problèmes de dissémination, comme le transport de sources intenses ou l'utilisation de chambres d'ionisation comme étalons de transfert, sont discutés. Pour ce projet, le BIPM devra prendre contact avec les laboratoires nationaux, certains étant déjà impliqués dans ce domaine. Aucune recommandation n'est faite à ce sujet.

4. Traçabilité et équivalence des étalons nationaux

M. Quinn fait part de la pression de plus en plus forte exercée sur les laboratoires nationaux de métrologie pour qu'ils apportent la preuve de l'assurance de qualité de leurs étalons, pression qui vient de la vogue de

l'accréditation et des impératifs du commerce international. Il ajoute que les organismes d'accréditation et de certification ne sont pas qualifiés pour accréditer les étalons nationaux. Il est essentiel de faire appel à l'évaluation des pairs pour établir l'équivalence entre les laboratoires nationaux de métrologie, en prenant en compte les résultats des comparaisons d'étalons effectuées entre les laboratoires membres des comités consultatifs ou dans les groupes régionaux de laboratoires. Ce problème doit être soumis à tous les comités consultatifs, car il est préférable que ces derniers évaluent les résultats des comparaisons plutôt que de se limiter à les publier et de laisser à d'autres le soin de les interpréter. Il est indispensable d'envisager la prochaine étape, c'est-à-dire rendre compte de l'équivalence, d'une manière objective et systématique.

La discussion se poursuit au sujet de la terminologie à employer et du besoin de donner une définition des notions de traçabilité et d'équivalence. Il est admis que ces questions fondamentales seront abordées par des groupes de travail plus larges, qui prendront en compte les idées et suggestions de chaque comité consultatif et de leurs groupes de travail. Bien que certains membres soient d'avis de commencer par les concepts, l'avis général est de ne prendre aucune décision avant que la question n'ait été considérée par chaque section. M. Quinn est favorable à une approche pragmatique, qui englobe la participation de tous les différents domaines, comme, par exemple, celle du groupe de travail de la Section II.

Les moyens d'apporter une preuve pratique de l'équivalence sont discutés. Il est suggéré que les comités consultatifs devraient fixer des bandes d'équivalence (à trois écarts-types, par exemple); les laboratoires dont les étalons se situent à l'intérieur de ces bandes seraient considérés comme équivalents. Toutefois, cela obligerait les laboratoires dont les étalons ne répondent pas à ces critères à renouveler leurs mesures pour s'y conformer. Comme les implications financières sont importantes, la motivation pour parvenir à un accord sur les résultats serait d'ordre économique plutôt que scientifique. Ces décisions ont aussi des aspects légaux et politiques; par exemple, les informations obtenues dans le cadre de la comparaison pourraient être utilisées pour fermer des laboratoires considérés comme ayant un niveau inférieur. Il a été suggéré qu'il est nécessaire de disposer d'autres critères pour fixer les limites de ces bandes, même lorsque les domaines en question ne concernent que les seules sections du CCEMRI.

En conclusion, les discussions se poursuivront à l'intérieur des sections. M. Quinn demande à ces dernières d'étudier les résultats de leurs comparaisons et de considérer ensuite la terminologie et les concepts.

5. Questions diverses

Les membres reconnaissent l'importance, pour établir l'équivalence, de passer en revue et de faire connaître toutes les comparaisons qui ont été

faites sous les auspices du CCEMRI. Il est admis que les résultats et les conclusions des comparaisons seront publiés dans *Metrologia*, même si les détails techniques de ces comparaisons sont publiés dans d'autres publications. La Section II, qui a toujours publié dans *Nuclear Instruments and Methods* pour bénéficier d'une diffusion plus large, devra procéder ainsi. La Section III a toujours publié ses rapports dans *Metrologia*, et en a récemment publié un résumé dans *Radiation Protection Dosimetry* pour toucher un public plus large. De brefs résumés des résultats des comparaisons faites sous les auspices d'EUROMET pourraient aussi être publiés dans *Metrologia*, de même que ceux des comparaisons effectuées au sein d'organisations analogues.

6. Composition et dates des prochaines réunions des sections du CCEMRI

La composition des trois sections est discutée. Les membres et les observateurs qui ne contribuent pas activement aux travaux des sections ne devraient plus être invités aux réunions et les laboratoires qui ne sont pas membres, mais qui participent activement à ces travaux, devraient être proposés au CIPM comme futurs membres.

M. Debertin, après avoir présidé une seule réunion de la Section II, annonce qu'il va prendre sa retraite de la PTB. À la demande de M. Quinn, il accepte de présider la prochaine réunion de la Section II.

Les dates des prochaines réunions des trois sections sont discutées ; il est décidé que les réunions ne se chevaucheront pas et qu'il n'y aura pas de réunion commune des sections, toutefois les réunions des Sections I et III pourraient avoir lieu la même semaine. La date de la réunion de la Section II est déjà fixée aux 23, 24 et 25 avril 1997, en liaison avec la réunion de l'International Committee on Radionuclide Metrology. Les réunions des Sections I et III devraient aussi avoir lieu en avril 1997, mais leurs dates précises seront fixées ultérieurement après consultation des membres.

7. Date de la prochaine session

Les membres pensent que le système actuel qui consiste à réunir le CCEMRI une autre année que ses sections n'est plus approprié et sont d'avis que le CCEMRI devrait se réunir quelques mois après ses sections. La prochaine session du CCEMRI est fixée aux 7 et 8 juillet 1997.

Avant de clore la réunion, le président remercie les membres du CCEMRI et le personnel du BIPM pour leur participation et leurs contributions. Le comité exprime sa gratitude au BIPM pour son hospitalité.

6 septembre 1996

Section I — Rayons x et γ , électrons

12^e réunion (avril 1995)

ORDRE DU JOUR
de la 12^e réunion

1. Ouverture de la réunion; nomination d'un rapporteur.
 2. Étalonnages et comparaisons d'étalons de mesure (rayons x et γ) :
 - 2.1 BIPM;
 - 2.2 Laboratoires nationaux.
 3. Travail actuel et futur au BIPM :
 - 3.1 Comportement d'un instrument de transfert pour les rayons x de faible énergie;
 - 3.2 Mise au point de l'étalon de kerma dans l'air dans le faisceau du ^{137}Cs et résultats des premières comparaisons;
 - 3.3 Présentation et discussion des étalonnages relatifs aux rayonnements x de haute énergie;
 - 3.4 Comparaisons futures et dissémination des résultats des comparaisons.
 4. Mise au point et amélioration des étalons nationaux pour la dosimétrie photonique :
 - 4.1 Étalons d'exposition et de kerma dans l'air;
 - 4.2 Étalons de dose absorbée dans l'eau.
 5. Étalons de curiethérapie.
 6. Étalons à utiliser en radioprotection.
 7. Étalons pour les rayonnements utilisés dans l'industrie.
 8. Mise au point et amélioration des étalons nationaux en dosimétrie des particules chargées :
 - 8.1 Domaine du rayonnement bêta;
 - 8.1 Faisceaux de protons.
 9. Rapports d'activité des laboratoires membres.
 10. Rapport de l'AIEA :
 - 10.1 Comparaison (^{60}Co) de dose absorbée au niveau du kGy au moyen de la dosimétrie à l'alanine;
 - 10.2 Comparaison (^{60}Co) de dose absorbée dans le domaine utilisé en thérapie à l'aide de dosimètres thermoluminescents.
 11. Publication des résultats.
 12. Questions diverses.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION I. — Rayons x et γ , électrons 12^e réunion (avril 1995)

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 douzième réunion en avril 1995. Les travaux récents du BIPM ont été présentés et des recommandations portant sur ses travaux à venir ont été faites. Les résultats des comparaisons d'étalons faites au BIPM et entre les laboratoires nationaux de métrologie ont été discutés. La nécessité d'assurer une dissémination convenable des résultats des comparaisons a été tout particulièrement rappelée. Un programme a été établi pour faciliter cette dissémination. Des dispositions ont été prises pour assurer que le BIPM continue d'assumer son rôle dans la comparaison et la conservation des étalons pour les rayonnements produits par les accélérateurs linéaires.

Introduction

La Section I (Rayons x et γ , électrons)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)** a tenu sa douzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 24, 25 et 26 avril 1995.

Étaient présents :

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

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

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

* Pour la liste des membres, voir page XII.

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

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

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

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

Główny Urząd Miar [GUM], Varsovie (Z. REFEROWSKI).

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

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (S. SELTZER).

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

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

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (J. CSETE).

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

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

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

Membre nominativement désigné :

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

Invités :

Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA], Vienne (K. ZSDÁNSZKY).

Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente [ENEA], Rome (R. F. LAITANO).

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

Ont assisté à tout ou partie de la réunion : G. MOSCATI (membre du CIPM); P. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM); A. ALLISY (membre du CCEMRI); P. ALLISY-ROBERTS, M. BOUTILLON, J. W. MÜLLER et G. RATEL (BIPM); A.-M. PERROCHE (en stage au BIPM).

Excusé :

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

Absent :

Institut de métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

1. Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur

J.-P. Simoën, président de la Section I, déclare la séance ouverte et donne la parole au directeur du BIPM.

Le directeur du BIPM souhaite la bienvenue aux participants et, en guise d'introduction, rappelle ce qu'est la Convention du Mètre et présente les activités des différents organes de cette Convention, à savoir la Conférence générale des poids et mesures, le Comité international des poids et mesures, les comités consultatifs et le BIPM. Il attire l'attention sur la récente création d'un comité consultatif dans le domaine de la métrologie en chimie. Il souligne l'importance des activités des comités consultatifs dans le contexte de la demande croissante de traçabilité des étalons de mesure au niveau international. L'une des tâches qu'il donne à la présente réunion est de discuter et, si possible, de sélectionner les comparaisons internationales clés dont les résultats peuvent servir à prouver cette traçabilité. Le directeur rend ensuite la parole au président.

Le président remercie le directeur pour ses paroles de bienvenue et présente les participants qui sont là pour la première fois ou qui sont présents à un titre nouveau. Il accueille en particulier G. Moscati (Brésil) nouvellement élu membre du CIPM, S. Seltzer représentant le NIST, K. Zsdánszky représentant l'AIEA, J. Csete représentant l'OMH et D. Burns représentant le NPL. Un ancien président de la Section I, A. Jennings, représentant maintenant l'ICRU, et A. Allisy, membre du CCEMRI, sont également accueillis à la réunion. Une nouvelle physicienne du BIPM, P. Allisy-Roberts, est présentée.

N. J. Hargrave accepte d'être rapporteur de cette réunion.

Un nouveau point, le point 3.4 sur les comparaisons futures, est ajouté à l'ordre du jour qui a été envoyé avant la réunion. L'ordre du jour ainsi modifié est adopté.

2. Étalonnages et comparaisons d'étalons de mesure (rayons x et γ)

2.1 BIPM

Deux documents traitant des étalonnages et comparaisons d'étalons de mesure (95-2 et 3)* ont été soumis avant la réunion. Mme Perroche indique que, depuis la précédente réunion de la Section I, une comparaison d'étalons de kerma dans l'air, pour des rayons x de faible énergie (entre

* 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 95-1, 95-2, etc.

10 kV et 50 kV) et d'énergie moyenne (entre 100 kV et 250 kV), a eu lieu entre un laboratoire national de métrologie et le BIPM. Quatre et sept étalonnages ont été effectués dans ces domaines respectifs d'énergie. Pour le rayonnement γ du ^{60}Co , trois laboratoires ont procédé à des comparaisons d'étalons de kerma dans l'air, trois à des comparaisons de dose absorbée dans l'eau, un à une comparaison de dose absorbée dans le graphite. De plus, trois séries de dosimètres thermoluminescents ont été étalonnées chaque année en dose absorbée dans l'eau pour l'AIEA. Les résultats des nombreuses comparaisons déjà effectuées sont résumés et présentés sur les Figures 1 à 3 (95-2).

L'utilisation de la nouvelle source de ^{137}Cs est présentée pour la première fois. Elle a été utilisée pour un étalonnage en dose ambiant et pour deux étalonnages en kerma dans l'air. Deux laboratoires ont effectué une comparaison de leurs étalons de kerma dans l'air à cette énergie (*voir* point 3.2).

Au cours de la discussion des documents de travail qui ont été soumis, il est remarqué que, dans les comparaisons avec le BIPM, les résultats des mesures pour les rayons x de moyenne énergie tendent à diminuer lorsque l'énergie croît. Il se peut que cela soit lié aux valeurs du facteur de correction pour la perte d'électrons qui varie avec les dimensions des chambres étalons.

2.2 Laboratoires nationaux

Quatre documents de travail se rapportent aux laboratoires nationaux. Les résultats préliminaires d'une comparaison entre l'ENEA et le NIST sont présentés, en liaison avec les résultats obtenus au BIPM (95-14 et 29). Bien que les valeurs pour le ^{60}Co ne soient pas définitives, il se peut que l'écart soit d'environ 0,3 %. Les corrections applicables à la chambre de l'ENEA concernant la non-uniformité axiale du faisceau et l'influence de sa paroi sont encore en cours d'évaluation. L'accord dans le domaine des rayons x est d'environ 0,8 %.

Des mesures dans un faisceau de ^{137}Cs semblable à celui du BIPM ont été faites au BEV (95-7) en utilisant deux chambres de 5 cm^3 à 1 m et à 2 m, ainsi qu'au NIST (95-14). L'accord entre les mesures des étalons de kerma dans l'air déterminé avec ces deux chambres est respectivement de 0,4 % et de 0,5 % à 1 m et 2 m.

Il est rendu compte d'une comparaison entre les étalons de dose absorbée dans le graphite du NMI et du NPL. Dans les deux laboratoires, un champ de mêmes dimensions a été utilisé. En tenant correctement compte de la masse volumique du graphite utilisé, l'accord indiqué précédemment passe de 0,9995 à 0,9959. Une partie de ce changement vient de l'emploi de la même thermistance pour la mesure et l'étalonnage dans le calorimètre du NMI (95-22 et 23).

3. Travail actuel et futur au BIPM

3.1 Comportement d'un instrument de transfert pour les rayons x de faible énergie

L'intérêt se porte sur l'utilisation des facteurs d'étalonnage fournis par le BIPM, en particulier dans le domaine des rayons x inférieur à 50 kV. Des mesures effectuées sur quelques chambres ont fait apparaître des changements significatifs de ces facteurs pour des faisceaux de même couche de demi-atténuation mais obtenus en utilisant différents spectres de rayonnement x. Les incertitudes indiquées par le BIPM pour ces étalonnages s'appliquent seulement à des faisceaux de rayonnement identiques à ceux qui sont utilisés au BIPM pour l'étalonnage. Le diamètre effectif du faisceau joue aussi un rôle important. Si l'on utilise d'autres faisceaux, il faut augmenter les incertitudes de 0,2 % à 0,5 % pour les couches de demi-atténuation inférieures à 0,1 mm d'aluminium, de 0,2 % à 0,3 % pour les couches de demi-atténuation comprises entre 0,1 mm et 1,0 mm d'aluminium, et de 0,2 % à 0,3 % également pour les couches de demi-atténuation comprises entre 1,0 mm et 2,25 mm d'aluminium.

3.2 Mise au point de l'étalon de kerma dans l'air dans le faisceau du ^{137}Cs et résultats des premières comparaisons

Quelques détails de la nouvelle installation du faisceau du ^{137}Cs sont présentés. Ils portent en particulier sur la construction de l'enveloppe de protection de la source et la détermination des facteurs utilisés avec la chambre étalon à cavité à cette énergie. On discute de la relation entre ces facteurs et ceux qui s'appliquent à l'étalon que l'on utilise pour le rayonnement du ^{60}Co . La stabilité à long terme de cet étalon depuis le début de 1994 paraît excellente ($\sigma = 2 \times 10^{-4}$). Les résultats des deux comparaisons effectuées jusqu'ici avec des laboratoires nationaux sont donnés au Tableau 1 et montrent une incertitude-type composée, u_c , de 0,3 %.

TABLEAU 1

*Résultat des comparaisons d'étalons de kerma dans l'air
dans le rayonnement γ du ^{137}Cs*

Comparaison indirecte
NIST-BIPM

Comparaison directe
OMH-BIPM

$$\frac{K_{\text{NIST}}}{K_{\text{BIPM}}} = 0,995_1 \quad u_c = 0,003$$

$$\frac{K_{\text{OMH}}}{K_{\text{BIPM}}} = 0,995_4 \quad u_c = 0,003$$

Les représentants de plusieurs laboratoires membres expriment leur désir d'effectuer des comparaisons à ce rayonnement en utilisant la nouvelle installation. Afin d'estimer la correction de paroi pour la nouvelle chambre étalon à cavité, au rayonnement du ^{137}Cs , le BIPM a utilisé une extrapolation qui soulève quelques commentaires. Le BIPM s'intéresse au calcul de ces facteurs par la méthode de Monte Carlo. Le représentant du NRC se propose d'effectuer les calculs.

Pour les comparaisons pour lesquelles on utilise la nouvelle source de ^{137}Cs , l'OMH a utilisé son propre étalon alors que le NIST a utilisé deux chambres de transfert Shonka (type A4, d'un volume de 30 cm^3). Tous les résultats se trouvent à l'intérieur des incertitudes expérimentales et concordent à 0,5 % près.

3.3 Présentation et discussion des étalonnages relatifs aux rayonnements x de haute énergie

Les participants sont soucieux de voir le BIPM jouer un rôle dans les étalonnages et les comparaisons à haute énergie bien qu'il n'ait pas d'accélérateur linéaire pour ces énergies (95-1). Dans un document de travail (95-16) plusieurs méthodes pour ce faire sont suggérées et font l'objet d'une longue discussion. Entre autres sont proposées l'utilisation d'une chambre à paroi mince avec une électronique associée, des méthodes utilisant des corps solides incluant des dosimètres thermoluminescents et la résonance de spin de l'électron, et l'utilisation de détecteurs Fricke ou à diamant. La discussion porte essentiellement sur la reproductibilité de ces systèmes. On ne considère pas comme un problème les différents niveaux de dose. Les participants estiment que le système le plus approprié serait fondé sur une chambre d'ionisation qui circulerait entre laboratoires.

En conclusion de cette discussion, la Section I, considérant que l'on a de plus en plus besoin d'étalonnages en dose absorbée dans l'eau pour les photons et les électrons aux énergies élevées, accepte la proposition présentée dans le document 95-40. Le représentant de la PTB offre de fournir une chambre d'ionisation appropriée correspondant aux indications de la proposition. Les représentants du NPL, du NRC et de la PTB estiment tous que leur laboratoire devrait envisager de participer à ce projet. Ces trois laboratoires conviennent de former un groupe de travail, avec l'ARL, le BIPM et le NIST, pour définir les conditions de référence pour ces chambres. Compte tenu que l'on n'est pas actuellement d'accord sur une spécification appropriée de la qualité du faisceau, il est convenu que les mesures à faire et les résultats à communiquer peuvent l'être pour toutes les méthodes de spécification possibles de qualité de faisceau.

Les chambres de la PTB seront ensuite mises à la disposition des laboratoires primaires pour comparer des étalons de dose absorbée avec le niveau de précision le plus élevé. Entre temps le BIPM doit poursuivre ses recherches sur un étalon de transfert robuste.

3.4 Comparaisons futures et dissémination des résultats des comparaisons

Le directeur du BIPM s'interroge sur la meilleure façon de diffuser les résultats des comparaisons. Il suggère de publier des résumés des résultats des comparaisons dans *Metrologia*. D'autres comités consultatifs le font déjà. Ce type de publication permettrait un accès plus direct aux informations sur la cohérence entre les étalons des différents pays. Un groupe de travail comprenant les représentants du BNM-LPRI, du NMI-VSL, de la PTB et du BIPM est constitué afin de poursuivre cette discussion et de faire à la Section I un compte rendu portant sur les comparaisons passées, le programme des comparaisons futures et la publication des résultats dans *Metrologia*. Après délibération, la Section I accepte les propositions du groupe de travail qui devra rassembler, résumer et présenter toutes les comparaisons faites au BIPM (de 1966 à 1994), ainsi que les comparaisons importantes entre laboratoires primaires et laboratoires nationaux, y compris les comparaisons régionales comme celles d'EUROMET (le NMI devant fournir les détails), de l'Asia/Pacific Metrology Programme (l'ARL devant fournir les détails) et de l'Europe de l'Est (le GUM devant fournir les détails). Un projet d'article contenant un résumé de ces informations devra être diffusé aux membres de la Section I en vue d'obtenir leur accord avant soumission pour publication dans *Metrologia*. Une indication sur le programme des comparaisons futures devra être donnée dans les conclusions de cet article.

Le groupe de travail devra aussi établir un programme des comparaisons futures de kerma dans l'air pour les rayons x d'énergie faible et moyenne, et pour le rayonnement γ du ^{137}Cs et du ^{60}Co , de dose absorbée dans le graphite et de dose absorbée dans l'eau pour le ^{60}Co et les photons et les électrons d'énergie élevée. Un échéancier pour ces comparaisons devra être présenté à la prochaine réunion de la Section I.

Le groupe de travail devra soumettre lors des réunions ultérieures de la Section I une mise à jour de toutes les comparaisons qui auront été effectuées depuis la dernière publication des résultats, sous une forme prête pour soumission à *Metrologia*, après approbation de ce comité.

4. Mise au point et amélioration des étalons nationaux pour la dosimétrie photonique

4.1 Étalons d'exposition et de kerma dans l'air

Cinq documents de travail traitent des étalons d'exposition et de kerma dans l'air (95-18, 22, 29, 36 et 37). Celui du NIST informe les membres qu'un nouvel étalon est en cours de mise au point pour utilisation avec les spectres spécifiquement employés en mammographie. D'autres laboratoires, le NMI, le NPL et la PTB, s'intéressent au même problème. Les tubes

ayant des cibles en Mo ou Rh sont de plus en plus courants, et les laboratoires d'étalonnage ont besoin d'étudier des qualités de faisceau propres à ces tubes, compte tenu de la variation significative de la réponse des chambres d'ionisation que l'on trouve dans le commerce, en fonction de l'énergie. Toutefois, le comité n'estime pas que le BIPM doive travailler sur ces qualités particulières en vue des comparaisons car les étalons qui sont utilisés à cet effet ont une réponse plate par rapport à la qualité du faisceau. Le BIPM se conformera à la proposition du groupe de travail de la Section I du CCEMRI de choisir les spectres de rayons x appropriés à utiliser comme références en vue de comparaisons ultérieures.

Deux documents du NMI (95-20 et 21) traitent de la détermination des spectres de rayons x et du calcul des corrections à moyenne énergie pour la chambre à paroi d'air de ce laboratoire. Dans les deux cas, la méthode de Monte Carlo est utilisée. Il est suggéré que les incertitudes sur la correction pour la perte d'électrons, la diffusion des photons et la transmission du rayonnement par la face avant de la chambre à paroi d'air sont peut-être plus élevées que ce que l'on avait pensé précédemment.

Le groupe de travail, créé lors de la précédente réunion de la Section I pour étudier les incertitudes liées aux différentes grandeurs physiques, n'est pas en mesure de présenter une recommandation. Le document (95-18) du BNM-LPRI indique que des mesures faites en se servant d'une nouvelle méthode pour obtenir K_{air} à partir de D_c confirment un écart de 0,5 % par rapport à la valeur que l'on obtient en utilisant la chambre primaire étalon. Cet écart pourrait être dû à un changement de la valeur utilisée pour $\bar{s}_{c, a}$. Le document du BNM-LPRI laisse aussi à penser que les mesures que ce laboratoire a faites confirment un changement des valeurs de I pour l'eau et le graphite. Un document préliminaire (95-34) présenté par le coordonnateur du groupe de travail, sur une réévaluation de W/e et de $(W/e) \cdot \bar{s}_{c, a}$, confirme le changement dans $\bar{s}_{c, a}$. Il convient toutefois de noter que ce changement est à peine significatif compte tenu des incertitudes, en particulier du rapport du pouvoir de ralentissement entre le carbone et l'air et de l'influence sur ce rapport des changements recommandés de la valeur de I pour le carbone. Par conséquent, la Section I n'est pas d'accord pour recommander de nouvelles valeurs. Compte tenu des incertitudes, il est convenu que les laboratoires doivent étudier cas par cas les incertitudes associées à ces grandeurs ainsi que celles qu'ils mentionnent dans leurs rapports. On estime qu'une incertitude voisine de 0,6 % (1σ) peut être correcte pour la valeur de $\bar{s}_{c, a}$ du ^{60}Co . Il est indiqué que le NPL est en train de mesurer les rapports du pouvoir de ralentissement, $\bar{s}_{w, c}$, pour des électrons entre 4 MeV et 16 MeV (95-35).

4.2 Étalons de dose absorbée dans l'eau

Quatre documents soumis par des laboratoires membres (95-22, 29, 36 et 37) traitent des étalons de dose absorbée dans l'eau. Deux de ces

documents portent sur un nouveau calcul des résultats d'une comparaison effectuée entre le NMI et le BIPM et sur de récentes améliorations apportées à l'étalon de l'ENEA. Dans les deux cas il s'agit de calorimétrie dans le graphite et de l'application du théorème de similitude à la fluence des photons. Les deux autres documents, présentés par le NRC, font un rapport de l'état des travaux en calorimétrie de l'eau dans ce laboratoire et d'une étude du comportement et du défaut de chaleur de la glace, eu égard à son éventuelle utilisation comme calorimètre pour la dose absorbée, ainsi que cela a été récemment suggéré par Rosser. Le rapport du NMI (95-22) mentionne l'intention de vérifier la validité du théorème de similitude à l'aide de mesures et de calcul selon la méthode de Monte Carlo. Les travaux de l'ENEA utilisent aussi le théorème de similitude, appliqué aux mesures dans un fantôme d'eau de dimensions normalisées. Les rapports de N_W/N_K obtenus par expérience et par calcul concordent à 0,5 % près. Une chambre d'ionisation à paroi épaisse, relativement insensible à la composante de faible énergie du spectre des électrons, a été utilisée.

Le représentant du NRC parle des deux rapports présentés par ce laboratoire. Le premier (95-36) signale les effets de divers contaminants sur le comportement d'un calorimètre à eau. La présence de faibles quantités de O_2 dans le système de saturation en H_2 entraîne un effet significatif. Des résultats antérieurs fondés sur la méthode de Fricke montraient que le NRC se situait à 0,7 % en-dessous du BIPM pour le rayonnement γ du ^{60}Co ; toutefois, une modification de ces résultats fondée sur une connaissance récemment acquise des effets de paroi du verre et du défaut de chaleur ont ramené ces résultats à quelques dixièmes de pourcent les uns des autres. Le deuxième rapport (95-37) présente le résultat d'une étude approfondie du comportement de la glace et de son défaut de chaleur entre $-23\text{ }^{\circ}C$ et $-0,8\text{ }^{\circ}C$. Cette étude montre que, au voisinage de $0\text{ }^{\circ}C$, la glace d'un calorimètre à glace peut convenir car son état est stable et son défaut de chaleur nul. Toutefois, au cours de la discussion, il apparaît qu'il y a peu de chance de parvenir à mettre au point un étalon primaire utilisant un calorimètre à glace.

5. Étalons de curiethérapie

Un document présenté par le NIST (95-12) expose l'état d'avancement des recherches sur une chambre à paroi d'air à grand angle destinée à être utilisée comme étalon pour les sources de ^{125}I dont on se sert en curiethérapie. Un problème dû à un alignement inapproprié a été résolu et les rayons x de Ti, qui sont produits dans l'enveloppe de la source et ne sont pas cliniquement importants, ont été éliminés. À la suite d'autres mesures on envisage de donner à cet instrument le statut d'étalon national pour les sources de ^{125}I utilisées en curiethérapie. La réponse de cet instrument a été comparée à celle d'une chambre d'ionisation à paroi d'air qui est habituellement utilisée comme étalon pour les photons entre 25 kV

et 40 kV; les résultats obtenus avec les deux instruments concordent à mieux que 1 %.

Un deuxième document présenté par le NIST (95-13) se rapporte aussi à la spécification et à l'étalonnage des sources utilisées en curiethérapie. Il suggère d'aborder le problème général de la même façon que cela est fait pour le programme déjà en place pour les applicateurs ophtalmiques de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$. La méthode primaire d'étalonnage est ionométrique et fait appel à une géométrie d'ouverture 2π ou 4π , ou à grand angle, selon la source à étalonner.

Au cours de la discussion de ces deux documents, le représentant de l'AIEA mentionne que l'Agence entreprend un programme de curiethérapie dans les laboratoires secondaires qu'il supervise; ce programme sera fondé sur un étalonnage de kerma dans l'air et l'utilisation de dosimètres thermoluminescents. Au NMi, l'étalonnage des sources de ^{192}Ir est fondé sur un protocole d'étalonnage de kerma dans l'air publié en 1994. Le NRC envisage de mettre au point une nouvelle chambre à cavité en graphite et de déterminer à l'avance sa réponse aux rayons x produits à 200 kV et au rayonnement gamma du ^{192}Ir . À la condition que les mesures confirment la fiabilité des calculs à 200 kV, le NRC a l'intention de s'appuyer sur la réponse calculée pour le ^{192}Ir et d'utiliser cette chambre à des fins d'étalonnage. Actuellement tous les laboratoires membres estiment que leurs chambres d'ionisation ont une réponse plate en énergie au voisinage du ^{192}Ir et ils utilisent des méthodes d'interpolation. La question s'est posée de savoir si le BIPM devrait travailler avec le ^{192}Ir en plus du ^{137}Cs et du ^{60}Co , mais on estime que cela n'est pas nécessaire actuellement.

6. Étalons à utiliser en radioprotection

Un document (95-28) aborde le problème, qui est de temps à autre soulevé dans les publications, de l'anomalie apparente qui existe entre la réponse des dosimètres personnels et des dosimètres d'environnement étalonnés au ^{137}Cs ou au ^{60}Co . La Section I discute du problème et estime que, s'il existe réellement, le problème n'est pas lié aux étalons primaires. On fait remarquer que le faisceau de rayonnement du césium du BIPM peut s'avérer utile pour résoudre ces désaccords apparents.

7. Étalons pour les rayonnements utilisés dans l'industrie

Dans le document 95-9, le NIST fournit des indications provisoires sur les étalons pour les rayonnements utilisés dans l'industrie. Il emploie des méthodes de dosimétrie fondées sur la résonance du spin de l'électron dans l'alanine pour étendre le domaine des doses normalement mesurées par son étalon au domaine des doses élevées utilisées pour irradier des produits alimentaires et pour stériliser des produits médicaux.

8. Mise au point et amélioration des étalons nationaux en dosimétrie des particules chargées

8.1 Domaine du rayonnement β

Aucun document de travail ne traite du domaine du rayonnement β . Il ressort de la discussion que le NRC a effectué quelques travaux relatifs à la dosimétrie de sources de ^{14}C enrobées dans du plastique. Les spectres calculés et mesurés pour ces sources sont en bon accord. Quelques-unes des corrections qu'il faut appliquer lorsqu'on utilise la méthode habituelle de chambre à extrapolation sont assez grandes. Le NRC envisage de publier les résultats de ces études.

8.2 Faisceaux de protons

L'ENEA (95-32) étudie des systèmes de dosimétrie de référence pour des faisceaux de protons et deux documents traitent de la question. Les interactions nucléaires deviennent trop significatives pour être ignorées aux énergies de protons supérieures à quelques dizaines de MeV. La fluence des protons primaires est atténuée et le spectre énergétique des protons sur leur trajet dans le milieu s'en trouve modifié. L'effet augmente avec l'augmentation de l'énergie des protons et il convient d'en tenir compte lorsqu'on détermine l'énergie appropriée pour calculer les pouvoirs de ralentissement dans les chambres d'ionisation et la dose absorbée à partir de mesures de fluence. Des facteurs de correction, expérimentaux et calculés, pour quelques chambres d'ionisation courantes pour des faisceaux de proton à 6 MV et à 15 MV, ont été présentés.

Les représentants d'autres laboratoires membres manifestent un intérêt croissant pour la dosimétrie des protons. Celle-ci fait l'objet d'études aux États-Unis, en France, au Japon et aux Pays-Bas. En France un calorimètre Shonka en plastique a été utilisé pour la dosimétrie des protons à 17 MeV et à 200 MeV.

9. Rapports d'activité des laboratoires

De nombreux documents soumis donnent des informations sur les progrès effectués dans les domaines des étalons, des installations, des services et des recherches depuis la onzième réunion de la Section I en 1993. Ces documents sont présentés et discutés; ils sont maintenant disponibles sous forme d'un volume relié.

Le représentant du NPL expose en particulier le principe d'une nouvelle méthode que l'on utilise pour déterminer les rapports de pouvoirs de ralentissement des électrons dans l'eau et dans le graphite. La méthode combine une détermination expérimentale du rapport du parcours des

électrons avec un calcul de Monte Carlo sur le parcours des électrons et leur spectre en fonction de la profondeur. L'incertitude résultante du rapport des pouvoirs de ralentissement pourrait être aussi faible que 0,5 % au niveau de 2σ .

Plusieurs laboratoires indiquent qu'ils sont en mesure d'effectuer des étalonnages aux rayonnements de spectres étroits de l'ISO (norme ISO 4037).

10. Rapport de l'AIEA

10.1 Comparaison (^{60}Co) de dose absorbée au niveau du kGy au moyen de la dosimétrie à l'alanine

L'AIEA a rendu compte (95-15) d'une comparaison à niveau de dose élevée en « double aveugle » entre neuf laboratoires (Canada, Rép. pop. de Chine, Danemark, É.-U. d'Amérique, France, Italie, Japon, Royaume-Uni, Féd. de Russie) et l'AIEA. Le BIPM a apporté son aide pour la mise au point du protocole et a entrepris l'analyse des résultats. Les niveaux de dose absorbée se situaient entre 10 kGy et 50 kGy. Les résultats présentent un écart-type de 2,1 % à 15 kGy et de 2,4 % à 45 kGy. La valeur moyenne de l'AIEA se situe à 1 % de la valeur moyenne des participants. Il est suggéré que le BIPM envisage d'organiser et de coordonner une comparaison comparable à dose élevée pour tous les laboratoires nationaux actifs dans le domaine des doses élevées.

10.2 Comparaison (^{60}Co) de dose absorbée dans le domaine utilisé en thérapie à l'aide de dosimètres thermoluminescents

Dans un rapport général sur les activités de la section de dosimétrie de l'AIEA (95-27) des détails sont donnés sur les travaux en cours et sur la participation (actuellement 73 laboratoires) au réseau de laboratoires secondaires commun à l'AIEA et à l'OMS. Il est rendu compte de l'extension des comparaisons annuelles de ^{60}Co aux faisceaux des accélérateurs médicaux. Quatre laboratoires secondaires présentaient au début un écart supérieur à la limite acceptée de 3,5 %, toutefois, lors d'une deuxième comparaison, il s'est avéré que trois de ces laboratoires avaient porté remède à cette situation.

Des informations sont données sur les autres activités de l'AIEA, y compris l'utilisation du service des dosimètres thermoluminescents pour contrôler le fonctionnement de l'étalonnage dans 300 centres de radiothérapie dans des pays en voie de développement et pour vérifier les faisceaux d'électrons d'accélérateurs médicaux situés en Europe et aux É.-U. d'Amérique. Dans les vérifications de la dose délivrée en radiothérapie dans des pays en voie de développement, un tiers des

contrôles a donné des résultats qui se situaient en dehors des limites acceptables. Ce service apporte donc la preuve de son utilité.

De plus, l'Agence possède maintenant son propre service de résonance du spin de l'électron dans l'alanine qui est indirectement relié aux mesures faites au BIPM.

11. Publication des résultats

Les membres de la Section I sont encouragés par le président à faire paraître les résultats de toutes les comparaisons dans des journaux à comité de lecture. Un résumé doit en être publié dans *Metrologia* ainsi qu'il en a été discuté au point 3.4. Les détails de ces comparaisons se trouvent dans les rapports du BIPM et des autres laboratoires.

12. Questions diverses

Le directeur du BIPM informe les participants que le recrutement de deux personnes pour la section des rayonnements ionisants du BIPM est en cours.

L'importance de la publication des résultats est reconnue par la Section I et la prolifération des accords entre laboratoires primaires est mentionnée.

Quelques idées sont échangées sur l'organisation des réunions ultérieures. Les participants s'accordent pour reconnaître que les discussions pourraient être facilitées en utilisant davantage la projection de schémas et aussi en fournissant et en faisant circuler les documents de travail suffisamment à l'avance.

Le président signale que Mme A.-M. Perroche, en stage de longue durée au BIPM et J.W. Müller, chef de la section des rayonnements ionisants, vont prochainement prendre leur retraite. Il les remercie tous les deux pour leur importante contribution aux travaux du BIPM et l'ensemble des participants de la Section I les applaudit.

Il est convenu que la prochaine réunion de la Section I du CCEMRI aura lieu dans deux ans.

Septembre 1995,
modifié novembre 1995

ANNEXE R(I) 1

Documents de travail présentés à la 12^e réunion de la Section I du CCEMRI

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

Document
CCEMRI (I)/

- 95-1 BIPM. — Proposals for the involvement of the BIPM in high-energy calibrations, 2 pages.
- 95-2 BIPM. — Comparisons and calibrations at the BIPM (1993-1995), by A.-M. Perroche and M. Boutillon, 6 pages.
- 95-3 BIPM. — Determination of air kerma for ^{137}Cs gamma rays, by A.-M. Perroche and M. Boutillon, 5 pages.
- 95-4 ARL (Australie). — Status report for CCEMRI(I) on absorbed dose standards at the Australian Radiation Laboratory, by R. B. Huntley, K. N. Wise, D. V. Webb and J. F. Boas, 6 pages.
- 95-5 ETL (Japon). — Ion loss characteristics of parallel plate ionization chambers, by N. Takata, 8 pages.
- 95-6 ETL (Japon). — Report of the Status of ETL to the CCEMRI Section I, by N. Takata, K. Sakihara and Y. Koyama, 2 pages.
- 95-7 SSDL (Autriche). — Intercomparison Measurements with 30 ccm Ion. Chambers in ^{137}Cs -Fields Kalibration for the NIST-Chambers at SSDL-Seibersdorf, 4 pages.
- 95-8 ARL (Australie). — Report on work-in-progress at Australian Radiation Laboratory. Monte Carlo Models Applied to Absorbed Dose Standards, by K. N. Wise, L. H. Kotler and D. V. Webb, 2 pages.
- 95-9 NIST (É.-U. d'Amérique). — High-Dose Radiation Dosimetry Services and Measurement Assurance Program, by J. C. Humphreys, M. F. Desrosiers, D. L. Bensen, J. M. Puhl, S. M. Seltzer, W. L. McLaughlin, M. L. Walker, 9 pages.

Document
CCEMRI (I)/

- 95-10 NIST (É.-U. d'Amérique). — Development of National Standards for Mammographic X-ray Beams: Summary and Update, by C. M. Johnson and P. J. Lamperti, 1 page.
- 95-11 NIST (É.-U. d'Amérique). — Report to the CCEMRI Section I, by S. M. Seltzer, 8 pages.
- 95-12 NIST (É.-U. d'Amérique). — The Wide-Angle Free-Air Chamber: A Proposed I-125 Brachytherapy Standard, by R. Loevinger, 2 pages.
- 95-13 NIST (É.-U. d'Amérique). — A Generalized Approach for the Calibration and Characterization of Brachytherapy Sources, by C. G. Soares, 4 pages.
- 95-14 NIST (É.-U. d'Amérique). — International Comparison of X-Ray and Gamma-Ray Standards, by P. J. Lamperti, 3 pages.
- 95-15 AIEA. — Report of the IAEA to the CCEMRI section I – High-dose intercomparison in the ^{60}Co field, 2 pages.
- 95-16 BIPM. — Preliminary investigation of high-energy dosimetry transfer systems, by P. J. Allisy-Roberts, 9 pages.
+ Supplement: Discussion of transfer system options for comparison of absorbed dose to water at high energies, 2 pages.
- 95-17 BNM-LPRI (France). — Progress Report (Dosimetry), by B. Chauvenet, 2 pages.
- 95-18 BNM-LPRI (France). — Remarks of LPRI concerning stopping power ratios (Re.: fax of D. W. O. Rogers to CCEMRI), 2 pages.
- 95-19 NMi (Pays-Bas). — Progress report on radiation dosimetry standards, facilities and related topics at NMi, 1993-1995, by A. H. L. Aalbers, 3 pages.
- 95-20 NMi (Pays-Bas). — Correction factors for the NMi free-air ionisation chamber for 50-320 kV x-rays, by E. Van Dijk, 3 pages.
- 95-21 NMi (Pays-Bas). — Determination of X-ray spectra, by W. de Vries, 1 page.
- 95-22 NMi (Pays-Bas). — Ratios of calibration factors for absorbed dose to water and absorbed dose to graphite for the NE2561 chamber, by T. W. M. Grimbergen, 2 pages.
- 95-23 NMi (Pays-Bas). — Review of comparisons of absorbed dose to graphite standards of the Netherlands, the United Kingdom and the BIPM, by T. W. M. Grimbergen, 3 pages.

Document
CCEMRI (I)/

- 95-24 GUM (Pologne). — Progress report 1993-1995 to CCEMRI, by Z. Referowski, 2 pages.
- 95-25 CIEMAT (Espagne). — Application of glow curve analysis methods to radiotherapy mailed dosimetry with LiF TDL-100, by J. L. Muñoz, A. Delgado, J. M. Gómez Ros and A. Brosed, *Phys. Med. Biol.*, 1995, **40**, 253-268.
- 95-26 SRPI (Suède). — The Swedish National Dosimetry Laboratory Progress Report 1995:
– Absorbed dose to water calibrations for cobalt-60 gamma rays, by U. Nilsson, O. Gullberg and J.-E. Grindborg, 5 pages,
– Absorbed dose measurements in x-ray beams at different gas pressures, by J.-E. Grindborg, J. E. Kyllönen and L. Lindborg, 3 pages.
- 95-27 AIEA. — Report on the activities of the IAEA dosimetry section in 1994, 5 pages.
- 95-28 ARL (Australie). — Is the apparent anomaly between cobalt and caesium calibrated exposures in environmental TLD dosimetry related to standards?, by J.G. Young, J. F. Boas and N. J. Hargrave, 2 pages.
- 95-29 ENEA (Italie). — Recent improvements on the ENEA absorbed-dose-to-water standard based on graphite calorimeter, by A. S. Guerra, R. F. Laitano and M. Pimpinella, 15 pages.
- 95-30 ENEA (Italie), NIST (É.-U. d'Amérique). — Preliminary report on the comparison between the NIST and the ENEA exposure standards, by R. F. Laitano, P. Lamperti and M. P. Toni, 9 pages.
- 95-31 ENEA (Italie). — Experimental determination of the beam quality dependence factors k_Q , for ionisation chambers used in photon and electron dosimetry (Synopsis), by A. S. Guerra, R. F. Laitano and M. Pimpinella, 7 pages.
- 95-32 ENEA (Italie). — Nuclear interaction effects on the energy spectra of proton beams for radiotherapy. Preliminary results, by R. F. Laitano, M. Frisoni and M. Rosetti, 10 pages.
- 95-33 NPL (Royaume-Uni). — Progress Report on Radiation Dosimetry at NPL, by D. T. Burns, 6 pages.
- 95-34 NRC (Canada). — Re-evaluation of (W/e) and $(W/e)_{s_{gr,air}}$, Status Report to CCEMRI(I) Meeting April 24-26 1995, by D. W. O. Rogers, 4 pages.

Document
CCEMRI (I)/

- 95-35 NRC (Canada). — NRC Activities and Publications 1993-1995, Status Report to CCEMRI(I) Meeting, BIPM, April 24-26 1995, by D. W. O. Rogers, 12 pages.
 - 95-36 NRC (Canada). — Absorbed Dose to Water via Water Calorimetry: A Status Report, by C. K. Ross, N. V. Klassen and K. R. Shortt, 8 pages.
 - 95-37 NRC (Canada). — The radiolysis of ice near 0 °C and the heat defect, by N. V. Klassen, 15 pages.
 - 95-38 OMH (Hongrie). — Progress Report on the dosimetry (1993-1995), by I. Csete, 2 pages.
 - 95-39 CCEMRI (I) Working group on comparisons, 1 page.
 - 95-40 CCEMRI (I) Proposal for high-energy calibrations, 1 page.
-

ANNEXE R(I) 2

Actions résultant de la 12^e réunion de la Section I du CCEMRI

Responsable(s)	Action
Laboratoires intéressés	Comparer l'étalon de kerma dans l'air au ^{137}Cs au BIPM.
BNM-LPRI, NMI-VSL, PTB et BIPM (Groupe de travail sur les comparaisons)	Identifier un programme de comparaisons futures pour mesurer le kerma dans l'air pour des rayons x d'énergie faible et moyenne, le ^{137}Cs et le ^{60}Co ; la dose absorbée dans le graphite et la dose absorbée dans l'eau pour le ^{60}Co et les photons de haute énergie, ainsi que les électrons. Préparer un programme de comparaisons pour la prochaine réunion de la Section I.
Tous les laboratoires	Étudier à nouveau les incertitudes associées aux grandeurs physiques telles qu'elles sont données dans leurs rapports.
NMI, SRPI et BIPM (Groupe de travail de l'ISO)	Choisir les qualités ISO qu'il convient d'ajouter aux qualités de référence des rayons x du BIPM.
NPL, NRC, PTB et BIPM (Groupe de travail des hautes énergies)	Recommander les conditions de référence d'irradiation dans les faisceaux de rayonnement à haute énergie.
PTB	Fournir au BIPM une chambre d'ionisation utilisable comme étalon de transfert de dose absorbée dans des faisceaux de rayonnement à haute énergie.
BIPM	Étalonner ladite chambre dans le faisceau de ^{60}Co et en déterminer la stabilité.
BIPM	Étudier un système de transfert robuste pour la mesure de dose absorbée dans les faisceaux de rayonnement à haute énergie.

BNM-LPRI, NMi-VSL, PTB et BIPM (Groupe de travail sur les comparaisons)	Rassembler, résumer et présenter les résultats des anciennes comparaisons faites au BIPM (1966 à 1994), des comparaisons représentatives entre laboratoires primaires et nationaux et des comparaisons régionales. Préparer un projet d'article à publier.
Groupe de travail sur les comparaisons	Soumettre, à l'occasion de chaque réunion, une mise à jour des résultats de toutes les comparaisons achevées depuis la précédente publication, sous une forme prête à paraître dans <i>Metrologia</i> .
Tous les laboratoires	Publier les résultats des comparaisons dans des revues possédant un comité de lecture.
BIPM	Organiser et coordonner une comparaison à dose élevée entre tous les laboratoires nationaux qui ont une activité dans le domaine des doses élevées.
Tous les membres	Faire parvenir les documents au moins un mois avant la date de la prochaine réunion; chaque fois que cela est possible utiliser des projections pour présenter l'information lors des réunions de la Section I du CCEMRI.

Section II — Mesure des radionucléides

13^e réunion (mai 1995)

ORDRE DU JOUR
de la 13^e réunion

1. Ouverture de la réunion; nomination d'un rapporteur.
 2. Résultats des récentes comparaisons de mesures d'activité :
 - 2.1 Résultats de la comparaison restreinte de ²⁰⁴Tl;
 - 2.2 Publication des résultats des récentes comparaisons.
 3. Système international de référence pour les mesures d'activité :
 - 3.1 Rapport sur l'étude du système de chambres d'ionisation;
 - 3.2 Analyse systématique des résultats du SIR;
 - 3.3 Traçabilité au niveau international;
 - 3.4 Système à scintillation liquide comme extension du SIR.
 4. Rapports des groupes de travail :
 - 4.1 Principes de la méthode des coïncidences;
 - 4.2 Préparation de sources;
 - 4.3 Extension aux émetteurs de rayonnement β du système à scintillation liquide;
 - 4.4 Monographie sur les chambres d'ionisation;
 - 4.5 Systèmes de détection à haute efficacité;
 - 4.6 Comparaisons futures de mesures d'activité;
 - 4.7 Commande groupée de radionucléides.
 5. Comparaisons futures.
 6. Activités du BIPM :
 - 6.1 Évaluation robuste des résultats des comparaisons internationales;
 - 6.2 Méthode de parité;
 - 6.3 Échelon temporel des analyseurs multicanaux;
 - 6.4 Incertitude sur les temps morts mesurés par la méthode des deux oscillateurs.
 7. Rapports des laboratoires membres.
 8. Visite des laboratoires du BIPM.
 9. Questions diverses.
 10. Date de la prochaine réunion.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION II. — Mesure des radionucléides 13^e réunion (mai 1995)

RAPPORT par S. M. BUCKMAN, rapporteur

Résumé. La Section II (Mesure des radionucléides) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa treizième réunion en mai 1995. Le projet de rapport de la comparaison restreinte de ^{204}Tl effectuée en 1994 a été présenté. Les résultats des six laboratoires participants sont en bon accord à l'exception d'une mesure nettement aberrante. Des études complémentaires devront être faites pour rechercher les causes possibles de cet écart. Un document résumant les résultats de la comparaison internationale de ^{109}Cd a été publié et un rapport abrégé de la comparaison internationale de ^{125}I a été soumis pour publication. Une analyse préliminaire de l'ensemble des résultats du Système international de référence (SIR) a été terminée et un groupe de travail a été créé afin de les analyser de façon systématique. Le comité a abordé le problème de l'équivalence des étalons nationaux et internationaux, et il a créé un groupe de travail pour établir les directives à suivre pour assurer l'équivalence des étalons de mesure. La mise en oeuvre de l'extension du SIR sera poursuivie tandis que le travail de routine a commencé avec une comparaison de ^{90}Sr . Une comparaison restreinte de ^{192}Ir sera organisée en 1995; elle sera suivie, en 1996, d'une comparaison internationale de ^{204}Tl . Les autres activités récentes du BIPM, y compris l'analyse robuste des résultats des comparaisons internationales, ont fait l'objet de discussions et les groupes de travail ont présenté des rapports détaillés sur leur activité.

Introduction

La Section II (Mesure des radionucléides)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)** a tenu

* Pour la liste des membres, voir page XII.

** Pour la liste des abréviations figurant dans ce rapport, voir page V.

sa treizième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 9, 10 et 11 mai 1995.

Étaient présents :

K. DEBERTIN, président de la Section II, Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

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

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

Institut national de métrologie [NIM], Beijing (LI FEN).

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

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (J. M. R. HUTCHINSON).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (M. J. WOODS).

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

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

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

Membres nominativement désignés :

J.-J. GOSTELY, Institut de radiophysique appliquée [IRA-OFMET], Lausanne.

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

Invités :

P. DE FELICE, Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente [ENEA], Rome.

A. GRAU MALONDA, Centro de Investigaciones Energeticas, Medio-ambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

Y. HINO, Electrotechnical Laboratory [ETL], Ibaraki.

D. F. G. REHER, Institut des matériaux et mesures de référence [IMMR], Geel.

TAE SOON PARK, Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejon.

R. BRODA, Metrological Laboratory of Radioactive Materials, Radioisotope Centre [RC], Otwock.

Assistaient aussi à la réunion : G. MOSCATI (membre du CIPM); A. ALLISY (membre du CCEMRI); P. ALLISY-ROBERTS, M. BOUTILLON, V.-D. HUYNH, J. W. MÜLLER et G. RATEL (BIPM).

Excusés :

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

Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa.

Institut de métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

1. Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur

Le directeur du BIPM ouvre la réunion en souhaitant la bienvenue aux membres de la Section II du CCEMRI. Il rappelle aux participants le but de la réunion et souligne l'importance des comparaisons internationales comme moyen de rendre compte de l'« équivalence des mesures » entre laboratoires nationaux de métrologie.

Le président de la Section II accueille en particulier les nouveaux délégués et les invités. S.M. Buckman est nommé rapporteur et le projet d'ordre du jour est approuvé.

2. Résultats des récentes comparaisons de mesures d'activité

2.1 Résultats de la comparaison restreinte de ^{204}Tl

G. Ratel présente un résumé du projet de rapport (95-6)* sur les résultats de la comparaison restreinte de mesures d'activité d'une solution de ^{204}Tl . La solution a été achetée au BNM-LPRI et préparée par le BIPM. Des ampoules en verre, contenant une solution dont la concentration d'activité était d'environ 70 kBq/g, ont été envoyées aux laboratoires participants à la fin du mois d'août 1994.

Six laboratoires ont pris part à cette comparaison restreinte (BIPM, BNM-LPRI, CIEMAT, NAC, NIST et PTB) et quatre méthodes différentes ont été utilisées : CIEMAT-NIST/LSC (cinq laboratoires), TDCR/LSC (deux laboratoires), comptage par coïncidences $4\pi(x,e)-x_K$ (un laboratoire) et comptage $4\pi\beta$ (un laboratoire). La mesure par comptage $4\pi\beta$ était la seule à ne pas être fondée sur une technique par scintillation.

* 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 95-1, 95-2, etc.

La moyenne pondérée de la concentration d'activité était de 55,48 Bq/mg, avec une incertitude-type composée, u_c , de 0,16 Bq/mg. Les résultats présentent une dispersion totale de 3,4 % et l'écart-type de la moyenne est de 0,3 %. L'évaluation au moyen d'une analyse robuste (voir point 6.1) a donné une valeur médiane de 55,40 Bq/mg avec une incertitude de 0,20 Bq/mg. Seule une valeur se situe à l'écart; elle est de 2,5 % en-dessous de la moyenne non pondérée des autres résultats. Bien que la préparation des sources et l'adsorption par la paroi des ampoules aient été avancées comme causes éventuelles de ce résultat différent, on n'a pas encore d'explication convaincante et confirmée. Des mesures effectuées au BIPM ont confirmé que la stabilité de la solution dépend du type de scintillateur utilisé, le type Ultima-Gold étant nettement plus stable que le type ReadySafe. Plusieurs participants disent avoir eu dans le passé des difficultés dans leur laboratoire avec l'adsorption du thallium qui s'avèrait poser des problèmes. Il n'est pas encore certain que l'adsorption soit la cause de l'écart de cette valeur dans la comparaison en question.

Les résultats de la comparaison restreinte (voir Fig. 1) laissent à penser qu'il convient de prendre un soin particulier pour préparer les échantillons destinés au comptage par scintillation liquide. On pourrait éviter à l'avenir des problèmes dus au scintillateur en envoyant une aliquote d'un scintillateur bien connu, en même temps que la solution active, à tous les participants qui envisagent d'utiliser une méthode par scintillation liquide.

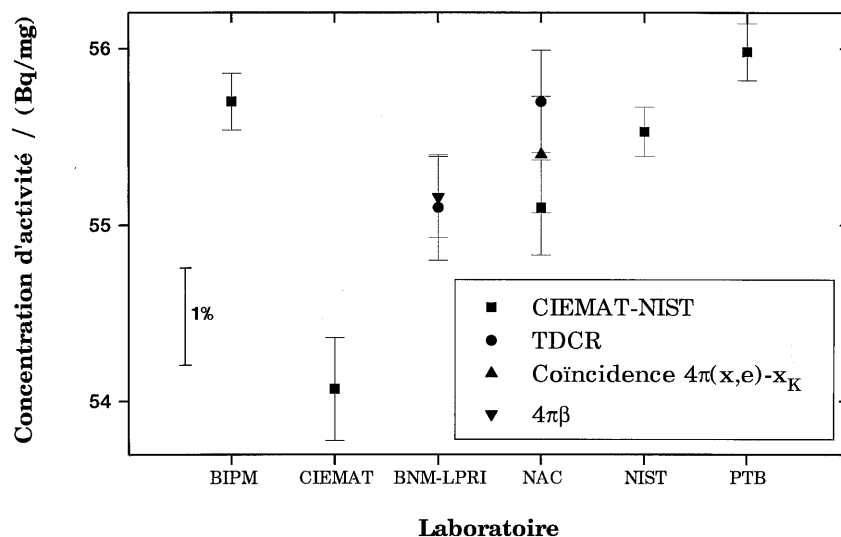


Figure 1. — Résultats de la comparaison restreinte de ^{204}Tl

2.2 Publication des résultats des récentes comparaisons

Une version abrégée du rapport sur la comparaison d'activité de ^{109}Cd a été publiée dans *Nucl. Instrum. Meth.*, 1994, **A345**, 289-295. La version abrégée du rapport de la comparaison de ^{125}I a été soumise pour publication dans *Nuclear Instruments and Methods**. Un premier projet du rapport abrégé de la comparaison de ^{75}Se devrait être terminé d'ici la fin du mois de juin 1995. Les 21 laboratoires participants ont communiqué 24 résultats indépendants obtenus avec 5 méthodes différentes.

L'achèvement de ces rapports permettra de mettre à jour la documentation concernant les comparaisons internationales. Le président insiste à nouveau sur le fait qu'il est important de publier les résultats des comparaisons internationales dès que possible une fois les résultats disponibles.

3. Système international de référence pour les mesures d'activité

3.1 Rapport sur l'étude du système de chambres d'ionisation

G. Ratel rend compte de mesures récentes faites au BIPM qui ont confirmé l'excellente stabilité à long terme du Système international de référence pour les mesures d'activité (SIR). L'accroissement du nombre de contributions au SIR que l'on a constaté au cours des dernières années se poursuit. Depuis la dernière réunion, 57 ampoules sont parvenues au BIPM provenant de 14 laboratoires, dont 2 qui prennent part à ce travail pour la première fois. Aucun nouveau nucléide n'a été envoyé au cours de cette période. Des échantillons de ^{133}Xe ont été soumis au SIR dans le cadre du Projet n° 304 d'EUROMET. Des ampoules pour les gaz ont été achetées par le BIPM et peuvent être fournies sur demande.

Depuis la création du SIR, 645 ampoules au total, pour 54 radionucléides différents, ont été reçues et 474 résultats indépendants ont été obtenus. La présentation des résultats du SIR a été récemment améliorée : des graphiques montrant les résultats ont été préparés pour chaque nucléide.

3.2 Analyse systématique des résultats du SIR

Le SIR fournit aux laboratoires nationaux et internationaux de métrologie un moyen commode de comparer leurs étalons de mesure

* RATEL G., Activity concentration of a solution of ^{125}I : results of an international comparison, *Nucl. Instrum. Meth.*, 1995, **A366**, 183-191.

d'activité pour un large éventail de radionucléides. Le grand nombre de résultats qui entrent dans le SIR en font le système le plus exact de chambres d'ionisation étalonnées pour les mesures d'activité.

D. F. G. Reher rend compte de l'analyse préliminaire qu'il a faite des résultats du SIR. D'après les données fournies par le BIPM, les résultats en activité équivalente, A_e , pour chaque nucléide sont indiqués par ordre chronologique et par ordre numérique croissant. De plus, les moyennes et les écarts-types de ces données ont été calculés en éliminant les mesures qui, à l'évidence, paraissaient aberrantes, le jugement restant subjectif.

L'analyse a mis en lumière 14 nucléides pour lesquels il semble subsister des difficultés de mesure. Entre autres, 6 nucléides paraissent présenter des groupes divergents de résultats (dont le ^{51}Cr et le ^{85}Sr).

D. F. G. Reher montre aussi que pour le SIR, l'activité équivalente, A_e , pour un radionucléide donné, est inversement proportionnelle au facteur d'étalonnage des autres chambres d'ionisation. Cette caractéristique permet le transfert des résultats du SIR. Pour une chambre identique à celles utilisées dans le SIR, les facteurs d'étalonnage sont exactement donnés par $1/A_e$. Pour un système de chambres d'ionisation un peu différent de celui du SIR, on s'attend à ce que les facteurs d'étalonnage soient approximativement proportionnels à $1/A_e$. Cette hypothèse a été vérifiée en utilisant les chambres remplies d'argon de l'IMMR. Lorsqu'on a porté les « meilleures valeurs » de A_e en fonction des facteurs d'étalonnage pour la chambre de l'IMMR, la courbe obtenue était très voisine d'une droite (pour un ajustement linéaire, l'écart-type de la pente était de 1,4 %).

Cette possibilité de transfert des valeurs de A_e peut constituer un moyen d'utiliser les résultats du SIR pour étalonner d'autres chambres d'ionisation. Cela pourrait être une aide précieuse pour établir des instruments étalons secondaires dans les pays en voie de développement.

Un nouveau groupe de travail a été créé afin de poursuivre « l'analyse systématique des résultats du SIR ». Ce groupe va mettre au point les critères de choix des meilleures valeurs de A_e et faire une évaluation des éventuelles utilisations de ces résultats. De plus, le groupe de travail étudiera la possibilité de conserver les résultats du SIR dans une base de données afin de pouvoir les mettre à jour lorsque de nouvelles valeurs concernant les données du schéma de désintégration, comme la période, seront adoptées. Les membres choisis pour participer à ce groupe de travail sont : R. Broda, N. Coursol, G. Ratel, D. F. G. Reher (coordonnateur), H. Schrader (PTB) et M. J. Woods. Il est demandé aux membres de la Section II d'envoyer une liste des facteurs d'étalonnage de leur chambre d'ionisation, ainsi que les caractéristiques de celle-ci, à D. F. G. Reher à l'IMMR.

Il est convenu que les comparaisons effectuées hors du cadre de l'activité de la Section II du CCEMRI et du BIPM devraient être reliées au SIR en envoyant au BIPM une ampoule provenant de ladite comparaison.

3.3 Traçabilité au niveau international

Les organismes qui s'occupent d'accréditation et d'homologation en général font de plus en plus pression sur les laboratoires nationaux de métrologie pour que ceux-ci rendent compte de l'équivalence qui existe entre leurs mesures. Étant donné la variété de nature des mesures physiques, il est important que la signification de cette « équivalence » soit établie de façon explicite pour une grandeur physique donnée.

En ce qui concerne les mesures d'activité, la traçabilité à un laboratoire national est assez bien définie. Toutefois, il reste encore à établir une définition qui soit largement acceptée de la « traçabilité au niveau international » ainsi que du concept associé d'« équivalence ».

Après une longue discussion, la Section II du CCEMRI a approuvé la déclaration suivante sur l'« équivalence des étalons nationaux et internationaux de mesure dans le domaine de la radioactivité afin d'assurer la traçabilité au niveau international » :

L'existence des systèmes de mesure au niveau international et national et l'établissement de la traçabilité au niveau international dépendent de façon critique de l'équivalence des étalons de mesure entre les laboratoires nationaux et internationaux de métrologie. Dans le domaine des mesures de radioactivité, la Section II du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants recommande que cette équivalence se fonde sur les comparaisons internationales effectuées sous l'égide du Bureau international des poids et mesures, et en particulier sur le Système international de référence, en se conformant aux directives établies par la Section II.

De plus, un Groupe de travail sur l'équivalence des étalons a été créé. La mission de ce groupe de travail consiste à définir des directives destinées aux laboratoires nationaux et internationaux de métrologie en vue d'assurer l'équivalence de leurs étalons de mesure de radioactivité. Entre autres facteurs à étudier notons : les avantages qu'il y aurait à classer les radionucléides selon des groupes, les recommandations de l'International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM) sur la traçabilité, la fréquence à laquelle des échantillons devraient être soumis au SIR, l'évaluation des incertitudes et la forme sous laquelle les résultats des comparaisons seront publiés dans *Metrologia*. Le groupe de travail est composé de : S. M. Buckman, J. M. R. Hutchinson, G. Ratel, D. F. G. Reher et M. J. Woods (coordonnateur).

Le programme suivant est approuvé : 1) une lettre d'information sera adressée aux membres de la Section II d'ici la fin du mois de juin 1995 ; 2) un premier projet des directives, qui devrait être terminé pour la fin de 1995, sera diffusé à tous ceux qui ont participé au texte préliminaire ; 3) un rapport sera préparé pour la prochaine session du CCEMRI qui se réunira au mois d'avril 1996.

3.4 Système à scintillation liquide comme extension du SIR

J. M. R. Hutchinson considère que les résultats des comparaisons de ^{14}C et de ^{99}Tc ont prouvé la valeur de l'extension du SIR. En réponse à une demande du président, G. Ratel confirme que l'extension du SIR est maintenant en mesure d'entrer dans une phase de routine.

Comme dernière étape de la mise en œuvre de l'extension du SIR, il est convenu que le BIPM organisera une comparaison de mesures d'activité du ^{90}Sr . Afin d'assurer l'obtention de résultats cohérents, tous les échantillons auront une composition chimique semblable et devront être envoyés au BIPM dans un délai relativement restreint à une époque convenue en 1995. Le BIPM enverra une lettre circulaire invitant les laboratoires à participer à cette comparaison. À cette lettre sera joint un questionnaire demandant aux laboratoires participants de spécifier leurs préférences quant à la composition chimique et à l'activité de la solution.

4. Rapports des groupes de travail

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

J. W. Müller présente la liste des récents rapports, dont la majorité traite des problèmes mathématiques liés au comptage des particules (95-10). Il dit que la troisième version de la bibliographie sur les temps morts est en bonne voie. La réponse reçue à une demande de commentaires sur la seconde version s'est avérée décevante.

Un échange de vues se fait sur l'avenir de ce groupe de travail, compte tenu du fait que les principes de la méthode des coïncidences semblent bien établis et que la mission de ce groupe est remplie. Il est décidé que l'on examinera à nouveau l'avenir de ce groupe à la prochaine réunion.

Il a été suggéré que le *ICRU Report 52* qui a été publié récemment constituait en quelque sorte une conclusion des activités de ce groupe de travail; plusieurs membres du groupe, tant anciens qu'actuels, ont contribué à l'élaboration de ce rapport.

4.2 Préparation de sources (Coordonnateur : D. C. Santry)

Il n'y a toujours rien de nouveau à mentionner à propos de la préparation des sources. Sur l'avis de D. C. Santry, ce groupe de travail est dissous.

4.3 Extension aux émetteurs de rayonnement β du système à scintillation liquide (Coordonnateur : A. Grau Malonda)

Le nom du « Groupe de travail pour l'extension du SIR » est modifié et devient « Groupe de travail pour l'extension du SIR aux émetteurs de

rayonnement β à l'aide du système à scintillation liquide ». La composition du groupe est confirmée comme suit : R. Broda, P. Cassette, J.-J. Gostely, A. Grau Malonda (coordonnateur), G. Ratel et B. R. S. Simpson. Le président invitera B. Coursey (NIST) à se joindre à ce groupe de travail. Le rôle du groupe consiste à étudier les méthodes de préparation des sources à scintillation liquide et l'extension au SIR.

4.4 Monographie sur les chambres d'ionisation (Coordonnateur : H. Schrader)

H. Schrader dit que la monographie sur les chambres d'ionisation est pratiquement terminée. Au mois d'août 1993 un projet de ce rapport a été diffusé à 14 critiques. Après étude des commentaires reçus, un second projet a été rédigé et envoyé à J. W. Müller. Il sera demandé au rédacteur de *Metrologia*, D. A. Blackburn, de revoir ce projet pour y apporter les modifications linguistiques nécessaires. Ce document comporte des figures avec des indications en allemand qui seront traduites par H. Schrader ; la mise au point ultérieure sera assurée par le BIPM. Ce rapport sera publié dans la série des monographies du BIPM* pour libre diffusion. Des exemplaires seront envoyés aux membres et aux invités de la Section II du CCEMRI.

Le président remercie H. Schrader et le BIPM pour leur précieuse contribution à ce gros document qui comporte plus de 110 pages de texte, 100 figures et 500 références. J. W. Müller signale que le BIPM est prêt à publier d'autres monographies de ce genre, même si elles ne sont pas nécessairement de cette ampleur.

4.5 Systèmes de détection à haute efficacité (Coordonnateur : G. Winkler)

G. Winkler dit que les éléments pour rédiger un article de recension ont été rassemblés et qu'un rapport est maintenant en cours de préparation sous le titre « 4π NaI and CsI detectors for high-efficiency counting ». Il pense que ce rapport devrait être achevé d'ici à la fin de l'année 1995 ; le projet sera envoyé à J. W. Müller et à K. Debertin qui décideront s'il y a lieu de le soumettre pour publication dans une revue ou de le faire paraître dans la série des monographies du BIPM. Le groupe de travail sera dissous après la remise du rapport final.

Le président souligne l'intérêt de ces systèmes à haute efficacité et précise qu'ils doivent continuer à être étudiés dans le cadre des réunions de la Section II du CCEMRI.

* SCHRADER H., Activity Measurements With Ionization Chambers, *Monographie BIPM-4*, 1997.

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

Á. Szörényi présente un résumé des réponses à un questionnaire sur les futures comparaisons. Ce questionnaire avait été envoyé à 27 laboratoires ; 16 ont répondu. Vingt-deux nucléides ont été proposés pour faire l'objet de la prochaine comparaison internationale ; les radionucléides les plus fréquemment cités sont le ^{152}Eu et le ^{204}Tl (proposés respectivement par 8 et 3 laboratoires). On fait remarquer qu'en remplissant le questionnaire, la plupart des gens ont dû supposer qu'il y aurait une comparaison internationale de ^{204}Tl .

Les principales raisons avancées pour le choix du ^{152}Eu sont la complexité de son schéma de désintégration et l'utilisation pratique qui est faite du ^{152}Eu pour étalonner les spectromètres à rayonnement γ . Toutefois, comme le ^{152}Eu n'est pas recommandé d'une façon générale pour étalonner les spectromètres à rayonnement γ et comme les résultats du SIR sont en bonne concordance (c'est-à-dire que les résultats de 7 laboratoires concordent à 0,6 % près), il ne semble pas que le ^{152}Eu constitue le meilleur choix pour la prochaine comparaison internationale.

Cet exemple montre que, lorsqu'on choisit des nucléides pour les comparaisons internationales, il est important de comprendre les raisons qui poussent les laboratoires à exprimer leur préférence pour des nucléides particuliers. Pour aider à faire le choix des radionucléides qui feront l'objet d'une comparaison internationale, il est décidé de diffuser une liste de critères aux membres et aux invités ; ceux-ci devront les étudier avant la prochaine réunion de la Section II du CCEMRI.

4.7 Commande groupée de radionucléides (Coordonnateur : D. F. G. Reher)

En vue d'aider à se procurer les nucléides qu'il est difficile de trouver, une base de données indiquant les fournisseurs a été constituée. Les mises à jour de ces données ont été diffusées avant la réunion (95-5) et continueront à l'être une ou deux fois par an.

Plusieurs laboratoires signalent avoir utilisé avec succès ces informations pour acheter des radionucléides. À ce jour aucune commande groupée n'a été faite, probablement à cause de la difficulté que l'on rencontre à prendre les dispositions nécessaires dans un court laps de temps. Internet pourrait fournir un moyen efficace en vue d'organiser rapidement des commandes groupées. Des renseignements provenant d'une autre base de données, qui a été mise au point par S. Jerome au NPL, seront incorporés à la base existante. Ces renseignements porteront aussi sur des nucléides inactifs qui pourraient être utiles pour produire des radionucléides. M. J. Woods accepte au nom de S. Jerome l'invitation faite à celui-ci de se joindre au groupe de travail.

Dans l'intérêt de tous, les participants sont invités à aider ce groupe de travail en communiquant tous les renseignements qu'ils pourraient avoir sur les fournisseurs.

5. Comparaisons futures

Le président souligne à nouveau l'importance des comparaisons internationales et la nécessité d'en faire de façon régulière (c'est-à-dire au moins une comparaison internationale tous les deux ans). Des critères généraux devraient être établis pour faciliter le choix des nucléides faisant l'objet de ces comparaisons. En particulier, le nucléide choisi doit présenter un intérêt général et les résultats figurant dans le SIR doivent poser des problèmes.

Dans l'ensemble tout le monde est d'accord pour dire que le ^{192}Ir satisfait à ces deux critères car il est largement utilisé en curiethérapie et la mesure de son activité rencontre encore des difficultés. En particulier, les résultats du SIR pour le ^{192}Ir semblent se répartir en deux groupes distincts. Compte tenu de l'intérêt actuel porté à ce nucléide, EUROMET a proposé quatre autres projets le concernant. L'un de ces projets porte sur la mesure de l'activité d'une solution de ^{192}Ir . En tant que coordonnateur de ce projet d'EUROMET, D. F. G. Reher explique que ce projet sera abandonné si le BIPM devait organiser une comparaison internationale de ^{192}Ir dans un proche avenir.

Une importante discussion s'ensuit sur les comparaisons internationales futures. L'essentiel de cette discussion porte sur la question de savoir si c'est le ^{204}Tl qui doit faire l'objet de la prochaine comparaison internationale. La décision est prise après avoir convenu qu'il doit être possible d'effectuer à la fois une comparaison internationale de ^{204}Tl et une comparaison restreinte de ^{192}Ir d'ici à la prochaine réunion.

La comparaison internationale de ^{204}Tl sera effectuée après que les dispositions auront été prises pour porter remède à l'écart resté inexplicé que l'on a constaté dans les résultats de la comparaison restreinte. Le CIEMAT va encore étudier l'adsorption du thallium et une mesure comparative de l'activité du ^{204}Tl va être faite à l'IMMR à l'aide d'un détecteur à 4π CsI.

Une comparaison restreinte de ^{192}Ir sera effectuée sous les auspices de la Section II du CCEMRI et du BIPM. Elle se substituera au projet proposé par EUROMET. La préparation de la source pour cette comparaison restreinte sera faite soit par l'IMMR soit par le NPL. Les ampoules devraient être envoyées dans le courant de l'automne 1995 avec une première évaluation au printemps 1996. Les dix laboratoires suivants prendront part à la comparaison restreinte : BIPM, BNM-LPRI, ETL, IIR, IMMR, IRA, KRISS, NPL, OMH et VNIIM. Si les résultats de la comparaison

restreinte sont positifs, une comparaison internationale d'une solution de ¹⁹²Ir se déroulera aussitôt après.

6. Activités du BIPM

6.1 Évaluation robuste des résultats des comparaisons internationales (J. W. Müller)

Le BIPM est chargé d'analyser les résultats des comparaisons internationales. Cela peut soulever des difficultés considérables lorsqu'il y a des résultats « aberrants ». Les valeurs moyennes, que l'on a traditionnellement utilisées pour analyser les comparaisons internationales, offrent une stabilité médiocre par rapport aux effets de ces mesures aberrantes. Alors que la présence de valeurs aberrantes est un fait bien connu, celles-ci posent des problèmes auxquels il ne semble pas y avoir de solution satisfaisante. En principe, ils peuvent être résolus de trois façons : 1) laisser ces valeurs telles qu'elles sont, 2) les corriger ou 3) les éliminer. Cependant, chacune de ces approches présente de sérieuses faiblesses. Heureusement, la mise au point des « statistiques robustes » peut apporter une solution simple. L'utilisation d'une valeur médiane (ou centrale), à la place d'une valeur moyenne, semble résoudre le problème. Les résultats, exprimés par rapport à une valeur médiane, pourront être assortis de l'indication de leur incertitude, qui est aussi fondée sur l'utilisation des valeurs médianes.

Cette méthode simple a l'avantage de présenter une meilleure stabilité en présence de valeurs aberrantes. L'utilisation de la valeur médiane a fait ses preuves pour les résultats de plusieurs comparaisons internationales. Le BIPM a analysé un certain nombre de comparaisons en utilisant les statistiques robustes parallèlement à la méthode habituelle et continuera de procéder de cette manière afin d'effectuer une évaluation complète de la méthode dans des conditions très variées.

6.2 Méthode de parité (J. W. Müller)

Dans la méthode de parité, le taux réel de coïncidences dont on a besoin pour évaluer l'activité est déterminé de façon indirecte en mesurant la parité (c'est-à-dire la fréquence avec laquelle on trouve un nombre impair d'événements) de deux trains d'impulsions d'entrée. Toutefois, il faut encore évaluer la correction exacte pour le temps mort. Cela a conduit à un certain nombre de problèmes mathématiques, dont quelques-uns ont été résolus.

6.3 Échelon temporel des analyseurs multicanaux (J. W. Müller)

Certaines assertions récentes dans des publications suggèrent qu'il existe des erreurs systématiques pouvant aller jusqu'à 0,2 % sur les largeurs efficaces des canaux des analyseurs multicanaux. Une étude expérimentale a montré que, au moins pour l'installation utilisée au BIPM, un tel effet, s'il existe, doit être inférieur à 0,01 %. Cela constitue donc rarement un facteur de limitation pour l'exactitude des mesures.

6.4 Incertitude sur les temps morts mesurés par la méthode des deux oscillateurs (J. W. Müller)

La détermination de la valeur numérique d'un temps mort à l'aide des fréquences de deux oscillateurs non couplés à l'entrée est généralement considérée comme l'approche la plus simple et la plus exacte ; toutefois, on ne connaît aucune expression exacte de son incertitude expérimentale. Une étude a été faite sur le comportement attendu des impulsions de sortie. Pour un couplage fort des événements d'entrée, ce phénomène devient effectivement visible. Cela rappelle le cycle bien connu de Saros observé pour les éclipses de la lune et du soleil. Pour une mesure exacte du temps mort, il est toutefois préférable de laisser aléatoires les phases relatives des deux oscillateurs, c'est-à-dire de travailler avec des séries d'impulsions non couplées, comme cela est généralement le cas dans nos mesures.

7. Rapports des laboratoires membres

Les rapports écrits des laboratoires représentés à la réunion (95-1 à 4, 95-7 à 9, 95-12 à 18, 95-20 à 22) ont été distribués. Chaque participant résume l'activité de son laboratoire. Cette réunion constitue une occasion précieuse pour les participants de donner des détails sur la nature et l'importance des activités en cours dans chacune des organisations en métrologie des radionucléides.

8. Visite des laboratoires du BIPM

La plupart des participants ont profité de l'invitation qui leur était faite de visiter les laboratoires de temps, de longueur et d'étalons de radioactivité.

9. Questions diverses

À la fin de la réunion, T. J. Quinn mentionne que J. W. Müller, chef de la Section des rayonnements ionisants du BIPM, va prochainement

prendre sa retraite. Comme c'est la dernière réunion de la Section II du CCEMRI à laquelle J. W. Müller assiste dans ses fonctions, T. J. Quinn saisit cette occasion pour le remercier des nombreuses et très précieuses contributions qu'il a apportées dans ce domaine. Ces paroles sont reprises par le président et suivies des applaudissements de tous les participants.

10. Date de la prochaine réunion

Il est convenu que la prochaine réunion aura lieu en 1997 ; la date en sera fixée en fonction de la réunion de l'ICRM. Les détails spécifiques seront communiqués à tous les représentants lorsqu'ils seront connus.

Août 1995,
révisé novembre 1995

ANNEXE R(II) 1

Documents de travail présentés à la 13^e réunion de la Section II du CCEMRI

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

Document
CCEMRI (II)/

- 95-1 NIST (É.-U. d'Amérique). — NIST Radioactivity Group Report - 1993-1994, by J. M. R. Hutchinson, 4 pages.
- 95-2 NAC (Afrique du Sud). — Review of the activities at the NAC standardization laboratory (June 1993 to February 1995), 2 pages.
- 95-3 IMMR (Belgique). — Progress Report 1993-1995 on Radionuclide Metrology at the EC-JRC Institute for Reference Materials and Measurements, IRMM, by D. F. G. Reher, 7 pages.
- 95-4 PTB (Allemagne). — Review of recent work and projects (April 1993 to March 1995), 5 pages.
- 95-5 IMMR (Belgique). — Third list of difficult to obtain radionuclides, by D. F. G. Reher, 3 pages.
- 95-6 BIPM. — Trial comparison of activity measurements of a solution of ^{204}Tl , by G. Ratel, 29 pages.
- 95-7 Metrological Laboratory of Radioactive Materials, Radioisotope Centre (Pologne). — Review of the Activities in Radionuclide Metrology (June 1993 to April 1995), 2 pages.
- 95-8 NIM (Rép. pop. de Chine). — Progress report concerning radioactivity measurements at NIM (June 1993 - March 1995), by Li Fen, 3 pages.
- 95-9 ANSTO (Australie). — Progress report on the Radiation Standards Project Ansto-Physics (1993-1995), by S. M. Buckman and H. A. van der Gaast, 5 pages.
- 95-10 BIPM. — List of Reports distributed within the Working Party "Principles of the Coincidence Method", by J. W. Müller, 1 page.

Document
CCEMRI (II)/

- 95-11 List of acronyms for laboratories participating in the International Reference System, 3 pages.
 - 95-12 KRISS (Rép. de Corée). — Korea Research Institute of Standards and Science - Radiation Group, 2 pages.
 - 95-13 ETL (Japon). — Status Report of ETL in 1993/94, by Y. Hino, 5 pages.
 - 95-14 OMH (Hongrie). — Progress Report on Radionuclide Metrology (1993-95), by Á. Szörényi, 3 pages.
 - 95-15 IRA-OFMET (Suisse). — Progress report 1993-1995 on radionuclide metrology, 2 pages.
 - 95-16 BNM-LPRI (France). — Progress Report 1993-1994 on Radionuclide Metrology at LPRI, by N. Coursol, 7 pages.
 - 95-17 ENEA (Italie). — Summary of the most recent activities (1993-1995) at ENEA in the field of interest of the CCEMRI Section II, 4 pages.
 - 95-18 CIEMAT (Espagne). — Progress Report (May 94-95) on Radionuclide Metrology at the CIEMAT (Spain), 3 pages.
 - 95-19 OHM (Hongrie). — Summary of the proposals of laboratories for a future activity intercomparison, by Á. Szörényi, 5 pages.
 - 95-20 IRK of the University of Vienna (Autriche). — Summary of the research programme related to nuclide metrology for the years 1994 and 1995, by G. Winkler, 5 pages.
 - 95-21 VNIIM (Féd. de Russie). — Communication for the CCEMRI (Section II) on the works Carried out at the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology in the Field of Radionuclide Metrology for the Period of 1993-1994, by I.A. Kharitonov and N. I. Karmalitsyn, 2 pages.
 - 95-22 NPL (Royaume-Uni). — Report of recent and current projects 1995-96, by M. J. Woods, 1 page.
 - 95-23 PTB (Allemagne). — Contribution of Section II to the CCEMRI progress report to be presented at the 20th Conférence Générale des Poids et Mesures, by K. Debertin, 2 pages.
-

ANNEXE R(II) 2

Actions résultant de la 13^e réunion de la Section II du CCEMRI

Responsable	Date	Action
G. Ratel	juin 1995	Terminer le premier projet de rapport sur la comparaison de ^{75}Se .
Groupe de travail du SIR		Mettre au point les critères de choix des meilleures valeurs de A_e ; créer une base de données des résultats du SIR.
Tous		Communiquer à D.F.G. Reher les facteurs d'étalonnage des chambres d'ionisation.
Groupe de travail sur l'équivalence des étalons		Définir les directives pour établir l'équivalence des étalons de mesure en radioactivité.
M. J. Woods	juin 1995	Envoyer une lettre à tous les participants exposant les idées du Groupe de travail sur l'équivalence des étalons.
M. J. Woods	décembre 1995	Envoyer aux participants un premier projet des directives du Groupe de travail sur l'équivalence des étalons.
BIPM	1995	Effectuer une comparaison de ^{90}Sr dans le cadre de l'extension du SIR.
Le président	juin 1995	Envoyer une lettre à B. M. Coursey pour l'inviter à participer au Groupe de travail sur l'extension du SIR.
H. Schrader	juin 1995	Fournir à J. W. Müller les traductions du texte allemand dans les figures de la Monographie sur les chambres d'ionisation.

BIPM		Publication de la Monographie sur les chambres d'ionisation.
G. Winkler	décembre 1995	Envoyer à J. W. Müller et au président le projet d'article sur le comptage à haute efficacité.
Á. Szörényi	février 1997	Diffuser un document donnant les critères qui permettront aux participants de choisir les radionucléides devant faire l'objet de comparaisons.
D. F. G. Reher		Mettre à jour la liste des fournisseurs de radionucléides.
Tous		Communiquer à D. F. G. Reher des informations sur les fournisseurs de radionucléides.
BIPM	1995	Organiser une comparaison restreinte de ^{192}Ir .
D. F. G. Reher	juin 1995	Arrêter le projet d'EUROMET sur les mesures d'activité du ^{192}Ir .
CIEMAT	1995	Faire des recherches sur l'adsorption du thallium dans les ampoules.
IMMR	1995	Faire la mesure de l'activité du ^{204}Tl avec le détecteur 4π CsI.
BIPM	1996	Organiser une comparaison internationale de ^{204}Tl .

Section III — Mesures neutroniques

11^e réunion (avril 1995)

ORDRE DU JOUR
de la 11^e réunion

1. Ouverture de la réunion; nomination d'un rapporteur.
 2. Rapport sur l'activité du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques :
 - 2.1 Mesures du taux d'émission de sources neutroniques ;
 - 2.2 Mesure et calcul des fonctions de réponse neutroniques et des efficacités de détection du détecteur à scintillation liquide NE-213 du BIPM;
 - 2.3 Organisation de la comparaison internationale de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV.
 3. Comparaisons de mesures de fluence de neutrons rapides :
 - 3.1 Comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV utilisant des sphères de Bonner comme instruments de transfert;
 - 3.2 Comparaison de mesures de fluence neutronique à 2,5 MeV et à 14,7 MeV utilisant des sphères de Bonner.
 4. Comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques.
 5. Activités futures de la Section III :
 - 5.1 Comparaisons futures;
 - 5.2 Comparaison de mesures de fluence spectrale;
 - 5.3 Avenir des installations du BIPM.
 6. Visite des laboratoires du BIPM.
 7. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires participants.
 8. Questions diverses.
 9. Date de la prochaine réunion.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION III. — Mesures neutroniques

11^e réunion (avril 1995)

RAPPORT

par D. M. GILLIAM, rapporteur

Résumé. La Section III (Mesures neutroniques) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa onzième réunion au mois d'avril 1995. Les récents travaux effectués au BIPM dans le domaine des mesures neutroniques ont été présentés. Ils comprenaient l'organisation de la comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV pour laquelle la moitié des groupes concernés ont achevé leurs mesures. Des résultats complémentaires d'une comparaison de mesures de fluence à l'aide d'une sphère de Bonner ont été présentés. L'organisation d'une future comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques a été discutée. La possibilité d'organiser une comparaison de mesures de fluence spectrale neutronique a été envisagée. Les préoccupations futures de la Section III et de l'avenir de l'équipement utilisé pour les mesures neutroniques au BIPM ont été discutés. Pour terminer il y a eu un échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires des participants.

Introduction

La Section III (Mesures neutroniques)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)** a tenu sa onzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 27 et 28 avril 1995.

Étaient présents :

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

* Pour la liste des membres, voir page XIII.

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

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

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

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

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

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(H. KLEIN).

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

Invité :

Institut des matériaux et mesures de référence [IMMR], Geel
(E. WATTECAMPS).

Ont assisté au moins à une partie de la réunion : G. MOSCATI
(membre du CIPM) ; P. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM) ; A. ALLISY
(membre du CCEMRI) ; P. ALLISY-ROBERTS, M. BOUTILLON, V.-D. HUYNH,
J. W. MÜLLER, A.-M. PERROCHE et G. RATEL (BIPM).

Excusés :

Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire des rayonne-
ments ionisants [BNM-LPRI], Paris.

Institut de métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

J. J. BROERSE, TNO Medical Biological Laboratory [TNO-MBL],
Rijswijk.

S. CRESPIN, Commissariat à l'énergie atomique [CEA], Bruyères-le-
Châtel.

1. Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur

Le directeur du BIPM accueille les participants à cette réunion de la
Section III. Il leur pose la question suivante : « Comment assurerons-nous
la cohérence des mesures neutroniques dans le monde sans qu'un travail
expérimental soit effectué au BIPM ? »

À son tour, V. E. Lewis, le président de la Section III, accueille les
membres et l'invité, de l'IMMR. Il salue en particulier G. Moscati qui
participe à une réunion de cette section pour la première fois.

D. M. Gilliam accepte la charge de rapporteur.

2. Rapport sur l'activité du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques

Le président dit que le travail dans le domaine des mesures neutroniques au BIPM va se terminer dans le courant de 1995 avec le départ en retraite de V.-D. Huynh et L. Lafaye ; aussi ce rapport sur l'activité du BIPM sera-t-il le dernier. V.-D. Huynh présente un résumé des principales activités du groupe chargé des mesures neutroniques au BIPM depuis 1993.

2.1 Mesures du taux d'émission de sources neutroniques

Six étalonnages absolus de la source étalon de Ra-Be(α ,n) du BIPM ont donné des taux d'émission qui étaient cohérents à 0,2 % près (écart extrême des résultats) sur une période de trente ans, lorsqu'on apporte les corrections pour tenir compte de la désintégration du ^{226}Ra et de la croissance des activités filles. Trois comparaisons relatives des étalons de Ra-Be(α ,n)/Am-Be(α ,n) du BIPM au cours des vingt dernières années sont également cohérentes à 0,2 % près lorsqu'on applique de la même façon les corrections. Les résultats préliminaires d'une comparaison avec le BNM-LPRI montrent que les valeurs mesurées par ce laboratoire sont de 1 % inférieures à celles du BIPM ; toutefois, les résultats définitifs du BNM-LPRI ne sont pas encore connus. Des mesures ont également été faites sur une source du LNMRI.

2.2 Mesure et calcul des fonctions de réponse neutroniques et des efficacités de détection du détecteur à scintillation liquide NE-213 du BIPM

Les valeurs de la fluence déterminées en utilisant la spectrométrie à NE-213 s'avèrent toujours être supérieures à celles qui sont déduites du comptage de la particule associée corrélée dans le temps. L'écart va de 2,0 % à 2,6 % pour les neutrons à 2,5 MeV, et de 1,8 % à 4,4 % pour les neutrons à 14,65 MeV, selon le réglage du seuil de discrimination du NE-213. Ces écarts se situent à l'intérieur des incertitudes composées estimées.

Les spectres de hauteur d'impulsions que l'on observe avec le NE-213 sont en bon accord avec les spectres calculés selon le code de Monte Carlo de la PTB, en particulier après avoir diminué la tension appliquée au tube du photomultiplicateur afin de réduire un effet de saturation qui n'avait pas été décelé auparavant.

2.3 Organisation de la comparaison internationale de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV

Voir point 3.1 ci-dessous.

3. Comparaisons de mesures de fluence de neutrons rapides

3.1 Comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV utilisant des sphères de Bonner comme instruments de transfert

Les mesures en cours de fluence de neutrons à des énergies voisines de 24,5 keV, produites dans des laboratoires participants qui utilisent des faisceaux filtrés, des sources d'antimoine-béryllium et des accélérateurs, sont décrites. Elles utilisent la même série de sphères de Bonner que lors des précédentes comparaisons à 2,5 MeV et à 14,7 MeV (*voir* point 3.2 ci-après). Les mesures sont achevées au CIAE, au NIST et à la PTB, et quelques résultats ont été communiqués au coordonnateur, V.-D. Huynh. La comparaison comportera aussi des mesures à l'ETL, au NPL et au VNIIM, et se terminera vers le milieu de 1996. Après le départ en retraite de V.-D. Huynh, G. Ratel du BIPM assurera la tâche de vérifier la stabilité du compteur à ^3He entre les mesures des participants. Il est convenu que l'évaluation de cette comparaison sera faite par V.E. Lewis, qui ne participera pas aux mesures faites au NPL.

Quelques difficultés ont été rencontrées avec le compteur proportionnel originel à ^3He et avec son remplaçant. Le compteur originel a commencé à mal fonctionner pendant les mesures du CIAE et il a été remplacé. De plus, il s'est avéré que le compteur de remplacement présentait une variation d'efficacité de 2,5 % lorsqu'il a été renvoyé au BIPM pour le contrôle de stabilité à la fin des mesures faites à la PTB. Il se peut qu'il faille procéder à des mesures complémentaires pour s'assurer que les mesures de tous les laboratoires sont correctement normalisées au moyen des instruments de transfert.

H. Klein explique qu'il est en train de calculer la réponse spectrale des sphères de Bonner en utilisant le MCNP (code de transport de Los Alamos selon la méthode de Monte Carlo pour les neutrons et les photons). Ces fonctions de réponse seront communiquées à tous les participants afin de leur permettre de corriger les résultats de leurs mesures et de les rapporter aux valeurs correspondantes pour des neutrons à 24,5 keV. Les valeurs relatives calculées selon le MCNP pour les différentes tailles de sphères à 24,5 keV seront indiquées dans le tableau des valeurs relatives expérimentales dans le rapport final des résultats. V. E. Lewis fournira des spécifications détaillées pour les cavités remplies d'air dans les sphères de Bonner.

3.2 Comparaison de mesures de fluence neutronique à 2,5 MeV et à 14,7 MeV utilisant des sphères de Bonner

Lors de la précédente réunion, il avait été rendu compte de l'accord entre les valeurs mesurées par les participants, mais il paraissait y avoir

quelques déviations sans doute dues à des différences dans la façon de traiter les effets des interactions avec la cible. V. E. Lewis présente des calculs faits en appliquant le code « TARGET » de la PTB aux cibles du NPL. Pour trois des quatre configurations il y a un accord excellent entre les effets calculés et observés, mais pour la quatrième, la valeur mesurée du NPL est à l'évidence inexacte. On est parvenu à la conclusion que les deux techniques sont généralement cohérentes et qu'il n'est pas nécessaire de travailler davantage sur la question.

4. Comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques

D. M. Gilliam indique qu'il semble exister un problème avec l'utilisation d'une série de chambres d'ionisation à ^{10}B comme instruments de transfert pour la comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques qui est proposée. Au cours de trois expériences séparées faites au NIST on a constaté une perte apparente de ^{10}B dans les dépôts du même type que ceux que l'on s'attend à trouver dans les chambres de transfert. On suppose qu'une petite quantité du dépôt de base de ^{10}B a pu se transformer en acide borique par réaction avec l'air humide ou la vapeur d'eau présente dans le gaz qui circule dans la chambre d'ionisation. L'acide borique peut se disperser par sublimation à la température ambiante. C'est pourquoi le laboratoire de préparation des cibles à l'IMMR prépare une série spéciale de dépôts légers de ^{10}B que le NIST utilisera pour étudier plus à fond ce problème. Ainsi, si la perte de ^{10}B se confirme pour des expositions bien contrôlées à différents niveaux d'humidité et pour un choix de gaz variés pour les chambres d'ionisation, le groupe de l'IMMR essaiera d'autres méthodes pour préparer les échantillons et les revêtements afin de réduire ou d'éliminer ce problème.

H. Klein suggère d'utiliser des dépôts de ^{235}U à la place du ^{10}B , si l'on ne peut résoudre rapidement le problème du bore. Il suggère aussi d'ajouter des chambres à ^{235}U à la série d'instruments de transfert même si le problème du ^{10}B est résolu car le ^{235}U présenterait une différence intéressante de réponse spectrale. D. M. Gilliam estime que c'est une suggestion très constructive et il accepte d'essayer de se procurer les dépôts appropriés de ^{235}U .

D. M. Gilliam s'engage aussi 1) à faire circuler un projet de protocole pour la comparaison avant même que la question du ^{10}B soit réglée, 2) à fournir un pré-amplificateur, l'alimentation pour la polarisation et l'électronique d'amplification pour l'instrument de transfert, et 3) à effectuer au NIST des contrôles de l'état des instruments de transfert avant et après les mesures de chaque laboratoire participant. Il suggère aussi qu'il serait bon que l'incertitude visée soit de 0,5 % (un écart-type) pour cette comparaison, car tenter de viser une meilleure exactitude risquerait

de trop ralentir le déroulement de la comparaison. Aucune objection n'est faite à cette suggestion.

Six laboratoires ont manifesté leur intention de participer à cette comparaison (dans l'attente d'un accord sur le protocole) : ce sont le CIAE, l'ETL, le NIST, le NPL, la PTB et le VNIIM.

5. Activités futures de la Section III

5.1 Comparaisons futures

La nécessité de comparaisons futures de mesures neutroniques (en plus de celles qui sont déjà prévues ou en cours) est discutée. V. E. Lewis présente un résumé des anciennes comparaisons qui ont été effectuées sous les auspices de la Section III du CCEMRI. Elles font l'objet d'un article de recension de R. S. Caswell et V. E. Lewis (*Rad. Prot. Dosimetry*, 1992, **44**, 105-110). Les participants sont d'accord pour dire qu'il n'est pas nécessaire dans l'immédiat de procéder à d'autres comparaisons, que ce soit en refaisant des comparaisons à des énergies utilisées antérieurement ou en étendant les comparaisons à des énergies supérieures ou inférieures ; toutefois, la situation sera réétudiée après avoir examiné la cohérence des étalons actuels (*voir* point 8 ci-après).

5.2 Comparaison de mesures de fluence spectrale

H. Klein explique que c'est par suite de l'avance prise par le groupe de travail 7 d'EURADOS sur cette même question qu'une éventuelle comparaison de fluence spectrale sous l'égide de la Section III est devenue caduque. Il ajoute que les laboratoires qui ne participent pas aux programmes d'EURADOS ont la possibilité de bénéficier des résultats de ce travail en participant au Neutron Dosimetry Symposium, organisé sous l'égide de la Communauté européenne, du CEA et de la PTB, à Paris en 1995. De plus, il y aura une réunion complémentaire du Neutron Spectroscopy and Applications Workshop en 1996.

5.3 Avenir des installations du BIPM

Il est mentionné que plusieurs instruments coûteux, des sources étalons et des éléments d'équipement seront cédés à des laboratoires membres intéressés, après l'achèvement du programme expérimental de mesures neutroniques au BIPM. Les laboratoires bénéficiaires paieront les dépenses d'emballage et de transport.

G. Moscati a exprimé le souhait que l'accélérateur SAMES soit confié au LNMRI, au Brésil. Toutefois, les règlements de transport exigent l'inspection de l'enceinte scellée sous haute pression, remplie d'hydrogène, qui contient le générateur électrostatique de haute tension à

150 kV. Malheureusement ce matériel scellé ne peut être ouvert sans être endommagé. Le LNMRI cherche diverses solutions à ce problème et, à défaut, renoncera à acquérir cet accélérateur.

Il est pris acte que l'installation du bain de manganèse sera envoyée au LNMRI et que les trois sources étalons, Ra-Be (γ, n), Ra-Be (α, n) et Am-Be (α, n), seront expédiées au NIST. Les emballages ont été faits au BIPM et l'envoi est prévu pour le mois de juillet 1995.

Le détecteur à scintillation liquide NE-213 ira à la PTB. La série de sphères de Bonner retournera au NPL (les chambres Harwell à fission, qui étaient la propriété de AEA Technology, ont été achetées par la PTB).

6. Visite des laboratoires du BIPM

Les participants ont suivi avec intérêt une visite des laboratoires de dosimétrie des rayonnements γ .

7. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires participants

Un très intéressant échange d'informations a lieu. De brefs résumés sur les travaux en cours dans leur laboratoire sont présentés par D. M. Gilliam, H. Klein, K. Kudo, V. E. Lewis et E. Wattecamps. De plus, H. Klein a rendu compte des travaux en cours au VNIIM.

8. Questions diverses

T. J. Quinn et H. Klein attirent l'attention sur l'exigence de qualité que doivent présenter les étalons de mesure, car il faut s'attendre à ce que la pression relative à l'accréditation des étalonnages effectués par les laboratoires nationaux et le BIPM devienne de plus en plus forte. Ils prennent acte de la volonté des laboratoires nationaux à se conformer à la norme ISO 9000, ce qui, à leurs yeux, oblige pratiquement à ré-examiner ce qui constitue la base des étalons en métrologie neutronique et à ré-évaluer le bilan des incertitudes. Ce travail devrait démontrer la traçabilité aux étalons primaires et confirmer s'il est nécessaire de faire de nouvelles comparaisons (*voir* point 5.1 ci-dessus) pour valider les étalons nationaux. H. Klein estime qu'il s'agit là d'une action particulièrement nécessaire, car, en particulier, un certain nombre d'étalons sont fondés sur la section efficace de diffusion de $H(n, n)H$ dont il semble que nous ayons une connaissance moins exacte que ce nous pensions précédemment.

Il est convenu que la Section III examinera ces étalons. H. Klein et V. E. Lewis commenceront par compiler un catalogue ou un manuel traitant du bain de manganèse et des étalons de fluence, abordant des

aspects tels que principe, technique, nécessité de faire appel à d'autres étalons, détails matériels, bilan des incertitudes et validation. Le document sera ensuite soumis à l'ETL, à l'IMMR et au NIST pour que ceux-ci fassent leurs commentaires et complètent les renseignements, par exemple sur l'évaluation des sections efficaces. Il est prévu d'avoir un document complet d'ici un an, document qui sera mis à jour et conservé par la Section III du CCEMRI et pourra être consulté à des fins d'évaluation de qualité.

Le président regrette que le nombre des membres et des invités soit inférieur à ce qu'il était lors des précédentes réunions. On en discute les raisons; il paraît souhaitable d'encourager une participation plus large des laboratoires situés en dehors de l'Europe occidentale aux futures réunions de la Section III. Il est important d'avoir un ordre du jour qui reflète les besoins de ces utilisateurs.

Le président établira et fera circuler au mois d'avril 1996 un rapport sur l'état d'avancement de la comparaison et sur les autres questions abordées au cours de la présente réunion. Les participants sont priés de faire parvenir leur contribution au mois de février ou mars 1996.

Le président attire l'attention de la Section sur la proposition du Comité consultatif des unités de faire passer le barn, ainsi que d'autres unités comme le curie et le rad, du Tableau 10 (*Unités maintenues temporairement avec le Système international*) au Tableau 12 (*Autres unités généralement déconseillées*) dans la brochure sur le SI. Le CIPM prendra en 1996 une décision sur l'avenir du barn. Dans l'ensemble tous sont d'accord pour dire que, dans la ligne de l'évolution d'autres unités de ce genre, le barn sera progressivement remplacé par une unité comme le femtomètre carré, fm², soit 10⁻³⁰ m².

Le président signale que V.-D. Huynh prendra sa retraite en 1995, après presque trente ans passés au BIPM, et que la présente réunion de la Section III est la dernière à laquelle il assiste. Au nom de la Section, V.E. Lewis exprime sa gratitude pour l'exceptionnelle contribution que V.-D. Huynh a apportée à la métrologie neutronique et aux travaux de la Section III. L'exactitude et la cohérence des travaux effectués au BIPM ont toujours été très appréciées, de même que l'esprit dans lequel ces travaux étaient effectués. Tous les participants se joignent au président pour souhaiter à V.-D. Huynh une longue et heureuse retraite.

Retournant à la question posée par T. J. Quinn lors de l'ouverture de la réunion, les participants sont d'accord pour dire que, en dépit de l'absence d'un programme de recherches expérimentales en métrologie neutronique au BIPM, la cohérence des mesures neutroniques au niveau mondial sera maintenue par l'intermédiaire de comparaisons effectuées entre les laboratoires nationaux représentés au sein de la Section III.

Le président remercie les participants pour la contribution qu'ils ont apportée à cette réunion très intéressante et importante; il exprime sa gratitude au personnel du BIPM pour son hospitalité.

9. Date de la prochaine réunion

La date de la douzième réunion de la Section III est discutée. Pour plusieurs raisons, de l'avis général, il paraît souhaitable que cette Section se réunisse en 1997, plutôt que dans trois ans.

Août 1995,
révisé septembre 1995

ANNEXE R(III) 1

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

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

Document
CCEMRI (III)/

- 95-1 ETL (Japon). — Recent Activities on Neutron Standardization at the Electrotechnical Laboratory (1) - Neutron Standards and Related Works, by K. Kudo, N. Takeda and A. Fukuda, 3 pages.
 - 95-2 ETL (Japon). — Recent Activities on Neutron Standardization at the Electrotechnical Laboratory (2) - Characteristics of ^3He Proportional Counter, by N. Takeda and K. Kudo, 3 pages.
 - 95-3 NPL (Royaume-Uni). — Neutron Measurements at the National Physical Laboratory, by V. E. Lewis, 2 pages.
 - 95-4 IMMR (Belgique). — Summary of recent neutron cross-section measurements at IRMM and some details on neutron flux and/or reference cross-section data measurements, by E. Wattecamps, 6 pages.
 - 95-5 NIST (É.-U. d'Amérique). — ^3He Neutron Spin Filter, 18 pages.
 - 95-6 VNIIM (Féd. de Russie). — A brief description of the VNIIM's facilities for measuring of neutron flux and neutron fluence rate, by I. A. Kharitonov, 5 pages.
 - 95-7 IMMR (Belgique). — Comparison of two independent background determinations for neutron fluence measurements by the Bonner sphere technique applied at 2.5 and 16.0 MeV, by C. Goddio, E. Wattecamps and I.-G. Birn, 22 pages.
-

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS
DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

14^e session (1996)
14th Meeting (1996)

	Pages
Liste des sigles utilisés dans le présent volume	V
List of acronyms used in the present volume	V
Le BIPM et la Convention du Mètre	IX
Liste des membres du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants	XI
Ordre du jour	XIV
Rapport au Comité international des poids et mesures, par V. E. Lewis	R 1
Résumé	R 1
Introduction	R 1
1. Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur	R 2
2. Rapports des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM	R 2
2.1 Section I — Rayons x et γ , électrons	R 3
2.2 Section II — Mesure des radionucléides	R 4
2.3 Section III — Mesures neutroniques	R 6
3. Programme de travaux futurs	R 7
4. Traçabilité et équivalence des étalons nationaux	R 8
5. Questions diverses	R 9
6. Composition et dates des prochaines réunions des sections du CCEMRI	R 10
7. Date de la prochaine session	R 10

SECTION I (Rayons x et γ , électrons), 12 ^e réunion (avril 1995)	R 11
Ordre du jour	R 12
Rapport , par N. J. Hargrave	R 13
Résumé	R 13
Introduction	R 13
1. Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur	R 15
2. Étalonnages et comparaisons d'étalons de mesure (rayons x et γ)	R 15
2.1 BIPM	R 15
2.2 Laboratoires nationaux	R 16
3. Travail actuel et futur au BIPM	R 17
3.1 Comportement d'un instrument de transfert pour les rayons x de faible énergie	R 17
3.2 Mise au point de l'étalon de kerma dans l'air dans le faisceau du ^{137}Cs et résultats des premières comparaisons	R 17
3.3 Présentation et discussion des étalonnages relatifs aux rayonnements x de haute énergie	R 18
3.4 Comparaisons futures et dissémination des résultats des comparaisons	R 19
4. Mise au point et amélioration des étalons nationaux pour la dosimétrie photonique	R 19
4.1 Étalons d'exposition et de kerma dans l'air	R 19
4.2 Étalons de dose absorbée dans l'eau	R 20
5. Étalons de curiethérapie	R 21
6. Étalons à utiliser en radioprotection	R 22
7. Étalons pour les rayonnements utilisés dans l'industrie	R 22
8. Mise au point et amélioration des étalons nationaux en dosimétrie des particules chargées	R 23
8.1 Domaine du rayonnement β	R 23
8.2 Faisceaux de protons	R 23
9. Rapport d'activité des laboratoires	R 23
10. Rapport de l'AIEA	R 24
10.1 Comparaison (^{60}Co) de dose absorbée au niveau du kGy au moyen de la dosimétrie à l'alanine	R 24
10.2 Comparaison (^{60}Co) de dose absorbée dans le domaine utilisé en thérapie à l'aide de dosimètres thermoluminescents	R 24
11. Publication des résultats	R 25
12. Questions diverses	R 25

Annexes

R(I) 1. Documents de travail présentés à la 12 ^e réunion de la Section I du CCEMRI ...	R 26
R(I) 2. Actions résultant de la 12 ^e réunion de la Section I du CCEMRI	R 30
SECTION II (Mesure des radionucléides), 13 ^e réunion (mai 1995)	R 33
Ordre du jour	R 34
Rapport , par S. M. Buckman	R 35
Résumé	R 35
Introduction	R 35
1. Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur	R 37
2. Résultats des récentes comparaisons de mesures d'activité	R 37
2.1 Résultats de la comparaison restreinte de ²⁰⁴ Tl	R 37
2.2 Publication des résultats des récentes comparaisons	R 39
3. Système international de référence pour les mesures d'activité	R 39
3.1 Rapport sur l'étude du système de chambres d'ionisation	R 39
3.2 Analyse systématique des résultats du SIR	R 39
3.3 Traçabilité au niveau international	R 41
3.4 Système à scintillation liquide comme extension du SIR	R 42
4. Rapports des groupes de travail	R 42
4.1 Principes de la méthode des coïncidences	R 42
4.2 Préparation de sources	R 42
4.3 Extension aux émetteurs de rayonnement β du système à scintillation liquide	R 42
4.4 Monographie sur les chambres d'ionisation	R 43
4.5 Systèmes de détection à haute efficacité	R 43
4.6 Comparaisons futures de mesures d'activité	R 44
4.7 Commande groupée de radionucléides	R 44
5. Comparaisons futures	R 45
6. Activités du BIPM	R 46
6.1 Évaluation robuste des résultats des comparaisons internationales	R 46
6.2 Méthode de parité	R 46
6.3 Échelon temporel des analyseurs multicanaux	R 47
6.4 Incertitude sur les temps morts mesurés par la méthode des deux oscillateurs	R 47
7. Rapports des laboratoires membres	R 47
8. Visite des laboratoires du BIPM	R 47

9. Questions diverses	R 47
10. Date de la prochaine réunion	R 48

Annexes

R(II) 1. Documents de travail présentés à la 13 ^e réunion de la Section II du CCEMRI .	R 49
R(II) 2. Actions résultant de la 13 ^e réunion de la Section II du CCEMRI	R 51
SECTION III (Mesures neutroniques), 11 ^e réunion (avril 1995)	R 53
Ordre du jour	R 54
Rapport , par D. M. Gilliam	R 55
Résumé	R 55
Introduction	R 55
1. Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur	R 56
2. Rapport sur l'activité du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques	R 57
2.1 Mesures du taux d'émission de sources neutroniques	R 57
2.2 Mesure et calcul des fonctions de réponse neutroniques et des efficacités de détection du détecteur à scintillation liquide NE-213 du BIPM	R 57
2.3 Organisation de la comparaison internationale de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV	R 57
3. Comparaisons de mesures de fluence de neutrons rapides	R 58
3.1 Comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV utilisant des sphères de Bonner comme instruments de transfert	R 58
3.2 Comparaison de mesures de fluence neutronique à 2,5 MeV et à 14,7 MeV utilisant des sphères de Bonner	R 58
4. Comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques	R 59
5. Activités futures de la Section III	R 60
5.1 Comparaisons futures	R 60
5.2 Comparaison de mesures de fluence spectrale	R 60
5.3 Avenir des installations du BIPM	R 60
6. Visite des laboratoires du BIPM	R 61
7. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires participants .	R 61
8. Questions diverses	R 61
9. Date de la prochaine réunion	R 63

Annexe

R(III) 1. Documents de travail présentés à la 11 ^e réunion de la Section III du CCEMRI	R 64
--	------

IMPRIMERIE STEDI

PARIS 18^e

Dépôt légal : Imprimeur, 1997, n° 5190

ISBN 92-822-2149-0

ISSN 0255-3147

ACHEVÉ D'IMPRIMER : JUIN 1997

Imprimé en France