

**Comité consultatif  
des rayonnements ionisants**  
17<sup>e</sup> session (mai 2001)

**Consultative Committee  
for Ionizing Radiation**  
17th Meeting (May 2001)

**Bureau international des poids et mesures**

# **Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI)**

17<sup>e</sup> session (mai 2001)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 129).

Afin de mieux faire connaître ses travaux, le Comité international des poids et mesures publie une version en anglais de ses rapports.

Le lecteur doit cependant noter que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. C'est le texte français qui fait autorité si une référence est nécessaire ou s'il y a doute sur l'interprétation.

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

Conception graphique :  
Monika Jost

Imprimé par : Stedi, Paris

ISSN 1608-4047  
ISBN 92-822-2191-1

## TABLE DES MATIÈRES

Photographie des participants à la 15 <sup>e</sup> réunion de la Section I du CCRI	2
Photographie des participants à la 16 <sup>e</sup> réunion de la Section II du CCRI	3
Photographie des participants à la 14 <sup>e</sup> réunion de la Section III du CCRI	4
États membres de la Convention du Mètre et associés à la Conférence générale	14
Le BIPM et la Convention du Mètre	15
Liste des membres du Comité consultatif des rayonnements ionisants	19

### Rapport au Comité international des poids et mesures 23

Ordre du jour	24
1 Ouverture de la session	25
2 Rapport de la seizième session du CCRI	26
3 Conclusions des réunions des trois Sections du CCRI	26
3.1 Section I : rayons x et $\gamma$ , électrons	26
3.1.1 Différences non résolues entre les résultats	26
3.1.2 Comparaisons bilatérales	27
3.1.3 Nouvelles comparaisons	27
3.1.4 Activités à venir de la section des rayonnements ionisants du BIPM	28
3.1.5 Facteurs de correction pour les étalons à cavité	28
3.1.6 Soumission des CMCs	28
3.2 Section II : mesure des radionucléides	28
3.2.1 Groupes de travail	29
3.2.2 Extension du SIR	30
3.2.3 Comparaisons clés	30
3.2.4 Soumission des CMCs	31

- 3.3 Section III : mesures neutroniques **31**
  - 3.3.1 Ressources et outils des laboratoires nationaux de métrologie **31**
  - 3.3.2 Soumission des CMCs **32**
  - 3.3.3 Comparaisons clés **32**
- 4 Discussion de points d'intérêt commun **33**
  - 4.1 Questions relatives à l'arrangement de reconnaissance mutuelle **33**
  - 4.2 Programme de travaux futurs au BIPM **34**
  - 4.3 Rapport au Comité international **35**
  - 4.4 Composition des Sections **35**
  - 4.5 Recommandations à la Conférence générale (tendances et besoins futurs dans le domaine de la métrologie des rayonnements ionisants) **35**
  - 4.6 Programme de travaux futurs du CCRI **35**
- 5 Dates des prochaines réunions **36**
- 6 Remarques finales **36**

## **Section I : rayons x et $\gamma$ , électrons, 15<sup>e</sup> réunion (mai 2001)**

### **Rapport, par S.M. Seltzer **37****

- Ordre du jour **38**
- Résumé **40**
- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **41**
- 2 Rapport de la seizième session du CCRI **42**
- 3 Comparaisons d'étalons de mesure (rayons x et  $\gamma$ ) **43**
  - 3.1 Comparaisons du BIPM et du CCRI **43**
  - 3.2 Rapports sur les résultats des comparaisons clés pour l'annexe B du MRA **43**
    - 3.2.1 Comparaison clé de dose absorbée dans le  $^{60}\text{Co}$  (BIPM.RI(I)-K4) **45**
    - 3.2.2 Comparaison clé de kerma dans l'air pour les rayons x aux moyennes énergies (BIPM.RI(I)-K3) **46**

- 3.2.3 Comparaison clé de kerma dans l'air pour les rayons x aux basses énergies (BIPM.RI(I)-K2) **46**
- 3.2.4 Comparaison clé de dose absorbée dans le  $^{60}\text{Co}$  (CCRI(I)-K4) **48**
- 3.2.5 Comparaison de dose absorbée dans le  $^{60}\text{Co}$  (CCRI(I)-S1) **49**
- 3.3 Comparaison clé de kerma dans l'air dans le  $^{60}\text{Co}$  **49**
  - 3.3.1 Estimations de  $k_{\text{att}}$   $k_{\text{sc}}$   $k_{\text{CEP}}$  et de leurs incertitudes **49**
  - 3.3.2 Autres corrections calculées par la méthode de Monte Carlo **50**
  - 3.3.3 De l'usage cohérent des incertitudes de  $W/e$  et des rapports entre les pouvoirs d'arrêt **51**
  - 3.3.4 Progrès du rapport sur la comparaison clé BIPM.RI(I)-K1 **51**
- 3.4 Comparaisons régionales en cours et à venir **51**
- 4 Programme de travail du BIPM **52**
  - 4.1 Faisceaux de kerma dans l'air **53**
  - 4.2 Installation de la nouvelle source de cobalt **53**
  - 4.3 Mise au point d'un nouveau calorimètre en graphite **54**
- 5 Mise au point des étalons nationaux de dosimétrie photonique **54**
  - 5.1 Diagnostic radiologique **54**
  - 5.2 Mammographie **54**
  - 5.3 Curiethérapie **55**
  - 5.4 Radioprotection **55**
  - 5.5 Rayonnements utilisés dans l'industrie **56**
- 6 Mise au point d'étalons nationaux pour la dosimétrie des particules chargées **56**
  - 6.1 Faisceaux d'électrons **56**
  - 6.2 Rayonnement bêta **57**
  - 6.3 Faisceaux de protons **57**
  - 6.4 Rayonnements divers **57**

- 7 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages **57**
  - 7.1 Dissémination des facteurs d'étalonnage  $N_{D,w}$  et  $N_K$  **57**
  - 7.2 Soumission des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages dans l'annexe C du MRA **58**
  - 7.3 Comparaisons supplémentaires **59**
- 8 Rapports des laboratoires membres **59**
- 9 Rapports des membres et des observateurs internationaux **61**
  - 9.1 ICRU **61**
  - 9.2 AIEA **62**
  - 9.3 IOMP et IRPA **62**
- 10 Publications **63**
  - 10.1 Bibliographies des laboratoires nationaux de métrologie **63**
  - 10.2 Pages Web de la Section I du CCRI **63**
- 11 Composition future **63**
- 12 Tendances et besoins futurs en métrologie des rayonnements ionisants : recommandations au CCRI, au CIPM et à la Conférence générale **64**
- 13 Date de la prochaine réunion **64**

**Annexe R(l) 1.** Documents de travail présentés à la 15<sup>e</sup> réunion de la Section I du CCRI **67**

**Section II : mesure des radionucléides, 16<sup>e</sup> réunion (mai 2001)**

**Rapport**, par M.J. Woods **71**

Ordre du jour **72**

Résumé **74**

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **75**
- 2 Rapport de la seizième session du CCRI **76**
- 3 Comparaisons clés de mesures d'activité de la Section II du CCRI **77**
  - 3.1 Comparaison préliminaire de  $^{192}\text{Ir}$  **77**
  - 3.2 Comparaison de  $^{204}\text{Tl}$  **78**

- 3.3 Résultats de la comparaison de  $^{152}\text{Eu}$  **78**
- 3.4 Résultats de la comparaison de  $^{89}\text{Sr}$  **79**
- 3.5 État d'avancement de la comparaison de  $^{238}\text{Pu}$  **80**
- 3.6 Publication du rapport de la comparaison de  $^{75}\text{Se}$  **80**
- 3.7 Publication du rapport de la comparaison de  $^{90}\text{Sr}$  **80**
- 3.8 Comparaisons à venir de la Section II du CCRI **81**
- 4 Système international de référence (SIR) **82**
  - 4.1 État d'avancement du système de chambres d'ionisation **82**
  - 4.2 Monographie sur le SIR **83**
  - 4.3 Courbes d'efficacité **84**
  - 4.4 Analyse systématique du SIR **85**
- 5 Extension du Système international de référence **88**
  - 5.1 État d'avancement du système de comptage par scintillation liquide du BIPM **88**
  - 5.2 Rapport du Groupe de travail de l'ICRM sur le comptage par scintillation liquide **88**
  - 5.3 Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta au moyen du système de comptage par scintillation liquide **90**
  - 5.4 Extension aux radionucléides à courte durée de vie **91**
- 6 Questions relatives à l'arrangement de reconnaissance mutuelle **92**
  - 6.1 Équivalence des étalons **92**
  - 6.2 Résultats des comparaisons régionales revus par le Groupe de travail sur l'équivalence des étalons **92**
  - 6.3 Comparaisons régionales proposées à la Section II du CCRI **92**
  - 6.4 Rapports sur l'état d'avancement des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages des organisations régionales **93**
  - 6.5 Base de données du BIPM sur les comparaisons clés **93**
- 7 Rapports des autres groupes de travail **94**
  - 7.1 Systèmes de détection à haute efficacité **94**
  - 7.2 Réalisation élémentaire du becquerel **94**
- 8 Rapports sur les projets des laboratoires nationaux de métrologie **95**
- 9 Programme de travail à venir du BIPM **95**
- 10 Tendances et besoins à venir dans le domaine de la métrologie : recommandations au CCRI pour la Conférence générale **96**



- 11 Rapports des laboratoires nationaux de métrologie **97**
- 12 Pages Web de la Section II du CCRI **98**
- 13 Composition de la Section II du CCRI **98**
- 14 Questions diverses **98**
- 15 Date de la prochaine réunion **99**

**Annexe R(II) 1.** Documents de travail présentés à la 16<sup>e</sup> réunion de la Section II du CCRI **101**

**Section III : mesures neutroniques**, 14<sup>e</sup> réunion (mai 2001)

**Rapport**, par D.M. Gilliam **105**

Ordre du jour **106**

Résumé **107**

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **109**
- 2 Rapport de la seizième session du CCRI **110**
- 3 Rapport de la treizième réunion de la Section III du CCRI **110**
- 4 Comparaisons clés de la Section III du CCRI **110**
  - 4.1 Comparaison de mesures de fluence de neutrons rapides : comparaison clé CCRI(III)-K1 de sphères de Bonner à 24,5 keV **111**
  - 4.2 Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons : comparaison clé de neutrons thermiques CCRI(III)-K8.B-10 **112**
  - 4.3 Comparaison clé de mesures de taux d'émission de neutrons CCRI(III)-K9-AmBe **112**
  - 4.4 Comparaison clé de mesures de débit de fluence de neutrons CCRI(III)-K10 **113**
  - 4.5 Comparaisons futures **114**
- 5 Comparaisons des organisations régionales de métrologie **114**
  - 5.1 Comparaison d'étalonnage d'instruments pour le contrôle neutronique : projet 608 de l'EUROMET **114**
  - 5.2 Autres comparaisons des organisations régionales de métrologie **115**

- 6 L'arrangement de reconnaissance mutuelle **115**
  - 6.1 Soumissions à l'annexe B **115**
  - 6.2 Soumissions à l'annexe C **116**
- 7 Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires des participants **117**
- 8 Tendances et besoins à venir dans le domaine de la métrologie des neutrons (en liaison avec le rapport pour la Conférence générale) **117**
- 9 Composition future de la Section III du CCRI **118**
- 10 Questions diverses **118**
- 11 Date de la prochaine réunion **119**
- 12 Visite des laboratoires du BIPM **119**

**Annexe R(III) 1.** Documents de travail présentés à la 14<sup>e</sup> réunion de la Section III du CCRI **121**

**Liste des sigles utilisés dans le présent volume 123**

**ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE  
ET ASSOCIÉS À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE**

au 29 mai 2001

**États membres de la Convention du Mètre**

Afrique du Sud	Iran (Rép. islamique d')
Allemagne	Irlande
Argentine	Israël
Australie	Italie
Autriche	Japon
Belgique	Mexique
Brésil	Norvège
Bulgarie	Nouvelle-Zélande
Cameroun	Pakistan
Canada	Pays-Bas
Chili	Pologne
Chine	Portugal
Corée (Rép. de)	Roumanie
Corée (Rép. pop. dém. de)	Royaume-Uni
Danemark	Russie (Féd. de)
Dominicaine (Rép.)	Singapour
Égypte	Slovaquie
Espagne	Suède
États-Unis	Suisse
Finlande	Tchèque (Rép.)
France	Thaïlande
Grèce	Turquie
Hongrie	Uruguay
Inde	Venezuela
Indonésie	

**Associés à la Conférence générale**

Cuba	Lettonie
Équateur	Lituanie
Hong Kong, Chine	Malte

## **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 m<sup>2</sup>) 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 donc 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) à laquelle il présente son rapport sur les travaux accomplis par le Bureau international.

La Conférence générale rassemble des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit actuellement tous les quatre ans dans le but :

- 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 toutes les décisions importantes concernant la dotation, 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 Comité international 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), aux échelles de temps (1988) et à la chimie (2000). 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, en 1988 pour la bibliothèque et des bureaux, et en 2001 a été inauguré un bâtiment pour l'atelier, des bureaux et des salles de réunion.

Environ quarante-cinq physiciens et 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 dans le *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures*.

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 Comité international 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 par le Comité international, qui envoient des délégués de leur choix. Ils comprennent aussi des membres nominativement désignés par le Comité international, et un

représentant du Bureau international (Critères pour être membre des Comités consultatifs, *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, **64**, 6). Ces Comités sont actuellement au nombre de dix :

- 1 le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM), nouveau nom donné en 1997 au 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 CCE s'est occupé des questions de photométrie) ;
- 3 le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937 ;
- 4 le Comité consultatif des longueurs (CCL), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) créé en 1952 ;
- 5 le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) créé en 1956 ;
- 6 le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) créé en 1958 (en 1969, ce Comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ) ; 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 Comité international 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 ;
- 10 le Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations (CCAUV), créé en 1998.

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* ;

- *Rapports des 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 du Bureau international font l'objet de publications dans des journaux scientifiques ; une liste en est donnée chaque année dans le *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures*.

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.

**LISTE DES MEMBRES  
DU COMITÉ CONSULTATIF  
DES RAYONNEMENTS IONISANTS**

au 29 mai 2001

**Président**

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

**Secrétaire exécutive**

P.J. Allisy-Roberts, Bureau international des poids et mesures [BIPM],  
Sèvres.

**Membres**

Le président de la Section I.

Le président de la Section II.

Le président de la Section III.

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

**Section I : rayons x et  $\gamma$ , électrons**

**Président**

P. Sharpe, National Physical Laboratory, Teddington.

**Membres**

Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency [ARPANSA],  
Victoria.

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen [BEV], Vienne.

Bureau national de métrologie, Laboratoire national Henri Becquerel [BNM-  
LNHB], Gif-sur-Yvette.



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

Ente per le Nuove Technologie, l'Energia e l'Ambiente, Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti [ENEA-INMRI], Rome.

Glówny Urząd Miar/Central Office of Measures [GUM], Varsovie.

Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Gosstandart de Russie [VNIIM], Saint-Petersbourg.

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU].

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg.

National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology [NMIJ/AIST], Tsukuba.

National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium [NMI VSL], AR Delft.

Országos Mérésügyi Hivatal/National Office of Measures [OMH], Budapest.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

Swedish Radiation Protection Institute/Statens Stralskyddsinstitut [SRPI], Stockholm.

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

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

### **Observateurs**

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

CSIR National Metrology Laboratory [CSIR-NML], Cape Town.

International Organization for Medical Physics [IOMP].

International Radioprotection Association [IRPA].

Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria [LNMRI-IRD], Rio de Janeiro.

## Section II : mesure des radionucléides

### Président

B.R.S. Simpson, CSIR National Metrology Laboratory, Cape Town.

### Membres

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

Bureau national de métrologie, Laboratoire national Henri Becquerel [BNM-LNHB], Gif-sur-Yvette.

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

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

CSIR National Metrology Laboratory [CSIR-NML], Cape Town.

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

Institut des matériaux et mesures de référence [IRMM], Geel.

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Daejeon.

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg.

National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology [NMIJ/AIST], Tsukuba.

National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Országos Mérésügyi Hivatal/National Office of Measures [OMH], Budapest.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

Radioisotope Centre Polatom [RC], Swierk.

J.-J. Gostely, Institut de radiophysique appliquée [IRA-METAS], Lausanne.

G. Winkler, Institut für Isotopenforschung und Kernphysik « Radiuminstitut » [IIK], Vienne.

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

### Observateurs

Český Metrologický Institut/Czech Metrology Institute [CMI], Prague.

Ente per le Nuove Technologie, l'Energia e l'Ambiente, Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti [ENEA-INMRI], Rome.

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU].

International Organization for Medical Physics [IOMP].

International Radioprotection Association [IRPA].

Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria [LNMRI-IRD], Rio de Janeiro.

Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium [NMI VSL], AR Delft.

### **Section III : mesures neutroniques**

#### **Président**

H. Klein, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

#### **Membres**

Bureau national de métrologie, Laboratoire national Henri Becquerel [BNM-LNHB], Gif-sur-Yvette.

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

Institut des matériaux et mesures de référence [IRMM], Geel.

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg.

National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology [NMIJ/AIST], Tsukuba.

National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

J.J. Broerse [IRI/TNO], Rijswijk.

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

#### **Observateurs**

Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA].

Chinese Institute of Atomic Energy [CIAE], Beijing.

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU].

**Comité consultatif  
des rayonnements ionisants**

**Rapport de la 17<sup>e</sup> session**  
(29 mai 2001)

**au Comité international  
des poids et mesures**

**Ordre du jour**

- 1 Ouverture de la session.
- 2 Rapport de la seizième session du CCRI.
- 3 Conclusions des réunions des trois Sections du CCRI :
  - 3.1 Section I : rayons x et  $\gamma$ , électrons ;
  - 3.2 Section II : mesure des radionucléides ;
  - 3.3 Section III : mesures neutroniques.
- 4 Discussion de points d'intérêt commun :
  - 4.1 Questions relatives à l'arrangement de reconnaissance mutuelle ;
  - 4.2 Programme de travaux futurs au BIPM ;
  - 4.3 Rapport au Comité international ;
  - 4.4 Composition des Sections ;
  - 4.5 Recommandations à la Conférence générale (tendances et besoins futurs dans le domaine de la métrologie des rayonnements ionisants) ;
  - 4.6 Programme de travaux futurs du CCRI.
- 5 Dates des prochaines réunions.
- 6 Remarques finales.

## 1 OUVERTURE DE LA SESSION

Le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI) a tenu sa dix-septième session au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, le 29 mai 2001.

Étaient présents : H. Klein (président de la Section III du CCRI), G. Moscati (président du CCRI), T.J. Quinn (directeur du BIPM), P. Sharpe (président de la Section I du CCRI) et B.R.S. Simpson (président de la Section II du CCRI).

Assistaient aussi à la réunion : P.J. Allisy-Roberts (secrétaire exécutive du CCRI) et C. Thomas (coordinatrice de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés).

M. Giorgio Moscati, président du CCRI, présente ses compliments au directeur du BIPM au sujet du nouveau Pavillon du Mail, disant que les locaux sont plus agréables et mieux adaptés que les anciens pour accueillir les réunions des Comités consultatifs. Il remercie aussi la secrétaire exécutive et les présidents des trois Sections du CCRI pour la manière dont ils ont dirigé les réunions. Il mentionne qu'un des effets de l'arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA) a été de rendre les missions des Sections plus objectives et mieux associées aux activités du BIPM. Chaque Section a présenté de bons documents de travail qui ont engendré des discussions intéressantes. Des progrès significatifs ont été réalisés dans la résolution de certains problèmes majeurs et les participants sont parvenus à une meilleure compréhension des implications du MRA dans le domaine des comparaisons, au bénéfice de toutes les parties concernées.

M. Moscati remercie M. Sharpe et M. Klein, les nouveaux présidents de la Section I et de la Section III, respectivement, d'avoir accepté cette responsabilité importante, et il est aussi reconnaissant aux rapporteurs d'avoir accepté de rédiger les rapports des réunions dans le temps imparti. Il exprime ses remerciements aux anciens présidents de ces Sections, M. K. Hohlfeld et M. V. Lewis pour leur précieuse contribution aux activités du CCRI et pour avoir informé leurs successeurs.

M. Quinn prie les participants d'excuser son absence lors des réunions des Sections, en raison d'autres obligations professionnelles, et il est heureux d'entendre les réactions positives au sujet de la nouvelle salle de conférence.

## **2 RAPPORT DE LA SEIZIÈME SESSION DU CCRI**

Le rapport de la seizième session du CCRI est approuvé et ne fait l'objet d'aucune discussion particulière.

## **3 CONCLUSIONS DES RÉUNIONS DES TROIS SECTIONS DU CCRI**

Le président invite les présidents des Sections à présenter leur rapport sur ces réunions.

### **3.1 Section I : rayons x et $\gamma$ , électrons (Président : P. Sharpe)**

M. Sharpe est heureux de pouvoir annoncer que de nombreuses questions en suspens ont été résolues de manière satisfaisante. Des progrès considérables ont été réalisés dans l'analyse des résultats des comparaisons de dose absorbée dans l'eau dans le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ , et des comparaisons de kerma dans l'air dans des faisceaux de rayons x, pour l'annexe B du MRA. Ces analyses ont été approuvées dans leur principe. Les rapports finaux seront révisés en réponse aux demandes des membres de la Section puis seront à nouveau diffusés pour accord final, fournissant ainsi une première série de résultats à inclure à l'annexe B.

Un certain nombre de points particuliers ont été évoqués.

#### **3.1.1 Différences non résolues entre les résultats**

Certains ont exprimé leur préoccupation au sujet d'une éventuelle interprétation erronée par les utilisateurs de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB) des résultats de l'annexe B servant à appuyer les déclarations de l'annexe C. Il s'agit de cas où la différence entre les résultats de deux laboratoires nationaux de métrologie est supérieure à l'incertitude étendue, ce qui est susceptible de gêner l'acceptation des certificats d'étalonnage. On a proposé un texte qui pourrait expliquer l'équivalence des résultats dans ces cas. M. Quinn répond qu'une différence

non résolue entre certains résultats figurant à l'annexe B aurait des conséquences sur les entrées correspondantes de l'annexe C. Cela pourrait avoir pour effet soit d'augmenter les incertitudes sur les étalonnages figurant à l'annexe C, soit d'éliminer l'aptitude en matière d'étalonnage correspondante. Dans les deux cas, cette question devra être résolue lors de l'examen des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (les CMCs) par les organisations régionales de métrologie. M. Quinn considère qu'il n'est pas approprié de faire de nouvelles déclarations d'équivalence qui n'ont pas été approuvées dans le cadre du MRA et qu'il n'est pas nécessaire de répéter les déclarations à ce sujet figurant déjà dans le MRA. L'incertitude mentionnée dans les CMCs doit être celle qui est normalement assurée au client et pas nécessairement celle correspondant à la meilleure aptitude de mesure.

### 3.1.2 Comparaisons bilatérales

Il est décidé que les résultats des comparaisons bilatérales entre laboratoires nationaux de métrologie qui ont précédemment participé à des comparaisons du BIPM pourront être ajoutés en note dans la table concernée de l'annexe B. La note fera référence au rapport et au résultat. Il est noté que cette procédure ne concerne pas les comparaisons bilatérales impliquant un laboratoire national de métrologie tiers, car dans ce cas il s'agit d'une extension normale aux tables d'équivalence. M. Quinn dit que le CCRI doit être informé à l'avance des comparaisons bilatérales ; il faut que leur protocole soit compatible avec celui de la comparaison clé correspondante et que les résultats d'un laboratoire national de métrologie tiers soient reliés aux tables par l'intermédiaire du laboratoire national de métrologie qui effectue la liaison. La note exprimant le concept « approuvé pour l'équivalence provisoire » est considérée comme acceptable pour ce type de résultats jusqu'à ce que la tierce partie soit en mesure de participer à une comparaison du BIPM.

### 3.1.3 Nouvelles comparaisons

Des nouvelles comparaisons ont été identifiées comme étant nécessaires pour démontrer les degrés d'équivalence entre les laboratoires nationaux de métrologie :

- aptitudes en matière d'étalonnages pour les rayons x aux énergies basse et moyenne ;
- dose absorbée dans un faisceau d'électrons, si ce domaine n'est pas déjà couvert ;



- qualités pour la mammographie, quand les débits de doses et les qualités sont différents de ceux mentionnés au premier point.

#### 3.1.4 Activités à venir de la section des rayonnements ionisants du BIPM

La discussion sur les activités à venir de la section des rayonnements ionisants du BIPM porte notamment sur les ressources en personnel, et il est noté que celles-ci sont insuffisantes pour pouvoir mettre en œuvre le nombre croissant des comparaisons et rédiger les rapports en temps voulu. Il est spontanément recommandé à l'unanimité d'allouer une personne supplémentaire à la section. Le directeur du BIPM répond qu'il apprécie vraiment cette recommandation, reconnaît que c'est nécessaire mais que ce n'est probablement pas réalisable. Le président répond que les représentants des laboratoires nationaux de métrologie à la Section I du CCRI demandent cette augmentation de personnel en liaison avec l'augmentation de la charge de travail et des projets mis en œuvre. M. Klein appuie aussi cette recommandation et rappelle la promesse qui avait été faite d'affecter les postes devenus vacants lors de la fermeture de la section des neutrons à la section de dosimétrie.

#### 3.1.5 Facteurs de correction pour les étalons à cavité

Les facteurs de correction pour les étalons à cavité ont fait l'objet d'une importante discussion, qui met en évidence une préférence de plus en plus accentuée pour les facteurs calculés. M. Aalbers est le coordinateur d'un groupe de travail chargé de résoudre ces questions et il fera, avec Mme Allisy-Roberts, des recommandations pour permettre d'inclure les résultats des comparaisons dans l'annexe B du MRA.

#### 3.1.6 Soumission des CMCs

L'AIEA a soumis des CMCs au CCRI au lieu de les soumettre à l'examen inter-régional habituel et des règles *ad hoc* ont été proposées désignant trois laboratoires nationaux de métrologie primaires (le BIPM, le NIST et la PTB) comme examinateurs. M. Quinn exprime son approbation.

### 3.2 **Section II : mesure des radionucléides** (Président : B.R.S. Simpson)

Le président de la Section II, M. Simpson, fait des commentaires d'ordre général sur le déroulement de la réunion de cette Section. Il dit que la date limite pour la soumission des documents de travail, maintenant fixée à un

mois avant la date de la réunion, a été respectée, ce qui a aidé les membres à préparer les discussions. Le fait de dispenser chaque laboratoire national de métrologie de présenter un rapport officiel sur ses activités pendant la réunion a libéré du temps pour des discussions scientifiques. Un représentant invité du BNM-LNHB, M. Cassette, a fait un exposé sur l'extension du Système international de référence (SIR) aux émetteurs de rayonnement bêta pur.

### 3.2.1 Groupes de travail

Le Groupe de travail sur l'équivalence des étalons et le Groupe de travail sur l'analyse systématique du SIR ont tous deux été officiellement dissous ; leurs activités ont été fusionnées dans le cadre d'un nouveau groupe de travail sur les comparaisons clés. M. Woods a été désigné comme coordinateur de ce groupe. Le Groupe de travail sur le  $^{204}\text{Tl}$  a aussi été dissous après qu'il ait été admis que les problèmes relatifs à la précédente comparaison avaient été résolus. Les missions du Groupe de travail sur l' $^{192}\text{Ir}$  ont été étendues afin d'inclure les discussions sur la capture d'électrons dans le schéma de désintégration, qui avait posé des difficultés lors de la comparaison. Il faudra établir des équations pour représenter l'efficacité de détection et la comparaison devra être répétée le moment venu. Un groupe de travail sur les incertitudes a été créé pour résoudre les questions relatives aux incertitudes qui se sont posées lors des comparaisons clés. Une analyse des résultats du SIR effectuée pour identifier les valeurs de référence des comparaisons clés, lors de la réunion du groupe de travail en février 2001 au BIPM, a soulevé un certain nombre de questions, questions qui ont toutes été résolues à l'exception de celle concernant d'éventuels résultats aberrants.

Le Groupe de travail sur la réalisation du becquerel a mis au point un projet de prototype et un tableau sur les tolérances liées à sa construction, avec une limite maximale de 0,1 % pour la variation de l'efficacité. La prochaine étape consistera à fabriquer deux prototypes. M. Winkler, coordinateur du Groupe de travail sur les systèmes de détection à haute efficacité, prépare une monographie sur ce sujet, qu'il espère publier comme *Monographie BIPM*. Le Groupe de travail sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur produira une nouvelle monographie sur le système de comptage par scintillation liquide. M. Los Arcos, le coordinateur, a prévu de réunir le groupe de travail deux fois au cours des deux années à venir. La monographie sur le SIR sera disponible sur le site Web du BIPM dès sa parution : elle donnera les fondements des résultats à faire figurer à l'annexe B, en particulier les valeurs de référence des comparaisons clés.

### 3.2.2 Extension du SIR

Deux propositions d'extension du SIR ont été présentées. La première consiste à adapter la méthode CIEMAT-NIST, et l'autre à mettre en œuvre au BIPM le système du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles. Les résultats des mesures d'activité obtenues par ces deux méthodes seront comparés au BIPM pour vérifier la robustesse des comparaisons à venir d'émetteurs de rayonnement bêta.

L'extension du SIR aux radionucléides à courte durée de vie est en cours avec une comparaison de  $^{18}\text{F}$ . Cette comparaison est organisée par l'EUROMET et, bien qu'elle ne soit pas terminée, les résultats semblent prometteurs pour le moment. L'EUROMET espère établir une liaison au SIR, le BNM-LNHB fournissant une ampoule de  $^{18}\text{F}$  au BIPM.

### 3.2.3 Comparaisons clés

Les résultats de la comparaison de  $^{152}\text{Eu}$  étaient plus dispersés que prévu et il a fallu les examiner avec une attention soutenue. Un premier projet de rapport est disponible. En ce qui concerne la comparaison de  $^{89}\text{Sr}$ , dix-neuf des vingt-trois laboratoires nationaux de métrologie participants ont maintenant soumis leurs résultats ; ils sont généralement en accord et pourraient fournir un lien utile au SIR étendu. La comparaison de  $^{238}\text{Pu}$  est toujours en cours et un délai supplémentaire de trois mois a été accordé pour soumettre les résultats, en raison des difficultés de transport et des retards qui en ont résulté dans la livraison des échantillons. Six futures comparaisons clés ont été décidées ; elles se dérouleront au cours des deux prochaines années. Des comparaisons d'activité de radionucléides à courte durée de vie se mêleront à celles de radionucléides à durée de vie plus longue, afin de donner plus de flexibilité aux mesures effectuées dans les laboratoires nationaux de métrologie. Le programme figure dans le rapport de la Section II.

Les laboratoires nationaux de métrologie ont accepté de continuer à soumettre des ampoules de divers radionucléides au SIR, pour que les valeurs de référence des comparaisons clés soient plus robustes. Le rapport de la comparaison de  $^{75}\text{Se}$  a été publié dans *Nuclear Instruments and Methods* et celui de la comparaison de  $^{90}\text{Sr}$  est en cours.

#### 3.2.4 Soumission des CMCs

L'état d'avancement des soumissions des CMCs a été passé en revue. La plupart des organisations régionales de métrologie sont prêtes à en soumettre avant la fin de l'an 2001.

Pendant la discussion du rapport de la Section II, Mme Thomas signale qu'une nouvelle base de données est en cours d'élaboration pour les besoins spécifiques de la publication des CMCs dans le domaine des rayonnements ionisants. Il sera possible d'identifier comment la traçabilité est assurée et d'effectuer des recherches en utilisant le radionucléide comme mot clé. La proposition de mettre à jour en permanence les informations sur le SIR dans l'annexe B a reçu un soutien appuyé des membres. Une discussion s'est ensuivie sur la monographie du SIR et sur les entrées de la base de données en général.

### 3.3 Section III : mesures neutroniques (Président : H. Klein)

M. Klein présente le rapport de la Section III en trois points principaux.

#### 3.3.1 Ressources et outils des laboratoires nationaux de métrologie

M. Klein présente tout d'abord les sources de neutrons, à fission et à radionucléides, ainsi que les accélérateurs disponibles. Il mentionne ensuite les changements qui ont eu lieu dans l'organisation de nombreux laboratoires. Au NIST, des ressources ont été supprimées et la ligne directrice des travaux a changé ; 50 % des clients de la PTB sont maintenant américains. De plus en plus de laboratoires ne se contentent pas d'effectuer des mesures de fluence mais font aussi des mesures de spectroscopie. La méthode de « temps de vol » n'est pas une procédure courante, mais c'est la meilleure méthode pour caractériser convenablement les faisceaux. Bien que les faisceaux bien caractérisés aient de nombreuses applications, ils sont principalement requis pour les instruments de radioprotection. De nombreuses réglementations nationales exigent que les étalonnages relevant de la radioprotection soient réalisés dans des faisceaux bien caractérisés. La mise en œuvre d'une collaboration étroite avec les laboratoires de recherche en détection neutronique et en spectrométrie a été mentionnée, et il est noté que le Japon collabore déjà étroitement avec des laboratoires de recherche et les universités associés. La plupart des laboratoires nationaux spécialisés dans ce domaine possèdent des baignoires de manganèse et d'autres outils pour déterminer le taux d'émission de sources neutroniques.

La caractérisation de systèmes de détection demande une expérience des codes de Monte Carlo : savoir comment les appliquer et les ajuster à ce problème particulier, car ils ne sont pas directement applicables au domaine de la détection de neutrons. Il faut avoir l'expérience des codes mis au point pour des usages spécifiques ; par exemple, la PTB y travaille depuis une vingtaine d'années et modifie actuellement les codes à applications multiples à la demande des utilisateurs, qui sont très intéressés.

### 3.3.2 Soumission des CMCs

Les soumissions à l'annexe C, les CMCs, sont fondés sur les services décrits ci-dessus. L'EUROMET a presque finalisé ses CMCs et les soumettra aux rapporteurs, puis au Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB). L'étendue des CMCs est fonction des ressources des laboratoires nationaux de métrologie.

### 3.3.3 Comparaisons clés

Compte tenu du temps nécessaire pour effectuer les mesures lorsque l'on fait circuler des détecteurs de neutrons, la Section III n'a obtenu qu'une seule série de résultats de comparaison clé (CCRI(III)-K1) au cours des dix dernières années. Les résultats finaux de cette comparaison ne sont toutefois pas encore approuvés et le rapport final doit être revu par la Section III. La raison principale de ce retard est que, bien que cette comparaison à 24,5 keV se soit achevée en 1996 et qu'un rapport ait été préparé pour *Metrologia*, un certain nombre de commentaires sérieux ont été faits au sujet du projet de rapport. La comparaison avait été conçue avant le MRA : le rapport n'est donc pas vraiment complet et les résultats ne sont pas analysés conformément aux directives du MRA. Certains laboratoires nationaux de métrologie ont plus d'une entrée et il manque les bilans d'incertitudes complets. Par conséquent, les résultats de cette comparaison ne sont pas vraiment appropriés pour produire une valeur de référence. M. Klein contactera M. Lewis et les participants pour compléter les résultats et revoir le rapport pour publication.

Trois nouvelles comparaisons sont programmées pour la Section III. La première, à l'état de proposition, concerne des mesures de fluence de neutrons thermiques, et les deux autres sont en cours, l'une sur des mesures de fluence de neutrons monoénergétiques et l'autre sur le taux d'émission de neutrons.

En ce qui concerne la comparaison clé de neutrons thermiques (CCRI(III)-K8.B-10), peu de laboratoires nationaux de métrologie disposent de champs appropriés ; des réacteurs ont cessé de fonctionner et il est difficile d'obtenir des conditions reproductibles. Quatre ou cinq laboratoires nationaux de métrologie sont capables et acceptent de participer à la comparaison. Il faudra un an et demi pour la mener à bien.

Il faudra attendre deux ans et demi avant que la comparaison clé de taux d'émission (CCRI(III)-K9.AmBe) soit terminée, les résultats devraient donc être disponibles dans trois ans.

La comparaison clé la plus récente (CCRI(III)-K10) a débuté il y a un an, et des mesures ont été réalisées à la PTB en mars 2001 à quatre énergies différentes. Tous les résultats bruts devraient être disponibles en juin et les rapports des laboratoires en octobre 2001. Il est prévu de terminer cette comparaison en mars 2002 et de présenter le rapport final pour discussion à la prochaine session du CCRI en 2003.

Quand ces quatre comparaisons seront terminées, il ne sera pratiquement plus nécessaire de faire appel à d'autres comparaisons pour étayer les CMCs à inclure dans l'annexe C. Ces comparaisons devraient servir à documenter les entrées sur les CMCs, sauf pour les services qui ne sont disponibles qu'auprès d'un seul laboratoire national de métrologie et qu'il n'est pas possible de comparer avec ceux d'un autre laboratoire.

En conclusion, M. Klein ajoute que la métrologie des neutrons poursuit son cours sans trop de changements. Il regrette personnellement que M. Lewis ait dû prendre sa retraite par anticipation du NPL et que, du fait de la réorganisation récente du NIST, il faille beaucoup d'aide pour maintenir les aptitudes en matière de mesures neutroniques au NIST.

## **4 DISCUSSION DE POINTS D'INTÉRÊT COMMUN**

### **4.1 Questions relatives à l'arrangement de reconnaissance mutuelle**

Il est noté que les organisations régionales de métrologie ont besoin d'être encouragées à soumettre leurs comparaisons au CCRI en tant que comparaisons clés ou supplémentaires pour qu'elles puissent être approuvées et incluses dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Il est

signalé que le document de directives de l'EUROMET pour les comparaisons clés ne mentionne pas la nécessité de communiquer avec le Comité consultatif concerné. Il a été demandé de mettre en place un mécanisme officiel afin que soit communiquée automatiquement aux coordinateurs techniques des organisations régionales de métrologie toute information émanant du JCRB.

#### **4.2 Programme de travaux futurs au BIPM**

Les membres reconnaissent que le BIPM a beaucoup investi en équipements, ce qui a permis d'améliorer et de mettre à niveau ses laboratoires. M. Sharpe évoque à nouveau la possibilité d'effectuer des mesures de dose absorbée dans un faisceau d'électrons au BIPM. La situation relative à la mammographie est aussi discutée et les membres se déclarent favorables à faire appel à un chercheur associé pour cette étude. M. Moscati pose la question de l'avenir de l'énergie nucléaire et de la nécessité d'effectuer des mesures d'activité dans l'environnement. Les étalons de curiethérapie disséminés par le NIST, le NPL et la PTB pourraient faire l'objet de nouvelles comparaisons clés. Il a été décidé que le moment n'était pas encore venu.

Les arguments en faveur d'un programme de recherche au BIPM sont les économies et l'efficacité accrue résultant d'un service centralisé. M. Sharpe commente qu'il est en effet généralement plus efficace que ce travail soit réalisé au BIPM. Le MRA a considérablement accru la charge de travail liée aux comparaisons et aux rapports.

En ce qui concerne les comparaisons, il n'y a pas d'argument statistique pour rejeter les résultats aberrants et ils devraient être traités avec les autres, au moyen de médianes si nécessaire. Une longue discussion a lieu sur les incertitudes et il est décidé que chaque résultat doit être jugé selon ses mérites. En général, si un résultat diffère de plus de trois écarts-types des autres, le laboratoire doit être contacté pour s'assurer qu'il n'y a pas eu d'erreur de mesure. Après confirmation, le résultat doit être inclus dans le rapport de la comparaison, à moins que tous les laboratoires nationaux de métrologie ne décident de l'exclure.

#### **4.3 Rapport au Comité international**

M. Moscati fera un rapport au Comité international et demande que le projet de rapport de chaque section soit disponible dès que possible, de préférence d'ici deux semaines. Mme Allisy-Roberts accepte de contacter les rapporteurs pour les informer de cette demande.

#### **4.4 Composition des Sections**

Il est noté que les demandes d'appartenance aux Sections et de changement de statut doivent être soumis au directeur du BIPM avant le mois de septembre chaque année afin qu'elles puissent être examinées par le Comité international en octobre.

#### **4.5 Recommandations à la Conférence générale (tendances et besoins futurs dans le domaine de la métrologie des rayonnements ionisants)**

Le président demande que chaque laboratoire national de métrologie étudie la nécessité de présenter des recommandations à la prochaine Conférence générale en 2003. Les questions spécifiques posées à cette session concernent le transport de matériaux radioactifs et les formalités douanières (la secrétaire exécutive doit contacter l'AIEA au sujet des régulations sur le transport international). Les autres recommandations éventuelles doivent être présentées au Comité international au plus tard en octobre 2002.

#### **4.6 Programme de travaux futurs du CCRI**

Il est décidé que le CCRI doit continuer à se réunir pendant une demi-journée après les réunions des trois Sections. Les présidents des Sections doivent continuer à être invités à assister aux réunions des autres Sections, sans obligation.



## **5 DATES DES PROCHAINES RÉUNIONS**

Les prochaines réunions sont provisoirement fixées aux dates suivantes, sous réserve de l'approbation du Comité international en octobre 2001 :

Section I du CCRI : du 21 au 23 mai 2003

Section II du CCRI : du 28 au 30 mai 2003

Section III du CCRI : les 26 et 27 mai 2003

CCRI : le 30 mai 2003.

[Note : ces dates ont été approuvées par le CIPM.]

## **6 REMARQUES FINALES**

Le président clôt la réunion en remerciant les membres du CCRI pour leurs activités dans le cadre des Sections et le BIPM pour son accueil chaleureux et son hospitalité.

mars 2002

**Comité consultatif  
des rayonnements ionisants**

**Section I : rayons x et  $\gamma$ , électrons**

**Rapport de la 15<sup>e</sup> réunion**

(23–25 mai 2001)

## Ordre du jour

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Rapport de la seizième session du CCRI.
- 3 Comparaisons d'étalons de mesure (rayons x et  $\gamma$ ) :
  - 3.1 Comparaisons du BIPM et du CCRI ;
  - 3.2 Rapports sur les résultats des comparaisons clés pour l'annexe B du MRA ;
  - 3.3 Comparaison clé de kerma dans l'air dans le  $^{60}\text{Co}$  ;
  - 3.4 Comparaisons régionales en cours et à venir.
- 4 Programme de travail du BIPM :
  - 4.1 Faisceaux de kerma dans l'air ;
  - 4.2 Installation de la nouvelle source de cobalt ;
  - 4.3 Mise au point d'un nouveau calorimètre en graphite.
- 5 Mise au point des étalons nationaux de dosimétrie photonique :
  - 5.1 Diagnostic radiologique ;
  - 5.2 Mammographie ;
  - 5.3 Curiethérapie ;
  - 5.4 Radioprotection ;
  - 5.5 Rayonnements utilisés dans l'industrie.
- 6 Mise au point d'étalons nationaux pour la dosimétrie des particules chargées :
  - 6.1 Faisceaux d'électrons ;
  - 6.2 Rayonnement bêta ;
  - 6.3 Faisceaux de protons ;
  - 6.4 Rayonnements divers.

- 7 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages :
  - 7.1 Dissémination des facteurs d'étalonnage  $N_{D,w}$  et  $N_K$  ;
  - 7.2 Soumission des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages dans l'annexe C du MRA ;
  - 7.3 Comparaisons supplémentaires.
- 8 Rapports des laboratoires membres.
- 9 Rapports des membres et des observateurs internationaux :
  - 9.1 ICRU ;
  - 9.2 AIEA ;
  - 9.3 IOMP et IRPA.
- 10 Publications :
  - 10.1 Bibliographies des laboratoires nationaux de métrologie ;
  - 10.2 Pages Web de la Section I du CCRI.
- 11 Composition future.
- 12 Tendances et besoins futurs en métrologie des rayonnements ionisants : recommandations au CCRI, au CIPM et à la Conférence générale.
- 13 Date de la prochaine réunion.

## Résumé

La Section I (rayons x et  $\gamma$ , électrons) du Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI) a tenu sa quinzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, en mai 2001. La réunion a eu lieu au nouveau Pavillon du Mail, dont les équipements ont été très appréciés. Les discussions ont porté principalement sur l'analyse des résultats des différentes comparaisons clés, à inclure dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB). Les facteurs de correction pour les étalons à paroi d'air et les chambres d'ionisation à cavité utilisées pour les comparaisons clés ont été discutés et le Groupe de travail sur les comparaisons clés a été chargé de résoudre certaines questions d'une importance particulière. Des décisions ont été prises sur les procédures à suivre afin d'inclure le maximum possible de résultats dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés d'ici la fin de l'année 2001. Les travaux récents et la mise à niveau des équipements de laboratoire du BIPM ont été passés en revue. Les besoins futurs en métrologie des rayonnements ont été discutés et les membres de la Section I ont présenté les programmes de recherche en cours dans leur laboratoire en dosimétrie des rayonnements. Il est reconnu que les contraintes résultant de l'arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA) et de la réalisation des comparaisons clés imposent une lourde charge de travail aux laboratoires nationaux de métrologie et au BIPM. Les rapports des observateurs internationaux ont été entendus.

## **1 OUVERTURE DE LA RÉUNION ; APPROBATION DE L'ORDRE DU JOUR ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR**

La Section I (rayons x et  $\gamma$ , électrons) du Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI) a tenu sa quinzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, du 23 au 25 mai 2001.

M. G. Moscati, président du CCRI, ouvre la réunion et présente le nouveau président de la Section I, M. P. Sharpe. M. Moscati exprime aussi les remerciements de tous les participants à l'ancien président, M. K. Hohlfeld, pour ses services exemplaires. Mme P.J. Allisy-Roberts accueille les participants au nom de M. Quinn, qui se trouve au Japon pour une réunion du bureau du Comité international, et présente les nouveaux locaux où se tient la présente réunion.

Étaient présents : A.H.L. Aalbers (NMI VSL), A. Allisy (ICRU), L. Büermann (PTB), B. Chauvenet (BNM-LNHB), I. Csete (OMH), S. Duane (NPL), S.A. Fedina (VNIIM), C. Grover (NRC), H.-M. Kramer (PTB), A. Merta (GUM), G. Moscati (président du CCRI), D. Rogers (NRC), S.M. Seltzer (NIST), N. Takata (NMIJ/AIST), D. Webb (ARPANSA), J. Witzani (BEV), Tian Zhongqing (NIM).

Observateurs : F. Luhana (CSIR-NML), A. Meghzifene (AIEA), J.G.P. Peixoto (LNMRI/IRD).

Invités : B.R.S. Simpson (président de la Section II), G. Stucki (METAS).

Ont assisté à tout ou partie de la réunion : P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM), P.J. Allisy-Roberts (secrétaire exécutive du CCRI, BIPM), D.T. Burns, C. Michotte, G. Ratel, C. Thomas (BIPM).

Excusés : A. Brosed (CIEMAT), J.-E. Grindborg (SRPI), R.F. Laitano (ENEA-INMRI).

Absents : IOMP et IRPA.

Avant d'aborder les questions inscrites à l'ordre du jour, M. Sharpe accueille à son tour les participants et invite les membres assis autour de la table à se présenter. Il fait remarquer que l'ordre du jour est assez chargé, et souligne qu'il faudra traiter un grand nombre de questions importantes, comme l'approbation des résultats à inclure dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés, la KCDB, avec les degrés d'équivalence appropriés, et les

corrections à apporter pour tenir compte de l'effet des parois sur les étalons de kerma dans l'air pour le  $^{60}\text{Co}$ .

M. Seltzer est nommé rapporteur.

Il n'est pas proposé de changement notable à l'ordre du jour.

## **2 RAPPORT DE LA SEIZIÈME SESSION DU CCRI**

Le président de la Section I attire l'attention sur le rapport imprimé de la seizième session du CCRI qui a été envoyé aux participants ; celui-ci contient le rapport de la quatorzième réunion de la Section I. M. Moscati rappelle aux participants que les trois Sections du CCRI se sont réunies à des dates très proches, et qu'elles ont été suivies d'une brève réunion du CCRI, composé de son président, des présidents des trois Sections et du directeur du BIPM, pour se mettre d'accord sur des conclusions communes. Le président du CCRI et les présidents des trois Sections sont invités à toutes les réunions des différentes Sections afin d'améliorer la communication.

Il rappelle que les participants avaient décidé, lors de la précédente réunion, de soumettre à l'avance les documents de travail officiels de la Section I du CCRI, et il les remercie pour avoir respecté la date limite du 9 avril 2001. À ce sujet, il attire l'attention sur l'envoi des documents de travail par voie électronique, ce qui a grandement facilité leur distribution aux participants, et rappelle la proposition de M. Quinn de les rendre accessibles sur le serveur du BIPM, avec un mot de passe pour les participants, et de supprimer les volumes reliés distribués dans le passé. Il est proposé, et approuvé, de remettre aux participants un CD-ROM contenant les documents de travail peu après la réunion, afin que le personnel des laboratoires nationaux de métrologie ait accès aux documents. Tous les documents soumis à la quinzième réunion de la Section I du CCRI sont officiellement approuvés.

### **3 COMPARAISONS D'ÉTALONS DE MESURE (RAYONS X ET $\gamma$ )**

#### **3.1 Comparaisons du BIPM et du CCRI**

Mme Allisy-Roberts présente un résumé sur l'état d'avancement des comparaisons et des étalonnages en dosimétrie (CCRI(I)/01-1). Depuis la précédente réunion, douze comparaisons et vingt et un étalonnages d'étalons secondaires ont été effectués. Notons que ce nombre est inférieur à celui des deux années précédentes, en raison des travaux de mise à niveau des équipements du BIPM. Il est clair cependant que le BIPM a de plus en plus de travail car il doit aider les laboratoires nationaux de métrologie à faire face aux demandes résultant du MRA et en liaison avec la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Le document CCRI(I)/01-1 indique aussi la date des comparaisons et des étalonnages les plus récents, et ceux qui ont dépassé la date limite recommandée de dix ans. Il propose aussi un programme pour la période comprise entre 2001 et 2003 afin de renouveler certaines comparaisons et certains étalonnages.

M. Sharpe exprime les remerciements de la Section I au BIPM, pour le travail efficace et assidû consacré aux comparaisons et aux étalonnages. M. Rogers souligne la nécessité d'engager au moins un membre du personnel scientifique supplémentaire de manière permanente, pour le groupe de dosimétrie des rayonnements du BIPM. Cela lui semble nécessaire pour faire face à l'accroissement de la charge de travail et des responsabilités liées aux comparaisons et à la rédaction des rapports, dans les délais fixés, correspondant aux études approuvées lors de la précédente réunion. De plus, la Section a identifié de nouveaux domaines d'activité importants pour l'avenir du BIPM (par exemple : les faisceaux de photons aux hautes énergies, la mammographie, les sources bêta thérapeutiques et les faisceaux d'électrons). Une proposition a été officiellement approuvée par la Section à cet effet, qui sera soumise au CCRI et au CIPM.

#### **3.2 Rapports sur les résultats des comparaisons clés pour l'annexe B du MRA**

Mme Allisy-Roberts introduit ce sujet en montrant un exemple de résultats publiés dans l'annexe B de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés, relevant d'un autre domaine de mesure. Elle montre la table comparant les valeurs des laboratoires nationaux de métrologie à la valeur de référence,



celle donnant la matrice des degrés d'équivalence entre paires de laboratoires nationaux de métrologie participants, et le bref texte d'explication qui les accompagne. M. Burns souligne que dans les matrices proposées pour les comparaisons de la Section I, l'analyse de l'incertitude sur les différences entre laboratoires prend en compte la corrélation introduite par les facteurs communs aux étalons, mais que la valeur du coefficient de corrélation n'est qu'estimée, même si elle est raisonnable. En se fondant sur des comparaisons clés spécifiques de la Section I du CCRI, il est décidé d'entreprendre les actions suivantes :

1. Le texte accompagnant les tables de la KCDB doit être plus ou moins le suivant : « D'après le MRA, les résultats figurant dans les tables servent à établir les degrés d'équivalence entre les étalons. La première colonne de la seconde table donne l'écart entre l'étalon du laboratoire et la valeur de référence de la comparaison clé, ainsi que l'incertitude sur cet écart. Le reste de la table donne les écarts entre les étalons des laboratoires nationaux de métrologie pris deux à deux et l'incertitude sur cet écart. L'incertitude déclarée est une incertitude étendue (avec un facteur d'élargissement  $k = 2$ ). » M. Allisy souligne qu'il est important de dire clairement que les différences et les incertitudes mentionnées dans les tables sont exprimées en millièmes.
2. Sur les conseils de M. Rogers, et en se référant en particulier aux comparaisons de dose absorbée dans le  $^{60}\text{Co}$  entre le NIST et le NRC, dont les résultats ne sont pas cohérents avec ceux obtenus lors des comparaisons du BIPM, les comparaisons bilatérales seront mentionnées en note dans les tables de la KCDB selon la procédure suivante : les comparaisons clés bilatérales en cours pourront être soumises à la Section I du CCRI avant fin juin 2001, l'information circulera par voie électronique et les membres disposeront de deux mois pour approuver leur inclusion dans la base. Les nouvelles comparaisons clés bilatérales proposées devront toutes être soumises à la Section I du CCRI afin que leur protocole soit approuvé. La Section I du CCRI demandera l'avis du Groupe de travail sur les comparaisons clés pour savoir comment inclure les résultats d'une telle comparaison clé bilatérale en note.
3. Les résultats d'une comparaison clé doivent d'abord être publiés pour être inclus dans la KCDB. Si une comparaison clé date de plus de dix ans, le laboratoire national de métrologie sera consulté quant à sa validité. Si les résultats de la comparaison sont déclarés toujours valables, ils seront inclus dans la KCDB, sous réserve d'effectuer une nouvelle comparaison d'ici deux ans. Si une nouvelle comparaison est

envisagée, les résultats du laboratoire national de métrologie concerné doivent être identifiés par un astérisque (\*). Si la nouvelle comparaison n'est pas effectuée dans ce délai, les résultats de l'ancienne comparaison seront considérés caducs lors de la prochaine réunion de la Section I du CCRI, c'est-à-dire que l'intervalle de temps d'ici la prochaine réunion est la dernière période pendant laquelle d'anciens résultats de ce type seront inclus.

4. La procédure suivante s'appliquera si un laboratoire national de métrologie change d'étalon : soit le laboratoire préparera un document qui sera référencé, soit il effectuera une nouvelle comparaison avec le BIPM. Les résultats de cette comparaison seront soumis à l'approbation de la Section I du CCRI, et – s'ils sont approuvés – seront utilisés pour mettre à jour les données de l'annexe B.

### 3.2.1 Comparaison clé de dose absorbée dans le $^{60}\text{Co}$ (BIPM.RI(I)-K4)

La discussion sur certaines comparaisons clés particulières commence par la comparaison clé d'étalons de dose absorbée dans l'eau dans des faisceaux de rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ , à des niveaux thérapeutiques, effectuée par le BIPM (BIPM.RI(I).K4). Mme Allisy-Roberts résume le contenu du document CCRI(I)/01-12, qui donne la liste des résultats des huit laboratoires nationaux de métrologie qui ont participé à cette comparaison, grâce à l'utilisation d'étalons de transfert, le traitement des incertitudes, et l'expression des degrés d'équivalence. Les composantes corrélées de l'incertitude sont celles liées aux rapports entre les coefficients d'absorption de l'énergie massique des photons et les pouvoirs d'arrêt des électrons utilisés pour convertir la dose absorbée dans les calorimètres en graphite à celle absorbée dans l'eau, et à la déperdition de chaleur dans les calorimètres à eau. M. Seltzer fait référence au document CCRI(I)/01-14 qui explique l'augmentation de l'incertitude déclarée pour l'étalon du NIST, suite à un problème de reproductibilité du fait de la taille du faisceau, qui pourrait avoir affecté les mesures précédentes effectuées avec le calorimètre à « eau scellée ». Sous réserve de réviser en conséquence l'incertitude déclarée pour l'étalon du NIST, les résultats mentionnés dans le document CCRI(I)/01-12 sont approuvés pour inclusion dans l'annexe B.

### 3.2.2 Comparaison clé de kerma dans l'air pour les rayons x aux moyennes énergies (BIPM.RI(I)-K3)

M. Burns présente brièvement la série de comparaisons clés du BIPM d'étalons de kerma dans l'air pour les rayons x aux moyennes énergies (BIPM.RI(I)-K3) décrite dans le document CCRI(I)/01-9. Onze comparaisons ont été effectuées, six ont fait l'objet de rapports publiés, les rapports de trois autres sont en préparation, une autre comparaison avec le NIST en 1991 a fait l'objet d'un rapport, mais sans la documentation officielle requise, et une autre avec le BEV en 1982 n'est pas référencée. De plus, le rapport sur une comparaison récente avec la PTB est à l'état de projet et les résultats pourraient être inclus dans l'annexe B d'ici la prochaine réunion de la Section I du CCRI. Les composantes corrélées de l'incertitude sont liées à la masse volumique de l'air, au facteur  $W/e$ , à la correction pour tenir compte de l'humidité, et à la correction pour tenir compte des pertes radiatives des électrons dans l'air. Il est décidé qu'il faut éliminer de la table de la KCDB la comparaison du BEV de 1982 et celle du NIST de 1991 qui ne sont pas correctement référencées, pour être cohérent avec la règle 3 mentionnée ci-dessus. Le NIST devrait effectuer une nouvelle comparaison avec le BIPM en 2001-2002 et pourrait entre-temps inclure, à titre provisoire, une ancienne comparaison documentée s'il le souhaite. Il est décidé d'approuver les résultats proposés de cette comparaison du BIPM après révision et circulation parmi les membres.

### 3.2.3 Comparaison clé de kerma dans l'air pour les rayons x aux basses énergies (BIPM.RI(I)-K2)

Les comparaisons du BIPM d'étalons de kerma dans l'air pour les rayons x aux basses énergies (BIPM.RI(I)-K2), décrites dans le document CCRI(I)/01-11, sont résumées par M. Burns. Dix comparaisons sont concernées, huit sont des comparaisons directes et deux des comparaisons indirectes fondées sur des chambres de transfert à paroi d'air. Les rapports de sept comparaisons sont publiés, un rapport est en préparation, et deux comparaisons (avec l'ETL/NMIJ en 1972 et avec le CIEMAT en 1979) n'ont pas de référence. M. Takata indique que le NMIJ construit une nouvelle chambre à paroi d'air et que l'ancien étalon n'est plus utilisé. Parmi ces comparaisons, six ont été effectuées au cours des dix dernières années. Parmi les quatre comparaisons plus anciennes, l'une (avec l'OMH) a déjà été renouvelée. Les rapports des comparaisons récentes avec le BEV, l'OMH, la PTB et le VNIIM, sont à l'état de projet. Les composantes corrélées de l'incertitude sont les mêmes que pour les étalons à faisceaux de rayons x aux

moyennes énergies. Sur la base des règles approuvées, les résultats des anciennes comparaisons seront inclus dans la KCDB jusqu'à la prochaine réunion de la Section I du CCRI. Il est souligné que le personnel du BIPM doit finaliser les rapports des comparaisons récentes et les publier dès que possible afin d'inclure les résultats correspondants dans la KCDB. Les autres rapports non publiés doivent être finalisés dès que possible. Le travail exemplaire du BIPM dans ce domaine est reconnu et la Section affirme à nouveau la nécessité d'engager au moins une personne supplémentaire à titre permanent.

M. Rogers propose d'effectuer une comparaison du CCRI sur la dissémination des étalons de kerma dans l'air dans des faisceaux de rayons x aux énergies basse et moyenne, par les laboratoires d'étalonnages primaires. M. Allisy souligne la nécessité de faire la distinction entre les degrés d'équivalence entre les étalons primaires et les degrés d'équivalence entre laboratoires pour les aptitudes en matière d'étalonnages. La comparaison proposée par M. Rogers est retenue comme éventuelle comparaison clé : les qualités de faisceaux du BIPM et du CCRI seraient utilisés, et on ferait circuler une chambre d'ionisation pour les mesures. La Section I demande avec insistance au CCRI d'entreprendre une telle comparaison.

M. Burns présente les résultats de calculs approfondis, par la méthode de Monte Carlo, appliqués aux facteurs de correction pour les chambres à paroi d'air utilisées comme étalons primaires au BIPM et dans les laboratoires nationaux de métrologie pour le kerma dans l'air dans des faisceaux de rayons x. Les résultats, résumés dans les documents CCRI(I)/01-32 et -36 (révisé), donnent les corrections pour la perte des électrons, la diffusion des photons, l'absorption de fluorescence, et l'absorption du rayonnement de freinage, valables pour les chambres des laboratoires nationaux de métrologie aux qualités de faisceaux de référence du CCRI. Les deux dernières corrections sont nouvelles et rendent compte du courant d'ionisation produit, respectivement, par l'absorption des photons de fluorescence émis après absorption photoélectrique et par l'absorption de photons de freinage produits par les électrons secondaires. Ces deux contributions doivent être soustraites lors de la réalisation du kerma dans l'air ; la première pourrait avoir une incidence importante (de 0,2 % à 0,5 %) pour les faisceaux de rayons x aux basses énergies, quant à la seconde, elle a une incidence très faible (moins que 0,015%). Il est décidé que le BIPM appliquera ces nouveaux résultats à ses propres étalons avant la publication des résultats dans l'annexe B et que les laboratoires nationaux de métrologie

notifieront leurs résultats à la Section I du CCRI, par l'intermédiaire du BIPM, quand ils auront appliqué des corrections similaires à leurs étalons.

#### 3.2.4 Comparaison clé de dose absorbée dans le $^{60}\text{Co}$ (CCRI(I)-K4)

Mme Allisy-Roberts présente l'état d'avancement de la comparaison sur la dissémination des étalons de dose absorbée dans l'eau dans le  $^{60}\text{Co}$  qui a été approuvée lors de la seizième session du CCRI. Il est souligné que c'est la première comparaison clé de la Section I du CCRI. La comparaison CCRI(I)-K4, effectuée de manière différente de la comparaison clé BIPM.RI(I)-K4, a pour but de montrer comment s'accordent les étalonnages de dose absorbée effectués par les laboratoires d'étalonnage primaires utilisant des procédures d'étalonnage de routine. Cette comparaison repose sur l'étalonnage de trois chambres étalons d'ionisation de transfert (NE 2571, NE 2611A et ND 1006) transportées à la main vers chaque laboratoire participant. Des mesures ont été effectuées dans les laboratoires suivants : l'ARPANSA, le BEV, le BNM, l'ENEA, le NIST, le NPL, le NRC, la PTB, ainsi qu'au BIPM avant et après chaque mesure dans chaque laboratoire national afin de vérifier la cohérence des mesures de chaque chambre. Les premiers résultats font apparaître en général les mêmes différences que celles déterminées dans les comparaisons d'étalons, c'est-à-dire que, si l'on tient compte des degrés d'équivalence, les rapports entre les étalonnages sont très proches de un. Il est prévu de terminer les dernières mesures au BIPM en juin 2001, de faire circuler d'abord un projet de rapport aux participants en juillet, puis un rapport corrigé soumis à l'approbation des membres de la Section I du CCRI en septembre, et – s'il est approuvé – d'inclure les résultats dans l'annexe B en octobre.

Les actions suivantes sont approuvées en ce qui concerne cette comparaison : Les résultats ne seront donnés qu'en valeurs relatives pour pouvoir continuer à utiliser les chambres et étendre la comparaison à d'autres laboratoires. Le NMi participera à la comparaison sans que cela n'entraîne de changement notable au programme prévu. Sur la recommandation de M. Rogers, il est décidé que les résultats seront publiés dans *Physics in Medicine and Biology*, ce journal ayant déjà publié un rapport sur les différences significatives observées entre les facteurs d'étalonnage des chambres d'un certain nombre de laboratoires d'étalonnage.

### 3.2.5 Comparaison de dose absorbée dans le $^{60}\text{Co}$ (CCRI(I)-S1)

La discussion sur l'état d'avancement de la comparaison supplémentaire de dose absorbée dans l'eau dans des faisceaux de rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$  aux niveaux de dose utilisés dans l'industrie (CCRI(I)-S1) indique que le rapport n'a pas encore été rédigé. M. Seltzer fait référence au document CCRI(I)/01-16, et souligne que le NIST a terminé le ré-étalonnage complet de ses faisceaux de référence aux doses élevées, ce qui a pour résultat une réduction de 1,8 % de la dose absorbée dans l'eau par le « GammaCell 220-232 » du NIST en utilisant des fioles à l'alanine ; cette réduction est effective depuis le 31 mars 2000. Cela élimine la divergence entre le NIST et le NPL, les deux laboratoires qui produisent des dosimètres de transfert, pour lesquels on avait constaté (CCRI(I)/99-17) que la valeur moyenne du rapport entre  $D_{w,\text{NIST}}$  et  $D_{w,\text{NPL}}$  était de 1,015. Il est décidé que le rapport sera rédigé et soumis pour publication à *Radiation Physics and Chemistry*. Il sera fondé sur les résultats originels de la comparaison, et inclura une note sur le nouvel étalonnage du NIST.

## 3.3 Comparaison clé de kerma dans l'air dans le $^{60}\text{Co}$

Bien que faisant l'objet d'une comparaison clé, ce sujet est examiné à un point séparé de l'ordre du jour, compte tenu de son intérêt à long terme relatif aux corrections de parois à apporter aux chambres d'ionisation à cavité à paroi en graphite de type Bragg-Gray utilisées comme étalons primaires.

### 3.3.1 Estimations de $k_{\text{att}}$ , $k_{\text{sc}}$ , $k_{\text{CEP}}$ et de leurs incertitudes

M. Aalbers, président du Groupe de travail sur les calculs de Monte Carlo appliqués aux facteurs de correction pour les étalons de kerma dans l'air dans le  $^{60}\text{Co}$ , établi lors de la dernière réunion, résume l'état d'avancement de cette nouvelle activité (CCRI(I)/01-38). MM. Kramer et Csete présentent les récentes comparaisons directes des étalons primaires de la PTB et de l'OMH (CCRI(I)/01-17), dont les résultats sont en accord satisfaisant, si l'on utilise des corrections pour les parois fondées sur les calculs de Monte Carlo utilisant le code EGSnrc. En particulier, les études expérimentales réalisées par ces deux laboratoires sur les corrections pour les parois, calculées et extrapolées (CCRI(I)/01-18), montrent clairement que les corrections calculées donnent quatre chambres à cavité de configuration et d'orientation différentes en accord satisfaisant, alors que les corrections extrapolées de manière traditionnelle conduisent à des résultats très différents. L'OMH a déjà déclaré qu'il dissémine une nouvelle valeur pour son étalon

(CCRI(I)/01-03), et la PTB ne devrait pas tarder à en faire autant, à une date à déterminer, probablement le 1<sup>er</sup> janvier 2002.

M. Rogers attire l'attention sur les documents CCRI(I)/01-25 et -39. Ceux-ci indiquent que les résultats obtenus par la méthode de Monte Carlo, en ce qui concerne la correction pour les parois, sont peu sensibles à la fois aux algorithmes appliqués au transport des électrons et aux spectres supposés des photons incidents. M. Seltzer fait référence au document CCRI(I)/01-33, qui décrit les calculs de Monte Carlo appliqués aux chambres du NIST utilisant le code « Integrated Tiger Series » ; les résultats préliminaires sont pour l'essentiel en accord avec ceux obtenus avec le code EGS par M. Rogers et ses collègues du NRC.

En l'absence de M. Laitano, Mme Allisy-Roberts attire l'attention sur le document CCRI(I)/01-30 (révisé). Ce rapport décrit les diverses activités de l'ENEA : expériences, calculs analytiques et calculs par la méthode de Monte Carlo pour déterminer les corrections pour les parois. Il en résulte que l'Italie appliquera les corrections de Monte Carlo fondées sur la méthode de calcul EGSnrc (CCRI(I)/01-40). Le BIPM présente un programme de travail fondé sur les calculs de Monte Carlo par les codes EGSnrc et PENELOPE, comparés à des mesures expérimentales. Quand il sera terminé, ce travail sur les corrections pour les parois et pour le manque d'uniformité des faisceaux servira à établir les nouveaux facteurs de correction pour les étalons du BIPM, avec l'approbation du CCRI.

### 3.3.2 Autres corrections calculées par la méthode de Monte Carlo

La discussion sur les calculs de Monte Carlo appliqués à d'autres corrections porte notamment sur la déclaration de M. Rogers (faisant référence au document CCRI(I)/01-23) selon laquelle les calculs de  $\bar{g}$ , la fraction de l'énergie cinétique des électrons secondaires perdue par rayonnement, s'accordent pour l'essentiel avec ceux obtenus par M. Seltzer en 1993 si l'on inclut des pertes d'énergie. Les valeurs du  $^{60}\text{Co}$  sont plus élevées de 2 % à 3 % que celles de Mme Boutillon de 1985 couramment utilisées, qui avaient été obtenues par l'approximation du ralentissement continu. Cependant, comme c'est  $1 - \bar{g}$  qui nous intéresse, et que  $\bar{g}$  a une valeur d'environ 0,003, l'effet sur les étalons de kerma dans l'air est négligeable. M. Takata présente les résultats (CCRI(I)/01-31) de la détermination de  $1 - \bar{g}$  par le NMII ayant pour but de faciliter le passage des étalons d'exposition aux étalons de kerma dans l'air au Japon, et les calculs sur l'ionisation résultant de l'accélération et de la décélération des électrons dans le champ électrique

des chambres à paroi d'air. Les résultats indiquent des effets assez faibles, en particulier pour les chambres à plaques parallèles.

### 3.3.3 De l'usage cohérent des incertitudes de $W/e$ et des rapports entre les pouvoirs d'arrêt

Au sujet de  $W/e$  et des rapports entre les pouvoirs d'arrêt, M. Rogers réitère sa préoccupation quant à l'exactitude des valeurs des pouvoirs d'arrêt adoptées pour les électrons et mentionnées dans le rapport 37 de l'ICRU, en particulier pour le graphite, pour lequel il existe une détermination expérimentale plus récente de l'énergie d'excitation moyenne. Au cours de la discussion, la Section I recommande que l'ICRU fasse appel à des experts pour ré-évaluer les pouvoirs d'arrêt des électrons, en particulier pour le graphite et pour l'eau. M. Seltzer et M. Allisy présenteront cette demande à l'ICRU. Mme Allisy-Roberts rappelle la décision prise lors de la quatorzième réunion de la Section I du CCRI d'appliquer l'incertitude habituelle lorsqu'on utilise le produit de  $W/e$  et des rapports entre les pouvoirs d'arrêt du graphite et de l'air, et d'appliquer une incertitude plus élevée lorsqu'on utilise  $W/e$  seul.

### 3.3.4 Progrès du rapport sur la comparaison clé BIPM.RI(I)-K1

Mme Allisy-Roberts résume l'état d'avancement de la comparaison clé d'étalons de kerma dans l'air dans des faisceaux de rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$  (BIPM.RI(I)-K1). Cette comparaison est susceptible de subir les effets du changement, dans les laboratoires nationaux de métrologie, des corrections appliquées aux parois et des incertitudes sur  $W/e$  et sur les rapports entre les pouvoirs d'arrêt. Il est décidé que chaque laboratoire national de métrologie informera le BIPM des changements apportés à ses étalons et aux incertitudes, afin de mettre à jour la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. M. Aalbers et Mme Allisy-Roberts acceptent de préparer un rapport résumant les corrections de paroi et les incertitudes de  $W/e$  et des rapports entre les pouvoirs d'arrêt, rapport qu'ils feront circuler parmi les membres de la Section I du CCRI et les participants à la comparaison clé.

## 3.4 Comparaisons régionales en cours et à venir

La comparaison clé APMP.RI(I)-K3 de kerma dans l'air de 100 kV à 250 kV dans des faisceaux de rayons x est en cours. M. Takata dit que trois pays ont



terminé leurs mesures, et un quatrième devrait les terminer en octobre 2001 ; il est prévu de terminer le rapport au printemps 2002. Toutes les mesures de la comparaison clé APMP.RI(I)-K4 de dose absorbée dans l'eau dans des faisceaux de rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$  sont terminées. M. Webb indique que le rapport a été envoyé à l'APMP pour examen. La base de données du BIPM sur les comparaisons clés ne contient pas de comparaisons de l'EUROMET. M. Aalbers dit qu'il n'a connaissance d'aucune proposition pour le moment, mais une comparaison européenne de kerma dans l'air dans des faisceaux de rayons x en mammographie est en cours qui pourrait, peut-être, devenir une comparaison supplémentaire. M. Rogers dit qu'une comparaison du SIM de kerma dans l'air et de dose absorbée dans l'eau dans des faisceaux de rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ , coordonnée par M. Shortt au NRC, est en cours, avec la participation de l'AIEA, du CNEA (Argentine), de l'ININ (Mexique), du LNMRI/IRD, du NIST, du NRC et du Venezuela. Il est conseillé d'obtenir au préalable l'accord de la Section I du CCRI sur les protocoles des comparaisons régionales afin d'éviter d'éventuelles discussions ultérieures. M. Sharpe suggère que des voies de communication officielles soient établies avec les organisations régionales de métrologie, et la Section I recommande que le CCRI demande aux coordinateurs régionaux de lui envoyer leur rapport.

#### **4 PROGRAMME DE TRAVAIL DU BIPM**

Mme Allisy-Roberts et M. Burns présentent les travaux de renouvellement et de mise à niveau des équipements pour la dosimétrie au BIPM, y compris la réparation des bâtiments et les travaux de décoration qui ont suivi, après les dommages subis lors de la tempête, ainsi que de l'installation de nouveaux systèmes de conditionnement d'air dans tous les laboratoires. Ces derniers ont permis le contrôle de l'humidité relative dans les laboratoires de mesure à  $(50 \pm 1) \%$  près, celui de la température de l'air à  $\pm 50 \text{ mK}$  près et celui de la température de l'eau à  $\pm 10 \text{ mK}$  près. De plus, tous les systèmes de contrôle et d'acquisition des données sont maintenant pilotés par ordinateur.

#### 4.1 Faisceaux de kerma dans l'air

M. Burns dit que les travaux de mise à niveau des équipements pour les rayons x aux basses énergies sont terminés ; ils comprennent un nouveau générateur à haute tension, un nouveau tube à rayons x, et un nouveau système d'acquisition et de contrôle des données (*voir* document CCRI(I)/01-7). La mise en conformité et la caractérisation des qualités de faisceaux aux basses énergies sont terminées. Les nouvelles mesures devraient s'accorder à celles des comparaisons précédentes dans les limites de l'incertitude de mesure du BIPM (sauf pour le faisceau à 10 kV, pour lequel l'amélioration des corrections pour l'atténuation de l'air pourrait entraîner un changement de 0,1 % pour la valeur extrême de la pression de l'air). Quand les nouveaux voltmètres seront construits, nous procéderons aux essais des équipements du BIPM pour les rayons x aux énergies moyennes dont les générateurs à haute tension ont été remplacés. Mme Allisy-Roberts explique que la source de  $^{60}\text{Co}$  aux niveaux utilisés en radioprotection a été déplacée pour libérer de l'espace pour la nouvelle source aux niveaux thérapeutiques ; elle sera soumise à des essais de fonctionnement, et les équipements pour le  $^{137}\text{Cs}$ , endommagés pendant les travaux de décoration, ont été réparés de manière satisfaisante.

La Section I n'est pas parvenue à un accord au sujet de l'implantation des qualités de faisceaux de l'ISO pour les rayons x au BIPM, les qualités de faisceaux de la CEI étant peut-être de plus grand intérêt. La discussion sur l'adjonction éventuelle de qualités de faisceaux pour les rayons x en mammographie au BIPM, faisceaux utilisant des tubes à anode en molybdène et/ou en rhodium, a suscité des commentaires majoritairement positifs indiquant leur importance et l'implantation de plus en plus large des étalons correspondants dans les laboratoires nationaux de métrologie, et de laboratoires d'étalonnage dans ce domaine.

#### 4.2 Installation de la nouvelle source de cobalt

Mme Allisy-Roberts dit que le BIPM a fini d'installer la nouvelle source de  $^{60}\text{Co}$  à 250 TBq et son caisson. Les écrans de protection contre le rayonnement ont été améliorés et des systèmes de sécurité, en particulier des barrières, ont été installés. Le banc d'exposition et le système de positionnement sont en cours d'installation. Il sera nécessaire de déterminer les facteurs de correction, de manière expérimentale et par la méthode de calcul de Monte Carlo, pour la nouvelle source.

#### **4.3 Mise au point d'un nouveau calorimètre en graphite**

Mme Allisy-Roberts souligne que le BIPM met au point un nouveau calorimètre en graphite et suggère que ces travaux pourraient avoir bien progressé à l'époque de la prochaine réunion.

### **5 MISE AU POINT DES ÉTALONS NATIONAUX DE DOSIMÉTRIE PHOTONIQUE**

#### **5.1 Diagnostic radiologique**

Les qualités de faisceaux de rayons x pour le diagnostic peuvent être différentes de celles établies par les laboratoires d'étalonnage primaires et aussi de celles de l'ISO, qui concernent la dosimétrie pour la radioprotection. M. Aalbers fait référence au document CCRI(I)/01-34, qui résume les comparaisons d'étalons de kerma dans l'air aux qualités de faisceaux de rayons x pour le diagnostic radiologique, effectuées dans le cadre du projet 364 de l'EUROMET. Les participants comprennent le BIPM, l'ENEA, le NMi et le NPL, qui ont établi des qualités de faisceaux conformément à la norme 1267 de la CEI, ainsi que le BEV et la PTB qui disposent de qualités de faisceaux de rayons x pour le diagnostic radiologique. M. Kramer souligne que la PTB applique les qualités de faisceaux recommandées par la CEI. M. Webb indique que l'ARPANSA envisage de calculer par interpolation la couche de demi-atténuation pour réduire le nombre de qualités de faisceaux conservés : une telle procédure devrait s'appliquer aux étalonnages de qualités de faisceaux de rayons x pour le diagnostic radiologique. Il mentionne que l'étalon de la CEI est en cours d'examen. M. Duane dit que le NPL appliquera toutes les nouvelles qualités de faisceaux de la CEI.

#### **5.2 Mammographie**

Le BNM, le NIST, le NMi, le NPL et la PTB possèdent des étalons primaires pour la mesure du kerma dans l'air dans des faisceaux de rayons x utilisés en mammographie. En réponse à une demande d'aide du BIPM, Mme Allisy-Roberts suggère que le BIPM pourrait débiter un programme de deux ans sur les faisceaux utilisés en mammographie en engageant un chercheur associé.

M. Rogers propose, si ce programme donne de bons résultats, que le BIPM s'investisse à plus long terme dans ce domaine. M. Witzani mentionne que le projet 01-10 de l'EUROMET a pour but de comparer la réponse de différents détecteurs pour les spectres produits par des tubes en molybdène pur avec la réponse à d'autres qualités. Il est suggéré que les autres laboratoires nationaux de métrologie attendent de voir les résultats de ce projet avant de mettre en place des équipements d'étalonnage spécifiques.

### 5.3 Curiethérapie

M. Kramer décrit la mise en œuvre à la PTB de deux chambres à extrapolation destinées à servir d'étalons de dose absorbée dans l'eau dans des sources de rayonnement bêta (CCRI(I)/01-20). La première, pour des champs de section de 1 cm<sup>2</sup> obtenus à partir de sources étendues, devrait être mise en service en 2001. La seconde est constituée d'électrodes multiples de taille très petite (1 mm × 1 mm) espacées de 2 µm seulement, et devrait être utilisée avec des sources délivrant des chaînes de grains pour la curiethérapie intravasculaire.

Faisant référence au document CCRI(I)/01-35, M. Aalbers indique que le NMi met au point une chambre d'extrapolation avec des électrodes collectrices de petites surfaces afin de servir d'étalon primaire pour des sources bêta thérapeutiques.

M. Seltzer attire l'attention sur le document CCRI(I)/01-15 qui décrit l'étalon du NIST de dose absorbée dans l'eau, pour des sources bêta de curiethérapie et l'étalon primaire du NIST pour les sources de curiethérapie émettrices de photons aux basses énergies (<sup>125</sup>I et <sup>103</sup>Pd), et fournit la liste des grains utiles au traitement de la prostate ainsi que les sources intravasculaires qui sont traçables aux étalons du NIST.

M. Rogers souligne que le document CCRI(I)/01-23 fait référence à un article du NRC publié récemment qui établit la validité de la théorie de la cavité de Spencer-Attix à 0,6 % près, et donc l'utilisation de chambres à cavité en graphite pour la mesure absolue du kerma dans l'air pour les sources d'<sup>192</sup>Ir.

### 5.4 Radioprotection

M. Meghzifene suggère que la traçabilité aux étalons primaires de la mesure des grandeurs en radioprotection n'est pas aussi bien établie que celle de la mesure des grandeurs en dosimétrie à des niveaux thérapeutiques. M. Rogers

dit qu'au Canada, seul le kerma dans l'air est traçable au NRC. M. Kramer suggère que si les instruments commerciaux sont réellement traçables aux étalons primaires des laboratoires nationaux de métrologie, alors les étalonnages fournis par leurs fabricants devraient être acceptables. Mme Allisy-Roberts dit que le BIPM réalise des comparaisons d'équivalent de dose ambiant et des étalonnages dans les faisceaux de rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$  et du  $^{137}\text{Cs}$  pour les laboratoires nationaux de métrologie.

### **5.5 Rayonnements utilisés dans l'industrie**

M. Sharpe souligne que la dosimétrie à l'alanine par résonance paramagnétique électronique a beaucoup progressé et s'applique maintenant aussi à des niveaux de dose thérapeutiques. M. Webb dit que l'ARPANSA est en voie de rétablir son service de dosimétrie à l'alanine par résonance paramagnétique électronique, lequel sera utilisé aussi à des niveaux thérapeutiques (CCRI(I)/01-22). M. Seltzer mentionne le programme « e-Calibration » du NIST ; il s'agit d'un service de mesure à distance, utilisant le Web, de dosimètres à l'alanine fonctionnant par résonance paramagnétique électronique. M. Allisy commente qu'il s'agit vraiment de mesures de haut niveau d'assurance de qualité, mais qu'elles ne peuvent pas être considérées comme des étalonnages indépendants. M. Sharpe ajoute qu'il serait nécessaire de discuter de certains aspects de l'assurance de qualité quand on procède à des mesures de dosimétrie à distance.

## **6 MISE AU POINT D'ÉTALONS NATIONAUX POUR LA DOSIMÉTRIE DES PARTICULES CHARGÉES**

### **6.1 Faisceaux d'électrons**

M. Rogers, faisant référence au document CCRI(I)/01-23, fait part de la mise au point au NRC de la calorimétrie dans l'eau pour des faisceaux d'électrons. M. Duane souligne (CCRI(I)/01-21) que l'étalon de dose absorbée dans l'eau dans des faisceaux d'électrons du NPL est un calorimètre en graphite. M. Stucki indique que le METAS utilise la méthode d'absorption totale dans une solution de Fricke pour son étalon de mesure, qui, espère-t-il, sera prêt avant la fin de l'année 2001. Le BNM utilise des calorimètres en graphite et

la solution de Fricke pour étudier la valeur de « G » des électrons aux hautes énergies. M. Sharpe commente qu'un certain nombre de laboratoires nationaux travaillent maintenant sur la dosimétrie des faisceaux d'électrons, et il se demande si le BIPM ne pourrait pas jouer le rôle de coordinateur des comparaisons. Mme Allisy-Roberts répond par l'affirmative et suggère que cette question soit étudiée lors de la prochaine réunion, tout en gardant à l'esprit la priorité accordée aux comparaisons en dosimétrie des faisceaux de photons.

## **6.2 Rayonnement bêta**

Ce point ne fait l'objet d'aucune discussion, car il est largement traité à d'autres points de l'ordre du jour.

## **6.3 Faisceaux de protons**

M. Aalbers indique que le NMI effectue des études très limitées en dosimétrie au moyen d'un calorimètre à eau, et M. Burns dit que la Belgique mesure aussi des faisceaux de protons avec un calorimètre à eau. L'ENEA effectue un travail considérable en dosimétrie des faisceaux de protons, et M. Simpson mentionne le programme à long terme sur les faisceaux de protons mis en œuvre au National Accelerator Centre en Afrique du Sud.

## **6.4 Rayonnements divers**

M. Burns fait référence à la radiothérapie par ions lourds et au programme de dosimétrie qui la soutient au Japon, ainsi qu'à l'inclusion de la dosimétrie des ions lourds dans le nouveau Code de pratique de l'AIEA.

# **7 APTITUDES EN MATIÈRE DE MESURES ET D'ÉTALONNAGES**

## **7.1 Dissémination des facteurs d'étalonnage $N_{D,w}$ et $N_K$**

Mme Allisy-Roberts rappelle aux participants qu'il avait été décidé lors de la précédente réunion que tous les laboratoires nationaux de métrologie présenteraient à la présente réunion leurs mesures de  $N_{D,w}/N_K$  ainsi que le

nombre et le type de chambres utilisées pour ces mesures. Un seul laboratoire a fourni ses résultats. Il est décidé de poursuivre la collecte des résultats des mesures de  $N_{D,w}/N_K$  jusqu'à la prochaine réunion ; M. Rogers coordonnera la collecte. Un certain nombre de participants soulignent que tous les laboratoires nationaux de métrologie n'effectuent pas ces deux types d'étalonnage pour les chambres qui leur sont soumises ; certains font seulement ce qui leur est demandé et d'autres disséminent seulement un de ces deux types de facteur d'étalonnage.

Après de brefs commentaires des participants sur le fait que certains pays n'ont pas de protocole pour  $N_{D,w}$  et que d'autres, qui ont de tels protocoles, sont assez confus quant au point à mesurer, M. Rogers attire l'attention sur la controverse relative à la spécification de la qualité de faisceaux pour les faisceaux de photons aux hautes énergies. L'Amérique du Nord a opté pour l'emploi du %dd(10) alors que la plupart des autres protocoles sont fondés sur le TPR<sub>20,10</sub>. Faisant référence aux travaux décrits dans le document CCRI(I)/01-26, M. Rogers conclut que les rapports entre les pouvoirs d'arrêt de l'eau et de l'air dans des faisceaux cliniques forment une courbe, en fonction du TPR<sub>20,10</sub>, qui peut être distincte de celle formée par les faisceaux non destinés à des usages cliniques. Par contre, le %dd(10) produit des résultats cohérents pour tous les faisceaux, y compris les faisceaux non destinés à des usages cliniques qui sont utilisés par quelques laboratoires nationaux de métrologie.

## **7.2 Soumission des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages dans l'annexe C du MRA**

Mme Allisy-Roberts et M. Meghzifene mentionnent les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages soumises par l'AIEA à l'annexe C (CCRI(I)/01-29). L'AIEA n'est pas membre d'une organisation régionale de métrologie mais elle a des compétences globales et aide les laboratoires secondaires de dosimétrie de chaque organisation régionale de métrologie. M. Sharpe souligne que la Section I du CCRI ne peut pas approuver les aptitudes soumises, mais qu'elle peut les examiner avant de les envoyer au JCRB pour approbation. Il est décidé que les examinateurs de la Section I du CCRI seraient le BIPM, le NIST et la PTB, laboratoires auxquels les étalons de l'AIEA sont traçables, et que l'examen devrait être achevé d'ici deux mois, les commentaires étant transmis à l'AIEA. M. Kramer accepte de coordonner les réponses, parce qu'il est habitué à la procédure d'examen de l'EUROMET.

Mme Allisy-Roberts attire l'attention sur la déclaration que le JCRB propose de faire figurer sur les certificats établis conformément aux directives du MRA du CIPM : « Ce certificat a été établi conformément à l'arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA) rédigé par le Comité international des poids et mesures (CIPM). Les laboratoires participants reconnaissent, à titre réciproque, la validité des certificats d'étalonnage et de mesurage émis par les autres laboratoires participants, pour les grandeurs, les domaines de mesure et les incertitudes inclus dans l'annexe C du MRA. » (pour plus d'informations, voir le site [www.bipm.org](http://www.bipm.org)). »

### 7.3 Comparaisons supplémentaires

Les comparaisons supplémentaires ont déjà été discutées à d'autres points de l'ordre du jour. Un formulaire de demande de rapport sera envoyé aux membres et aux coordinateurs des organisations régionales de métrologie pour qu'ils puissent communiquer des informations sur d'autres comparaisons qui pourraient être mentionnées dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

## 8 RAPPORTS DES LABORATOIRES MEMBRES

Les représentants des laboratoires membres présentent brièvement le rapport écrit décrivant les activités dans leur laboratoire. Quelques informations complémentaires sont indiquées ci-dessous.

- ARPANSA (CCRI(I)/01-22) : M. Webb souligne les efforts effectués par l'ARPANSA pour résoudre une différence observée entre les chambres à paroi d'air pour les rayons x aux énergies basse et moyenne, et comprendre le rôle joué par les nouveaux facteurs de correction calculés par M. Burns.
- BEV (CCRI(I)/01-10) : M. Witzani attire l'attention sur la participation du BEV à la comparaison d'étalonnage de dosimètres dans des faisceaux de rayons x en mammographie de l'EUROMET, et sur les comparaisons inter-laboratoires d'étalonnages pour la radioprotection en termes d'équivalent de dose ambiant  $H_p(10)$ .



- BNM (CCRI(I)/01-5) : M. Chauvenet mentionne le changement de statut du BNM-LCIE, et dit qu'en conséquence les étalons pour les rayons x aux énergies basse et moyenne seront transférés au BNM-LNHB. Du point de vue scientifique, il décrit les projets suivants : la mise au point d'un calorimètre à eau à une température de 4 °C, la caractérisation de l'accélérateur linéaire, les étalons pour la dosimétrie de l'<sup>192</sup>Ir, et les étalonnages d'équivalent de dose ambiant.
- GUM : M. Merta dit que son laboratoire n'a pas été très actif pendant la période 1999-2001 en raison d'une réduction du budget et du personnel. Le GUM a fait l'acquisition d'une nouvelle source de rayons x Pantek à 160 kV et espère que la situation s'améliorera à l'avenir.
- NIM : M. Tian Zhongqing note qu'il n'a pas grand chose à dire au sujet des activités des deux dernières années. Le NIM a fait l'acquisition d'une nouvelle source de <sup>60</sup>Co à 740 TBq (20 kCi), et il envisage de reconstruire une chambre à paroi d'air pour un faisceau de rayons x aux basses énergies et un calorimètre en graphite. Le NIM est intéressé par la dosimétrie des faisceaux étroits de photons utilisés en tomographie assistée par ordinateur et en GammaKnife. La Chine passera de la grandeur « exposition » au « kerma dans l'air » d'ici deux ou trois ans.
- NIST (CCRI(I)/01-13) : M. Seltzer présente la nouvelle source de <sup>60</sup>Co, un nouveau calorimètre à eau construit sous contrat, et un nouveau projet de dosimétrie de l'émail dentaire utilisé suite à des accidents radiologiques, utilisant la résonance paramagnétique électronique. Il mentionne aussi des travaux en cours sur des calculs fondamentaux de la dispersion élastique et de Compton afin d'obtenir une série de résultats cohérents.
- NMi (CCRI(I)/01-35) : M. Aalbers présente la mise au point du prototype de calorimètre à eau de type Domen, et d'une chambre d'extrapolation équipée d'électrodes collectrices de 1 mm et 4 mm de diamètre, espacées de 0,06 mm, pour les mesures en dosimétrie de sources de rayonnement bêta thérapeutiques.
- NMIJ (CCRI(I)/01-31) : M. Takata mentionne le changement d'organisation de son laboratoire (l'ETL fait maintenant partie du NMIJ, qui lui-même fait partie de l'AIST). La contribution scientifique de ce laboratoire indique que les corrections calculées pour les parois sont cohérentes avec la réponse expérimentale de la chambre étalon en graphite cylindrique dans les faisceaux de <sup>60</sup>Co mais pas dans le <sup>137</sup>Cs.

- NPL (CCRI(I)/01-21) : M. Duane indique que le déménagement dans de nouveaux laboratoires devrait s'achever à la fin de l'année 2001. Le NPL met au point un calorimètre à eau, ainsi qu'un calorimètre portable en graphite destiné à être utilisé comme étalon de transfert, et il ré-évalue les corrections calculées pour les parois des chambres à cavité en graphite.
- NRC (CCRI(I)/01-23, -24, -27 et -28) : M. Rogers attire l'attention sur les activités du NRC qui montrent la nécessité de pré-conditionner la chambre NE 2571. Il mentionne aussi les calculs des lignes de champ électrique dans une chambre à paroi d'air, et les nouveaux calculs de déperdition de chaleur dans l'eau.
- OMH (CCRI(I)/01-3 et -6) : M. Csete dit qu'en dépit de réduction de personnel et de la nécessité de disposer de nouveaux laboratoires, il espère obtenir une nouvelle source de cobalt et entreprendre une nouvelle comparaison clé.
- PTB (CCRI(I)/01-19 et -20) : M. Kramer présente la mise au point d'un calorimètre à « eau scellée » de type Domen, fonctionnant à une température de 4 °C, comme étalon primaire de dose absorbée dans des faisceaux de photons. Le problème des facteurs de remplacement lors du transfert des mesures obtenues avec les chambres d'extrapolation en graphite à celles de dose absorbée dans l'eau dans un fantôme a été en grande partie résolu.
- VNIIM (CCRI(I)/01-2) : Mme Fedina présente les travaux au VNIIM sur les rayons x mous et aux moyennes énergies, et sur l'utilisation de la spectrométrie.

## **9 RAPPORTS DES MEMBRES ET DES OBSERVATEURS INTERNATIONAUX**

### **9.1 ICRU**

M. Allisy présente les activités en cours à l'ICRU. Le rapport 64 de l'ICRU intitulé « Dosimetry of High-Energy Photon Beams Based on Standards of Absorbed Dose to Water » est chez l'imprimeur. L'ICRU a établi un accord avec Nuclear Technology Publishing pour qu'il publie la série de rapports de

l'ICRU. Les rapports des autres comités de rédaction, qui produisent des documents intéressants pour la Section I du CCRI, concernent les systèmes en dosimétrie pour les rayonnements utilisés dans l'industrie et la dosimétrie des rayonnements bêta et des photons aux basses énergies pour la curiethérapie dans des sources scellées (Dosimetry Systems for Radiation Processing and on Dosimetry of Beta Rays and Low-Energy Photons for Brachytherapy with Sealed Sources). M. Allisy rappelle aux participants qu'il a travaillé quarante-trois ans pour l'ICRU et qu'il cessera d'en être le représentant. M. Sharpe exprime les remerciements de la Section I du CCRI à M. Allisy pour sa contribution au CCRI et à l'ICRU. M. Rogers ajoute que les contributions de M. Allisy au domaine de la dosimétrie et au rôle joué par le BIPM sont considérables. Ces sentiments sont partagés par les participants.

## **9.2 AIEA**

M. Meghzifene présente le rapport de l'AIEA (CCRI(I)/01-8). Il mentionne quelques points particulièrement intéressants pour la Section, comme par exemple : la publication du nouveau Code de pratique TRS-398 ; le nouveau service d'étalonnage en mammographie dans des faisceaux de rayons x ; la mise au point d'un nouveau code de pratique pour la dosimétrie des rayons x pour le diagnostic radiologique ; la réduction des efforts portés sur le service de dosimétrie pour les rayonnements utilisés dans l'industrie ; les projets de nouvelles activités de mesures en médecine nucléaire ; les projets d'extension des activités consacrées aux grandeurs utilisées en radioprotection ; et l'International Symposium on Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry, qui doit se dérouler du 25 au 28 novembre 2002.

## **9.3 IOMP et IRPA**

L'IOMP et l'IRPA n'ont pas envoyé de représentant ni soumis de rapport écrit. Il est suggéré de contacter ces organisations pour établir une liaison officielle avec la Section I du CCRI, plutôt que d'inviter leur président aux réunions comme cela a été fait jusqu'alors.

## **10 PUBLICATIONS**

### **10.1 Bibliographies des laboratoires nationaux de métrologie**

L'attention des participants est attirée sur le serveur Internet du BIPM qui donne accès aux publications des laboratoires nationaux de métrologie pour les deux dernières années. Les participants sont priés de tenir leurs listes de publications à jour et de les soumettre sous forme électronique au BIPM.

### **10.2 Pages Web de la Section I du CCRI**

Les nouvelles procédures relatives à la présentation sous forme électronique des documents de travail, accessibles sur les pages réservées à la Section I du CCRI sur le serveur du BIPM, en accès restreint pour les délégués, sont rappelées aux participants. Tout changement apporté aux documents de travail présentés à la quinzième session de la Section I du CCRI doit être effectué avant le 15 juin 2001.

## **11 COMPOSITION FUTURE**

Les demandes de participation des laboratoires nationaux de métrologie au CCRI en qualité de membre doivent être soumises au directeur du BIPM ou au président du CIPM. Pour pouvoir être membre du CCRI, un laboratoire national de métrologie doit être dépositaire d'étalons nationaux de mesure, même si ce n'est pas un laboratoire maintenant des étalons primaires, et satisfaire aux critères déterminés par le CIPM. Il est suggéré que le Swedish Radiation Protection Institute pourrait devenir observateur du CCRI, car il ne remplit plus les critères pour en être membre, et il serait peut-être approprié d'inviter le METAS et le STUK à poser leur candidature pour en être membre.

## **12 TENDANCES ET BESOINS FUTURS EN MÉTROLOGIE DES RAYONNEMENTS IONISANTS : RECOMMANDATIONS AU CCRI, AU CIPM ET À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE**

M. Moscati présente brièvement le rapport du CIPM sur les besoins à long terme en métrologie. Il souligne que de nombreuses tâches décrites dans le rapport de 1998 ont été réalisées. La manière dont les laboratoires nationaux de métrologie et le BIPM travailleront à l'avenir va changer considérablement, et les progrès et avancées techniques affecteront la métrologie internationale, par exemple en s'ouvrant aux domaines de la chimie et des biotechnologies. Ces changements doivent refléter les besoins de la société, supprimer les barrières techniques au commerce, protéger l'environnement et prendre en compte la santé et la sécurité humaine, domaines qui font appel à des mesures plus fiables, exactes, traçables et comparables. Il attire l'attention sur un questionnaire envoyé à tous les laboratoires nationaux de métrologie sur les besoins nationaux et internationaux dans le domaine de la métrologie, demandant de faire des suggestions quant aux changements qu'il serait souhaitable d'introduire au long terme dans le domaine de la métrologie internationale. Ces suggestions sont nécessaires pour préparer le projet de rapport qui sera discuté lors de la session d'octobre 2001 du CIPM et qui sera ensuite présenté à la Conférence générale en 2003, aussi tous les représentants sont-ils encouragés à participer aux efforts des laboratoires nationaux de métrologie en y contribuant.

## **13 DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION**

Il est décidé d'organiser une réunion au printemps 2003, en coordination avec les Sections II et III. D'après les renseignements fournis par la Section II, la date du 21 au 23 mai 2003 est suggérée. Il est rappelé aux membres que la date limite pour soumettre les documents de travail est fixée à six semaines avant la réunion.

Le président de la Section I clôt la réunion en signalant les progrès considérables qui ont été accomplis dans les activités liées au MRA. Il

rappelle aux participants un certain nombre d'actions importantes décidées lors de la réunion : les résultats des comparaisons bilatérales doivent être soumis pour leur inclusion dans l'annexe B ; les changements apportés aux étalons doivent être notifiés officiellement, avec des valeurs documentées des facteurs de correction, des incertitudes et de la date d'effet, en particulier au regard des discussions très utiles qui ont eu lieu au cours de la réunion, au sujet des corrections à apporter pour les parois et pour l'absorption par fluorescence ; et les protocoles des comparaisons bilatérales et régionales à venir doivent faire l'objet d'un accord préalable.

Pour finir, il remercie le BIPM pour son hospitalité et pour la visite des laboratoires de dosimétrie, ainsi que pour la nouvelle salle de réunion mise à la disposition des participants.

S.M. Seltzer, rapporteur

septembre 2001

révisé octobre 2001

## **ANNEXE R(I) 1.**

### **Documents de travail présentés à la 15<sup>e</sup> réunion de la Section I du CCRI**

Les documents de travail qui ne portent pas la mention « en accès restreint » peuvent être obtenus dans leur langue originale sur demande adressée au BIPM, ou téléchargés sur le serveur du BIPM (<http://www.bipm.org>).

#### Document CCRI(I)/

- 01-01 BIPM. — Dosimetry comparisons and calibrations at the BIPM 1999 to 2001, P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns, 9 p.
- 01-02 VNIIM (Féd. de Russie). — Activity of the laboratory for the State primary standards of ionizing radiation in the field of x-, gamma-, beta- and electron radiation dosimetry 1999-2000, I.A. Kharitonov, N.D. Villevalde, A.V. Oborin, E.N. Yuriatin, V.I. Fominykh, S.A. Fedina, E.N. Rumiantseva, I.I. Tsvetkov, 4 p.
- 01-03 OMH (Hongrie). — New correction factors for the OMH air kerma standard for  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  radiation, I. Csete, 2 p.
- 01-04 ENEA-INMRI (Italie). — Report on the activity carried out at ENEA-INMRI on photon and charged particle dosimetry in the period 1999-2001, R.F. Laitano, 10 p.
- 01-05 BNM-LNHB (France). — Progress report 2000-2001 on dosimetry of photons and charged particles, B. Chauvenet, 4 p.
- 01-06 OMH (Hongrie). — Progress report on the radiation dosimetry at OMH, I. Csete, 2 p.
- 01-07 BIPM. — Characterization of the BIPM low-energy x-ray facility following a change of x-ray tube and high-voltage generator, D.T. Burns, P. Roger, 10 p.
- 01-08 AIEA. — IAEA dosimetry and medical radiation physics sub-programme report on activities 1999-2000, A. Meghzifene, J. Izewska, F. Pernicka, H. Tölle, S. Vatnitsky, P. Bera, L. Czap, R. Girzikowsky, P. Andreo, 15 p.
- 01-09 BIPM. — Proposal for degrees of equivalence between national primary standards for medium-energy x-rays, D.T. Burns, P.J. Allisy-Roberts, 8 p. (en accès restreint/restricted access)

Document  
CCRI(I)/

- 01-10 BEV (Autriche). — Activities and projects in the period 1999 to 2001 at the dosimetry laboratory of the BEV, J. Witzani, 4 p.
- 01-11 BIPM. — Proposal for degrees of equivalence between national primary standards for low-energy x-rays, D.T. Burns, P.J. Allisy-Roberts, 10 p. (en accès restreint/ restricted access)
- 01-12 BIPM. — Proposal for degrees of equivalence between national primary standards for absorbed dose to water in  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation, P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns, 9 p. (en accès restreint/ restricted access)
- 01-13 NIST (États-Unis). — Recent dosimetry activities at the NIST, S.M. Seltzer, 20 p.
- 01-14 NIST (États-Unis). — Additional uncertainty in NIST  $^{60}\text{Co}$  absorbed-dose-to-water calibrations, J. Shobe, 2 p.
- 01-15 NIST (États-Unis). — Update on NIST brachytherapy standards and calibrations, P. Lamperti, M. Mitch, C. Soares, S. Seltzer, 3 p.
- 01-16 NIST (États-Unis). — NIST  $^{60}\text{Co}$  radiation-processing calibration fields, M. Desrosiers, J. Puhl, 3 p.
- 01-17 PTB (Allemagne), OMH (Hongrie). — Comparison of the PTB and OMH air kerma standards for  $^{60}\text{Co}$  and  $^{137}\text{Cs}$  gamma radiation, draft report, H.-M. Kramer, L. Büermann, I. Csete, 9 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-18 PTB (Allemagne), OMH (Hongrie). — Results supporting calculated wall correction factors for cavity chambers, L. Büermann, H.-M. Kramer, I. Csete, 10 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-19 PTB (Allemagne). — The role of de-excitation electrons in measurements with graphite extrapolation chambers, confidential draft, H.-M. Kramer, B. Grosswendt, 25 p. (en accès restreint/ restricted access)
- 01-20 PTB (Allemagne). — Informative progress report on the standards for water absorbed dose at PTB, H.-M. Kramer, 2 p.
- 01-21 NPL (Royaume-Uni). — Progress report on radiation dosimetry at NPL, P. Sharpe, 7 p.
- 01-22 ARPANSA (Australie). — Recent Activities in Measurement Standards and Dosimetry at ARPANSA, D.V. Webb, J.F. Boas, R.B. Huntley, L.H. Kotler, D. Butler, K.N. Wise, 5 p.



Document  
CCRI(I)/

- 01-23 NRC (Canada). — NRC activities and publications, 1999-2001, D.W.O. Rogers, I. Kawrakow, N.V. Klassen, J.P. McCaffrey, C.K. Ross, K.R. Shortt, L. van der Zwan, G. Daskalov, 32 p.
- 01-24 NRC, Ottawa Regional Research Centre, Medical Physics Unit of the McGill University (Canada). — Experimental determination, and Monte Carlo simulations, of backscatter factors in clinical kilovoltage x-rays beams using GafChromic MD-55-2 radiochromic film, N.V. Klassen, L. van der Zwan, J.E. Cygler, J.P. Seuntjens, 3 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-25 NRC (Canada). — Wall correction factors for graphite walled ion chambers, D.W.O. Rogers, J.P. McCaffrey, I. Kawrakow, K.R. Shortt, 10 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-26 Carleton University, NRC (Canada). — What constitutes a clinic-like radiotherapy photon beam, N. Kalach, D.W.O. Rogers, 3 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-27 NRC (Canada). — A model for computer simulations of the Fricke dosimeter, N.V. Klassen, 3 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-28 NRC (Canada). — Revision of correction factors for calibration of plane-parallel ionization chambers in  $^{60}\text{Co}$  photon beams using EGSnrc Monte Carlo simulation system, E. Mainegra-Hing, D.W.O. Rogers, I. Kawrakow, 3 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-29 AIEA. — CMC submission from the IAEA, A. Meghzifene, 2 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-30 ENEA-INMRI (Italie). — Preliminary note on the re-determination of the  $k_{\text{wall}}$  factor for the ENEA standard cavity chamber for air-kerma measurement in a Co-60 gamma beam, R.F. Laitano, M.P. Toni, M. Pimpinella, M. Bovi, 27 p. (en accès restreint/ restricted access)
- 01-31 NMIJ/AIST (Japon). — Report of AIST to the CCRI Section I, N. Takata, Y. Koyama, T. Kurosawa, 2 p.
- 01-32 BIPM. — The re-absorption of fluorescence photons in free-air chambers, D.T. Burns, 3 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-33 NIST (États-Unis). — Preliminary results from the reevaluation of corrections for NIST primary standard graphite-wall cavity chambers in  $^{60}\text{Co}$  gamma-ray beams, S.M. Seltzer, 12 p. (en accès restreint/restricted access)

Document  
CCRI(I)/

- 01-34 EUROMET, NMi VSL (Pays-Bas). — Euromet project 364 – Comparison of primary air-kerma standards for x-ray qualities used in diagnostic radiology, W. de Vries, 2 p.
- 01-35 NMi VSL (Pays-Bas). — Progress report on radiation dosimetry standards, facilities and related topics at NMi, 1999-2001, A.H.L. Aalbers, 5 p.
- 01-36 BIPM. — Free-air chamber correction factors for electron loss, photon scatter, fluorescence and bremsstrahlung, D.T. Burns, 5 p.
- 01-37 LNMRI-IRD (Brésil). — National Laboratory for Metrology of Ionizing Radiation (LNMRI), 9 p.
- 01-38 Groupe de travail de la Section I du CCRI sur les facteurs de correction pour les étalons de kerma dans l'air dans le  $^{60}\text{Co}$ . — Status report of working group on correction factors for  $^{60}\text{Co}$  air kerma standards, 1999-2001, A.H.L. Aalbers, 1 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-39 NRC (Canada). — Update to CCRI(I)/01-25: Wall correction factors for graphite walled ion chambers, D.W.O. Rogers, J.P. McCaffrey, I. Kawrakow, K.R. Shortt, 8 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-40 ENEA (Italie). — Physical parameters, correction factors and comparison results for the ENEA air kerma standard for Co-60 gamma rays, R.F. Laitano, 1 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-41 ENEA (Italie). — On the determination of the degree of equivalence of the NMIs air-kerma standards for Co-60 gamma ray, R.F. Laitano, 1 p. (en accès restreint/restricted access)

**Comité consultatif  
des rayonnements ionisants**

**Section II : mesure des radionucléides**

**Rapport de la 16<sup>e</sup> réunion**

(21–23 mai 2001)

## Ordre du jour

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Rapport de la seizième session du CCRI.
- 3 Comparaisons clés de mesures d'activité de la Section II du CCRI :
  - 3.1 Comparaison préliminaire de  $^{192}\text{Ir}$  ;
  - 3.2 Comparaison de  $^{204}\text{Tl}$  ;
  - 3.3 Résultats de la comparaison de  $^{152}\text{Eu}$  ;
  - 3.4 Résultats de la comparaison de  $^{89}\text{Sr}$  ;
  - 3.5 État d'avancement de la comparaison de  $^{238}\text{Pu}$  ;
  - 3.6 Publication du rapport de la comparaison de  $^{75}\text{Se}$  ;
  - 3.7 Publication du rapport de la comparaison de  $^{90}\text{Sr}$  ;
  - 3.8 Comparaisons à venir de la Section II du CCRI.
- 4 Système international de référence (SIR) :
  - 4.1 État d'avancement du système de chambres d'ionisation ;
  - 4.2 Monographie sur le SIR ;
  - 4.3 Courbes d'efficacité ;
  - 4.4 Analyse systématique du SIR.
- 5 Extension du Système international de référence :
  - 5.1 État d'avancement du système de comptage par scintillation liquide du BIPM ;
  - 5.2 Rapport du Groupe de travail de l'ICRM sur le comptage par scintillation liquide ;
  - 5.3 Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta au moyen du système de comptage par scintillation liquide ;
  - 5.4 Extension aux radionucléides à courte durée de vie.
- 6 Questions relatives à l'arrangement de reconnaissance mutuelle :
  - 6.1 Équivalence des étalons ;
  - 6.2 Résultats des comparaisons régionales revus par le Groupe de travail sur l'équivalence des étalons ;
  - 6.3 Comparaisons régionales proposées à la Section II du CCRI ;

- 6.4 Rapports sur l'état d'avancement des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages des organisations régionales ;
- 6.5 Base de données du BIPM sur les comparaisons clés.
- 7 Rapports des autres groupes de travail :
  - 7.1 Systèmes de détection à haute efficacité ;
  - 7.2 Réalisation élémentaire du becquerel.
- 8 Rapports sur les projets des laboratoires nationaux de métrologie.
- 9 Programme de travail à venir du BIPM.
- 10 Tendances et besoins à venir dans le domaine de la métrologie : recommandations au CCRI pour la Conférence générale.
- 11 Rapports des laboratoires nationaux de métrologie.
- 12 Pages Web de la Section II du CCRI.
- 13 Composition de la Section II du CCRI.
- 14 Questions diverses.
- 15 Date de la prochaine réunion.

## Résumé

La Section II (mesure des radionucléides) du Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI) a tenu sa seizième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 21, 22 et 23 mai 2001. Les discussions étaient centrées sur deux points principaux : l'établissement des valeurs de référence des comparaisons clés et les données d'équivalence des étalons de radioactivité, et l'extension du Système international de référence (SIR) aux comparaisons d'émetteurs de rayonnement bêta pur. Les membres se sont mis d'accord au sujet de la plupart des radionucléides qui ont déjà fait l'objet d'une comparaison et les résultats seront entrés dans la base de données au cours de l'été. Un nouveau groupe de travail sur les comparaisons clés a été établi pour coordonner les activités des précédents groupes de travail sur le SIR et sur l'équivalence. Une des principales missions de ce groupe sera de ré-examiner les radionucléides posant des problèmes encore non résolus et, en particulier, d'élaborer un mécanisme pour identifier et traiter les résultats aberrants. En ce qui concerne l'extension du SIR, un échéancier a été approuvé pour mettre au point des procédures de mesure recommandées et des protocoles pour la préparation des échantillons et des scintillateurs normalisés. Après des essais au BIPM, il est prévu de mettre en œuvre un système éprouvé, utilisant à la fois la méthode CIEMAT-NIST et la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles, à l'automne 2002. Le programme de comparaisons clés devrait être considérablement étendu, six comparaisons étant prévues pour les deux ans à venir. Des progrès ont été réalisés dans la caractérisation des chambres d'ionisation du SIR du BIPM, et d'autres activités, théoriques et expérimentales, sont envisagées pour recueillir des informations sur les autres facteurs qui influencent l'efficacité des systèmes de détection de radionucléides particuliers.

## **1 OUVERTURE DE LA RÉUNION ; APPROBATION DE L'ORDRE DU JOUR ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR**

La Section II (mesure des radionucléides) du Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI) a tenu sa seizième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 21, 22 et 23 mai 2001.

Étaient présents : D. Alexiev (ANSTO), R. Broda (RC), N. Coursol (BNM-LNHB), C. Grover (NRC), Y. Hino (NMIJ/AIST), H. Janßen (PTB), L.R. Karam (NIST), J.M. Los Arcos (CIEMAT), G. Moscati (président du CCRI), T.S. Park (KRISS), D.F.G. Reher (IRMM), S. Sepman (VNIIM), B.R.S. Simpson (président de la Section II, CSIR-NML), L. Szücs (OMH), M.J. Woods (NPL), Yang Yuandi (NIM).

Experts : J.-J. Gostely (IRA/METAS), G. Winkler (IHK).

Observateurs : A. Allisy (ICRU), P. Dryák (CMI), P. De Felice (ENEA-INMRI), C.J. da Silva (LNMRI/IRD), W. de Vries (NMI VSL).

Assistaient aussi à la réunion : P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM), P.J. Allisy-Roberts (secrétaire exécutive, BIPM), D.T. Burns, C. Michotte, G. Ratel et C. Thomas (BIPM).

Excusés : H. Klein et P. Sharpe.

Absents : IOMP et IRPA.

Mme P.J. Allisy-Roberts présente les excuses de M. T.J. Quinn, directeur du BIPM, et ouvre la réunion en souhaitant la bienvenue aux participants dans la salle de réunion du nouveau Pavillon du Mail.

M. B.R.S. Simpson, président de la Section II, accueille les participants et, en particulier, le nouveau délégué du NRC (Canada), M. C. Grover. Les membres se présentent ensuite. En plus des participants habituels, Mme C. Thomas (BIPM) participe aussi à la réunion en qualité de coordinatrice de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB). Le président attire l'attention sur les tâches importantes qui incombent à la Section II, et il note que la plupart des activités de la Section a été effectuée par des groupes de travail qui ont cessé d'exister une fois leur mission accomplie. Une des missions spécifiques de la Section est d'organiser des comparaisons clés, de même que les deux autres Sections du CCRI. Il incombe à M. G. Moscati d'informer le Comité international des

travaux accomplis par les trois Sections du CCRI et de le conseiller dans le domaine des rayonnements ionisants.

Il est rappelé que la Section cherche à accorder plus d'importance, et de temps, aux discussions techniques, par des présentations orales et, à cette fin, il avait été décidé que les rapports écrits des laboratoires nationaux de métrologie devaient être remis avant la réunion, ce qui fut fait.

Les actions décidées lors de la précédente réunion sont rappelées aux délégués de la Section II ; la plupart d'entre elles seront traitées au point concerné de l'ordre du jour.

Les participants confirment la nomination de M. M.J. Woods comme rapporteur.

L'ordre du jour est approuvé, avec l'adjonction d'un point supplémentaire relatif à la composition de la Section II du CCRI. Notons que M. P. Cassette (BNM-LNHB et coordinateur du Groupe de travail de l'ICRM sur la scintillation liquide) a été invité à présenter ces activités à la Section II au point de l'ordre du jour relatif à l'extension du SIR. La discussion du rapport sur la comparaison de  $^{204}\text{Tl}$  aura lieu à ce moment-là. La présentation et la discussion sur l'extension du SIR aux radionucléides à courte durée de vie a été mise à l'ordre du jour tardivement. Il est décidé d'accepter les autres documents présentés tardivement (CCRI(II)/01-25 à -31).

## 2 RAPPORT DE LA SEIZIÈME SESSION DU CCRI

M. Moscati souligne que le rapport sur la réunion du CCRI contient un compte rendu détaillé. Il réunira le CCRI avec les présidents des trois Sections après leurs réunions et présentera son rapport au Comité international. M. Moscati informe les participants que le document *Besoins nationaux et internationaux dans le domaine de la métrologie : les collaborations internationales et le rôle du BIPM*, publié en 1998, sera révisé pour la Conférence générale ; il peut être consulté sur le site Web du BIPM (voir aussi point 10).



### 3 COMPARAISONS CLÉS DE MESURES D'ACTIVITÉ DE LA SECTION II DU CCRI

Dans le cadre des discussions sur les comparaisons clés, il est mentionné que les comparaisons clés de la Section II du CCRI et des organisations régionales de métrologie fournissent un cliché, à un moment donné, de l'activité d'un radionucléide particulier, alors que le SIR est fondé sur des séries continues de comparaisons clés et contient donc différentes valeurs de mesures d'activité des mêmes radionucléides. La Section II du CCRI avait auparavant décidé que les valeurs du SIR serviraient de fondement à l'établissement des degrés d'équivalence pour la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Les résultats des comparaisons clés de la Section II du CCRI et des organisations régionales de métrologie sont liés aux valeurs du SIR, de manière à ce que chaque laboratoire national de métrologie dispose d'une seule série de degrés d'équivalence pour un radionucléide donné. La valeur de référence d'une comparaison clé de la Section II du CCRI ou d'une organisation régionale de métrologie est celle de l'activité dérivée de l'activité équivalente choisie comme valeur de référence de la comparaison clé du SIR. Les degrés d'équivalence par paires de laboratoires nationaux de métrologie seront les mêmes pour la comparaison en question et pour la comparaison clé équivalente du SIR, parce que les résultats des comparaisons de la Section II du CCRI sont transférés au SIR. Ainsi, tous les laboratoires nationaux de métrologie qui participent à une comparaison clé de la Section II du CCRI ou des organisations régionales de métrologie verront leurs degrés d'équivalence comparés à ceux des autres participants, sous forme de graphiques ou de tableaux. Ils verront aussi ces mêmes résultats exprimés sous forme d'activité équivalente pour la comparaison du SIR à laquelle les autres laboratoires nationaux de métrologie ont participé.

#### 3.1 Comparaison préliminaire de <sup>192</sup>Ir (coordinateur : Y. Hino)

M. Y. Hino présente un rapport sur la deuxième comparaison préliminaire qui s'est déroulée en 1997-1998 et à laquelle ont participé le CMI-IIR, l'ETL (maintenant dénommé NMIJ), le LNMRI/IRD, le VNIIM, et l'université de Nagoya. La dispersion des résultats est moins grande que lors de la première comparaison et ceux-ci sont en bon accord avec la valeur de référence actuelle du SIR. Il faut noter que les extrapolations utilisant une fenêtre

centrée sur le pic photoélectrique gamma à 316 keV présentent une différence de pente significative quand l'efficacité du compteur proportionnel excède 95 %. Il est souligné que la valeur du SIR doit exclure celles des laboratoires nationaux de métrologie qui ont été remplacées par d'autres. Les raisons de l'amélioration de l'accord ne sont pas claires et il est proposé que le Groupe de travail sur la comparaison de  $^{192}\text{Ir}$  étudie cette question. MM. H. Janßen, Ratel et Reher ont donc accepté de se joindre au groupe de travail actuel qui doit préparer un rapport sur ses conclusions avant d'entreprendre la nouvelle comparaison de la Section II du CCRI. Il est aussi souligné que les résultats de la comparaison doivent non seulement être soumis au Groupe de travail de la Section II du CCRI sur l'équivalence (maintenant renommé Groupe de travail sur les comparaisons clés, voir section 4.4) pour faire l'objet d'une recommandation, mais qu'ils doivent aussi être inclus dans la base de données du SIR, car en tant que résultats d'une comparaison clé ils doivent suivre le même protocole que les comparaisons clés du BIPM.

### 3.2 Comparaison de $^{204}\text{Tl}$ (coordinateur : G. Ratel)

La comparaison de  $^{204}\text{Tl}$  a été examinée dans le cadre des discussions sur l'extension du SIR. Le Groupe de travail sur la comparaison de  $^{204}\text{Tl}$  comprend Mme P.J. Allisy-Roberts, MM. T. Altzitzoglou, P. Cassette, Mmes N. Coursol, C. Michotte, MM. G. Ratel (coordinateur), D. Reher et M.J. Woods. Il s'est réuni en février 2000 et a décidé d'effectuer un certain nombre d'études complémentaires, qui sont maintenant terminées pour l'essentiel. Les problèmes principaux concernent la concentration élevée en entraîneur du matériau utilisé pour la comparaison et son effet sur l'auto-absorption dans le cas des sources solides. Les recherches réalisées au BNM-LNHB n'ont pas permis d'identifier de problèmes liés à la photosensibilité du thallium. Il est décidé de dissoudre le groupe de travail et d'effectuer une nouvelle comparaison.

### 3.3 Résultats de la comparaison de $^{152}\text{Eu}$

M. G. Ratel présente les résultats de la comparaison clé de  $^{152}\text{Eu}$ . Les sources ont été préparées à la PTB et mesurées dans la chambre d'ionisation du SIR du BIPM avant distribution aux participants. Une comparaison préliminaire avait été réalisée entre cinq participants (BNM-LNHB, NMIJ, NRC, OMH et PTB) et, comme elle avait été couronnée de succès, les sources ont été envoyées aux dix-huit autres participants en décembre 1999. Des méthodes

de mesure très variées ont été utilisées, et la moyenne arithmétique de tous les résultats est de  $528,2 \pm 1,4 \text{ kBq g}^{-1}$ . Deux résultats de mesure par la méthode  $4\pi\gamma$  s'écartaient beaucoup de la valeur moyenne et M. G. Winkler a remarqué qu'il est gênant que cette méthode présente des incertitudes élevées associées aux probabilités d'émission de rayons x. Les résultats sont distribués de manière asymétrique, l'écart à la valeur moyenne variant de +1,5 % à -2,5 %. Il semble que la différence entre les moyennes obtenues avec les différentes techniques d'étalonnage est faible et la dispersion des résultats semble un peu plus élevée que pour les résultats soumis précédemment au SIR. Pendant la discussion générale sur les résultats, il est suggéré que les incertitudes déclarées étaient plus faibles que celles suggérées par la distribution générale des résultats ; un autre Comité consultatif a examiné les méthodes d'étalonnage relevant de son domaine et a élaboré un bilan d'incertitude correspondant à l'état de l'art. Il est décidé que la Section II du CCRI devra le faire aussi, en prenant comme exemple la comparaison de  $^{152}\text{Eu}$ . Un groupe de travail sur les incertitudes est créé ; il sera chargé de ce travail. Il comprend : MM. H. Janßen (coordinateur), M. R. Broda, Mme N. Coursol, MM. J.M. Los Arcos, G. Ratel, D. Reher et M.J. Woods. Les problèmes liés à l'étalonnage de  $^{152}\text{Eu}$  seront laissés en suspens jusqu'à ce que le nouveau groupe ait présenté son rapport. Les participants à la réunion semblent préoccupés de ce que, lors de la présentation, les résultats soient anonymes ; il est souligné que le rapport de la comparaison est au stade du projet A, ce qui impose l'anonymat. M. G. Ratel accepte de préparer le projet A de rapport pour octobre 2001 et, de plus, il fournira au Groupe de travail sur l'équivalence les formulaires pour déclarer les résultats des comparaisons de  $^{152}\text{Eu}$  et de  $^{192}\text{Ir}$ , ainsi que les valeurs du SIR pour ces radionucléides.

### 3.4 Résultats de la comparaison de $^{89}\text{Sr}$

Le radionucléide  $^{89}\text{Sr}$  a été choisi pour faire l'objet d'une comparaison en raison de son importance pour la communauté médicale. M. G. Ratel dit que vingt-trois ampoules ont été préparées à la PTB par dilution d'une solution mère de  $30 \text{ mg g}^{-1}$  de  $\text{SrCl}_2$  dans 0,1 mol d'HCl. À la date de référence, le  $^{85}\text{Sr}$  et le  $^{90}\text{Sr}$  ont été identifiés comme les principaux contaminants par ordre d'activité (0,172 % et 0,20 %, respectivement). Des quantités insignifiantes de  $^{84}\text{Rb}$  (0,000 88 %) et de  $^{86}\text{Rb}$  (0,000 112 %) ont aussi été détectées. En raison de la faible sensibilité des chambres d'ionisation du SIR, six ampoules ont aussi été préparées à la PTB, à partir de la solution non diluée, et elles ont été envoyées au BIPM pour des essais dans le SIR. La contribution des

contaminants à la réponse de la chambre d'ionisation s'élève à environ 30 % de la réponse totale. Les dix-neuf participants ont utilisé dix méthodes de mesure différentes. Parmi celles-ci, cinq mesures ont été faites au moyen de la méthode des coïncidences  $4\pi\beta\gamma$  en utilisant le  $^{60}\text{Co}$  comme traceur d'efficacité. Trois de ces résultats ont été clairement identifiés comme aberrants et ont confirmé que l'emploi de ce traceur n'était pas approprié, comme ses caractéristiques de désintégration bêta permettent de le déduire. M. G. Ratel prépare le projet A du rapport. Il est recommandé que le Groupe de travail sur l'équivalence envisage de ne pas inclure ces résultats pour déterminer la valeur de référence de la comparaison clé, même s'ils doivent être inclus dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Des exemples de problèmes d'instabilité subis par les participants utilisant la méthode de comptage par scintillation liquide sont présentés et démontrent que la stabilité dépend de facteurs tels que le rapport entre le volume d'eau et de scintillateur et la nature du scintillateur.

### 3.5 État d'avancement de la comparaison de $^{238}\text{Pu}$

La comparaison de  $^{238}\text{Pu}$  se poursuit et, à ce jour, six laboratoires nationaux de métrologie ont fourni onze résultats à M. G. Ratel. M. M.J. Woods dit que des problèmes sérieux ont eu lieu lors de l'acheminement des échantillons aux participants, parce que le plutonium est désigné comme un matériau protégé par l'AIEA. Des autorisations complémentaires sont nécessaires pour le transport, et ce problème n'a parfois pas été résolu. Il est signalé que les isotopes d'Am et de Np pourraient être soumis aux mêmes restrictions à l'avenir. En raison des problèmes de transport, il est décidé de reporter la date limite pour faire part des résultats au 1<sup>er</sup> septembre 2001.

### 3.6 Publication du rapport de la comparaison de $^{75}\text{Se}$

Les modifications suggérées par le président et par la Section II du CCRI ont été incorporées au rapport de la comparaison de  $^{75}\text{Se}$ , qui a été soumis à *Nuclear Instruments and Methods*. Cet article a été accepté et l'on attend sa publication.

### 3.7 Publication du rapport de la comparaison de $^{90}\text{Sr}$

Les résultats de la comparaison de  $^{90}\text{Sr}$  ont été présentés à la conférence sur la scintillation liquide à Karlsruhe en mai 2001. Un article sera préparé par

M. G. Ratel et soumis pour publication. Il est aussi envisagé de publier un résumé dans *Metrologia*.

### 3.8 Comparaisons à venir de la Section II du CCRI

Un questionnaire a été distribué aux délégués portant sur vingt-quatre radionucléides susceptibles de faire l'objet de comparaisons futures ; les réponses sont détaillées dans le document CCRI(II)/01-20. De plus, un document de discussion (CCRI(II)/01-21) a été soumis qui présente séparément les besoins des différentes communautés d'utilisateurs. Des radionucléides candidats, seuls trois ( $^{32}\text{P}$ ,  $^{186}\text{Re}$  et  $^{235}\text{U}$ ) ne figurent pas dans la base de données du SIR. Trois radionucléides ( $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{125}\text{I}$  et  $^{137}\text{Cs}$ ) ont fait l'objet de comparaisons clés au cours des vingt années précédentes. Trois comparaisons se poursuivent ( $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  et  $^{238}\text{Pu}$ ) et les groupes de travail examinent des comparaisons précédentes ( $^{192}\text{Ir}$  et  $^{204}\text{Tl}$ ). Quinze délégués ont répondu au questionnaire et six radionucléides candidats pour des comparaisons ont reçu plus de 50 % de réponses favorables. Certains délégués ont remarqué qu'ils ont été dissuadés de mentionner certains radionucléides en raison de leur courte durée de vie. Les candidats radionucléides restants ( $^{32}\text{P}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  et  $^{241}\text{Am}$ ) sont examinés.

Il est rappelé aux délégués qu'il faut prendre en compte certaines considérations avant de choisir des radionucléides pour des comparaisons, comme par exemple :

- le nombre de comparaisons que la Section II du CCRI peut effectuer chaque année ;
- le nombre d'entrées actuelles dans le SIR ;
- les demandes relatives aux courbes d'efficacité du SIR ;
- le niveau d'intérêt ;
- le besoin de laboratoires pilotes.

Pour les radionucléides à plus longue durée de vie, il serait souhaitable de laisser plus de temps pour envoyer les résultats, ce qui permettrait aux laboratoires nationaux de métrologie d'organiser leur programme de travail de manière plus satisfaisante.

Après de longues discussions, le programme de comparaisons suivant est approuvé.

Nucléide	Fourniture de la source / solution	Distribution	Début	Fin
<sup>204</sup> Tl	BNM-LNHB + BIPM	BIPM	Oct. 2001	Mai 2002
<sup>241</sup> Am	NPL	NPL/BIPM	Déc. 2001	Déc. 2003
<sup>65</sup> Zn	IRMM	IRMM/BIPM	Fév. 2002	Fév. 2003
<sup>32</sup> P	PTB	PTB/BIPM	Fév. 2002	Mai 2002
<sup>54</sup> Mn	PTB	PTB/BIPM	Avr. 2002	Avr. 2003
<sup>192</sup> Ir	NMIJ	NMIJ/BIPM	Oct. 2002	Fév. 2003

Le taux de réponse au questionnaire et les suites qui lui ont été données montrent qu'il a été utile pour déterminer le programme des comparaisons futures, et il faudra renouveler cette opération avant la prochaine réunion de la Section II du CCRI.

Le problème de la publication des résultats individuels avant la date limite est évoqué, il peut se poser quand les documents sont soumis pour publication ou présentés à des conférences comme l'ICRM. Il est décidé que le protocole de la comparaison doit être révisé pour rappeler aux participants que les résultats ne doivent pas être diffusés avant la date fixée.

## 4 SYSTÈME INTERNATIONAL DE RÉFÉRENCE (SIR)

### 4.1 État d'avancement du système de chambres d'ionisation

Depuis la précédente réunion de la Section II du CCRI, les laboratoires nationaux de métrologie ont continué à alimenter le SIR d'un nombre croissant de radionucléides. Dans certains cas particuliers, par exemple le <sup>177</sup>Lu et le <sup>89</sup>Sr, un soin particulier a été apporté pour déterminer la présence d'impuretés potentielles et pour les quantifier avec précision au moyen de spectromètres au germanium. La contribution du rayonnement de freinage à la réponse de la chambre d'ionisation a aussi été étudiée. De plus, une analyse méticuleuse a été effectuée pour caractériser de manière plus complète l'efficacité de la chambre d'ionisation. Deux ampoules remplies de

gaz radioactif ( $^{133}\text{Xe}$  et  $^{222}\text{Rn}$ ) ont été mesurées. De plus, l'ININ a participé pour la première fois au SIR. En tout, soixante-treize ampoules ont été mesurées pendant la période en question. Les résultats soumis sont présentés en détail dans le document CCRI(II)/01-18.

## 4.2 Monographie sur le SIR

La table des matières du projet de monographie sur le SIR est présentée. Elle comprend les points suivants :

- Introduction
- Description de la méthode
- Description du dispositif expérimental et des nouveautés
- Des formules utiles :
  - a) pour calculer l'activité équivalente et estimer son incertitude
  - b) pour appliquer la correction liée à l'activité équivalente d'une impureté et estimer son incertitude
- Vérifications périodiques des sources, effectuées de 1976 au 31 décembre 2000
- Vérifications périodiques des chambres
- Courbe d'efficacité photonique des chambres du SIR au 31 décembre 2000
- Courbe d'efficacité bêta des chambres du SIR au 31 décembre 2000
- Nouveau calcul des limites inférieure et supérieure de l'activité admise pour les ampoules à soumettre
- Détails pour l'envoi des ampoules (y compris les formalités douanières)

Pour chaque radionucléide, un tableau des résultats enregistrés au 31 décembre 2000 sera présenté, ainsi qu'un graphique incluant divers estimateurs de la valeur de référence (moyenne arithmétique, moyenne pondérée, médiane et incertitudes associées), lorsqu'il y a au moins deux entrées. Le programme utilisé pour l'acquisition des données et le calcul de l'activité équivalente sera aussi fourni en annexe.

Des propositions sont faites et approuvées au sujet des résultats à publier dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés, la KCDB, à savoir :

1. Les degrés d'équivalence du SIR figureront dans la base ; N.B. : les données de la KCDB ne peuvent pas être téléchargées au format EXCEL.

2. Le fichier source du SIR devrait être disponible sur le Web comme document de la Section II du CCRI, en accès restreint. [Il est proposé de mettre ces fichiers EXCEL à la disposition du nouveau groupe de travail sur les comparaisons clés (*voir* 4.4).]
3. La monographie sur le SIR devrait être publiée par le BIPM et elle devrait pouvoir être téléchargée à partir du serveur du BIPM.
4. Comme la monographie sur le SIR constitue le « rapport final » de toutes les comparaisons clés du BIPM jusqu'au 31 décembre 2000, elle devrait contenir la valeur de référence pour chaque radionucléide et les résultats de chaque laboratoire national de métrologie, y compris les degrés d'équivalence tels qu'ils figureront dans la KCDB (*voir aussi* 4.4).
5. Après approbation par la Section II du CCRI, les mises à jour postérieures au 1<sup>er</sup> janvier 2001 devront être publiées dans *Metrologia*.

#### 4.3 Courbes d'efficacité

Mme C. Michotte présente plusieurs améliorations et mesures complémentaires à propos des courbes d'efficacité de la chambre d'ionisation du SIR. Parmi celles-ci notons l'adoption de valeurs révisées pour la demi-vie de l'<sup>111</sup>In et de l'<sup>125</sup>I, et l'effet de valeurs plus exactes de la demi-vie et des impuretés de <sup>177</sup>Lu<sup>m</sup>.

Les règles pour la sélection des radionucléides à utiliser pour la détermination des courbes d'efficacité des photons sont décrites ; elles comprennent :

- plus d'une entrée dans le SIR par radionucléide ;
- pas de gaz ;
- pas d'émetteurs de rayonnement bêta aux hautes énergies ;
- pas d'émetteurs de positron ayant une probabilité d'émission supérieure à 10 % ;
- les valeurs médianes utilisées ;
- des domaines restreints pour la composition chimique et la masse volumique des émetteurs de rayonnement gamma aux basses énergies.

Un polynôme du sixième ordre a été utilisé pour ajuster la courbe d'efficacité et la cohérence de l'ajustement a été déterminée en comparant les valeurs réelles et théoriques des quarante radionucléides utilisés pour ajuster la courbe. La courbe ajustée est en accord avec celle calculée par Rytz en 1984 pour des énergies supérieures à 60 keV. Cette courbe est utilisée pour prédire



l'efficacité des autres radionucléides dans la base de données du SIR ; l'accord est satisfaisant à une seule exception près ( $^{243}\text{Am}$ ).

La courbe d'efficacité bêta (logarithme de l'efficacité en fonction de l'énergie bêta moyenne) est aussi présentée. Elle est fondée sur les radionucléides suivants :  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{204}\text{Tl}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  et  $^{106}\text{Ru}$  ; tous ces radionucléides à l'exception de  $^{32}\text{P}$  ont des transitions premières interdites. Il est suggéré qu'un ajustement au moyen de fonctions de spline du troisième ordre par la méthode des moindres carrés soit examiné.

Notons que les valeurs théoriques  $A_e$  de toutes les données du SIR sont disponibles. La réponse théorique du  $^{204}\text{Tl}$  a été calculée pour les ampoules du BIPM utilisées dans la comparaison et elles sont en accord avec les valeurs mesurées, dans la limite de leurs incertitudes.

Pour le  $^{124}\text{Sb}$ , un des trois résultats semble aberrant. Cependant, si l'on utilise la courbe d'efficacité, il n'est pas sûr que ce soit le cas ; le problème réel réside dans la sous-estimation des incertitudes des valeurs soumises.

Les activités équivalentes calculée et mesurée peuvent souvent être fortement corrélées et il faut être prudent.

En conclusion, la courbe d'efficacité des photons présente une incertitude meilleure que 1 % pour une énergie supérieure à 65 keV et la courbe d'efficacité bêta est encore à l'étude. Nous avons besoin de résultats supplémentaires aux basses énergies et des simulations de Monte Carlo sont nécessaires pour obtenir de meilleures estimations des effets dus à la masse volumique, aux gaz, à l'annihilation des rayonnements gamma etc.

#### 4.4 Analyse systématique du SIR (coordinateur : D.F.G. Reher)

Le Groupe de travail sur l'analyse systématique du SIR a tenu plusieurs réunions en commun avec le Groupe de travail sur l'équivalence depuis la précédente réunion de la Section II du CCRI. Les points principaux concernaient l'examen de la base de données source du SIR et des sous-ensembles de données utilisés pour le calcul des valeurs de référence des comparaisons clés et des degrés d'équivalence. Un certain nombre de recommandations sont soumises à la Section II du CCRI pour approbation ; elles sont détaillées dans le document de travail CCRI(II)/01-15. Ces recommandations sont discutées et les décisions suivantes sont approuvées :

1. Les fichiers corrigés contenant les valeurs de référence des comparaisons clés du SIR et les degrés d'équivalence seront placés sur les pages Web de la Section II du CCRI, en accès restreint pour les

délégués à la Section II. Les commentaires doivent être transmis à M. G. Ratel (qui en transmettra copie à MM. D. Reher et M.J. Woods). Après révision, ces valeurs seront entrées dans la KCDB.

2. Un certain nombre de ces fichiers doivent être ré-examinés, car il est nécessaire d'approuver une règle permettant d'identifier les résultats aberrants (et les exclure des fichiers utilisés pour le calcul des valeurs de référence des comparaisons clés), et de préciser si la méthode d'étalonnage est directe ou pas.
3. Les radionucléides sans ambiguïté pouvant être immédiatement inclus dans la base sont les suivants :  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{47}\text{Sc}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{95}\text{Zr}/^{95}\text{Nb}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{153}\text{Gd}$ ,  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{166}\text{Ho}^{\text{m}}$ ,  $^{169}\text{Yb}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{195}\text{Au}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{203}\text{Pb}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{241}\text{Am}$  et  $^{243}\text{Am}$ .
4. Les radionucléides qui doivent faire l'objet d'une étude complémentaire sont les suivants :  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{110}\text{Ag}^{\text{m}}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{139}\text{Ce}$  et  $^{207}\text{Bi}$ .
5. Chaque laboratoire national de métrologie n'a droit qu'à une seule entrée dans la KCDB, ainsi que dans les bases de données contenant les valeurs de référence des comparaisons clés et l'équivalence.
6. Pour le calcul des valeurs de référence des comparaisons clés, on utilise la moyenne arithmétique et l'écart-type de la moyenne.
7. Les règles pour identifier les résultats aberrants devront être ré-examinées après consultation de M. Cox (NPL) et après que le Groupe de travail sur les incertitudes aura examiné les résultats de la comparaison de  $^{152}\text{Eu}$ .
8. En ce qui concerne les déclarations d'incertitudes, deux chiffres significatifs seront donnés si le premier chiffre significatif est « 1 » ou « 2 » ; un seul chiffre significatif sera donné si celui-ci est supérieur à « 2 ».
9. Une liste des sigles, soumise à l'approbation de la Section II du CCRI, sera préparée pour les différentes méthodes d'étalonnage et entrée dans une colonne de la base de données du SIR.
10. Une colonne supplémentaire sera ajoutée dans la base de données du SIR pour indiquer si la méthode d'étalonnage est directe (ou absolue), ou indirecte (ou relative).
11. Deux colonnes supplémentaires seront ajoutées dans la base de données du SIR pour indiquer a) si la valeur considérée doit être prise en compte

pour le calcul de la valeur de référence de la comparaison clé et b) s'il s'agit d'une étude pilote ou d'une comparaison clé à entrer dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés, donc délivrant l'équivalence selon le MRA.

12. Une colonne supplémentaire de commentaires sera ajoutée aux bases de données.
13. Les résultats des comparaisons de  $^{134}\text{Cs}$  (1974),  $^{137}\text{Cs}$  (1978) et de  $^{139}\text{Ce}$  (1976) seront inclus dans les bases de données.
14. Les résultats des comparaisons clés régionales devraient être soumis au Groupe de travail sur les comparaisons clés pour analyse et transmis à la Section II du CCRI pour recommandation.
15. Quand le Groupe de travail sur les comparaisons clés se pose des questions sur la qualité des résultats soumis par un laboratoire national de métrologie pour une comparaison clé donnée, ces questions doivent être discutées avec le laboratoire concerné, et si le problème n'est pas résolu il doit être transmis au président du CCRI.
16. Un formulaire normalisé devra être préparé pour présenter les bilans d'incertitude à soumettre au SIR. Le bilan d'incertitude de la base de données du SIR contiendra dix colonnes pour les composantes d'incertitude couramment utilisées et une colonne supplémentaire pour l'incertitude globale des composantes spécifiques à la méthode employée, ainsi qu'une autre colonne supplémentaire décrivant la méthode spécifique.
17. Le SIR étendu n'est pas suffisamment mûr pour être considéré comme un élément constitutif de la comparaison clé.
18. Les résultats de la comparaison de  $^{125}\text{Ir}$  (1986), qui ne sont pas liés au SIR, doivent être utilisés pour l'évaluation de la valeur de référence de la comparaison clé à entrer dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés ; les précédents résultats du SIR ne seront pas utilisés.
19. La comparaison de  $^{241}\text{Am}$  (1963) est considérée comme trop ancienne et ne sera pas utilisée ; seules les valeurs du SIR le seront.

Il est décidé de dissoudre les groupes de travail sur le SIR et l'équivalence et de les remplacer par le Groupe de travail sur les comparaisons clés. Le coordinateur est M. M.J. Woods et les autres membres sont Mme N. Coursol, MM. J.-J. Gostely, Y. Hino, H. Janßen, Mme L. Karam, MM. G. Ratel et D. Reher.

## **5 EXTENSION DU SYSTÈME INTERNATIONAL DE RÉFÉRENCE**

### **5.1 État d'avancement du système de comptage par scintillation liquide du BIPM**

Le système de comptage par scintillation liquide du BIPM a été utilisé pour la comparaison de  $^{89}\text{Sr}$  et pour d'autres mesures, mais rien d'autre n'a été fait pour étendre le SIR, en partie du fait du déménagement du laboratoire de radioactivité. Les résultats de la comparaison de  $^{90}\text{Sr}$  ont été présentés à la conférence sur la scintillation liquide à Karlsruhe en mai 2001. Il avait alors été conclu que les résultats de la comparaison de  $^{90}\text{Sr}$  montrent que l'extension du SIR au moyen de la méthode de comptage par scintillation liquide CIEMAT-NIST est fiable et opérationnelle. Des préoccupations ont toutefois été exprimées quant à la reproductibilité des mélanges pour la scintillation liquide et au besoin d'identifier un radionucléide à longue durée de vie sous une forme chimique stable dans un mélange approprié, qui pourrait être utilisé pour confirmer la stabilité à long terme du système. Un protocole est nécessaire pour le fonctionnement courant du SIR étendu et le BIPM pourrait fournir le mélange pour la scintillation liquide et des fioles en verre vides à ceux qui souhaitent soumettre des échantillons. Le participant remplirait la fiole avec le mélange et la solution radioactive selon le rapport recommandé, scellerait le conteneur et le soumettrait au BIPM pour mesure. Cela présenterait plusieurs avantages : utilisation d'un mélange scintillant normalisé, réduction des efforts fournis par le BIPM, et suppression des incertitudes résultant de la préparation d'un autre échantillon au BIPM. Il est évident que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour étendre ce système à des radionucléides qui n'émettent pas des rayonnements bêta purs (la discussion se poursuit au point 5.3).

### **5.2 Rapport du Groupe de travail de l'ICRM sur le comptage par scintillation liquide**

M. Cassette passe en revue les problèmes liés au comptage par scintillation liquide et examine un certain nombre de questions. Il souligne que l'on utilise généralement la formule de Birks pour déterminer la fonction d'atténuation, elle-même fondée sur la formule de Bethe pour l'estimation des valeurs  $dE/dx$ . Cependant, il est connu que cette formule ne donne pas de valeurs exactes aux basses énergies car elle suppose que le transfert

d'énergie linéique (LET) est nul à l'énergie nulle et varie linéairement entre l'énergie nulle et 100 eV. Il faut donc trouver une nouvelle approche. De plus, nous manquons de résultats pour déterminer la dépendance du facteur kB en fonction de paramètres tels que la chimie, les caractéristiques du compteur, la composition du mélange, le transfert d'énergie linéique etc., et il faudrait mieux évaluer l'influence du facteur kB sur les mesures faites selon la méthode CIEMAT-NIST. Les méthodes CIEMAT-NIST et du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles sont relativement insensibles au facteur kB quand l'énergie bêta est supérieure à 150 keV, mais la première méthode est très sensible au facteur kB pour les radionucléides à capture d'électrons alors que la seconde méthode ne l'est pas. Il est nécessaire d'établir un consensus sur un modèle de transfert linéique convenable et sur l'évaluation physique du facteur kB en étudiant la réponse de divers scintillateurs. Il faudra effectuer d'autres recherches sur les mélanges, la teneur en eau etc. Une comparaison des codes utilisés pour étudier l'effet kB est demandée, car les autres expériences ont produit des effets plus faibles que ceux présentés ici.

L'effet de paroi est aussi préoccupant et les résultats existants ne sont pas très utiles car ils proviennent d'études sur des compteurs de gaz. Des simulations sont nécessaires au moyen du code PENELOPE par exemple, bien qu'il semble que les effets ne sont significatifs que pour les sources de rayonnement bêta aux hautes énergies et fortement atténuées.

De meilleures valeurs expérimentales sont nécessaires pour les facteurs forme des transitions non-unicues, qui amélioreraient les estimations des incertitudes liées à ces facteurs.

Une discussion a lieu sur la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles et une nouvelle comparaison est proposée pour comparer les deux approches reposant sur des définitions différentes des coïncidences doubles.

Il est préoccupant de constater les variations des résultats obtenus avec les différents mélanges et il faudrait partager les expériences acquises à ce sujet. Pour les déterminations d'activité au plus haut niveau, il faudrait un mélange de scintillation liquide de référence, et l'on pourrait choisir par exemple entre un produit du commerce, un mélange de PPO+POPOP+Triton à base de toluène, ou un mélange qui s'avérerait meilleur.

M. J.M. Los Arcos pense qu'un seul mélange ne conviendrait pas dans toutes les situations et peut-être trois ou quatre mélanges seraient-ils nécessaires. Il

faudra prendre conseil auprès de chimistes et M. Los Arcos dit que son groupe de travail est favorable à cette suggestion.

M. Cassette est prié de fournir un résumé de sa présentation pour les délégués.

### 5.3 **Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta au moyen du système de comptage par scintillation liquide**

(coordinateur : J.M. Los Arcos)

Le coordinateur se réfère au document de travail CCRI(II)/01-29 qui présente les progrès réalisés depuis la précédente réunion. En particulier, la monographie d'A. Grau Malonda, *Free parameter models in liquid scintillation counting* (CIEMAT, 1999), a été publiée.

Il est décidé que le groupe de travail devra se réunir dans un proche avenir pour analyser les travaux précédents, préparer une nouvelle monographie sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta au moyen de techniques de comptage par scintillation liquide, et mettre en œuvre et tester ces procédures à l'aide du système de comptage par scintillation liquide du BIPM. Le souci principal du groupe concerne l'exactitude de la fonction d'atténuation (*voir* point 5.2), et il effectue une compilation des publications, valeurs et bases de données intéressantes à ce sujet. Comme indiqué précédemment, trois ou quatre scintillateurs pourraient être nécessaires et il est proposé de donner des conseils en annexe de la nouvelle monographie, détaillant la préparation des échantillons et les vérifications de la stabilité de radionucléides spécifiques tels que le  $^{89}\text{Sr}$ , le  $^{90}\text{Sr}$ , le  $^{204}\text{Tl}$  et le  $^{241}\text{Am}$ .

M. P. De Felice présente aussi son document de travail, CCRI(II)/01-28. Il suggère que l'on attende de l'extension du SIR : des résultats tangibles, une gestion transparente des résultats, un fonctionnement à long terme, un système de mesure stable, des procédures établies (qui ne soient pas affectées par l'évolution des connaissances), un esprit ouvert quant aux ré-évaluations à venir et maintenir une charge de travail raisonnable au BIPM. Le choix pourrait être a) que le laboratoire national de métrologie envoie une solution étalonnée au BIPM et que celui-ci ajoute le scintillateur, b) que le BIPM envoie des fioles vides et le scintillateur au laboratoire national de métrologie qui lui renverrait des sources prêtes à mesurer. Dans les deux cas, le BIPM effectuerait le comptage de l'échantillon, mesurerait le facteur d'atténuation et en déduirait la valeur de l'efficacité correspondante. Les données des laboratoires nationaux de métrologie seraient considérées en accord si les valeurs de l'efficacité se situent sur la même courbe d'atténuation. Il y aurait un scintillateur par radionucléide. La compensation du manque de stabilité du

système de mesure serait effectuée au moyen de la méthode CIEMAT-NIST qui utilise des modèles et des paramètres fixes.

Au cours de la discussion, il est suggéré que l'on pourrait utiliser la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles ; il ne serait alors pas nécessaire de déterminer l'atténuation chimique indépendamment.

Il est décidé d'utiliser les deux méthodes en parallèle et que le BIPM fournisse des scintillateurs (comme recommandé par le groupe de travail) et des fioles aux laboratoires nationaux de métrologie avec une recette pour la préparation des échantillons. Pour cela, le groupe de travail achèvera les actions détaillées dans le document de travail CCRI(II)/01-29 et fera des mesures d'essai au BIPM vers le 10 janvier 2002. Les dates figurant dans le document de travail doivent être retardées de deux mois et le système du BIPM sera mis à la disposition des laboratoires nationaux de métrologie début août 2002.

#### **5.4 Extension aux radionucléides à courte durée de vie**

M. M.J. Woods présente l'état d'avancement du projet de l'ICRM qui étudie différentes alternatives pour les radionucléides dont la durée de vie est trop courte pour permettre le transport d'échantillons pour des mesures du SIR. Le système à l'étude utilise le système d'étalonnage secondaire de radionucléides du NPL, disponible dans de nombreux laboratoires nationaux de métrologie. La procédure consiste à fournir des sources de référence dans des ampoules du SIR à partir d'une solution mère d'un radionucléide approprié, tous les échantillons étant vérifiés dans la chambre du NPL avant l'envoi. Ces sources permettront de normaliser les réponses des chambres des laboratoires nationaux de métrologie. Les laboratoires nationaux de métrologie étalonneront le radionucléide à courte durée de vie, donneront les substances à analyser (aliquotes) dans des ampoules du SIR à leur propre laboratoire et les mesureront dans leur propre chambre. Les résultats seront ensuite collectés et analysés au NPL. Le  $^{18}\text{F}$  (dont la demi-vie est de deux heures) a été choisi pour l'étude pilote, ainsi que le  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ , comme source de référence. En raison de la reproductibilité de la réponse des chambres, il est aussi possible d'apporter des corrections pour les contaminants. À ce jour, cinq laboratoires nationaux de métrologie ont envoyé six résultats et l'on en attend quatre autres. Les premiers résultats semblent prometteurs ; un résultat doit être corrigé pour la contamination par le  $^{48}\text{V}$ . Pour que ce système soit convenable, il faudra y apporter des améliorations, en particulier au format du rapport. De plus, il faudra mettre au point un mécanisme pour

transférer les résultats au SIR à partir d'un laboratoire national de métrologie assez proche du BIPM pour permettre le transport des échantillons de radionucléides à courte durée de vie. Le BNM-LNHB accepte de s'en charger en septembre 2001. Une autre comparaison est envisagée, peut-être de  $^{67}\text{Ga}$ .

## **6 QUESTIONS RELATIVES À L'ARRANGEMENT DE RECONNAISSANCE MUTUELLE**

### **6.1 Équivalence des étalons (coordinateur : M.J. Woods)**

Le rapport du Groupe de travail sur l'équivalence des étalons a été discuté au point 4.4. Le seul point supplémentaire à l'ordre du jour du nouveau Groupe de travail sur les comparaisons clés est d'établir une liste des radionucléides ayant les mêmes schémas de désintégration et qui sont étalonnés avec la même technique. C'est nécessaire pour étayer les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages qui concernent les radionucléides qui n'ont pas fait l'objet d'une comparaison clé. La référence à la participation à une comparaison clé d'un autre radionucléide du même groupe permettrait d'étayer ces aptitudes.

### **6.2 Résultats des comparaisons régionales revus par le Groupe de travail sur l'équivalence des étalons**

Aucun résultat n'a été soumis.

### **6.3 Comparaisons régionales proposées à la Section II du CCRI**

L'APMP souhaite effectuer des comparaisons supplémentaires, mais celles-ci n'ont pas encore été décidées. Il est possible qu'elles comprennent une comparaison des sources de référence de grande surface utilisées pour l'étalonnage des contrôleurs de contamination.

L'EUROMET fait une proposition similaire et il est recommandé que les deux régions relient leurs comparaisons, en offrant la possibilité à un laboratoire national de métrologie de chaque groupe de participer aux deux comparaisons pour effectuer la liaison.



L'APMP soumettra les résultats de ses comparaisons de  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{88}\text{Y}$  et de  $^{166}\text{Ho}^{\text{m}}$  au Groupe de travail sur les comparaisons clés de la Section II du CCRI, après consultation des participants. La même procédure s'appliquera aux comparaisons de  $^{47}\text{Sc}$ ,  $^{123}\text{I}$  et de  $^{237}\text{Np}$  de l'EUROMET (G. Ratel présente les résultats du SIR pour cette dernière comparaison).

#### **6.4 Rapports sur l'état d'avancement des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages des organisations régionales**

Le JCRB a proposé le texte d'une déclaration à joindre aux certificats émis dans le cadre de l'arrangement de reconnaissance mutuelle, et l'on attend de savoir si cette proposition est approuvée.

Mme N. Coursol est maintenant la coordinatrice technique dans le domaine des rayonnements ionisants de l'EUROMET ; elle remplace M. D. Reher. Environ deux mille entrées sont proposées et nous espérons qu'elles seront soumises au JCRB en octobre 2001. L'examen inter-régional aura lieu après cette date.

M. T.S. Park est président du Technical Committee for Ionizing Radiation (TCRI) de l'APMP. Cinq laboratoires nationaux de métrologie ont déjà envoyé leurs listes d'aptitudes ; elles sont en cours de traitement. Nous espérons que ce sera terminé fin 2001 et qu'il sera possible de les envoyer au JCRB en 2002.

Le SIM n'a pas envoyé de rapport.

Le COOMET n'a pas envoyé de rapport, mais aucun tableau contenant les aptitudes n'a encore été préparé.

Au SADC MET, seul le CSIR-NML (Afrique du Sud) conserve des étalons de mesure dans le domaine des rayonnements ionisants. Le COOMET et le SIM ont revu certaines de leurs aptitudes pour l'annexe C, mais des questions restent à résoudre.

#### **6.5 Base de données du BIPM sur les comparaisons clés**

Il est rappelé aux délégués qu'il est nécessaire de tenir le secrétaire exécutif informé de l'état d'avancement des comparaisons liées à l'arrangement de reconnaissance mutuelle.

Une lettre de M. Moscati au rédacteur de *Metrologia* est distribuée. Il est rappelé aux délégués qu'il est exclu de changer les résultats d'une comparaison lors de la procédure de révision d'un rapport.

## **7 RAPPORTS DES AUTRES GROUPES DE TRAVAIL**

Chaque groupe de travail a soumis un rapport annuel sur l'état d'avancement de ses activités. Ces rapports ont été distribués à tous les participants en 2000 et 2001. Il est décidé de maintenir le principe de rapports annuels.

### **7.1 Systèmes de détection à haute efficacité (coordinateur : G. Winkler)**

M. G. Winkler présente les progrès réalisés dans l'examen des systèmes de détection à haute efficacité. Il discute des principes de cette méthode, soulignant que, lorsqu'il y a des transitions directes vers le niveau fondamental, il faut alors connaître le rapport d'embranchement pour déterminer avec exactitude l'activité. Il est nécessaire d'étudier la contribution du rayonnement de freinage et des événements de conversion interne aussi bien que celle des photons. M. Winkler démontre cette approche en regroupant les transitions du schéma de désintégration sous un format conçu à l'origine pour les transitions entre niveaux.

Les résultats des mesures fondées sur des valeurs de l'efficacité déterminées de manière expérimentale sont comparés à celles fondées sur des simulations de Monte Carlo et effectuées à Lausanne par M. Décombaz. Les mesures s'accordent en général de  $\pm 0,1$  % à  $\pm 0,2$  % près pour le  $^{51}\text{Cr}$ , le  $^{54}\text{Mn}$ , le  $^{60}\text{Co}$ , le  $^{75}\text{Se}$ , le  $^{137}\text{Cs}$ , l' $^{152}\text{Eu}$  et l' $^{192}\text{Ir}$ , bien que les incertitudes sur l' $^{152}\text{Eu}$  soient d'environ  $\pm 0,5$  %, et puissent atteindre  $\pm 1,7$  % pour les sources épaisses. La détermination de l'incertitude est aussi décrite.

Une version révisée du document de travail CCRI(II)/01-13 est soumise ; elle constitue la première page du résumé soumis pour publication.

### **7.2 Réalisation élémentaire du becquerel (coordinateur : D.F.G. Reher)**

L'état d'avancement de la réalisation élémentaire du becquerel est présenté. Les efforts ont été principalement consacrés à déterminer les variations tolérables des composants pour obtenir une reproductibilité des chambres meilleure que 0,1 %. La plupart des schémas et le choix des dimensions sont faits ; la prochaine étape consistera à produire des prototypes à l'IRMM et au NPL. Tous les paramètres critiques seront traçables au SI. Il faut encore déterminer le système optimal pour contenir les échantillons puisqu'il n'est pas possible de produire des ampoules identiques avec une exactitude suffisante.

## 8 RAPPORTS SUR LES PROJETS DES LABORATOIRES NATIONAUX DE MÉTROLOGIE

Les rapports détaillés sur les projets des laboratoires nationaux de métrologie ont été envoyés aux délégués avant la réunion.

M. J.-J. Gostely présente les résultats d'un calcul de la réponse de la chambre d'ionisation IG11/A20 pour les ampoules de radon à l'état gazeux. Ils sont fondés sur la courbe d'efficacité de la chambre. D'autres travaux sont en cours pour tenir compte des différences entre les radionucléides en phase gazeuse et en phase liquide.

Mme N. Coursol présente le nouvel organigramme du BNM-LNHB. Elle montre aussi les résultats de certaines simulations de la réponse de chambres d'ionisation effectuées avec le code de Monte Carlo PENELOPE. L'accord entre les résultats obtenus par simulation et de manière expérimentale est raisonnable, le code surestimant tous les radionucléides testés à ce jour de 6 %, à l'exception de l'<sup>125</sup>Ir qui est sous-estimé de 10 %.

## 9 PROGRAMME DE TRAVAIL À VENIR DU BIPM

Le spectromètre Ge(Li) est utilisé pour une grande variété de mesures et de vérifications d'impuretés. Notons que les mesures d'activité de la comparaison de <sup>152</sup>Eu ont été effectuées à l'aide de la courbe d'efficacité du spectromètre ; elles sont en accord avec la valeur moyenne de la comparaison à un niveau d'incertitude similaire à celui des mesures primaires.

Les mesures effectuées avec le spectromètre HPGe (de type XtRa) indiquent une résolution de 1,9 keV pour les énergies des photons dans le <sup>60</sup>Co, résolution réduite à mieux que 1 keV à 60 keV.

De nouvelles échelles de comptage, fonctionnant sous LabView, ont été installées dans le système de mesure primaire 4 $\pi$  $\beta$ - $\gamma$  et les mesures temporelles ont été vérifiées par comparaison directe avec une horloge à césium.

Le système de contrôle à commande numérique prêté par l'ANSTO et le NPL a été vérifié pour l'<sup>152</sup>Eu et l'<sup>241</sup>Am. De plus, une comparaison de <sup>60</sup>Co a

été effectuée en utilisant en parallèle le système de contrôle à commande numérique et le système d'acquisition des données du BIPM. Le rapport entre les résultats obtenus avec les deux méthodes est de 0,9986 ( $u_A = 0,0010$ ).

Un article intitulé *Mutual Recognition and Equivalence in Radioactivity. How can the International Reference System be used?* a été présenté par G. Ratel au *5th Workshop on the theme of mathematical and computational tools in metrology* qui a eu lieu à l'Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal en mai 2000. Cet article figure dans le compte rendu de la conférence, publiée sous le titre *Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology V*, p. 291-297.

Les activités à venir comprennent l'étalonnage de l'efficacité du spectromètre HPGe, des simulations de Monte Carlo utilisant le code GEANT pour les courbes d'efficacité de la chambre d'ionisation du SIR pour les photons, le rayonnement bêta et les positrons, et les effets de la masse volumique des solutions et des sources gazeuses. Des simulations seront aussi effectuées avec le code PENELOPE et la méthode Svec/Schrader présentée à l'ICRM 2001. Un projet réalisé en association avec M. Cox (NPL) est en cours de mise au point pour remplacer les ajustements itératifs utilisés actuellement pour les courbes d'efficacité du SIR.

## **10 TENDANCES ET BESOINS À VENIR DANS LE DOMAINE DE LA MÉTROLOGIE : RECOMMANDATIONS AU CCRI POUR LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE**

M. Moscati explique qu'un rapport sur les besoins futurs en métrologie avait été préparé en 1998 par le Comité international et présenté à la Conférence générale. Le Comité international a décidé que ce rapport devait être révisé en raison des changements importants ayant eu lieu depuis cette date. Certaines des missions décidées à l'époque sont accomplies, des progrès scientifiques et technologiques rapides ont eu lieu et de nouveaux domaines de la métrologie ont vu le jour, comme la chimie et la biotechnologie. De plus, des besoins urgents de la société sont évoqués, tels que la nécessité de supprimer les barrières techniques au commerce, la protection de l'environnement, la protection de la santé et de la sécurité humaines, et en

particulier la sécurité alimentaire, la nécessité de disposer de mesures plus fiables, exactes, traçables et comparables, et l'existence de réseaux mondiaux qui ne sont pas liés aux laboratoires nationaux de métrologie.

La Résolution 4 de la vingt et unième Conférence générale souligne la nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes. De plus, les gouvernements remettent en question l'impact économique de la métrologie financée sur des fonds publics. Il est donc important que les laboratoires nationaux de métrologie et le BIPM revoient leurs priorités. Un questionnaire a été envoyé aux laboratoires nationaux de métrologie, demandant des réponses à un certain nombre de questions relatives à cette étude.

Un souci spécifique à la Section II du CCRI est la difficulté croissante liée au transport de matériaux radioactifs, même s'ils ont une activité relativement faible, matériaux nécessaires au déroulement des comparaisons liées à l'arrangement de reconnaissance mutuelle. M. Moscati est prié de transmettre ces préoccupations au Comité international. Les membres se mettent d'accord sur les termes suivants :

« La Section II du CCRI prend acte de l'évolution des règlements de transport internationaux, qui deviennent de plus en plus restrictifs en ce qui concerne le transport de matériaux faiblement radioactifs. La Section II du CCRI est préoccupée que cela ne réduise la capacité des laboratoires nationaux de métrologie à comparer leurs mesures d'activité. Ces comparaisons sont nécessaires pour établir la traçabilité au Système international d'unités et assurer que les règlements sont applicables. La Section II du CCRI propose que le Comité international discute de cette question avec l'AIEA pour voir s'il est possible d'introduire des procédures spéciales de transport pour l'échange de sources de radionucléides destinées aux comparaisons entre les laboratoires nationaux de métrologie. »

## **11 RAPPORTS DES LABORATOIRES NATIONAUX DE MÉTROLOGIE**

Les rapports des laboratoires nationaux de métrologie ont été envoyés avant la réunion sous forme de documents de travail de la Section II du CCRI et il n'est pas demandé de présentation orale, ni posé de question.

## **12 PAGES WEB DE LA SECTION II DU CCRI**

Une démonstration est faite aux délégués sur l'accès aux documents de travail, en accès restreint, sur les pages Web de la Section II du CCRI.

## **13 COMPOSITION DE LA SECTION II DU CCRI**

Il est décidé d'encourager l'ENEA à devenir membre à part entière de la Section II du CCRI.

## **14 QUESTIONS DIVERSES**

M. C. Grover présente la situation des étalons de radioactivité au Canada. Une étude a montré qu'au moins quatre personnes étaient nécessaires pour maintenir une activité viable dans ce domaine au Canada et l'on attend la réponse des autorités.

M. Quinn propose de n'utiliser que des documents électroniques pour les réunions. Les points principaux sont les suivants :

- Les documents soumis aux réunions doivent être délivrés sous forme électronique.
- Ces documents seront accessibles sur le serveur du BIPM, dans la zone relative au Comité consultatif concerné, en accès restreint.
- Les délégués des laboratoires membres, une fois nommés, se verront attribuer un mot de passe leur permettant d'accéder à ces documents pour les lire ou les télécharger s'ils le désirent.
- Les délégués seront prévenus quand ces documents seront disponibles sur le serveur. Il ne sera plus distribué de copies papier.

- Les documents courts apportés le jour de la réunion, ou juste avant, seront distribués sous forme papier, après approbation du président du Comité.
- Après la réunion, les documents de travail resteront accessibles sur le serveur du BIPM, avec le même code d'accès ; il n'y aura plus de volumes reliés regroupant les documents de travail.

Il est demandé que les documents soient délivrés au format Word ou PDF, de manière à ce qu'ils puissent être téléchargés et utilisés facilement. Il faudra demander préalablement l'autorisation des auteurs.

## **15 DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION**

Il est préférable que la réunion de la Section II du CCRI ait lieu juste avant la réunion de l'ICRM, de manière à ce que les décisions de la Section II du CCRI soient transmises à l'ICRM, et un tel arrangement réduirait les problèmes de transport des délégués venant de loin. La prochaine réunion de l'ICRM en 2003 devrait avoir lieu au cours de la première semaine de juin à Dublin. La date la plus commode pour réunir la Section II du CCRI serait la dernière semaine de mai 2003, à partir du mardi. Une suggestion est faite de réunir la Section II tous les ans en cas de besoin.

Le président de la Section II du CCRI clôt la réunion et remercie les délégués de leur participation, le rapporteur, et en particulier la secrétaire exécutive du CCRI et le personnel du BIPM pour leur aide pendant la réunion.

M.J. Woods, rapporteur

septembre 2001

révisé octobre 2001

**ANNEXE R(II) 1.****Documents de travail présentés à la  
16<sup>e</sup> réunion de la Section II du CCRI**

Les documents de travail qui ne portent pas la mention « en accès restreint » peuvent être obtenus dans leur langue originale sur demande adressée au BIPM, ou téléchargés sur le serveur du BIPM (<http://www.bipm.org>).

Document  
CCRI(II)/

- 01-01 BIPM. — Protocol on the use of the calibrated  $\gamma$  spectrometer of the BIPM for the measurement of impurities in ampoules submitted to the SIR, 2 p.
- 01-02 BIPM, PTB (Allemagne), NIST (États-Unis). — First measurement of  $^{177}\text{Lu}$  in the SIR, C. Michotte, G. Ratel, E. Schönfeld, H. Schrader, E. Günther, R. Klein, B. Zimmerman, M. Unterweger, 5 p.
- 01-03 NIST (États-Unis). — Two-year report to the BIPM, from the NIST Radioactivity Group, 22 p.
- 01-04 ANSTO (Australie). — Summary and progress report for radiation standards at ANSTO, 13 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-05 VNIIM (Féd. de Russie). — The works in the field of radionuclide metrology carried out at the VNIIM within the period 1999-2000, I.A. Kharitonov, N.I. Karmalitsyn, 2 p.
- 01-06 NPL (Royaume-Uni). — Review of recent work and projects 2000, M.J. Woods, 3 p.
- 01-07 IIK (Autriche). — Summary of the research programme related to radionuclide metrology for the years 2000 and 2001, G. Winkler *et al.*, 4 p.
- 01-08 CSIR-NML (Afrique du Sud). — Review of the activities at the CSIR-NML, B.R.S. Simpson, 2 p.
- 01-09 BNM-LNHB (France). — Summary of activities in the field of radionuclide metrology, N. Coursol, 6 p.



## Document

## CCRI(II)/

- 01-10 ENEA-INMRI (Italie). — Report on the activity carried out at the ENEA-INMRI on radionuclide measurements in the period 1999-2001, P. De Felice, 6 p.
- 01-11 BIPM. — Efficiency curve of the ionization chamber of the SIR, C. Michotte, 10 p.
- 01-12 KRISS (Rép. de Corée). — Progress report on radionuclide metrology (1999-2001), 3 p.
- 01-13 IIK (Autriche). — High-efficiency photon detection systems for accurate radioactivity measurements, G. Winkler, 1 p.
- 01-14 Groupe de travail de la Section II du CCRI sur la réalisation élémentaire du becquerel. — Report of the WG “The Bq @ the Basic Level”, D.F.G. Reher, M.J. Wods, 1 p.
- 01-15 Groupes de travail de la Section II du CCRI sur l’analyse systématique du SIR et sur l’équivalence des étalons. — Report of the CIPM/CCRI(II) WGs “Evaluation of the SIR” and “International equivalence”, D.F.G. Reher, 8 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-16 IRMM. — Report on the activities of IRMM-RN since the CCRI(II) meeting in 1999, D.F.G. Reher, 1 p.
- 01-17 OMH (Hongrie). — Progress report on radionuclide metrology (1999-2001), L. Szücs, 3 p.
- 01-18 BIPM. — Status of the International Reference System, G. Ratel, C. Michotte, C. Colas, 2 p.
- 01-19 BIPM. — Formulae to calculate the equivalent activity of a radionuclide  $A_e$  from the individual results of the participants in a CCRI(II) international comparison, G. Ratel, 2 p.
- 01-20 BIPM. — Proposals for future CCRI(II) key comparisons of activity, P.J. Allisy-Roberts, G. Ratel, C. Michotte, 4 p.
- 01-21 NPL (Royaume-Uni). — Future CCRI(II) key comparisons – A discussion, M.J. Woods, 5 p.
- 01-22 NMIJ/AIST (Japon). — Progress report on radioactivity standardization, Y. Hino, 4 p.

## Document

## CCRI(II)/

- 01-23 Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les mesures d'activité. — Recommendations of the CCRI(II) Working Group on Activity Measurements, particularly for  $^{204}\text{Tl}$ , G. Ratel, 3 p.
- 01-24 NMi VSL (Pays-Bas). — Developments of the NMi standards for radioactivity measurements, W. de Vries, 2 p.
- 01-25 LNMRI (Brésil). — Summary of work in radionuclide field at the LNMRI 1999-2000, C.J. da Silva,, 2 p.
- 01-26 RC (Pologne). — Review of activity of the RC radionuclide metrology (1999-2001), R. Broda, 2 p.
- 01-27 IRA-METAS (Suisse). — Progress report 1999-2001 on radionuclide metrology at the IRA-METAS, J.-J. Gostely, 3 p.
- 01-28 ENEA-INMRI (Italie). — Comment on SIR extension, P. De Felice, 2 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-29 Groupe de travail de la Section II du CCRI sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement beta. — SIR Extension to Beta Emitters Working Group, J.M. Los Arcos, 3 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-30 CIEMAT (Espagne). — Report of activities in 1999, J.M. Los Arcos, 3 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-31 CIEMAT (Espagne). — Report of activities in 2000, J.M. Los Arcos, 4 p. (en accès restreint/restricted access)

**Comité consultatif  
des rayonnements ionisants**

**Section III : mesures neutroniques**

**Rapport de la 14<sup>e</sup> réunion**

(28–29 mai 2001)

## Ordre du jour

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Rapport de la seizième session du CCRI.
- 3 Rapport de la treizième réunion de la Section III du CCRI.
- 4 Comparaisons clés de la Section III du CCRI :
  - 4.1 Comparaison de mesures de fluence de neutrons rapides : comparaison clé CCRI(III)-K1 de sphères de Bonner à 24,5 keV ;
  - 4.2 Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons : comparaison clé de neutrons thermiques CCRI(III)-K8.B-10 ;
  - 4.3 Comparaison clé de mesures de taux d'émission de neutrons CCRI(III)-K9-AmBe ;
  - 4.4 Comparaison clé de mesures de débit de fluence de neutrons CCRI(III)-K10 ;
  - 4.5 Comparaisons futures.
- 5 Comparaisons des organisations régionales de métrologie :
  - 5.1 Comparaison d'étalonnage d'instruments pour le contrôle neutronique : projet 608 de l'EUROMET ;
  - 5.2 Autres comparaisons des organisations régionales de métrologie.
- 6 L'arrangement de reconnaissance mutuelle :
  - 6.1 Soumissions à l'annexe B ;
  - 6.2 Soumissions à l'annexe C.
- 7 Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires des participants.
- 8 Tendances et besoins à venir dans le domaine de la métrologie des neutrons (en liaison avec le rapport pour la Conférence générale).
- 9 Composition future de la Section III du CCRI.
- 10 Questions diverses.
- 11 Date de la prochaine réunion.
- 12 Visite des laboratoires du BIPM.

## Résumé

La Section III (mesures neutroniques) du Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI) a tenu sa quatorzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 28 et 29 mai 2001. C'est la première réunion de la Section III consécutive à la signature de l'arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA) à Paris en octobre 1999, et la première réunion dirigée par le nouveau président de la Section III, M. H. Klein de la PTB. Les comparaisons clés de la Section III se déroulent à un rythme plus rapide en réponse au MRA. M. T.J. Quinn, directeur du BIPM, présente des directives pour la publication des résultats des comparaisons clés, avec une liste des points à vérifier pour la préparation du rapport final des comparaisons clés et les publications associées dans *Metrologia*. La soumission d'une publication à *Metrologia* sur la comparaison, maintenant achevée, de mesures de fluence de neutrons à 24,5 keV est discutée en détail, ainsi que l'inclusion des résultats, de la valeur de référence, et des déclarations d'équivalence dans l'annexe B du MRA. Trois comparaisons en cours sont discutées, sur des mesures de débit de fluence de neutrons rapides de quatre sources de neutrons monoénergétiques dans les domaines d'énergie du keV et du MeV, sur la mesure de taux d'émission de sources neutroniques, et sur la mesure de débit de fluence de neutrons thermiques. Pour finir, les participants ont échangé des informations sur la métrologie des neutrons dans les laboratoires des participants, en présentant en particulier les ressources, les équipements, les instruments, les applications en cours et les besoins futurs.

## **1 OUVERTURE DE LA RÉUNION ; APPROBATION DE L'ORDRE DU JOUR ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR**

La Section III (mesures neutroniques) du Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI) a tenu sa quatorzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 28 et 29 mai 2001.

Étaient présents : T. Bolognese (BNM), D.M. Gilliam (NIST), H. Klein (président de la Section III du CCRI, PTB), K. Kudo (NMIJ/AIST), N.N. Moiseev (VNIIM), G. Moscati (président du CCRI), A.J.M. Plompen (IRMM), T.J. Quinn (directeur du BIPM), D.J. Thomas (NPL).

Observateurs : A. Allisy (ICRU), Chaofan Rong (CIAE).

Invités : M. Kralik (CMI), B.R.S. Simpson (président de la Section II du CCRI, CSIR-NML).

Ont assisté à tout ou partie de la réunion : P.J. Allisy-Roberts (secrétaire exécutive du CCRI, BIPM), C. Michotte, G. Ratel, C. Thomas (BIPM).

Excusés : P. Sharpe (président de la Section I du CCRI, NPL), J. Zoetelief (TNO).

Absents : AIEA, NIM.

Le directeur du BIPM souhaite la bienvenue aux participants à la réunion de la Section III dans la salle de conférence du nouveau Pavillon du Mail.

M. H. Klein, président de la Section III, ouvre la réunion en exprimant sa gratitude à M. V.E. Lewis (NPL) pour les services précieux qu'il a rendus durant de nombreuses années en tant que membre et ancien président de la Section III. Étant donné que plusieurs personnes assistent à la réunion de la Section III pour la première fois, tous les participants sont invités à se présenter.

M. Klein remercie M. Moscati de lui avoir accordé sa confiance en tant que président de la Section, mais il signale qu'il n'a l'intention de remplir ces fonctions que durant deux ou trois périodes entre réunions avant de prendre sa retraite. M. Klein remercie Mme Allisy-Roberts pour la préparation de la réunion, et souhaite la bienvenue à M. B.R.S. Simpson, le président de la Section II (mesure des radionucléides).

M. D. Gilliam accepte la fonction de rapporteur.

À la rubrique « Questions diverses », Mme Allisy-Roberts propose de discuter du passage au mode de distribution par voie électronique des documents de travail de la réunion.

## **2 RAPPORT DE LA SEIZIÈME SESSION DU CCRI**

M. Moscati accueille les participants et exprime ses remerciements à M. V. Lewis pour ses activités en qualité d'ancien président de la Section, et il présente ses meilleurs vœux à M. H. Klein en tant que nouveau président. M. Moscati dit que le rapport imprimé de la seizième session du CCRI contient un compte rendu détaillé de cette session et des réunions associées des trois Sections.

## **3 RAPPORT DE LA TREIZIÈME RÉUNION DE LA SECTION III DU CCRI**

Aucun changement n'est demandé au sujet du rapport publié de la treizième réunion de la Section III du CCRI.

## **4 COMPARAISONS CLÉS DE LA SECTION III DU CCRI**

M. Quinn passe en revue le document CCQM/01-1 intitulé « Guidance for the publication of the results of key comparisons » et propose une liste de points à contrôler dans le projet B des rapports des comparaisons clés et pour la préparation d'un bref résumé pour *Metrologia* (document CCEM/00-18).

Il note que le projet A des rapports est destiné uniquement aux participants. Le projet B des rapports doit contenir toutes les informations nécessaires

pour l'inclusion des résultats dans l'annexe B du MRA, y compris les valeurs de référence proposées et les degrés d'équivalence. Une fois approuvé par le Comité consultatif, le projet B de rapport devient le rapport final de la comparaison et est inclus dans l'annexe B. Sur la base du rapport final destiné à l'annexe B, un rapport scientifique plus bref peut être préparé et soumis pour publication à *Metrologia*\* ou à une autre revue scientifique. Dans les projets A et B de rapports, et dans le résumé d'une ou deux pages pour *Metrologia*, les incertitudes sont exprimées sous la forme  $k = 1$  (correspondant à un écart-type), alors que la valeur de référence et les degrés d'équivalence sont exprimés sous la forme  $k = 2$ .

#### 4.1 Comparaison de mesures de fluence de neutrons rapides : comparaison clé CCRI(III)-K1 de sphères de Bonner à 24,5 keV

Le NPL est le laboratoire pilote de la comparaison clé CCRI(III)-K1 de sphères de Bonner à 24,5 keV depuis que le BIPM a fermé la section de métrologie des neutrons. M. Lewis a préparé un projet A de rapport proposant deux options pour la pondération des résultats des participants afin de déterminer la moyenne pondérée servant de valeur de référence. La première option est d'utiliser les incertitudes déclarées par les participants, mais M. Klein dit qu'elles ne sont pas valables si elles ne sont pas accompagnées de bilans d'incertitude détaillés et d'explications sur l'estimation des composantes individuelles de l'incertitude. L'autre option est de donner le même poids aux résultats de la plupart des participants, à l'exception du NIST, qui a estimé une incertitude plus grande sur les résultats obtenus pour cette comparaison. Une autre alternative consiste à utiliser la médiane pour résoudre les problèmes dus à un résultat apparemment aberrant (celui du NIST) et aux incertitudes exceptionnellement faibles du CIAE et du VNIIM. La Section III du CCRI est toutefois favorable à la moyenne pondérée, s'il est possible d'utiliser des incertitudes globalement acceptées par les participants. Un point important est que l'on ne peut attribuer qu'une seule valeur pour le degré d'équivalence d'un laboratoire participant, c'est-à-dire que si un participant utilise différentes sources de neutrons ou des méthodes différentes, la valeur moyenne et le bilan d'incertitude associé devront être déclarés.

De plus, il est noté que le rapport ne présente pas de discussion sur les procédures de mesure, les instruments ou étalons de référence utilisés pour

---

\* *Metrologia* propose maintenant de publier le rapport final des comparaisons clés dans un supplément technique accessible sous forme électronique.



les mesures de fluence de neutrons, ni sur les bilans d'incertitude déclarés. M. Klein suggère de demander de plus amples informations sur les incertitudes aux participants et il proposera une recommandation à M. Lewis d'ici trois mois. Le projet B de rapport sera alors soumis à la Section III par courrier électronique ou par la poste pour approbation.

#### **4.2 Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons : comparaison clé de neutrons thermiques CCRI(III)-K8.B-10**

Le NIST est le laboratoire pilote de la comparaison clé de neutrons thermiques CCRI(III)-K8.B-10. Le NIST a envoyé un instrument de transfert au NPL en décembre 2000 pour des mesures d'essai. En raison de certaines difficultés dues aux conditions de travail dans le laboratoire, le NPL ne pourra effectuer ces mesures avant fin juin 2001. Le protocole de la comparaison a été distribué à la Section III, et les commentaires seront acceptés jusqu'à la fin du mois de juillet 2001.

Des dates provisoires de participation d'autres laboratoires à la comparaison sont fixées :

- CIAE : septembre – novembre 2001 ;
- NIST : décembre 2001 – février 2002 ;
- NMIJ/AIST : après juin 2002 ;
- IRMM : automne 2002 – printemps 2003.

Le BNM pourrait y prendre part dans deux ans quand le nouvel accélérateur sera prêt. Le VNIIM préfère attendre jusqu'à ce qu'il ait trouvé un laboratoire partenaire disposant d'un réacteur. La PTB ne peut pas prendre d'engagement pour le moment. Il est décidé que les résultats du CIAE et du NPL devront soit être conservés, soit envoyés à M. Ratel (BIPM) qui les conservera confidentiellement, jusqu'à ce que les résultats du NIST aient été envoyés au BIPM, puisque le NIST est à la fois participant et chargé de l'évaluation des résultats.

#### **4.3 Comparaison clé de mesures de taux d'émission de neutrons CCRI(III)-K9-AmBe**

Le NPL est le laboratoire pilote de la comparaison clé de mesures de taux d'émission de neutrons CCRI(III)-K9-AmBe, même si M. Lewis n'est plus là pour rassembler et évaluer les résultats. Le CMI, le NPL et le VNIIM ont terminé leurs mesures. La source d'AmBe qui se trouve actuellement au KRISS sera envoyée par le laboratoire coréen au CIAE avant la fin du mois

de mai 2001. Le NIST est prêt, et devrait recevoir la source en août 2001. M. Bolognese contactera le BNM-LNHB pour voir si ce laboratoire souhaite participer à la comparaison. La comparaison devrait s'achever au printemps 2002. M. Klein, ou éventuellement M. J. Adams (NIST), sera chargé de l'évaluation des résultats, si ce dernier est disponible au moment où les mesures seront terminées.

#### **4.4 Comparaison clé de mesures de débit de fluence de neutrons CCRI(III)-K10**

La PTB est le laboratoire pilote de la comparaison clé de mesures de débit de fluence de neutrons rapides pour quatre sources monoénergétiques : 144 keV, 1,2 MeV, 5 MeV, et 14,8 MeV. Pour la première fois, la comparaison clé de mesures de débit de fluence de neutrons CCRI(III)-K10 a été effectuée dans le même faisceau et pendant la même période par tous les participants, au moyen d'instruments étalons primaires (ou secondaires). En mars 2001, sept laboratoires ont effectué leurs mesures en utilisant l'accélérateur de la PTB. Le protocole et le programme d'analyse et de compte rendu des résultats suivants ont été approuvés :

- sélection des meilleurs débits contrôlés de neutrons, corrigés pour les pertes de temps morts et pour la diffusion provenant des instruments placés dans le faisceau ;
- sélection des fluences neutroniques spectrales calculées, divisées entre les spectres de neutrons qui n'ont pas subi de collision et ceux dispersés par la cible, calcul des corrections par la PTB, envoi à tous les participants à la fin de juin 2001 ;
- détermination de la fluence des neutrons n'ayant pas subi de collision à 1 m de distance dans le vide et calcul du facteur d'étalonnage du système de contrôle choisi pour cette comparaison, évaluation du bilan d'incertitude, et rédaction d'un rapport final par le laboratoire national de métrologie (les rapports finaux doivent être envoyés à M. Klein, chargé de l'évaluation, avant la fin d'octobre 2001) et ;
- compilation et évaluation des résultats par M. Klein (le projet A de rapport devrait être prêt avant la fin de 2001).

#### 4.5 Comparaisons futures

M. Klein mentionne la nécessité d'une comparaison future de spectrométrie neutronique, mais signale aussi un obstacle majeur. Ce besoin existe parce que de nombreux instruments de contrôle ont une réponse significative en fonction de l'énergie dans certains domaines d'énergies neutroniques ; il est donc nécessaire de caractériser la distribution d'énergie dans ces faisceaux de neutrons. Toutefois, en ce qui concerne le spectromètre à sphère de Bonner, la difficulté provient de l'estimation des incertitudes dans la déconvolution du spectre, comme c'est le cas pour tous les autres spectromètres dont la matrice de réponse est calculée par simulation de Monte Carlo et est ajustée de manière expérimentale, c'est-à-dire les spectromètres à protons de recul. Un groupe de travail étudie ce problème, et il est décidé de ne pas entreprendre de comparaison pour le moment.

M. A. Plompen propose d'effectuer une comparaison de mesures de fluence de neutrons à 19 MeV, mais un seul autre laboratoire, la PTB, est favorable à cette proposition. En conclusion, il est préférable d'effectuer une comparaison bilatérale entre l'IRMM et la PTB.

Dans le passé, la Section III a effectué une comparaison d'équivalent de dose, mais seulement à des niveaux thérapeutiques et pas aux niveaux utilisés en radioprotection. La possibilité d'effectuer une comparaison d'équivalent de dose ambiant est discutée (*voir* 5.1).

### 5 COMPARAISONS DES ORGANISATIONS RÉGIONALES DE MÉTROLOGIE

#### 5.1 Comparaison d'étalonnage d'instruments pour le contrôle neutronique : projet 608 de l'EUROMET

Le projet 608 de l'EUROMET, une comparaison d'étalonnage d'instruments pour le contrôle neutronique aux niveaux utilisés en radioprotection, devrait débuter à la fin de l'an 2001 et durer deux ans. Le laboratoire pilote de cette comparaison est le BNM-IPSN. Ce sera probablement une comparaison supplémentaire plutôt qu'une comparaison clé. Les références bibliographiques de cette comparaison seront donc mentionnées dans l'annexe B du MRA et elle pourra servir à étayer des aptitudes en matière de

mesures et d'étalonnages pour l'annexe C. Les résultats de la comparaison ne seront normalement pas publiés dans l'annexe B. En plus du BNM-IPSN, six autres laboratoires européens ont l'intention de participer à cette comparaison. Le CIAE (Chine), l'IRD (Brésil) et le NIST (États-Unis) se sont aussi déclarés intéressés à y participer et semblent bienvenus par l'EUROMET.

## **5.2 Autres comparaisons des organisations régionales de métrologie**

Il n'a été fait part d'aucune autre comparaison des organisations régionales de métrologie dans le domaine de la métrologie des neutrons.

# **6 L'ARRANGEMENT DE RECONNAISSANCE MUTUELLE**

## **6.1 Soumissions à l'annexe B**

L'annexe B mentionne actuellement dix-neuf comparaisons approuvées pour l'équivalence provisoire, qui ont toutes été effectuées avant 1990. Les comparaisons clés en cours ou envisagées, c'est-à-dire les comparaisons CCRI(III)-K1 (mesures de fluence de neutrons rapides à 24,5 keV), CCRI(III)-K8.B-10 (mesures de débit de fluence de neutrons thermiques), CCRI(III)-K9.AmBe (taux d'émission de neutrons), et CCRI(III)-K10 (débit de fluence de neutrons à 0,144 MeV, 1,2 MeV, 5,0 MeV et 14,8 MeV), discutées aux points 4.1 à 4.4, sont déjà enregistrées dans l'annexe B et les résultats seront ajoutés dès qu'ils seront disponibles et qu'ils auront été approuvés par la Section III du CCRI, c'est-à-dire dans un délai de trois ans.

La période de validité des degrés d'équivalence mentionnés dans l'annexe B a été fixée à dix ans par la Section III du CCRI, les comparaisons doivent donc être répétées tous les dix ans au plus tard pour rester valables.

M. Quinn commente que presque tous les résultats finaux soumis à l'annexe B se sont avérés contenir des erreurs numériques et il suggère que les résultats des comparaisons soient vérifiés très soigneusement du point de vue de leur cohérence interne par le laboratoire pilote et au moins par deux autres laboratoires.

## 6.2 Soumissions à l'annexe C

M. Klein fait quelques commentaires au sujet de la soumission des informations relatives aux aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (les CMCs) par les organisations régionales de métrologie telles que l'EUROMET et le SIM. Il note que certaines organisations régionales sont beaucoup plus actives que d'autres, comme on a pu le voir à la section 5 ci-dessus. Mme Allisy-Roberts dit que l'on doit utiliser la liste des catégories de services, qui est approuvée, pour soumettre les CMCs, afin que le moteur de recherche de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés soit efficace. Mme Thomas souligne qu'un ou deux champs de commentaires supplémentaires peuvent être inclus dans l'annexe C pour ajouter des informations telle que l'identité du laboratoire secondaire désigné, qui a effectivement effectué les mesures pour le laboratoire national de métrologie, et des liens aux pages Web de tels laboratoires. M. Simpson demande comment la communauté des utilisateurs sera informée de l'existence de la base de données du MRA. M. Quinn lui répond que le BIPM envisage de faire de la publicité et que chaque laboratoire national de métrologie doit aussi faire de la publicité sur cette source d'information auprès de ses utilisateurs.

Mme Allisy-Roberts attire l'attention des participants sur une déclaration proposée par le JCRB au sujet des certificats d'étalonnage établis selon les directives du MRA : «Ce certificat a été établi conformément à l'arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA) rédigé par le Comité international des poids et mesures (CIPM). Les laboratoires participants reconnaissent, à titre réciproque, la validité des certificats d'étalonnage et de mesurage émis par les autres laboratoires participants, pour les grandeurs, les domaines de mesure et les incertitudes inclus dans l'annexe C du MRA. » (pour plus d'informations, voir le site [www.bipm.org](http://www.bipm.org)). »

Le JCRB attend les commentaires des laboratoires nationaux de métrologie sur cette proposition. La Section III n'a pas émis de recommandation au sujet de cette déclaration.

## **7 ÉCHANGE D'INFORMATIONS SUR LES TRAVAUX EN COURS DANS LES LABORATOIRES DES PARTICIPANTS**

Le président de la Section III avait demandé que tous les participants présentent un rapport sur les activités en cours et les projets à venir dans le domaine de la métrologie des neutrons. Les participants ont donc présenté les ressources, les instruments et les méthodes utilisées pour les mesures de référence, les applications diverses et les demandes de leurs utilisateurs ou clients. Une partie de ces informations figure dans les documents de travail soumis à la Section III du CCRI. Le président demande qu'on lui envoie un résumé des informations complémentaires présentées en session. M. Klein propose d'inclure ces informations dans le rapport résumant l'état d'avancement des travaux et les besoins futurs dans le domaine de la métrologie des neutrons que M. Moscati a demandé aux laboratoires nationaux de métrologie. Le projet de rapport pourrait alors être distribué par courrier électronique pour commentaires. La version finale pourrait alors être approuvée lors de la prochaine session du CCRI.

## **8 TENDANCES ET BESOINS À VENIR DANS LE DOMAINE DE LA MÉTROLOGIE DES NEUTRONS (EN LIAISON AVEC LE RAPPORT POUR LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE)**

M. Moscati présente le contexte de cette demande d'information aux laboratoires nationaux de métrologie sur les tendances et besoins à venir dans le domaine de la métrologie des neutrons. Le rapport intitulé *Besoins nationaux et internationaux dans le domaine de la métrologie*, préparé en 1998 par M. Blevin pour le Comité international, est maintenant en cours de mise à jour par M. Kaarls en vue de la prochaine Conférence générale. Le rapport de 1998 est consultable sur le site Web du BIPM. M. Kaarls prendra en compte les réponses des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie au questionnaire qu'il leur a envoyé, auquel ils doivent répondre avant fin juin ; un premier projet de rapport sera soumis au Comité international en octobre 2001. M. Moscati demande aux membres de la

Section III du CCRI d'exprimer leur point de vue à leur directeur si nécessaire. M. Moscati présentera un rapport au Comité international, et devra aussi préparer et présenter un rapport à la Conférence générale en 2003 sur les besoins à venir dans le domaine de la métrologie des rayonnements ionisants. Celui-ci devra être prêt avant la prochaine session du CCRI, aussi M. Klein tiendra-t-il M. Moscati informé de l'état d'avancement de son résumé évoqué au point 7.

## **9 COMPOSITION FUTURE DE LA SECTION III DU CCRI**

La possibilité d'ajouter de nouveaux membres à la Section III du CCRI est discutée. Le CIAE et le LNMRI/IRD sont intéressés à devenir membres ou observateurs de la Section III. Ils doivent donc obtenir l'accord de leur laboratoire national de métrologie pour être désignés comme les laboratoires nationaux d'étalonnage dans le domaine de la métrologie des neutrons. Ces laboratoires et le CMI sont encouragés à s'adresser à leur laboratoire national pour être désignés comme tels puis à faire une demande au directeur du BIPM pour devenir membres ou observateurs de la Section III. Les critères pour être membre et les détails sur la procédure à suivre figurent sur le site Web du BIPM.

Le président de la Section III contactera aussi les laboratoires nationaux de métrologie travaillant dans le domaine de la métrologie des neutrons et qui participent déjà à une comparaison, comme le KRISS, pour les encourager à participer activement aux activités de la Section III du CCRI.

## **10 QUESTIONS DIVERSES**

Mme Allisy-Roberts informe la Section III que, suite à une décision du directeur du BIPM, tous les documents de travail qui seront soumis par les laboratoires nationaux pour discussion aux prochaines réunions devront être envoyés sous forme électronique et seront accessibles en accès restreint sur le

site Web du BIPM. Il sera possible d'y accéder en donnant un nom d'utilisateur et un mot de passe fournis par la secrétaire exécutive du CCRI. Le mot de passe et le nom d'utilisateur ont été donnés aux participants pour leur permettre d'accéder aux documents de travail de la présente session.\* À l'avenir, le projet d'ordre du jour, la liste des participants et les documents de travail pour les réunions du CCRI seront accessibles uniquement sous forme électronique.

## **11 DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION**

Il est proposé que la prochaine réunion de la Section III ait lieu les 26 et 27 mai 2003 (matin). La Section I se réunirait du 21 au 23 mai 2003 (matin), et la Section II du 28 au 30 mai 2003 (matin), le CCRI se réunissant le 30 mai 2003 (après-midi). Cette proposition doit être approuvée par le Comité international.

## **12 VISITE DES LABORATOIRES DU BIPM**

Un tour des laboratoires de dosimétrie et de radioactivité est offert à M. Moisseev du VNIIM et à M. Kralik du CMI, qui visitent tous deux le BIPM pour la première fois.

Le président de la Section III clôt la réunion en remerciant les participants de leur contribution et le BIPM pour l'organisation de la réunion ainsi que pour son hospitalité.

D.M. Gilliam, rapporteur  
septembre 2001

---

\* À la demande de la Section I du CCRI, les documents de travail des réunions qui se sont déroulées en mai 2001 ont été gravés sur CD-ROM, lequel a été distribué aux participants.



## ANNEXE R(III) 1.

### Documents de travail présentés à la 14<sup>e</sup> réunion de la Section III du CCRI

Les documents de travail qui ne portent pas la mention « en accès restreint » peuvent être obtenus dans leur langue originale sur demande adressée au BIPM, ou téléchargés sur le serveur du BIPM (<http://www.bipm.org>).

Document  
CCRI(III)/

- 01-01 VNIIM (Féd. de Russie). — Measurement of the neutron emission rate of an Am-Be ( $\alpha,n$ ) source AMN-1000-1096 according to the inter-comparison programme, N.N. Moiseev, I.A. Kharitonov, D.I. Sharikov, 4 p.
- 01-02 VNIIM (Féd. de Russie). — Measurement of the neutron source strength of a spontaneous fission source based on  $^{244}\text{Cm}$  and  $^{252}\text{Cf}$  by the calorimetric method, N.N. Moiseev, M.A. Rasko, I.A. Kharitonov, 3 p.
- 01-03 VNIIM (Féd. de Russie). — Neutron field shaper, N.N. Moiseev, M.A. Rasko, I.A. Kharitonov, 2 p.
- 01-04 CIAE (Chine). — The neutron metrology research at the China Institute of Atomic Energy, Rong Chaofan, Chen Jun, Wang Zhiqiang, Luo Hailong, 2 p.
- 01-05 NMIJ/AIST (Japon). — Recent activities on neutron standardization at the Electrotechnical Laboratory, K. Kudo, N. Takeda, S. Koshikawa, A. Uritani, 7 p.
- 01-06 JAERI (Japon). — Present status of FRS of JAERI, M. Yoshizawa, J. Saegusa, Y. Tanimura, M. Yoshida, 5 p.
- 01-07 NPL (Royaume-Uni). — Comparison of 24.5 keV neutron fluence measurements, V.E. Lewis, 13 p.
- 01-08 IRD/LNMRI (Brésil). — IRD/LNMRI Neutron Laboratory progress report 2000-2001, 2 p.
- 01-09 IRD/LNMRI (Brésil). — Present status of the manganese sulphate bath at the LNMRI, E. S. da Fonseca, W.W. Pereira, 4 p.

## Document

## CCRI(III)/

- 01-10 IRD/LNMRI (Brésil). — New quantities ( $H_p$  e  $H^*$ ) in neutron monitor calibration, E. S. da Fonseca, W.W. Pereira, 4 p.
- 01-11 Section III du CCRI. — Protocol for comparison of fluence rate measurements in thermal neutron beams, D.M. Gilliam, 19 p.
- 01-12 NIST (États-Unis). — Technical activities of the Neutron Interactions and Dosimetry Group, Ionizing Radiation Division, NIST, D.M. Gilliam, 27 p.
- 01-13 IRMM. — Report of the activities of the Neutron Physics Unit with regard to neutron fluence comparisons and measurements for standard cross sections, A.J.M. Plompen, 2 p. (en accès restreint/restricted access)
- 01-14 VNIIM (Féd. de Russie). — A brief description of the VNIIM's facilities for measuring of neutron flux and neutron fluence rate, 8 p. (en accès restreint/restricted access)

## LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

### 1 Sigles des laboratoires, comités et commissions

AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai (Australie)
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
APMP/TCRI	Asia/Pacific Metrology Programme, Technical Committee on Ionizing Radiation
ARL*	Australian Radiation Laboratory, Yallambie (Australie), <i>voir</i> ARPANSA
ARPANSA	(ex ARL) Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Victoria (Australie)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-LCIE	Bureau national de métrologie, Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
BNM-LNHB	(ex BNM-LPRI) Bureau national de métrologie, Laboratoire national Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette (France)
BNM-LPRI*	Bureau national de métrologie, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> BNM-LNHB
CCEMRI*	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, <i>voir</i> CCRI
CCRI	(ex CCEMRI) Comité consultatif des rayonnements ionisants
CEI	Commission électrotechnique internationale
CIAE	Chinese Institute of Atomic Energy, Beijing (Chine)
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Brno (Rép. tchèque)

---

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

CMI-IIR	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Inspectorate for Ionizing Radiation, Brno (Rép. tchèque)
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentine)
COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Cape Town et Pretoria (Afrique du Sud)
ENEA-INMRI	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti, Rome (Italie)
ETL*	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon), <i>voir</i> NMIJ/AIST
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
GUM	Główny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IIK	(ex IRK) Institut für Isotopenforschung und Kernphysik, Vienne (Autriche)
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Mexico (Mexique)
INMRI	<i>voir</i> ENEA
IOMP	International Organization for Medical Physics
IPSN*	Institut de protection et de sûreté nucléaire, Fontenay-aux-Roses (France), <i>voir</i> IRSN
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRD*	<i>voir</i> LNMRI
IRI-TNO	Institute of Applied Radiobiology and Immunology, Centre for Radiological Protection and Dosimetry, Rijswijk (Pays-Bas), <i>voir</i> TNO
IRK*	Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne (Autriche), <i>voir</i> IIK
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne
IRPA	International Radioprotection Association
IRSN	(ex IPSN) Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Fontenay-aux-Roses (France)
ISO	Organisation internationale de normalisation

JAERI	Japan Atomic Energy Research Institute, Tokyo (Japon)
JCRB	Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM/Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon (Rép. de Corée)
LCIE*	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France), <i>voir</i> BNM-LCIE
LNHB*	Laboratoire national Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette (France), <i>voir</i> BNM-LNHB
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
METAS	(ex OFMET) Office fédéral de métrologie et d'accréditation, Wabern (Suisse)
MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle/Mutual Recognition Arrangement
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
NIM	Institut national de métrologie, Beijing (Chine)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (États-Unis)
NMi VSL	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
NMIJ/AIST	(ex ETL) National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba (Japon)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
OFMET*	Office fédéral de métrologie, Wabern (Suisse), <i>voir</i> METAS
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
RC	Radioisotope Centre, Otwock/Swierk (Pologne)
SADCMET	SADC Cooperation in Measurement Traceability
SIM	Sistema Interamericano de Metrologia
SRPI	Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
STUK	Säteilyturvakeskus, Helsinki (Finlande)
TCRI	Technical Committee on Ionizing Radiation, <i>voir</i> APMP/TCRI

TNO	TNO Medical Biological Laboratory, Rijswijk (Pays-Bas)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)

## **2 Sigles des termes scientifiques**

CMC	Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages/ Calibration and Measurement Capabilities
EGS	Electron Gamma Showers
KCDB	Base de données du BIPM sur les comparaisons clés/ BIPM Key Comparison Database
LET	Transfert d'énergie linéique/Linear Energy Transfer
SI	Système international d'unités
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma