

Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)

Consultative Committee
for Standards of
Ionizing Radiation
(CCEMRI)

Rapport de
la 15^e session
(juillet 1997)
Report of
the 15th Meeting
(July 1997)



Bureau
international
des poids
et mesures

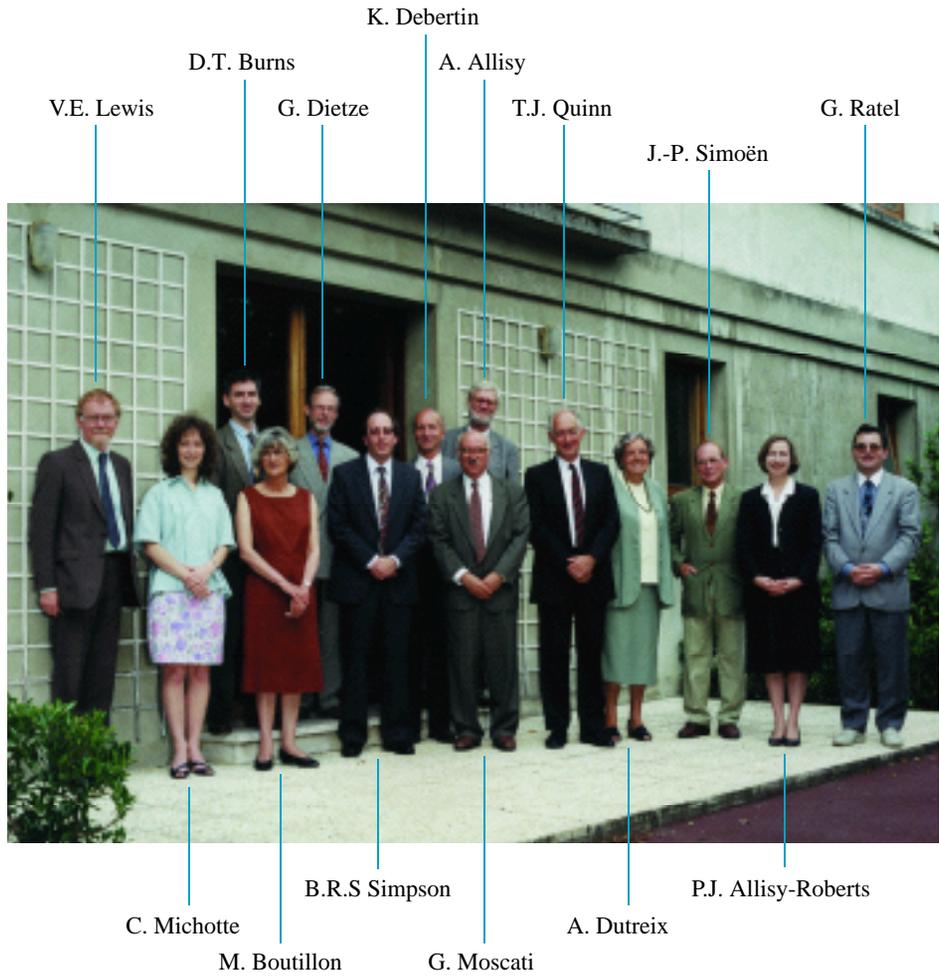
Organisation
intergouvernementale
de la Convention
du Mètre

Comité consultatif pour les étalons
de mesure des rayonnements ionisants
Consultative Committee for Standards
of Ionizing Radiation

■ 15^e session (juillet 1997)

■ 15th Meeting (July 1997)

Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
15^e session (7-8 juillet 1997)



Bureau international des poids et mesures

Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)

15^e session (juillet 1997)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 121)

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 0255-3147

ISBN 92-822-2162-8

TABLE DES MATIÈRES

Photographie des participants à la 15 ^e session du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants	2
États membres de la Convention du Mètre	8
Le BIPM et la Convention du Mètre	9
Liste des membres du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants	13
Rapport au Comité international des poids et mesures, par G. Dietze	17
Ordre du jour	18
Résumé	19
1 Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur	21
2 Projet de document sur la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des certificats d'étalonnage émis par les laboratoires nationaux de métrologie	22
3 Rapports des trois Sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM	23
3.1 Section I : rayons x et γ , électrons	23
3.2 Section II : mesure des radionucléides	25
3.3 Section III : mesures neutroniques	29
4 Programme de travaux futurs	32
5 Composition des Sections du CCEMRI	33
5.1 Section I : rayons x et γ , électrons	33
5.2 Section II : mesure des radionucléides	33
5.3 Section III : mesures neutroniques	34
6 Rôle de la session du CCEMRI	35
7 Informations sur les activités de l'ICRU	36
8 Date de la prochaine session	37
Section I (Rayons x et γ, électrons), 13^e réunion (avril 1997)	
Rapport, par B.M. Coursey	39
Ordre du jour	40
Résumé	41

1	Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur	43
2	Comparaisons d'étalons de mesure	45
2.1	Comparaisons avec le Bureau international	45
2.2	Autres comparaisons	46
3	Accord sur l'équivalence des mesures	48
4	Programme de comparaisons	49
5	Comparaisons internationales et régionales	50
6	Activités présentes et à venir du Bureau international	51
6.1	Correction pour la perte des électrons et la diffusion des photons	51
6.2	Coefficient de recombinaison	51
6.3	Dose absorbée pour les rayons x de haute énergie	52
7	Mise au point et amélioration des étalons nationaux en dosimétrie photonique	53
7.1	Rapports sur le kerma dans l'air	53
7.2	Rapports sur la dose absorbée	53
8	Dissémination des facteurs d'étalonnage $N_{D,w}$	55
9	Étalons de curiethérapie	56
10	Étalons de radioprotection	57
11	Étalons pour les rayonnements utilisés dans l'industrie	58
12	Mise au point et amélioration des étalons nationaux en dosimétrie des particules chargées	59
13	Rapports des laboratoires membres	60
14	Rapport de l'AIEA	62
15	Questions diverses	63
Annexe R(I) 1. Documents de travail présentés à la 13^e réunion de la Section I du CCEMRI		65
Section II (Mesure des radionucléides), 14^e réunion (avril 1997)		
Rapport, par S.M. Buckman		69
	Ordre du jour	70
	Résumé	71
1	Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur	73
2	Rapport sur les réunions du CCEMRI et du Comité international	75
3	Comparaisons internationales de mesures d'activité	76
3.1	Informations complémentaires sur les résultats de la comparaison préliminaire de ^{204}Tl	76
3.2	Résultats de la comparaison préliminaire de ^{192}Ir	77
3.3	État de la comparaison internationale de ^{204}Tl	78
3.4	État des publications sur la comparaison internationale de ^{75}Se	78
4	Système international de référence pour les mesures d'activité	79
4.1	Rapport sur le système de chambres d'ionisation	79
4.2	Rapport sur le système à scintillation liquide	79
4.3	Comparaison de mesures d'activité de solutions de ^{90}Sr	80
4.4	Réalisation du becquerel	80

5	Rapports d'activité des groupes de travail	82
5.1	Monographie sur les chambres d'ionisation	82
5.2	Systèmes de détection à haute efficacité	82
5.3	Commande groupée de radionucléides	82
5.4	Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement β du système à scintillation liquide	82
5.5	Comparaisons à venir	83
5.6	Analyse systématique du SIR	84
5.7	Équivalence des étalons	85
6	Nouveaux groupes de travail	87
7	Comparaisons internationales à venir	88
8	Activités du Bureau international	89
9	Rapports des laboratoires membres	90
10	Questions diverses	91
10.1	Visite des laboratoires du Bureau international	91
10.2	Questions diverses	91
Annexe R(II) 1. Documents de travail présentés à la 14^e réunion de la Section II du CCEMRI		93
Annexe R(II) 2. Actions résultant de la 14^e réunion de la Section II du CCEMRI		97
Section III (Mesures neutroniques), 12^e réunion (avril 1997)		
Rapport, par D.M. Gilliam		99
	Ordre du jour	100
	Résumé	101
1	Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur	103
2	Comparaison de mesures de fluence à 24,5 keV	104
3	Comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques	106
4	Équivalence des mesures	107
5	Comparaisons de mesures à venir	108
6	Les sources étalons de neutrons du Bureau international	110
7	Questions diverses ; date de la prochaine réunion	111
7.1	Ré-évaluation ENDF/B-VI	111
7.2	Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires des participants	111
7.3	Visite des laboratoires du Bureau international	111
7.4	Date de la prochaine réunion	112
Annexe R(III) 1. Documents de travail présentés à la 12^e réunion de la Section III du CCEMRI		113
Liste des sigles utilisés dans le présent volume		115

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
Hongrie	Turquie
Inde	Uruguay
Indonésie	Venezuela

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 (43520 m²) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre.

Le Bureau international a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques ; il est 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) et aux échelles de temps (1988). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers et en 1988 a été inauguré un bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux.

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 avec les *Procès-verbaux des séances du Comité international*.

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau international en 1927, le Comité international a institué, sous le nom de Comités consultatifs, des organes destinés à le renseigner sur les questions qu'il soumet, pour avis, à leur examen. Ces Comités consultatifs, qui peuvent créer des groupes de travail temporaires ou permanents pour l'étude de sujets particuliers, sont chargés de coordonner les travaux internationaux effectués dans leurs domaines respectifs et de proposer au 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 neuf :

1. Le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CEEM), 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 (CEEMRI) créé en 1958 (en 1969, ce Comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II) ;
7. Le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le 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.

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 les *Procès-verbaux des séances du Comité international*.

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité international des poids et mesures, publie des articles sur la métrologie scientifique, sur l'amélioration des méthodes de mesure, les travaux sur les étalons et sur les unités, ainsi que des rapports concernant les activités, les décisions et les recommandations des organes de la Convention du Mètre.

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

au 7 juillet 1997

Président

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

Secrétaire exécutif

M. Boutillon, 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.

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

G. Dietze, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

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

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

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

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

Section I (Rayons x et γ , électrons)

Président

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

Membres

Australian Radiation Laboratory [ARL], Yallambie.

Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [BNM-LPRI], Saclay.
Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa.
Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba.
Główny Urząd Miar [GUM], Varsovie.
Institut de métrologie D.I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg.
Institut national de métrologie [NIM], Beijing.
International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU].
National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg.
National Physical Laboratory [NPL], Teddington.
Nederlands Meetinstituut : Van Swinden Laboratorium [NMi-VSL], Bilthoven.
Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.
Swedish Radiation Protection Institute [SRPI], Stockholm.
A. Brosted, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT].
Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

Section II (Mesure des radionucléides)

Président

B.R.S. Simpson, National Accelerator Centre, Faure.

Membres

Australian Nuclear Science and Technology Organisation [ANSTO], Menai.
Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [BNM-LPRI], Saclay.
Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa.
Institut de métrologie D.I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg.
Institut national de métrologie [NIM], Beijing.
National Accelerator Centre [NAC], Faure.
National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg.
National Physical Laboratory [NPL], Teddington.
Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.
J.-J. Gostely, Institut de radiophysique appliquée [IRA-OFMET], Lausanne.
G. Winkler, Institut für Radiumforschung und Kernphysik [IRK], Vienne.
Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

Section III (Mesures neutroniques)

Président

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

Membres

Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [BNM-LPRI], Saclay.

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba.

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

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

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

National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

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

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

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

RAPPORT DE LA 15^e SESSION
(7-8 juillet 1997)

AU COMITÉ INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES

Ordre du jour

- 1 Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Projet de document sur la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des certificats d'étalonnage émis par les laboratoires nationaux de métrologie.
- 3 Rapports des trois Sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM :
 - 3.1 Section I : rayons x et γ , électrons ;
 - 3.2 Section II : mesure des radionucléides ;
 - 3.3 Section III : mesures neutroniques.
- 4 Programme de travaux futurs.
- 5 Composition des Sections du CCEMRI :
 - 5.1 Section I : rayons x et γ , électrons ;
 - 5.2 Section II : mesure des radionucléides ;
 - 5.3 Section III : mesures neutroniques.
- 6 Rôle de la session du CCEMRI.
- 7 Informations sur les activités de l'ICRU.
- 8 Date de la prochaine session.

Résumé

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) a tenu sa quinzième session au Bureau international des poids et mesures en juillet 1997. Le Comité a discuté d'un projet de rapport sur la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des certificats d'étalonnage émis par les laboratoires nationaux de métrologie qui a été distribué aux laboratoires membres par le directeur du Bureau international. Le CCEMRI a approuvé les idées figurant dans ce document. Les présidents des trois Sections ont présenté leurs rapports. La Section I (Rayons x et γ , électrons) a présenté un rapport sur les comparaisons de mesure d'étalons de kerma dans l'air dans le domaine des rayons x et pour le rayonnement γ du ^{137}Cs et du ^{60}Co , sur le programme de comparaisons futures et sur ses diverses activités. La Section II (Mesure des radionucléides) a rendu compte des comparaisons de radionucléides terminées ou en cours et du rôle du Système international de référence (SIR). Les activités diverses de ses groupes de travail ont aussi été mentionnées. La Section III (Mesures neutroniques) a exposé l'état d'avancement de son travail d'évaluation des comparaisons et les projets de comparaisons à venir. Des membres du personnel du Bureau international ont présenté les résultats de leurs travaux récents et le Comité a étudié les projets de travaux à venir. Le rôle du CCEMRI a fait l'objet d'une discussion, la composition des Sections a été revue et de nouveaux membres proposés.

1 OUVERTURE DE LA SESSION ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)* a tenu sa quinzième session au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 7 et 8 juillet 1997.

Étaient présents : A. Allisy (ICRU), K. Debertain (ancien président de la Section II du CCEMRI, PTB), G. Dietze (PTB), A. Dutreix (Hôpital universitaire Saint-Rafaël, Louvain), V.E. Lewis (président de la Section III du CCEMRI, NPL), G. Moscati (membre du CIPM, président du CCEMRI), T.J. Quinn (directeur du BIPM), J.-P. Simoën (président de la Section I du CCEMRI, BNM-LPRI), B.R.S. Simpson (président de la Section II du CCEMRI, NAC).

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

Excusés : A.M. Kellerer et G.F. Knoll.

Le président, M. Moscati, ouvre la session et souhaite la bienvenue aux membres du Comité et au personnel du Bureau international. M. Quinn dit qu'il est heureux d'accueillir les membres du Comité au Bureau international.

M. Dietze est nommé rapporteur.

L'ordre du jour, qui avait été distribué préalablement, est discuté et modifié pour y adjoindre deux points relatifs :

1. à la composition des Sections du CCEMRI et au rôle du CCEMRI,
2. aux activités de l'ICRU, présentées par M. Allisy.

* Pour la liste des sigles cités dans ce rapport, voir page 115.

2 PROJET DE DOCUMENT SUR LA RECONNAISSANCE MUTUELLE DES ÉTALONS NATIONAUX DE MESURE ET DES CERTIFICATS D'ÉTALONNAGE ÉMIS PAR LES LABORATOIRES NATIONAUX DE MÉTROLOGIE

M. Quinn présente un projet d'accord sur la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure. Ce projet a été envoyé au cours des douze derniers mois aux laboratoires nationaux et aux membres des Comités consultatifs pour commentaires. De nombreux commentaires ont été faits et M. Quinn envisage de préparer une nouvelle version de ce document pour septembre 1997.

M. Quinn explique le rôle des comparaisons clés qui sont proposées dans ce texte et comment la « valeur de référence d'une comparaison clé », obtenue par application d'un procédé de moyenne aux résultats, peut être considérée comme valeur de référence internationale d'une unité SI. Les Comités consultatifs devront définir en détail les modalités des comparaisons au cas par cas.

Cette proposition avait déjà été discutée par les trois Sections ; les réponses des Sections I et II figurent dans les documents CCEMRI(I)/97-35 et CCEMRI(II)/97-26 bis. Ces Sections ont mis en place un Groupe de travail sur les comparaisons clés chargé de faire des propositions à ce sujet pour la prochaine réunion.

La Section I et la Section III sont d'avis, qu'en général, un nombre restreint de comparaisons clés peut suffire à assurer les fondements d'un système d'équivalence des mesures dans tous les domaines d'énergie d'intérêt. Par contre, la Section II estime qu'il faut fixer des valeurs de référence pour un grand nombre de radionucléides ; il faut voir comment le Système international de référence pour les mesures d'activité (SIR) peut s'intégrer à ce nouveau système.

La conclusion générale est que le CCEMRI et ses trois Sections sont favorables à l'établissement d'un système visant à rendre compte de l'équivalence des mesures selon les modalités décrites dans le projet.

3 RAPPORTS DES TROIS SECTIONS DU CCEMRI ET TRAVAUX CONNEXES DU BIPM

Chaque président résume les activités de sa Section et présente les résultats nouveaux.

3.1 Section I : rayons x et γ , électrons (Président : J.-P. Simoën)

M. Simoën présente son rapport sur les activités de la Section I, qui a tenu sa treizième réunion en avril 1997.

Comme d'habitude, il présente les résultats des comparaisons d'étalons de mesure effectuées depuis la précédente réunion, en 1995. Six comparaisons de kerma dans l'air, pour le rayonnement γ du ^{137}Cs ou du ^{60}Co , ont été effectuées au BIPM. Il note que la dispersion des valeurs est plus grande pour la comparaison de ^{137}Cs que pour le ^{60}Co , mais les résultats restent compatibles avec les incertitudes établies, elles aussi plus grandes. La comparaison avec les résultats des comparaisons effectuées vingt ans auparavant montre une bonne stabilité des étalons. Il n'a pas été fait de comparaison de dose absorbée dans le graphite ni dans l'eau depuis la précédente session.

Les résultats de comparaisons organisées par d'autres que le BIPM sont présentés. Il s'agit de trois comparaisons bilatérales et de deux comparaisons d'EUROMET. Elles portent sur le kerma dans l'air (rayons x pour la mammographie, rayons x aux énergies basse et moyenne, rayonnement γ du ^{60}Co) et la dose absorbée dans l'eau (rayonnement γ du ^{60}Co et photons aux hautes énergies). Pour établir l'équivalence des mesures, les résultats de certaines comparaisons de COOMET et de l'APMP ont été comparés à ceux des comparaisons internationales.

La Section I constate que le BIPM joue un rôle croissant dans l'étalonnage des étalons nationaux secondaires. Quarante-trois étalonnages de ce type ont été effectués en kerma dans l'air, en dose absorbée dans l'eau et en équivalent de

dose ambiante. Pour le rayonnement γ du ^{60}Co , les facteurs d'étalonnage du kerma dans l'air et de la dose absorbée dans l'eau sont restés stables pendant plusieurs années. La relation expérimentale entre ces facteurs peut maintenant servir à établir la réponse de la chambre. Ces résultats ont aussi servi à vérifier la validité du protocole utilisé pour obtenir la dose absorbée à partir d'un étalonnage de kerma dans l'air.

D'autres rapports sont présentés sur les activités du Bureau international. M. Burns rend compte des résultats préliminaires des calculs de corrections à apporter aux chambres à paroi d'air pour la perte des électrons et pour la diffusion des photons, à l'aide du programme de calcul de Monte Carlo EGS4. Ils devraient améliorer la cohérence des mesures effectuées avec l'étalon du Bureau international pour différentes qualités de faisceaux.

Mme Boutillon présente des résultats sur la recombinaison des ions, à l'aide de deux chambres à paroi d'air fonctionnant à la limite de la saturation. L'influence de la masse volumique de l'air et de l'humidité a aussi été étudiée. Ces travaux permettent d'obtenir une valeur exacte du coefficient de recombinaison.

Mme Allisy-Roberts présente les grandes lignes d'un projet de comparaison de dose absorbée dans l'eau avec le système de transfert du Bureau international pour les photons aux hautes énergies. Elle rappelle que le Bureau a acheté deux chambres (NACP et NE 2611 A) qui, avec une chambre étanche à plaques parallèles (de type Roos, offerte par la PTB), constitueront le système de transfert. Les trois chambres seront régulièrement étalonnées en dose absorbée dans l'eau dans le faisceau du ^{60}Co du Bureau.

On effectuera des mesures dans le faisceau fourni par un accélérateur linéaire dans un hôpital de la région, à cinq qualités du faisceau de photons entre 10 MV et 25 MV, afin de mettre au point la procédure à suivre pour utiliser le système de transfert entre les laboratoires nationaux. Un temps d'utilisation du faisceau a été réservé dans ce but.

Le Bureau international va bientôt adapter une nouvelle source de 170 TBq dans son dispositif à ^{60}Co ; il pourra ainsi effectuer par la suite des mesures avec un calorimètre à graphite. Ces mesures seront une étape préliminaire vers des mesures absolues de dose absorbée pour les photons aux hautes énergies et les faisceaux d'électrons.

Plusieurs rapports sont présentés sur les travaux en cours et l'amélioration des étalons primaires nationaux :

- Dans le domaine des étalons de kerma dans l'air, l'ETL a présenté ses travaux sur les pertes par diffusion des ions dans les chambres d'ionisation (chambres à plaques parallèles, cylindriques ou sphériques) et le NRC a résumé ses recherches sur la correction de paroi de la chambre pour le rayonnement γ du ^{137}Cs .
- Dans le domaine des étalons de dose absorbée, l'ENEA a rendu compte de la mise au point d'un calorimètre à eau scellée ; le NRC et la PTB ont présenté leurs travaux sur les déperditions de chaleur dans les calorimètres à eau.
- En ce qui concerne les étalons de curiethérapie, le NIST a présenté ses travaux sur les sources émettrices de rayonnement β (^{32}P et ^{90}Sr) et fait part de la création d'un service d'étalonnage des grains de ^{125}I en kerma dans l'air.

Lors d'une discussion sur la dosimétrie des rayonnements, il a été proposé que le BIPM organise une comparaison à 15 kGy et à 50 kGy, fondée sur des dosimètres expédiés par les laboratoires participants (comme par exemple des dosimètres à résonance de spin électronique dans l'alanine). Sept laboratoires nationaux sont intéressés par une comparaison de ce type.

Lors de la discussion sur le rôle nouveau des comparaisons de mesures, quatre comparaisons clés ont été identifiées : trois pour le kerma dans l'air (rayons x aux énergies basse et moyenne, et rayonnement γ du ^{60}Co) et une pour la dose absorbée dans l'eau (rayonnement γ du ^{60}Co). Un groupe de travail sera chargé de conseiller le Bureau international sur le contenu d'un questionnaire, destiné aux laboratoires nationaux de métrologie, à propos des comparaisons de kerma dans l'air pour le ^{60}Co qu'ils effectuent avec le Bureau. Le groupe de travail, présidé par M.A. Aalbers, soumettra une première série de valeurs de référence pour le kerma dans l'air à la Section I au moins deux mois avant sa prochaine réunion (prévue en 1999).

3.2 Section II : mesure des radionucléides (Président : B.R.S. Simpson, ancien président : K. Debertin)

M. Debertin présente son rapport sur les activités de la Section II, qui a tenu sa quatorzième réunion en avril 1997.

Les comparaisons sont toujours une des activités principales de la Section II, bien que leur nombre ait diminué au cours des dix dernières années. Ce nombre devrait, de l'avis général, augmenter, du fait de la nécessité de rendre compte de l'équivalence, même si c'est le Système international de référence (SIR) qui sert de base pour témoigner du niveau d'équivalence.

La Section II est actuellement responsable de cinq comparaisons :

1. *Comparaison préliminaire de ^{204}Tl* . Le nucléide ^{204}Tl est bien approprié pour vérifier le nouveau compteur à scintillation liquide du Bureau international. La solution et les ampoules ont été préparées et distribuées par le Bureau. Les résultats de cinq participants sur six étaient en accord à 1,6 % près, mais un résultat se situait 2,5 % en dessous. Le laboratoire dont le résultat divergeait a effectué d'autres mesures avec une nouvelle ampoule et le résultat de ces mesures est en accord avec les autres ; la dispersion totale des résultats est maintenant de 1,6 %.
2. *Comparaison internationale de ^{204}Tl* . La comparaison internationale de ^{204}Tl a été retardée en raison des problèmes rencontrés au cours de la comparaison préliminaire. Le Bureau international a maintenant distribué 30 ampoules aux 24 laboratoires et évalue actuellement les résultats. La Section II est d'avis que M. Ratel devrait être aidé dans cette évaluation afin de réduire sa charge de travail.
3. *Comparaison préliminaire de ^{192}Ir* . Le nucléide ^{192}Ir est communément utilisé dans l'industrie et en médecine ; il a été choisi pour cette comparaison en raison d'écart observés dans les mesures du SIR, où on observe différents groupes de valeurs. Les résultats de la comparaison obtenus suivant cinq méthodes indépendantes montrent une dispersion des valeurs d'environ 2 %, ce qui est beaucoup. Des problèmes, peut-être liés à la capture des électrons, principalement lorsqu'on utilise des techniques de coïncidence, ont été discutés. Pour ce radionucléide, la méthode $4\pi\gamma$ semble supérieure aux autres méthodes fondées sur la mesure des coïncidences. La Section II ne fera pas de comparaison internationale tant qu'un nouveau groupe de travail n'aura pas résolu les problèmes liés à la mesure des coïncidences.
4. *Comparaison de ^{90}Sr* . Au début de 1997 douze participants ont soumis une solution convenable (4 kBq à 790 kBq) de ^{90}Sr à mesurer dans le SIR étendu et des mesures ont été faites à l'aide du système à scintillation liquide. La dispersion des résultats est d'environ 1 %. Cela montre que le SIR étendu est prêt pour des travaux de routine.
5. *Comparaison de ^{152}Eu* . La Section II a approuvé en 1997 une comparaison du nucléide ^{152}Eu , qu'elle avait rejetée en 1995. La PTB produira un grand nombre d'ampoules, mais dans un premier temps un petit nombre d'entre elles seront distribuées à quatre laboratoires. Si ces laboratoires n'ont pas de problèmes, le reste des ampoules sera envoyé pour une comparaison internationale.

Les radionucléides ^{55}Fe , ^{85}Sr , ^{90}Sr , ^{153}Gd , ^{192}Ir , qui jouent un rôle important en médecine et dans l'industrie, sont considérés comme des candidats potentiels pour des comparaisons à venir.

Le SIR est toujours l'élément le plus important pour évaluer l'équivalence entre les laboratoires nationaux de métrologie. À la différence des comparaisons, qui sont limitées dans le temps, il est possible à un laboratoire national d'envoyer une solution de radionucléide à tout moment. Il existe environ 500 résultats indépendants pour quelque 55 radionucléides. Destiné à l'origine aux émetteurs de rayonnement γ exclusivement, le SIR a été étendu avec succès aux émetteurs de rayonnement β . Le Bureau international offre maintenant ce service étendu bien que la stabilité à long terme du système à scintillation liquide soit encore à l'étude.

MM. Reher et Woods (CCEMRI(II)/97-24) notent que l'unité de mesure d'activité est aujourd'hui conservée en étalonnant des chambres d'ionisation de référence comme celles du SIR. Si l'on ne pouvait plus se fier à ce système, les efforts de plusieurs décennies seraient réduits à néant. Pour prévenir ce danger, une proposition a été faite de mettre au point une chambre d'ionisation reproductible. Un groupe de travail a été établi pour étudier ce projet en collaboration étroite avec le Bureau international.

Un groupe de travail a été établi en 1995 lors de la réunion de la Section II du CCEMRI pour analyser les données des chambres d'ionisation du SIR. Cette analyse devrait permettre d'obtenir une activité équivalente de référence pour chaque radionucléide et d'évaluer les résultats des laboratoires nationaux. Les critères de sélection des résultats figurent dans le document CCEMRI(II)/97-26 bis et aussi dans le rapport de la Section II.

Dans le domaine de l'équivalence, la Section II a fait les propositions suivantes :

- Le Groupe de travail sur l'équivalence devra établir l'équivalence des mesures d'activité A_{lab} des laboratoires nationaux, pour les radionucléides individuels, par rapport aux valeurs d'activité de référence A_{ref} .
- L'équivalence des mesures sera caractérisée par la différence entre A_{lab} et A_{ref} et l'incertitude associée.
- L'équivalence sera principalement obtenue en soumettant des échantillons au SIR.
- Les résultats du BIPM et ceux d'autres comparaisons internationales pourront être pris en compte pour évaluer le degré d'équivalence atteint, à condition qu'ils répondent à certaines conditions.

- Les résultats seront publiés de manière systématique.

L'équivalence reposera sur les « comparaisons clés », définies pour chaque radionucléide, d'après :

- les résultats dans le SIR (équivalence des mesures d'activité) ;
- les résultats dans le SIR étendu (rapport entre les mesures d'activité des laboratoires nationaux et celles du Bureau international) ;
- les résultats des comparaisons classiques (mesures d'activité).

Les groupes de travail de la Section II ont présenté les rapports suivants.

- *Extension du SIR aux émetteurs β avec le système à scintillation liquide.* Ce groupe de travail est chargé d'aider le Bureau international dans l'extension du SIR aux émetteurs β et d'examiner les procédés de préparation des sources à scintillation liquide, ce qui présente des difficultés. Les programmes informatiques utilisés actuellement dans le système de comptage à scintillation liquide posent problème, en particulier pour les nucléides à capture d'électron (la valeur de Q est mal connue). M. Grau Malonda a suggéré de rédiger une *Monographie BIPM* sur le système à scintillation liquide et il a été chargé de coordonner les travaux du groupe qui effectue cette rédaction.
- *Comparaisons à venir.* Comme de coutume, M. Szörenyi a envoyé un questionnaire, cette fois-ci à 28 laboratoires, en leur demandant de faire des suggestions sur les radionucléides qui pourraient faire l'objet de prochaines comparaisons. Beaucoup de radionucléides ont été proposés mais sans expliquer pourquoi. Il a été décidé de soumettre une liste de critères de sélection aux membres et aux observateurs avant la prochaine réunion de la Section II du CCEMRI.
- *Monographie sur les chambres d'ionisation.* L'excellente *Monographie BIPM-4* intitulée « Activity measurements with ionization chambers » est publiée. Le Comité remercie M. Schrader pour ce travail exhaustif sur la méthode de base pour maintenir l'unité d'activité.
- *Systèmes de détection à haute efficacité pour les mesures d'activité.* M. Winkler a recueilli des documents pour un article de synthèse intitulé « 4π NaI and CsI detectors for high-efficiency counting ». M. Winkler espère terminer la rédaction de cet article avant la fin de 1997. Il sera soumis pour publication à *Applied Radiation and Isotopes*.

Les travaux du Groupe de travail sur l'analyse systématique des résultats du SIR et du Groupe de travail sur l'équivalence des étalons ont déjà été mentionnés précédemment.

Le Groupe de travail sur les commandes groupées de radionucléides est dissous, car il n'y a plus de demande à ce sujet.

Lors de la discussion du rapport sur les activités de la Section II trois points sont soulevés :

1. M. Simoën demande aux participants s'ils ont des propositions à faire sur les comparaisons de radionucléides émetteurs de rayonnement α . Il est suggéré que le système à scintillation liquide pourrait être utilisé dans le cadre d'une comparaison, mais ce point n'a pas encore été discuté au sein de la Section II.
2. M. Dietze s'enquiert des méthodes d'étalonnage pour les radionucléides à durée de vie courte. Il est recommandé que la Section II étudie cette question à l'avenir.
3. Au regard de l'importance accrue des comparaisons, les Sections doivent s'assurer que les résultats complets des comparaisons soient publiés dans *Metrologia*.

3.3 Section III : mesures neutroniques (Président : V.E. Lewis)

M. Lewis présente son rapport sur les activités de la Section III, qui a tenu sa douzième réunion en avril 1997.

- *Comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV.* M. Lewis rend compte des résultats des mesures de fluence neutronique que lui ont communiqué cinq laboratoires participants (CIAE, NIST, NPL, PTB, VNIIM). Des sources neutroniques de quatre types différents (faisceau filtré, Sb/Be, $^7\text{Li}(p,n)$, $^{45}\text{Sc}(p,n)$) ont été utilisées. La comparaison s'achèvera avec la participation de l'ETL au courant de l'été 1997. M. Ratel du BIPM décrit l'action systématique mise en œuvre par le BIPM pour renormaliser les mesures de l'un des compteurs proportionnels à ^3He utilisé dans les comparaisons et momentanément défaillant. M. Klein décrit le modèle très détaillé du compteur à ^3He et des sphères de polyéthylène auquel a été appliqué la méthode de Monte Carlo à la PTB, ceci afin de corriger la réponse de ces instruments de transfert aux petites différences d'énergie des différentes sources de neutrons employées par les laboratoires.

Il a été demandé à la Section III, lors de la discussion sur l'équivalence des étalons nationaux de mesure, d'identifier les « comparaisons clés » qu'il

convient d'organiser et de décider à quelle fréquence elles doivent être faites pour conserver ou améliorer le niveau d'équivalence des laboratoires membres.

M. Klein considère pour sa part que les comparaisons clés de la Section III sont les comparaisons de mesures de fluence neutronique dans le domaine d'énergie compris entre 0,1 MeV et 15 MeV et aux énergies thermiques ($\approx 0,025$ eV). Il suggère de répéter ces comparaisons tous les cinq à huit ans. Il recommande à la Section III d'intégrer les énergies spécifiques déjà identifiées par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) aux comparaisons clés. Ces énergies neutroniques sont 0,144 MeV, 0,565 MeV, 2,5 MeV, 5,0 MeV, 14,8 MeV, et celles des neutrons thermiques. Le niveau de priorité est le même pour toutes ces énergies. M. Klein suggère que l'on pourrait réduire de beaucoup le temps nécessaire à ces comparaisons si, au lieu de faire circuler un instrument de transfert dans le monde entier, les participants apportaient leurs instruments de mesure en un seul lieu où la plupart des énergies peuvent être réalisées correctement, la PTB par exemple.

M. Kudo (ETL) note que les comparaisons de taux d'émission de sources neutroniques devraient faire partie des comparaisons clés. M. Kharitonov (VNIIM) pense qu'il est suffisant de répéter les comparaisons clés tous les dix ans. Il suggère qu'il serait préférable de faire circuler aux laboratoires participants une source de ^{244}Cm , du type de celle du VNIIM, plutôt qu'une source de ^{252}Cf , en raison de sa période plus longue.

Ces propositions sont approuvées, mais il subsiste une incertitude sur ce qu'il est possible de faire pour accélérer les comparaisons.

- *Comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques.* Lors de la précédente réunion de la Section III du CCEMRI en 1995, M. Gilliam avait rendu compte d'un problème apparent de perte de bore dans les dépôts actifs des chambres d'ionisation destinées à servir d'instruments de transfert. Depuis, une série spéciale de dépôts très minces de bore a été fournie au NIST par l'IMMR pour des essais avec circulation de divers gaz à différents taux d'humidité. Certains de ces dépôts ont un mince revêtement en graphite pour réduire la perte de bore. L'IMMR fournira aussi des dépôts de ^{235}U pour suppléer ou remplacer ces dépôts de bore. Maintenant que la comparaison à 24,5 keV est presque terminée, M. Gilliam considère qu'il est urgent de commencer rapidement la comparaison de neutrons thermiques. Le BNM-LPRI a demandé à participer à l'étude du protocole de cette comparaison.

- *Les sources étalons de neutrons du BIPM.* Les sources étalons de neutrons du BIPM ont été envoyées au NIST pour y être conservées après la cessation des activités expérimentales de mesures neutroniques au BIPM. Les étalonnages de ces sources, faits au NIST à des fins de vérification, concordent bien avec ceux effectués au BIPM précédemment. Ces sources sont à la disposition des autres laboratoires en prêt. Les incertitudes données pour un écart-type sont inférieures à 2 %.

M. Klein engage une discussion sur la ré-évaluation de la distribution angulaire $H(n,n)$ (programme ENDF/B-VI). MM. Klein et Lewis sont sceptiques quant à cette nouvelle évaluation, qui ne semble pas prendre en compte la comparaison de mesures à 14 MeV effectuée sous les auspices du CCEMRI. Ces mesures ne montrent pas la nécessité d'un passage de la version V à la version VI du programme ENDF/B. M. Klein demande que le NIST l'aide à obtenir une copie du rapport de MM. Dodder et Hale qui explique les raisons de cette ré-évaluation.

4 PROGRAMME DE TRAVAUX FUTURS

Les travaux du CCEMRI s'effectuant uniquement dans le cadre de ses trois Sections, le programme de travaux futurs a déjà été présenté par les présidents de chaque Section.

5 COMPOSITION DES SECTIONS DU CCEMRI

La composition des trois Sections du CCEMRI est discutée au vu des nouveaux critères adoptés par le Comité international.

5.1 Section I : rayons x et γ , électrons

J.-P. Simoën quitte la présidence ; il sera remplacé par K. Hohlfeld.

Deux nouveaux laboratoires membres sont proposés :

- Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente [ENEA], Rome ;
- Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf GmbH [ÖFS], Seibersdorf.

Quatre laboratoires sont proposés en qualité d'observateurs :

- Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA] ;
- International Organization for Medical Physics [IOMP] ;
- International Radioprotection Association [IRPA] ;
- Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes [LNMRI], Rio de Janeiro.

5.2 Section II : mesure des radionucléides

Les laboratoires suivants sont proposés en qualité de membres :

- Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid ;
- Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba ;
- Institut des matériaux et mesures de référence [IMMR], Commission européenne ;
- Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejeon ;
- Radioisotope Centre [RC], Otwock/Swierk.

Les laboratoires suivants sont proposés en qualité d'observateurs :

- Ente per le Nuove Technologie, l'Energia e l'Ambiente [ENEA], Rome ;
- Institut de métrologie tchèque, Brno ;
- International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] ;
- International Organization for Medical Physics [IOMP] ;
- Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes [LNMRI], Rio de Janeiro ;
- Nederlands Meetinstituut : Van Swinden Laboratorium [NMI-VSL], Delft.

5.3 Section III : mesures neutroniques

Aucun nouveau membre n'est proposé.

Les laboratoires suivants sont proposés en qualité d'observateurs :

- Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA] ;
- International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] ;
- Institute of Atomic Energy [IAE], Beijing.

6 RÔLE DE LA SESSION DU CCEMRI

Le rôle d'une session du CCEMRI, séparée des réunions de ses Sections, est discuté. Le Comité est d'avis que les réunions des trois Sections sont bien plus importantes pour le travail concret, et pour les relations entre le BIPM et les laboratoires nationaux. Une grande part de l'information présentée à la session du CCEMRI est une redite de ce qui a été présenté aux réunions des Sections. Il serait plus efficace que les présidents de chaque Section et le président du CCEMRI participent tous aux réunions des trois Sections et se réunissent brièvement pour en tirer les conclusions. Il ne semble pas utile de réunir séparément le CCEMRI avec d'autres membres. Le Comité propose de suivre cette suggestion. Les prochaines réunions des Sections du CCEMRI se dérouleront sur une période de deux semaines environ.

7 INFORMATIONS SUR LES ACTIVITÉS DE L'ICRU

M. Allisy informe le Comité des activités récentes et à venir de l'ICRU. La prochaine réunion de l'ICRU se tiendra à Madison, Wisconsin (États-Unis) en août 1997. L'objet de cette réunion est de mettre au point quatre rapports de l'ICRU (n^{os} 56, 57, 58 et 59).

Des séminaires se tiendront sur les tendances nouvelles des activités à venir :

- grandeurs et unités pour les rayonnements non ionisants ;
- modèles de calcul mathématique sur le corps humain ;
- imagerie en médecine nucléaire.

8 DATE DE LA PROCHAINE SESSION

Les prochaines réunions des Sections auront lieu en 1999. Les dates suivantes sont proposées :

Section III	24-25 mai 1999
Section I	26-28 mai 1999
Section II	1-3 juin 1999
réunion des présidents	4 juin 1999

Le président clôt la session et remercie les membres du CCEMRI et le personnel du BIPM pour leur participation et leur contribution intéressante à la réunion. Il remercie aussi, au nom du Comité, le Bureau international pour son hospitalité.

G. Dietze, rapporteur
septembre 1997
revu juin 1998

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION I : RAYONS X ET γ , ÉLECTRONS
RAPPORT DE LA 13^e RÉUNION

(14-16 avril 1997)

Ordre du jour

- 1 Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Comparaisons d'étalons de mesure.
- 3 Accord sur l'équivalence des mesures.
- 4 Programme de comparaisons.
- 5 Comparaisons internationales et régionales.
- 6 Activités présentes et à venir du Bureau international.
- 7 Mise au point et amélioration des étalons nationaux en dosimétrie photonique.
- 8 Dissémination des facteurs d'étalonnage $N_{D,w}$.
- 9 Étalons de curiethérapie.
- 10 Étalons de radioprotection.
- 11 Étalons pour les rayonnements utilisés dans l'industrie.
- 12 Mise au point et amélioration des étalons nationaux en dosimétrie des particules chargées.
- 13 Rapports des laboratoires membres.
- 14 Rapport de l'AIEA.
- 15 Questions diverses.

Résumé

La Section I du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) a tenu sa treizième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, en avril 1997. Les travaux récents du Bureau international ont été présentés et le programme de ses travaux à venir approuvé, après discussion des points évoqués lors de la réunion et des rapports des laboratoires membres. Les résultats de plusieurs comparaisons internationales auxquelles le Bureau international a pris part, ou qui ont été effectuées indépendamment entre laboratoires de métrologie, ont été présentés. La Section I du CCEMRI a été chargée d'étudier le projet d'accord relatif à l'équivalence des étalons de mesure qui a été distribué par le directeur du Bureau international aux laboratoires membres. Un groupe de travail a été chargé d'identifier les comparaisons clés de rayonnements x et γ et d'électrons, ainsi que d'établir un programme pour permettre à la Section I de proposer une valeur de référence de kerma dans l'air pour le rayonnement γ du ^{60}Co lors de sa prochaine réunion. Les travaux en cours sur la calorimétrie dans l'eau pour les mesures de dose absorbée dans l'eau ont été décrits. Les étalons de curiethérapie, de radioprotection et pour les rayonnements utilisés pour l'industrie ont été discutés. Les changements au niveau des équipements, du personnel et de la recherche, et la mise en œuvre du *Guide 25* de l'ISO destiné aux laboratoires d'étalonnage ont été discutés dans le cadre des rapports des laboratoires membres.

1 OUVERTURE DE LA RÉUNION ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR

La Section I (Rayons x et γ , électrons)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)** a tenu sa treizième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 14, 15 et 16 avril 1997.

Étaient présents : A.H.L. Aalbers (NMi-VSL), J. Boas (ARL), A. Brosed (CIEMAT), B.M. Coursey (NIST), J. Csete (OMH), K. Hohlfeld (PTB), W.A. Jennings (ICRU), L. Lindborg (SRPI), Z. Referowski (GUM), D.W.O. Rogers (NRC), P.H.G. Sharpe (NPL), J.-P. Simoën (président de la Section I, BNM-LPRI), N. Takata (ETL).

Observateurs : P. Andreo (AIEA) et R.F. Laitano (ENEA).

Ont assisté à tout ou partie de la réunion : P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM) ; A. Allisy (membre du CCEMRI) ; P.J. Allisy-Roberts, M. Boutillon, D.T. Burns, C. Michotte et G. Ratel (BIPM).

Excusés : NIM et VNIIM.

Le directeur du Bureau international ne pouvant assister à la réunion, le président de la Section I, M. Simoën, accueille les participants. Il explique à ceux qui ne sont pas accoutumés aux travaux de la Section I que cette réunion a pour objet de discuter des travaux effectués au Bureau international et de conseiller le Bureau sur ses activités à venir, en collaboration étroite avec les laboratoires nationaux. Les membres peuvent être amenés au cours de la réunion à proposer des recommandations au Comité international. Cette réunion est aussi une excellente occasion d'échanger des informations sur les travaux en cours dans les différents laboratoires. Les nouveaux membres de la Section I du CCEMRI se présentent.

* Pour la liste des membres, voir page 13.

** Pour la liste des sigles cités dans ce rapport, voir page 115.

M. Simoën demande à M. Coursey d'être le rapporteur de cette réunion.

Il demande ensuite si quelqu'un a des remarques à faire sur l'ordre du jour, lequel est approuvé sans changement.

2 COMPARAISONS D'ÉTALONS DE MESURE

2.1 Comparaisons avec le Bureau international

Des comparaisons directes ou indirectes de mesures de kerma dans l'air (97-2)* ont été faites avec le BEV (Autriche), le BNM-LPRI (France), le GUM (Pologne), le LNMRI (Brésil), le NIST (États-Unis) et le NMi (Pays-Bas), et dans le cadre d'un projet d'EUROMET. Les résultats de mesures pour le rayonnement du ^{60}Co se situent dans les limites des incertitudes des précédentes comparaisons auxquelles ont participé les mêmes laboratoires, sur une période de plus de quinze ans. L'écart-type des comparaisons pour le rayonnement du ^{137}Cs est de 0,35 %, ce qui est supérieur à celui que l'on obtient avec le ^{60}Co , mais il est compatible avec les incertitudes individuelles plus grandes obtenues avec le ^{137}Cs . Il n'y a pas eu de comparaisons de dose absorbée depuis la précédente réunion.

Il est rendu compte de quarante-trois étalonnages d'étalons secondaires en kerma dans l'air, dose absorbée dans l'eau et équivalent de dose ambiant. La collaboration avec l'AIEA se poursuit sur les mesures d'irradiation à l'aide de dosimètres thermoluminescents. Une analyse des facteurs d'étalonnage utilisés dans le passé a mis à jour des problèmes relatifs à d'anciens étalonnages d'étalons secondaires de type NE 2561 en dose absorbée dans l'eau ($N_{D,w}$), effectués au Bureau international il y a quatre à six ans. Depuis, les facteurs d'étalonnage sont restés stables, dans les limites de leurs incertitudes, et la relation expérimentale entre $N_{D,w}$ et le facteur d'étalonnage en kerma dans l'air N_K est maintenant utilisée pour évaluer la réponse de la chambre. Pour certains laboratoires, les étalonnages en kerma dans l'air les plus récents

* Les documents soumis aux participants sont mentionnés à l'Annexe R(I) 1. Ils sont cités dans le texte sous la forme 97-1, 97-2, etc.

datent de douze ans et cinq laboratoires ont effectué leurs étalonnages il y a plus de cinq ans.

2.2 Autres comparaisons

M. Laitano rend compte d'une comparaison d'étalons de kerma dans l'air entre l'ENEA et le NIST pour les rayons x d'énergie moyenne et le rayonnement du ^{60}Co (97-9). Le NIST a transporté deux chambres d'ionisation de transfert de $3,6 \text{ cm}^3$ (Shonka et Exradin A3) à l'ENEA. Pour les rayons x, les qualités de faisceaux utilisées entre 100 kV et 250 kV étaient celles qui avaient été choisies pour les comparaisons au Bureau international de chambres à paroi d'air.

M. Boas présente les résultats d'une comparaison de dose absorbée dans l'eau pour les faisceaux de photons aux hautes énergies entre l'ARL et le NPL (97-25). L'ARL utilise un accélérateur d'électrons Vickers de 21 MeV pour étalonner des étalons de dose absorbée aux faisceaux de rayons x dont l'énergie est comparable à celle des étalons utilisés en radiothérapie. À l'ARL, les qualités de faisceaux choisies pour les rayons x étaient de 16 MV et de 19 MV, pour être compatibles avec celles des services d'étalonnage du NPL. L'ARL utilise un calorimètre en graphite dans un fantôme de graphite pour mesurer la dose absorbée.

M. Coursey rend compte d'une comparaison entre le NIST et la PTB d'étalons de kerma dans l'air pour les qualités de faisceau de rayons x utilisées en mammographie (97-21). Le NIST a récemment étendu son domaine d'étalonnage aux instruments de mesure des rayons x destinés à la mammographie. Il utilise pour ce faire des tubes à anode en molybdène ou en rhodium. Le kerma dans l'air est mesuré avec une chambre d'ionisation à paroi d'air cylindrique. Dans le cadre de la comparaison, des mesures ont été faites avec une chambre d'ionisation Exradin A11 à six qualités de faisceau, toutes avec une anode et un filtre en molybdène.

M. Lindborg résume les résultats d'une comparaison d'EUROMET dans laquelle plusieurs laboratoires nationaux ont comparé, à l'aide d'étalons primaires ou secondaires, des étalons de ^{60}Co en kerma dans l'air et en dose absorbée dans l'eau (97-26). Des mesures ont été faites avec deux chambres d'ionisation Farmer (NE 2571 et NE 2561) et une chambre Capintec (PR 06C). Une formule et un facteur de correction ont été remis aux participants pour faciliter la conversion du facteur d'étalonnage en kerma dans l'air en dose absorbée dans l'eau.

M. Aalbers présente un rapport préliminaire (97-33) sur le projet EUROMET 364, une comparaison d'étalons primaires de kerma dans l'air entre six laboratoires (dont le BIPM). Une chambre d'ionisation Keithley à réponse plate en énergie a été utilisée. Cinq qualités de faisceau dans le domaine situé entre 50 kV et 150 kV ont été choisies selon la recommandation 1297 de la CEI.

3 ACCORD SUR L'ÉQUIVALENCE DES MESURES

Le paragraphe 4 du projet de document de M. Quinn sur l'équivalence des mesures, présenté par Mme Allisy-Roberts, mentionne sept tâches incombant aux Comités consultatifs. Un groupe de travail a été constitué, qui comprend M. Aalbers, Mme Allisy-Roberts, MM. Coursey, Hohlfeld, Laitano, Rogers et Sharpe. Les conclusions de ce groupe ont été présentées au cours de la dernière matinée de la réunion. Leur projet de réponse aux sept points en question a été discuté par le Comité et un texte a été approuvé (97-35). Le groupe de travail est chargé de conseiller le Bureau international sur le contenu d'un questionnaire qui sera envoyé aux laboratoires nationaux de métrologie au sujet des comparaisons de kerma dans l'air avec le Bureau international. Ce groupe sera présidé par M. Aalbers et soumettra une première série de valeurs de référence pour le kerma dans l'air à la Section I du CCEMRI au moins deux mois avant sa réunion de 1999.

4 PROGRAMME DE COMPARAISONS

Le Bureau international présente le programme en cours de comparaisons de kerma dans l'air : rayons x avec l'ENEA et le NPL ; rayonnement du ^{137}Cs avec le VNIIM et éventuellement l'ENEA; rayonnement du ^{60}Co avec l'ARL, l'ENEA, le NPL et le VNIIM. L'ARL et le NPL ont convenu d'une date pour une comparaison de dose absorbée dans l'eau. Pour certains laboratoires nationaux, les comparaisons les plus récentes de kerma dans l'air datent de vingt ans, et neuf d'entre eux ont effectué de telles comparaisons il y a plus de dix ans. Les membres conviennent de comparer leurs étalons à ceux du BIPM au moins tous les dix ans.

5 COMPARAISONS INTERNATIONALES ET RÉGIONALES

Dans le cadre de la discussion sur l'équivalence, Mme Boutillon présente les conclusions du Groupe de travail sur les comparaisons internationales et régionales (M. Aalbers, Mme Boutillon, M. Hargrave et M. Referowski). Les résultats de trois séries de comparaisons régionales (Asie/Pacifique, COMECON et EUROMET) sont analysés et comparés à ceux des comparaisons internationales. Ils concernent la détermination de kerma dans l'air dans le domaine des rayons x et du rayonnement γ . Aux qualités supérieures à 100 kV la perte d'exactitude est faible alors que pour les rayons x de qualité inférieure à 50 kV l'incertitude sur les comparaisons régionales est deux fois plus importante que sur les comparaisons internationales. Ceci est probablement dû à l'utilisation d'instruments de transfert dans ce domaine pour lequel, comme on l'a déjà vu au Bureau international, le facteur d'étalonnage mesuré pour une même qualité de rayonnement à l'aide de différents faisceaux peut varier de façon appréciable. Les conclusions de ce groupe seront publiées dans *Metrologia* après consultation des membres de la Section I.

M. Aalbers commente le projet d'EUROMET sur les fils de ^{192}Ir utilisés en curiethérapie interstitielle. Ces travaux intègrent des mesures de kerma dans l'air avec des fils Amersham de ^{192}Ir . Certains participants ont aussi dissous les sources et effectué des mesures d'activité. Les discussions sur les mesures d'activité de ^{192}Ir sont décrites dans le rapport de la Section II du CCEMRI.

6 ACTIVITÉS PRÉSENTES ET À VENIR DU BUREAU INTERNATIONAL

6.1 Correction pour la perte des électrons et la diffusion des photons

M. Burns présente les résultats préliminaires de calcul des facteurs de correction pour la perte des électrons et la diffusion des photons dans les chambres à paroi d'air à l'aide du programme de calcul de Monte Carlo EGS4. La méthode utilisée permet d'obtenir des valeurs pour n'importe quelle chambre de section efficace circulaire ou rectangulaire. Lorsqu'on applique cette méthode aux comparaisons internationales de rayons x d'énergie moyenne, on constate une amélioration significative de la cohérence des résultats obtenus pour différentes qualités de faisceau. Le travail se poursuit pour les rayons x de faible énergie. M. Burns remercie le NMI pour les mesures récentes qui y ont été faites de plusieurs spectres du Bureau international.

Au cours de la discussion qui s'ensuit, M. Andreo suggère que le programme EGS4 n'est peut-être pas le plus approprié pour le calcul des faibles énergies et il souligne l'importance de répéter les calculs avec un autre programme. MM. Rogers et Aalbers rendent compte de calculs à l'aide du programme EGS4 effectués spécialement pour les étalons de leur laboratoire. M. Hohlfeld présente les résultats récents de calculs du même type pour deux chambres à paroi d'air de la PTB (97-16).

6.2 Coefficient de recombinaison

Mme Boutillon présente les résultats expérimentaux relatifs à la détermination du coefficient de recombinaison surfacique m^2 , au moyen de mesures faites avec deux chambres à paroi d'air, dans des conditions aussi proches que possible de celles requises pour une application stricte des équations de base. Dans des conditions normales, le coefficient de recombinaison est $m^2 = 3,97 \times 10^{14} \text{ s m}^{-1} \text{ C}^{-1} \text{ V}^2$ ($s = 8 \times 10^{12} \text{ s m}^{-1} \text{ C}^{-1} \text{ V}^2$) ; il est proche de la valeur obtenue précédemment à l'ETL. L'influence de la masse volumique

de l'air et de l'humidité a aussi été étudiée à l'aide de plusieurs chambres de types différents. Le coefficient m^2 varie en fonction de la masse volumique de l'air selon la loi $\rho^{2,46}$, il varie donc de 3 % pour une variation de l'humidité relative de 10 %.

6.3 Dose absorbée pour les rayons x de haute énergie

Mme Allisy-Roberts présente les grandes lignes du projet approuvé lors de la précédente réunion de la Section I du CCEMRI sur les comparaisons de dose absorbée dans l'eau à l'aide du système de transfert du Bureau international pour les rayons x aux hautes énergies et rend compte de l'état d'avancement des travaux. Le Bureau international a acheté une chambre NACP et une chambre NE2611A qui, avec une chambre étanche à plaques parallèles offerte récemment par la PTB, forment un groupe de trois chambres pour les hautes énergies. M. Hohlfeld est chaleureusement remercié pour son intervention auprès de la PTB. Les trois chambres seront périodiquement soumises à des mesures dans l'eau dans le faisceau de ^{60}Co du Bureau international ; un graphique illustrant la stabilité de la chambre NE sur une période de 3 mois (écart-type du facteur d'étalonnage normalisé égal à 4×10^{-4}) est présenté. Une série de mesures doit être faite au cours de l'été 1997 à l'aide de deux faisceaux linéaires, dans un hôpital de la région. Cinq qualités de rayonnement vont être choisies entre 10 MV et 25 MV afin de mettre au point une procédure qui sera utilisée par les laboratoires nationaux pour leur système de transfert. Les mesures commenceront à la PTB, au NPL et au NRC, quand les laboratoires se seront mis d'accord sur la procédure à suivre. Les détails des conditions d'étalonnage seront répétés aux trois laboratoires pour s'assurer qu'ils sont toujours valides. Le NPL dit qu'il peut maintenant faire don d'une chambre NE 2561 à ajouter au système de transfert, et il en est remercié.

Le Bureau international va adapter une source de 170 TBq à sa source de ^{60}Co en 1998 et il envisage de construire un calorimètre à graphite utilisable pour le ^{60}Co et aux hautes énergies. M. Hohlfeld suggère d'étudier l'emploi d'un calorimètre transportable à eau comme instrument de transfert.

7 MISE AU POINT ET AMÉLIORATION DES ÉTALONS NATIONAUX EN DOSIMÉTRIE PHOTONIQUE

7.1 Rapports sur le kerma dans l'air

M. Takata présente un rapport (97-6) sur deux manières de calculer les pertes par diffusion des ions dans les chambres d'ionisation à plaques parallèles plates, cylindriques ou sphériques. La première est une méthode exacte dérivée des équations sur le comportement des ions dans un champ électrique. La seconde est dérivée de l'hypothèse selon laquelle les ions sont produits par rétro-diffusion si la perte s'effectue au voisinage d'une électrode dont le potentiel électrostatique est inférieur à kT/e .

M. Rogers présente des résultats (97-29) qui visent à vérifier la théorie du point de mesure et semblent en meilleur accord avec la théorie de l'anisotropie qu'avec les autres théories. Il présente aussi les résultats des mesures dans le rayonnement du ^{137}Cs avec une chambre d'ionisation sphérique à paroi en graphite à laquelle on peut adjoindre des couches supplémentaires. Les résultats confirment la suggestion précédente du NRC selon laquelle l'extrapolation linéaire faite par la plupart des laboratoires ne permet pas de calculer les facteurs de correction k_{paroi} .

7.2 Rapports sur la dose absorbée

M. Laitano présente le schéma d'un calorimètre à « eau scellée » pour la dosimétrie de référence des faisceaux de photons et de protons ainsi que des résultats préliminaires (97-8). Le calorimètre a été conçu pour fonctionner avec des faisceaux horizontaux dans l'eau à une profondeur allant de 2 cm à 25 cm. Des calculs de diffusion thermique ont été faits pour déterminer correctement les dimensions de l'ampoule en verre ainsi que d'autres paramètres de fonctionnement. Un modèle des effets de convection a été établi à l'aide d'un programme de diffusion thermique tri-dimensionnelle par des éléments finis, pro-

gramme mis au point par des collègues d'un institut thermodynamique de Turin.

M. Hohlfeld présente des résultats expérimentaux (97-16) sur les mesures de déperdition de chaleur dans un calorimètre à eau scellée montrant une déperdition de chaleur nulle à des doses élevées (supérieures à 300 Gy) pour une eau à 76 mmol L⁻¹ de O₂ et 800 mmol L⁻¹ de H₂. Il était nécessaire d'effectuer une pré-irradiation pour se débarrasser de O₂, qui produit une déperdition de chaleur substantielle. M. Rogers présente les résultats de M. Klassen (97-29) sur les calculs de déperdition de chaleur et signale que le NRC a établi une incertitude de 0,5 % sur cette correction.

M. Rogers dit que le NRC fait des étalonnages de dose absorbée dans le graphite qui sont fondés sur les premiers résultats de M. W. Henry (1977). En particulier, aucune correction d'interstice n'est appliquée, afin d'assurer une continuité des mesures pour les utilisateurs.

Le NRC et le NPL présentent des résultats qui suggèrent que le produit eG (où e est le coefficient d'extinction molaire et G le rendement, c'est-à-dire le nombre d'entités élémentaires produites par le dépôt d'une énergie de 100 eV) pour des dosimètres de Fricke n'est pas constant dans un domaine d'énergie allant de 1,25 MeV à 20 MeV. M. Sharpe note que les principes de la chimie des rayonnements peuvent expliquer pourquoi le rendement est fonction de l'énergie.

8 DISSÉMINATION DES FACTEURS D'ÉTALONNAGE $N_{D,w}$

M. Andreo (97-1) explique que l'étalonnage direct de chambres d'ionisation en dose absorbée dans l'eau présente des avantages évidents par rapport à la méthode indirecte habituellement employée. Cependant, une meilleure cohérence internationale dans la dissémination des facteurs d'étalonnage aux utilisateurs semble désirable.

Il suggère aussi que la valeur moyenne internationale des déterminations de dose absorbée dans l'eau devrait être donnée par les laboratoires nationaux dans leurs certificats d'étalonnage. Après discussion, les membres repoussent cette suggestion, du moins tant qu'il n'existe pas d'accord sur une procédure pour déterminer une telle moyenne.

9 ÉTALONS DE CURIETHÉRAPIE

M. Coursey décrit l'utilisation de plus en plus répandue de la curiethérapie pour le traitement du cancer et la prévention de la sténose récurrente lorsqu'on effectue une angioplastie au moyen d'une sonde à ballonnet (97-20). Les besoins principaux en matière de comparaisons futures de sources pour la curiethérapie du cancer concernent ^{125}I et ^{192}Ir . Alors qu'EUROMET s'occupe de ^{192}Ir , le NIST est le seul laboratoire à offrir des étalonnages en kerma dans l'air pour les grains de ^{125}I . Après une longue période d'essais, le NIST a mis au point une chambre d'ionisation à paroi d'air à grand angle conçue et construite par M. R. Loevinger pour mesurer spécifiquement le taux de kerma dans l'air de grains de ^{125}I . Cette chambre peut aussi être utilisée pour les rayons x aux basses énergies du ^{103}Pd .

Une nouvelle application en curiethérapie des grains émetteurs de rayonnements β concerne, en particulier, la prévention de la sténose récurrente. Elle nécessite la mise au point de nouveaux étalons de dose absorbée et de radioactivité pour les laboratoires primaires d'étalonnage. Le NIST utilise des méthodes mises au point précédemment pour les applicateurs ophtalmiques de ^{90}Sr afin de mesurer le taux de dose absorbée à la surface des sources de ^{32}P ou de ^{90}Sr en curiethérapie.

10 ÉTALONS DE RADIOPROTECTION

M. Rogers rend compte des étalons de radioprotection (97-29). Il est bien connu que l'étalonnage de dosimètres thermoluminescents à LiF en kerma dans l'air dans un faisceau de rayonnement du ^{137}Cs ou du ^{60}Co pose problème. Le tableau 1 de son rapport résume les mesures en kerma dans l'air effectuées avec les dosimètres thermoluminescents à LiF par différents porteurs de dosimètres de ce type. La différence peut atteindre dans certains cas 6 %. Deux effets contribuant à cette différence sont discutés dans ce rapport.

11 ÉTALONS POUR LES RAYONNEMENTS UTILISÉS DANS L'INDUSTRIE

M. Sharpe propose que la Section I du CCEMRI donne suite à une suggestion faite précédemment par l'AIEA d'organiser une comparaison de dose absorbée à 15 kGy et à 50 kGy à l'aide d'un système de dosimètres voyageur. L'AIEA, le BNM-LPRI, l'ENEA, le NIST, le NPL, le NRC et la PTB acceptent d'y participer. Plusieurs d'entre eux offrent aussi de fournir des dosimètres à résonance de spin électronique dans l'alanine. Le Bureau international accepte d'organiser cette comparaison.

12 MISE AU POINT ET AMÉLIORATION DES ÉTALONS NATIONAUX EN DOSIMÉTRIE DES PARTICULES CHARGÉES

Le NPL rend compte des changements apportés pour améliorer le fonctionnement de son accélérateur linéaire. Des électrons aux énergies allant de 3 MeV à 22 MeV sont maintenant disponibles et leur débit de dose peut varier de moins de $0,1 \text{ Gy min}^{-1}$ à plus de 20 kGy min^{-1} . Un nouveau canon à électrons est en cours d'installation qui augmentera le débit de dose d'un facteur cinq. Le NPL a fini ses essais du nouveau service d'étalonnage pour les faisceaux d'électrons. Dix-huit chambres NACP et Markus ont été étalonnées pour quatorze centres médicaux. On espère étendre les applications médicales des dosimètres à résonance de spin électronique dans l'alanine des faisceaux de photons aux faisceaux d'électrons. Les résultats aux hautes énergies indiquent que le fonctionnement de ces dosimètres ne varie pas en fonction de l'énergie.

La PTB rend compte d'une comparaison bilatérale avec le NIST d'une source Amersham-Buchler de ^{204}Tl pour la radioprotection. La PTB réalisera un détecteur de dose absorbée à l'état solide pour des sources du type applicateur ophtalmique de ^{90}Sr .

L'ENEA présente ses conclusions sur le rôle de la diffusion nucléaire anélastique dans l'eau et les matériaux équivalents aux tissus biologiques pour les protons à 200 MeV. L'ENEA utilise un calorimètre à « eau scellée » pour la mesure de la dose absorbée dans l'eau dans des faisceaux de protons.

13 RAPPORTS DES LABORATOIRES MEMBRES

L'ENE fait part d'un problème rencontré avec les organismes d'accréditation qui demandent de séparer de manière stricte les activités d'étalonnage et de certification des autres activités de laboratoire. D'autres laboratoires reconnaissent qu'ils risquent d'avoir à faire face au même problème à l'avenir. Les laboratoires de métrologie sont poussés à se conformer au *Guide 25* de l'ISO destiné aux laboratoires d'étalonnage. Le NMI et le NPL ont préparé des manuels d'assurance de qualité pour leurs services d'étalonnage selon les indications de ce guide. Le NIST a identifié sept services (cinq services d'étalonnage et deux programmes sur les matériaux de référence étalons) qui devraient se conformer aux normes du *Guide 25* de l'ISO et a préparé un manuel de qualité pour le service d'étalonnage aux doses élevées. Le BNM-LPRI (97-12) et le NMI (97-28) rendent compte de nouvelles procédures pour les étalons de dose absorbée dans l'eau pour les photons aux hautes énergies. Le CIEMAT (97-18) présente des résultats sur le rapport entre le kerma dans l'air et la dose absorbée dans l'eau obtenus lors de mesures du rayonnement du ^{60}Co effectuées dans l'unité de téléthérapie d'un hôpital de la région, avec des chambres d'ionisation Shonka de $3,6\text{ cm}^3$. Le rapport D_w/K_{air} mesuré est en bon accord avec celui du Bureau international.

L'ARL présente des résultats préliminaires d'une comparaison de dose absorbée dans l'eau avec l'ANSTO et le NPL (97-24 et 25).

Le NRC (97-29) suggère que les membres échangent des informations avec le CCEMRI sur le Web. M. Rogers mentionne aussi les travaux du Task Group 61 de l'American Association of Physicists in Medicine sur les directives pour la dosimétrie au niveau du kilovolt. Le NRC a mené une étude auprès d'une centaine de personnes et a conclu que les cliniques n'emploient pas les méthodes de dosimétrie à l'intérieur d'un fantôme pour les rayons x dans le domaine d'orthovoltage. Une des questions clés de ce groupe de tra-

vail est de savoir s'il faut continuer à recommander des mesures à l'intérieur de fantômes pour des tensions de crête supérieures à 100kV, ou recommander l'étalonnage dans l'air dans le domaine des énergies basse et moyenne.

Le GUM (97-30) rend compte de l'installation de nouvelles sources pour les rayons x aux basses énergies comprenant des tubes à anode en molybdène ou en tungstène. Une nouvelle source de ^{60}Co sera installée.

14 RAPPORT DE L'AIEA

M. Andreo (97-17) attire l'attention sur les résultats des audits de qualité impliquant les laboratoires de dosimétrie secondaire de l'AIEA et de l'OMS, présentés dans les figures 3 et 4 de ce document. Quatre laboratoires au moins de ceux qui offrent des services d'étalonnage ont confondu les facteurs $N_{D,w}$ avec les facteurs $N_{D,air}$ et les erreurs sur leurs étalonnages peuvent atteindre 10 %. Le problème du positionnement de la chambre – point réel de la mesure par rapport au centre de l'instrument – se pose aussi pour les laboratoires secondaires. La figure 5 du document de l'AIEA présente les résultats obtenus à l'aide des dosimètres thermoluminescents de l'AIEA et de l'OMS expédiés à différents instituts. Ces résultats concernent 60 % d'entre eux seulement, et 60 % des mesures transmises se situent à ± 5 % près de la valeur admise.

M. Andreo présente une analyse des différents protocoles (AAPM, TRS-277, etc.) de calcul de $N_{D,w}$ à l'aide du facteur d'étalonnage en kerma dans l'air. Le *Code of Practice for plane parallel chambers in electron and photon beams* est maintenant publié (Rapport AIEA381). C'est une étape intermédiaire pour relier les étalons de dose absorbée aux étalons de kerma dans l'air. Une nouvelle édition du protocole de l'AIEA pour la détermination de la dose absorbée dans les faisceaux de photons et d'électrons (TRS-277) est prête. M. Rogers dit que selon le nouveau protocole AAPM, le centre de la chambre reste le point de mesure.

15 QUESTIONS DIVERSES

Les membres de la Section sont d'avis de se réunir dans deux ans.

M. Simoën remercie les membres de la Section pour leur aide et le personnel du Bureau international pour son hospitalité.

Mme Boutillon dit que J.-P. Simoën envisage de prendre sa retraite avant la prochaine réunion. Elle le remercie au nom du Bureau international et des membres de la Section I du CCEMRI pour les dix années où il a présidé la Section I. M. Simoën est chaleureusement applaudi.

B.M. Coursey, rapporteur
août 1997
révisé juin 1998

ANNEXE R(I) 1.

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

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

Document
CCEMRI (I)/

- 97-1 BIPM, AIEA. — Some thoughts on the dissemination of $N_{D,w}$ calibration factors in ^{60}Co gamma radiation, M. Boutillon, P. Andreo, 2 p.
- 97-2 BIPM. — Comparisons and calibrations at the BIPM, P.J. Allisy-Roberts, M. Boutillon, 8 p.
- 97-3 BIPM. — Calculation of electron loss and photon scatter correction factors for free-air chambers, D.T. Burns, 2 p.
- 97-4 OMH (Hongrie). — Progress report on the radiation dosimetry at OMH, I. Csete, 2 p.
- 97-5 ETL (Japon). — Report of ETL to the CCEMRI Section I, N. Takata, K. Sakihara, Y. Koyama, H.I. Sekiguchi, 1 p.
- 97-6 ETL (Japon), NIM (Chine). — Methods to calculate diffusion loss of ions in cavity ionization chambers, N. Takata, N. Takeda, Zaizhe Yin, 5 p.
- 97-7 NPL (Royaume-Uni). — Progress report on radiation dosimetry at NPL, P. Sharpe, 6 p.
- 97-8 INMRI-ENEA (Italie). — Report to the CCEMRI Section I on the activities at INMRI-ENEA, R.F. Laitano, 3 p.

Document

CCEMRI (I/)

- 97-9 INMRI-ENEA (Italie), NIST (États-Unis). — Definitive results of the ENEA-NIST air-kerma comparison, R.F. Laitano, P.J. Lamperti, M.P. Tomi, 3 p.
- 97-10 INMRI-ENEA (Italie). — Mean energy calculations for proton beams in a tissue-substitute and in water: preliminary results, R.F. Laitano, M. Rosetti, 4 p.
- 97-11 ARL (Australie). — Status report on radiation dosimetry standards at ARL, J.F. Boas, R.B. Huntley, L.H. Kotler, D.V. Webb, K.N. Wise, 4 p.
- 97-12 BNM-LPRI (France). — Progress report (dosimetry of photons and charged particles), B. Chauvenet, 3 p.
- 97-13 VNIIM (Féd. de Russie). — Report on the research work of the laboratory for metrology of ionizing radiation in the field of x-, gamma- and beta-ray dosimetry, N. Villevalde, A. Oborin, E. Yurjatin, V. Fominykh, S. Fedina, I. Urjaev, E. Rumjantseva, 3 p.
- 97-14 VNIIM (Féd. de Russie). — Some results of the laboratory activity of the D.I. Mendeleyev All-Russian Institute for Metrology in the field of neutron measurements in 1995-1997 years, N.N. Moiseev, M.A. Rasko, I.A. Kharitonov, non diffusé.
- 97-15 INMRI-ENEA (Italie). — Preliminary results of heat flow calculations in a sealed water calorimeter for horizontal beams, E. Gargioni, R.F. Laitano, 5 p.
- 97-16 PTB (Allemagne). — Progress report on radiation dosimetry at PTB, K. Hohlfeld, 15 p.
- 97-17 IAEA. — IAEA dosimetry programme. Report on activities in 1995-96, P. Andreo *et al.*, 12 p.
- 97-18 CIEMAT (Espagne). — Report of the status of CIEMAT to CCEMRI, Section I, A. Brosed, 4 p.
- 97-19 NIST (États-Unis). — Report to the CCEMRI Section I, S.M. Seltzer, 8 p.

Document

CCEMRI (I)/

- 97-20 NIST (États-Unis). — NIST activities in brachytherapy dosimetry, C.G. Soares, 3 p.
- 97-21 NIST (États-Unis). — Status of NIST mammography calibration range, C.M. O'Brien, 2 p.
- 97-22 NIST (États-Unis). — Development of a secondary standard system to measure absorbed dose to water, J. Shobe, 2 p.
- 97-23 NMi (Pays-Bas). — Summary of dosimetry comparisons conducted in the framework of EUROMET, A.H.L. Aalbers, 3 p.
- 97-24 ARL (Australie). — Exposure and absorbed dose measurement standards for ⁶⁰Co and MV x-rays, J.F. Boas, R.B. Huntley, D.V. Webb, K.N. Wise, 4 p.
- 97-25 ARL (Australie). — High energy absorbed dose standards, J.F. Boas, R.B. Huntley, D.V. Webb, K.N. Wise, 4 p.
- 97-26 SSI (Suède). — Progress report, J.-E. Grinborg, L. Lindborg, 4 p.
- 97-27 NPL (Royaume-Uni). — Absorbed dose calibrations and CCEMRI (I) meeting, Letter of J.E. Burns, 2 p.
- 97-28 NMi (Pays-Bas). — Progress report on radiation dosimetry standards, facilities and related topics at NMi, 1995-1997, A.H.L.Aalbers, 3 p.
- 97-29 NRC (Canada). — NRC activities and publications 1995-1997, D.W.O. Rogers, A.F. Bielajew, N.V. Klassen, C.K. Ross, J.P. Seuntjens, K.R. Shortt, L. van der Zwan, 23 p.
- 97-30 GUM (Pologne). — Progress report 1995-1997 to CCEMRI(I), Z. Referowski, 2 p.
- 97-31 NMi (Pays-Bas), BIPM. — Photon fluence spectra of the BIPM reference qualities for low energy x-rays, T.W.M. Grimbergen, E. van Dijk, M. Boutillon, 3 p.
- 97-32 NMi (Pays-Bas). — Combination of correction factors calculated with the Monte-Carlo method with measured x-ray spectra for the NMi free-air ionization chamber for medium energy x-rays, T.W.M. Grimbergen, E. van Dijk, W. de Vries, 3 p.

Document

CCEMRI (I)/

- 97-33 NMI (Pays-Bas). — Progress report on EUROMET comparison project 364, W. de Vries, 1 p.
- 97-34 NIM (Chine). — Progress report 1997, Xu Mian, 2 p.
- 97-35 BIPM. — CCEMRI Section I response to the issues concerning the Consultative Committees's responsibilities in the "Draft report on the agreement for metrological equivalence of standards" distributed by the director of the BIPM, 3 p.

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION II : MESURE DES RADIONUCLÉIDES
RAPPORT DE LA 14^e RÉUNION

(23-25 avril 1997)

Ordre du jour

- 1 Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Rapport sur les réunions du CCEMRI et du Comité international.
- 3 Comparaisons internationales de mesures d'activité.
- 4 Système international de référence pour les mesures d'activité.
- 5 Rapports d'activité des groupes de travail.
- 6 Nouveaux groupes de travail.
- 7 Comparaisons internationales à venir.
- 8 Activités du Bureau international.
- 9 Rapports des laboratoires membres.
- 10 Questions diverses.

Résumé

La Section II (Mesure des radionucléides) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa quatorzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, du 23 au 25 avril 1997. Les résultats complémentaires de la comparaison préliminaire de ^{204}Tl ont été présentés, ainsi qu'un rapport sur l'état de la comparaison internationale. Les résultats de la comparaison préliminaire de ^{192}Ir ont été discutés et un groupe de travail a été établi pour étudier les problèmes qui subsistent. Le radionucléide ^{152}Eu a été choisi pour la prochaine comparaison. Les problèmes techniques liés au système de comptage à scintillateur liquide ont été évoqués dans le cadre de l'extension du SIR et les résultats préliminaires de la comparaison de ^{90}Sr ont été présentés. L'équivalence des mesures était au centre des discussions. Les participants se sont mis d'accord sur la manière d'obtenir cette équivalence de façon pratique et des critères de sélection ont été approuvés pour la détermination des valeurs de A_e . La proposition de mettre au point un étalon pour reproduire le becquerel a été bien accueillie et un groupe de travail a été établi. Des détails ont été donnés sur la mise au point d'un système de spectrométrie des rayonnements γ au Bureau international pour la mesure des impuretés des radionucléides.

1 OUVERTURE DE LA RÉUNION ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR

La Section II (Mesure des radionucléides)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)** a tenu sa quatorzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 23, 24 et 25 avril 1997.

Étaient présents : S.M. Buckman (ANSTO), N. Coursol (BNM-LPRI), K. Debertin (président de la Section II, PTB), J.-J. Gostely (IRA-OFMET), J.M.R. Hutchinson (NIST), H. Janssen (PTB), I. Kharitonov (VNIIM), Li Fen (NIM), T.J. Quinn (directeur du BIPM), B.R.S. Simpson (NAC), Á. Szörényi (OMH), G. Winkler (IRK), M.J. Woods (NPL).

Observateurs : R. Broda (RC), P. de Felice (ENEA), W. de Vries (NMI-VSL), A. Grau Malonda (CIEMAT), Y. Hino (ETL), N.I. Karmalitsyn (VNIIM), D.F.G. Reher (IMMR), Tae Soon Park (KRISS).

Assistaient aussi à la réunion : P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM) ; A. Allisy (membre du CCEMRI) ; P.J. Allisy-Roberts, M. Boutillon, D.T. Burns, C. Michotte, J.W. Müller et G. Ratel (BIPM).

Excusé : NRC.

Le directeur du Bureau international, T.J. Quinn, ouvre la réunion et souhaite la bienvenue aux participants, et en particulier à MM. W. de Vries, H. Janssen (qui succède à K. Debertin comme représentant de la PTB) et I. Kharitonov, qui assistent à une réunion de la Section II pour la première fois.

Dans son discours d'ouverture, le président, K. Debertin, souligne le rôle important joué par la Section II, rôle qui ne fait que s'accroître du fait de l'accent mis sur l'assurance de qualité dans le monde. En conséquence priorité est

* Pour la liste des membres, voir page 14.

** Pour la liste des sigles mentionnés dans ce rapport, voir page 115.

maintenant donnée aux aspects pratiques de la métrologie, plutôt qu'aux aspects purement scientifiques et techniques. Les communautés nationales comptent sur la Section II pour les aider à rendre compte de l'équivalence de leurs mesures, et il faut que leur attente soit satisfaite.

Le président rappelle aussi aux membres et aux observateurs quels sont leurs devoirs en tant que participants à la réunion de la Section II, et en particulier il souligne qu'ils doivent accomplir les tâches qui leur sont imparties dans les délais requis. Dans cet esprit, le président passe rapidement en revue une liste d'actions qui ont été approuvées lors de la précédente réunion et fait le point sur l'état de chacune de ces actions.

L'ordre du jour est approuvé et S.M. Buckman est nommé rapporteur.

2 RAPPORT SUR LES RÉUNIONS DU CCEMRI ET DU COMITÉ INTERNATIONAL

Le président présente un bref rapport sur la quatorzième session du CCEMRI qui s'est tenue en juin 1996. Comme d'habitude, les présidents des trois Sections ont présenté au CCEMRI un rapport sur les activités de leur Section et, en particulier, sur les progrès des groupes de travail. Les discussions ont porté principalement sur la nécessité de mettre au point des sources étalons en curie-thérapie, sur la mise en évidence de l'équivalence des étalons nationaux des laboratoires de métrologie, sur la publication des résultats des comparaisons, et sur la composition des Sections.

T.J. Quinn présente un rapport sur la quatre-vingt cinquième session du Comité international des poids et mesures (CIPM) qui s'est tenue en septembre 1996. Il fait référence, en particulier, aux critères d'appartenance aux Comités consultatifs : il signale que le Comité international a adopté de nouveaux critères pour être membre des Comités consultatifs et il rappelle que peuvent en être membres non seulement des laboratoires mais aussi des personnalités et des organisations internationales. Ceux qui ne répondent pas à ces critères, les anciens « invités », sont maintenant désignés sous le nom d'« observateurs ». La composition des Comités sera revue en septembre 1997 et les nouvelles demandes de participation aux Comités seront étudiées lors de cette réunion.

3 COMPARAISONS INTERNATIONALES DE MESURES D'ACTIVITÉ

3.1 Informations complémentaires sur les résultats de la comparaison préliminaire de ²⁰⁴Tl

G. Ratel rend compte des travaux entrepris en vue de comprendre pourquoi le résultat du CIEMAT se situe environ 2,5 % en dessous de la moyenne non pondérée $\bar{A} = 55,30$ Bq/mg ($u_c = 0,18$ Bq/mg) obtenue à partir des autres résultats. En septembre 1995, l'ampoule n° 8 a été envoyée au CIEMAT, où neuf échantillons ont été préparés et étalonnés de la même manière que précédemment. Une nouvelle concentration d'activité $A = 55,56$ Bq/mg ($u_c = 0,29$ Bq/mg) a été obtenue, elle est en bon accord avec les autres résultats. Les résultats corrigés de la comparaison, obtenus en tenant compte du nouveau résultat et en rejetant l'ancien résultat du CIEMAT, couvrent un domaine de 0,88 Bq/mg (1,6 %) (voir Fig. 1 du document 97-9*).

À titre de vérification complémentaire, le reliquat de l'ampoule originelle (ampoule n°2) a été renvoyé au Bureau international où il a été divisé en deux. Une moitié a été étalonnée au Bureau international suivant la méthode NIST/CIEMAT ; l'autre moitié a été étalonnée au BNM-LPRI selon la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles ; les résultats obtenus ont confirmé les premiers résultats du CIEMAT. On a discuté de la raison de cette divergence et il a été suggéré qu'il pouvait s'agir de l'adsorption.

G. Ratel confirme que la comparaison préliminaire est terminée ; les résultats ont été distribués aux participants sous la forme du document 97-9 qui devrait faire l'objet d'une publication comme *Rapport BIPM*. Les membres sont priés d'envoyer leurs commentaires à G. Ratel au cours du mois suivant la réunion.

* L'Annexe R(II) donne la liste des documents de travail présentés à la réunion. Ils sont cités dans le texte sous la forme 97-1, 97-2, etc.

Le projet de mesures à l'IMMR avec un détecteur 4π CsI est annulé, le laboratoire étant en travaux. Les mesures seront effectuées, mais elles ne seront pas prises en compte dans le *Rapport BIPM*.

3.2 Résultats de la comparaison préliminaire de ^{192}Ir

Comme il en avait été décidé lors de la précédente réunion de la Section II, la comparaison de mesures d'activité de ^{192}Ir proposée par EUROMET est terminée et une comparaison préliminaire a été effectuée sous les auspices du Bureau international. Dix laboratoires (BIPM, BNM-LPRI, ETL, IMMR, IRA, KRISS, NIST, NPL, OMH, VNIIM) y ont participé ; ils ont eu recours à cinq méthodes indépendantes. Le Comité remercie D.F.G. Reher et son équipe pour la préparation et la distribution des échantillons.

G. Ratel présente les résultats de la comparaison. Il attire l'attention sur le fait que les résultats du Système international de référence (SIR) s'organisent en deux groupes de valeurs, et il décrit les procédés de mesures applicables au schéma de désintégration de ^{192}Ir . Les résultats de la comparaison montrent une dispersion totale de 2,5 %, la valeur moyenne étant cohérente avec les valeurs les plus basses du SIR.

Les participants discutent des différentes techniques utilisées pour obtenir les résultats. Les courbes d'extrapolation, présentées par Y. Hino, qui comparent les résultats obtenus avec un système HPGe à ceux obtenus avec un système NaI(Tl) s'avèrent particulièrement intéressantes. Ce travail met en évidence les problèmes susceptibles de se poser avec la capture des électrons.

La discussion entre les participants met en lumière un certain nombre de facteurs importants tels que la concentration de l'entraîneur et le réglage de la porte γ . L'utilisation de différentes données nucléaires n'a pas eu d'effet significatif. Pour le ^{192}Ir , on a trouvé de bonnes raisons de préférer la méthode $4\pi\gamma$ à la méthode des coïncidences.

Plusieurs participants ont collaboré avec G. Ratel pour rédiger la conclusion du texte résumé qui sera présenté au symposium de l'ICRM. La rédaction de ce texte devrait être terminée vers la fin du mois d'avril 1997. Le président ajoute que la Section II du CCEMRI doit accorder une aide plus grande à la rédaction des rapports sur les comparaisons internationales, et que les conclusions doivent faire l'objet d'un consensus.

La comparaison préliminaire a révélé des problèmes non résolus dans la mesure de ^{192}Ir . Un groupe de travail est établi pour étudier ces difficultés avant de commencer la comparaison internationale. Les membres de ce

groupe sont : Y. Hino, T.S. Park, G. Ratel, D.F.G. Reher et M.J. Woods. Aucun coordonnateur n'est désigné, mais la première réunion sera organisée par D.F.G. Reher.

3.3 État de la comparaison internationale de ^{204}Tl

Ayant résolu les divergences constatées lors de la comparaison préliminaire de ^{204}Tl , le Bureau international a procédé à la comparaison internationale qui avait été prévue. G. Ratel signale que 30 ampoules ont été distribuées aux 24 laboratoires participants ; le Bureau international a déjà reçu 7 résultats. La date limite pour envoyer les résultats au Bureau international a été repoussée au 30 avril 1997. G. Ratel présente plusieurs courbes d'efficacité obtenues par la méthode de comptage par scintillation liquide et commente les premiers résultats.

Un rapport préliminaire sera préparé et distribué aux participants et aux membres. Pour alléger la charge de travail du personnel du Bureau international, il est décidé que des personnes extérieures les aideraient à évaluer les résultats. G. Ratel accepte de préparer et de distribuer un graphique présentant les résultats finals vers la fin du mois de mai 1997 ; à ce moment-là il sera demandé aux membres et aux observateurs s'ils sont prêts à participer à l'évaluation. Une ou plusieurs personnes seront alors invitées par G. Ratel à se joindre au comité d'évaluation.

Un planning est approuvé : un graphique montrant les résultats sera préparé pour la fin mai 1997, les membres du comité d'évaluation seront nommés en juillet 1997 et le comité fera circuler un rapport préliminaire en janvier 1998.

3.4 État des publications sur la comparaison internationale de ^{75}Se

G. Ratel annonce que le projet de rapport sur la comparaison de ^{75}Se est pratiquement prêt et qu'il devrait être distribué aux membres et aux participants à la mi-mai 1997. Il demande de faire parvenir les commentaires au Bureau international avant fin juin 1997. Le projet final du rapport sera soumis pour publication à *Nuclear Instruments and Methods A* vers la fin du mois d'août 1997. Le président mentionne une lettre de D.C. Santry (NRC) qui fait des suggestions sur la comparaison de ^{75}Se . G. Ratel accepte de répondre à D.C. Santry.

4 SYSTÈME INTERNATIONAL DE RÉFÉRENCE POUR LES MESURES D'ACTIVITÉ

4.1 Rapport sur le système de chambres d'ionisation

C. Michotte rend compte de mesures récentes au Bureau international qui montrent l'excellente stabilité à long terme du Système international de référence (SIR). Elle souligne des fluctuations périodiques faibles mais visibles dans les résultats. Plusieurs délégués mentionnent des variations saisonnières dans leur propre laboratoire.

En 1996, quatorze nouveaux résultats relatifs à onze radionucléides, y compris pour la première fois le ^{140}Ba , sont parvenus de douze laboratoires ; deux résultats ont été supprimés. Des détails sont donnés sur la procédure employée pour calculer l'activité équivalente A_e dans le cas de radionucléides en filiation, comme pour le couple $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$.

D'après les réponses au questionnaire sur le SIR, le Bureau international espère recevoir vingt et une ampoules de quatorze radionucléides provenant de huit laboratoires en 1998. G. Ratel décrit les mesures effectuées à l'aide du SIR en liaison avec la comparaison de ^{133}Xe d'EUROMET (projet n° 304).

Plusieurs changements seront apportés aux formulaires du SIR. En particulier, une distinction sera faite entre les contributions au SIR effectuées dans le but de confirmer l'équivalence et celles faites en vue de déterminer les valeurs de A_e (Sections 5.6 et 5.7).

4.2 Rapport sur le système à scintillation liquide

G. Ratel signale que les comparaisons de ^{63}Ni et de ^{55}Fe ont été effectuées dans le cadre de projets d'EUROMET. Les résultats préliminaires de ces comparaisons montrent un très bon accord pour le nucléide ^{63}Ni et quelques divergences pour le nucléide ^{55}Fe . La discussion se poursuit en liaison avec la com-

paraison de ^{204}Tl (on reviendra sur ce sujet lors du rapport du groupe de travail, voir Section 5.4).

4.3 Comparaison de mesures d'activité de solutions de ^{90}Sr

Le radionucléide ^{90}Sr a été choisi pour faire l'objet de la comparaison visant à vérifier le fonctionnement du SIR étendu. Des échantillons ont été reçus des laboratoires suivants : BARC, BNM-LPRI, CIEMAT, CMI, ETL, IRA, IMMR, NIST, NPL, OMH, PTB et RC. Les échantillons pour les mesures d'activité ont une concentration allant de 4 kBq/g à 790 kBq/g. Les résultats sont présentés par G.Ratel sous forme de graphique ; celui-ci sera modifié afin de présenter les résultats par ordre d'activité croissante. Pour les mesures à venir, le domaine d'activité sera précisé : seuls les échantillons de ce domaine seront acceptés.

La dispersion des résultats (de l'ordre de 4 %) est plus élevée que prévu, ce qui est préoccupant. Les causes possibles sont discutées, parmi lesquelles la stabilité des échantillons et la concentration d'acidité. Le Bureau international a préparé cinq échantillons pour chaque contribution, la reproductibilité a été trouvée bonne dans tous les cas sauf un.

G. Ratel accepte de remesurer certains échantillons plus anciens et D.F.G. Reher d'effectuer des mesures avec le système 4π CsI à l'IMMR. Le Groupe de travail sur le SIR étendu est chargé d'évaluer les résultats de la comparaison et d'examiner les problèmes qui apparaissent. G. Ratel distribuera un bref résumé des résultats à la fin du mois de juin 1997.

Les résultats de la comparaison de ^{90}Sr feront l'objet d'un exposé oral au symposium de l'ICRM en mai 1997, mais ils ne figureront pas dans les comptes rendus. Les membres sont invités à envoyer leurs commentaires à A. Grau Malonda avant le mois de septembre 1997. Le rapport du groupe de travail sera prêt en janvier 1998.

Note : Peu après la réunion de la Section II, G. Ratel a vérifié les résultats des mesures du ^{90}Sr et trouvé une erreur dans le calcul des corrections pour la désintégration. La correction de cette erreur a réduit la dispersion des résultats à environ 1 %.

4.4 Réalisation du becquerel

Dans son introduction, D.F.G.Reher décrit comment le becquerel (Bq) est réalisé actuellement en étalonnant des chambres d'ionisation de référence, le meilleur système étalonné étant le Système international de référence pour les

radionucléides émetteurs de rayonnement gamma (SIR). Il souligne qu'un défaut de fonctionnement de ce système signifierait la perte des travaux effectués pendant plusieurs décennies. Pour éviter une telle catastrophe, D.F.G. Reher et M.J. Woods proposent, dans le document 97-24, de réaliser un appareillage de conception parfaitement définie et facilement reproductible, appelé le « Système de référence du becquerel » (BRS).

Ce système serait d'une conception semblable au SIR, à cela près qu'il serait optimisé pour fournir une référence à long terme que l'on pourrait reproduire avec exactitude à tout moment. La mise au point de ce système serait bien définie, avec des tolérances assez restreintes pour tenir compte des améliorations à venir de l'exactitude des étalonnages de radionucléides. Un tel système permettrait de réaliser le becquerel et de le transférer, d'assurer l'équivalence et de résoudre le problème de la mesure des nucléides à durée de vie courte à l'aide du SIR.

Cette proposition reçoit l'approbation des participants et un groupe de travail est créé. Le groupe de travail sera formé au départ de D.F.G. Reher et de M.J. Woods, les autres membres seront nommés en fonction des besoins.

La première partie de ce projet consistera en une étude de faisabilité portant sur les coûts, la possibilité d'utiliser les chambres existantes (comme la chambre Vinten du NPL) et les tolérances acceptables qui seront déterminées par une simulation sur ordinateur. Quand le projet sera au point, un prototype, ou plusieurs prototypes, seront construits. L'étape finale du projet sera la mise en pratique du Système de référence du becquerel. Le projet complet sera mené sous les auspices de la Section II et en coopération étroite avec le Bureau international. Les premiers résultats du groupe de travail seront présentés dans le rapport des neuf prochains mois.

5 RAPPORTS D'ACTIVITÉ DES GROUPES DE TRAVAIL

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

Le président explique, au nom de H. Schrader (PTB), que la *Monographie BIPM* n° 4 a été revue par M. Blackburn et que ce travail est maintenant terminé. Des exemplaires en sont distribués aux présents.

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

G. Winkler dit que les travaux de préparation d'un article de recension sur les systèmes de détection à haute efficacité ont pris du retard. Il est décidé que cet article sera publié dans un journal à comité de lecture plutôt qu'en tant que *Monographie BIPM*. Il est suggéré qu'il pourrait être soumis pour publication à *Applied Radiation and Isotopes* fin 1997.

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

Il n'y a rien à signaler au sujet de la commande groupée de radionucléides depuis la précédente réunion et personne n'a semblé intéressé récemment. En l'absence d'intérêt pour une telle offre, le groupe de travail est dissous.

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

Dans son rapport sur l'extension du SIR, A. Grau Malonda donne des détails sur certaines préoccupations relatives à la préparation des échantillons et aux programmes informatiques utilisés pour le comptage par scintillation liquide. Alors que l'emploi de programmes différents ne semble pas poser de problème pour la mesure des émetteurs de rayonnement β , il peut être source d'erreurs sérieuses dans le cas des nucléides à capture d'électrons (en particulier dans le cas où Z , le numéro atomique, est faible). Il convient d'étudier plus en détail la détermination de la grandeur Q (facteur de correction pour l'atténuation due

à l'ionisation), en particulier pour les nucléides à capture électronique, et l'optimisation de la valeur de Q pour chaque programme.

Dans la discussion de la question importante de la préparation des sources pour le système de comptage à scintillation liquide, il fait référence à l'étude approfondie de B. Coursey (NIST). Bien que les recettes données dans cette étude ne soient plus valables, ses procédures systématiques restent toujours bien fondées. A. Grau Malonda suggère que les recettes mises au point dans chaque laboratoire soient collectées et assemblées pour trouver un accord sur la meilleure procédure à suivre pour un spécimen donné.

A. Grau Malonda suggère que dans la *Monographie BIPM* sur le système de comptage à scintillation liquide, l'accent soit mis sur les problèmes identifiés dans l'extension du SIR. Cette suggestion est acceptée et A. Grau Malonda est nommé coordonnateur du comité de rédaction. Cette monographie devrait être achevée dans un avenir assez proche, mais aucune date n'est fixée. Un projet de table des matières sera distribué pour commentaires avant de poursuivre le travail.

Le président dit que toute action proposée par le groupe de travail doit être centrée sur la résolution de problèmes relatifs à l'extension du SIR, en particulier ceux qui se posent aux laboratoires qui préparent leurs propres échantillons.

5.5 Comparaisons à venir (Coordonnateur : Á. Szörényi)

Á. Szörényi présente les résultats d'un questionnaire sur les comparaisons à venir, qui a été distribué aux membres du groupe de travail et aux laboratoires qui ont participé à la précédente comparaison. Les nucléides ^{192}Ir et ^{152}Eu sont les plus populaires des nucléides proposés pour une prochaine comparaison d'activité. Même si le nucléide ^{152}Eu reste populaire, son choix semble remis en question pour une comparaison internationale étant donné que les résultats du SIR semblent déjà en bonne concordance et que son utilisation pour l'étalonnage de spectromètres γ peut occasionner des problèmes dans le calcul des sommes des coïncidences.

Il est décidé que le prochain questionnaire comportera des critères de sélection tels que : y-a-t'il des valeurs divergentes dans les tableaux du SIR ; le radionucléide a-t'il un intérêt pratique ? ; y-a-t'il des problèmes liés à la mesure d'un nucléide particulier ? ; une comparaison du radionucléide proposé a-t-elle été effectuée récemment ?

Un autre questionnaire sera envoyé par Á. Szörényi fin 1998.

5.6 Analyse systématique du SIR (Coordonnateur : D.F.G. Reher)

D.F.G. Reher dit que la première évaluation des résultats du SIR a été distribuée. Dans le pire des cas, l'écart entre les résultats du SIR est de 6 %, mais en général il n'est que de 1 %.

Pour la détermination des valeurs de A_e il propose des critères de sélection des résultats plus stricts, afin d'obtenir une meilleure valeur de A_e , et de son incertitude associée, pour chaque radionucléide. Une série des meilleures valeurs de A_e devrait alors servir à établir le système international d'équivalence, à fournir une mesure de l'assurance de qualité dans les laboratoires individuels, et à appliquer le SIR à d'autres chambres d'ionisation.

La proposition de D.F.G. Reher (97-16) engendre un débat très animé sur le choix des critères et l'évaluation de A_e . Les points d'accord sont donnés ci-dessous et sont conformes à ceux énoncés dans le document 97-26 bis.

Le Groupe de travail sur l'analyse systématique des résultats du SIR est chargé d'entreprendre les actions suivantes :

- établir pour chaque radionucléide du SIR une valeur de référence pour l'activité équivalente (A_{eref}) et pour son incertitude associée $u(A_{\text{eref}})$ sur la base des meilleurs résultats disponibles ;
- publier ces valeurs de A_{eref} à intervalles réguliers.

Dans le choix des valeurs servant à déterminer A_{eref} :

- seuls les résultats de mesures directes (étalonnages primaires) seront pris en compte ;
- si un laboratoire soumet plusieurs ampoules au même moment, on utilisera la moyenne non pondérée des résultats et des incertitudes ;
- la corrélation des résultats doit être soigneusement prise en compte et le nombre de résultats soumis par chaque laboratoire doit être limité.

Les résultats des laboratoires primaires participant aux comparaisons du BIPM ou autres (EUROMET, etc.) doivent être pris en compte, sous réserve que :

- le BIPM reçoive une ampoule de la comparaison ;
- la comparaison soit effectuée selon la procédure du BIPM ;
- dans le cas d'une comparaison autre que celles organisées par le BIPM, la Section II du CCEMRI soit d'accord pour en tenir compte ;
- un seul résultat soit fourni par chaque laboratoire ;
- chaque valeur de A_e soit calculée par le BIPM.

La valeur donnée pour A_{eref} et pour son incertitude sera la valeur médiane et son incertitude, comme le précise le *Rapport BIPM-95/2* de J.W. Müller. De plus, la courbe d'efficacité sera établie de nouveau sur la base des valeurs de A_{eref} .

Les membres du groupe de travail sont toujours N.Coursol, G. Ratel, H. Jansen (aidé par H. Schrader), D.F.G. Reher (coordonnateur) et M.J. Woods.

5.7 Équivalence des étalons (Coordonnateur : M.J. Woods)

T.J. Quinn ouvre la discussion sur l'équivalence des mesures en notant l'évolution des esprits depuis la précédente réunion de la Section II. Il rappelle aux membres que le but de la Convention du Mètre est de mettre d'accord les États membres sur des étalons de mesure communs, pour les besoins du commerce et des sciences. Un équilibre doit être maintenu entre ces deux pôles, et ces dernières années cet équilibre a été modifié.

Il explique qu'un système plus structuré est nécessaire car les pays ont eux-mêmes des systèmes plus structurés. Le Comité international coopère dans ce but avec les laboratoires nationaux de métrologie en vue de parvenir à un accord international sur la reconnaissance mutuelle des étalons. Il note que, en grande partie, un tel système existe déjà entre les laboratoires nationaux des pays industrialisés, comme en témoignent les résultats des comparaisons internationales. L'équivalence doit être étendue aux certificats d'étalonnage des laboratoires nationaux afin de faire la liaison entre les étalons nationaux et les services d'étalonnage et d'essais.

L'équivalence internationale sera fondée sur les résultats des «comparaisons clés» choisies afin de comparer les principales méthodes employées dans un domaine. La manière d'évaluer les résultats de ces comparaisons dépendra de la grandeur en question, mais elle doit être robuste, viable à long terme et elle ne doit pas demander trop de travail aux participants. L'évaluation des résultats est meilleure si elle est pratiquée par les organisateurs et les participants à la comparaison.

Il n'est pas acceptable pour un laboratoire national de métrologie de ne pas être équivalent aux autres laboratoires. De plus, ce n'est pas le rôle du Bureau international d'accréditer des organisations individuelles, de fixer les limites les qualifiant pour l'équivalence ni de définir la fréquence à laquelle cette équivalence doit être réaffirmée. Son rôle est plutôt, avec l'aide des Comités consultatifs, de mettre en place une structure qui permette de rendre compte du degré d'équivalence entre les laboratoires nationaux.

M.J. Woods commence son rapport sur les activités du groupe de travail en résumant les progrès réalisés dans la rédaction d'un projet de directives pour la mise en pratique de l'équivalence, et fait référence à la réunion du groupe de travail qui a eu lieu au Bureau international en juillet 1996. Un projet révisé a été distribué ; il n'a fait l'objet d'aucune objection (97-26). Le document recommande notamment que l'équivalence des mesures soit établie en premier lieu au moyen des comparaisons effectuées par le Bureau international et en particulier au moyen du SIR.

Après une longue discussion sur les propositions du groupe de travail et sur les conséquences des décisions prises par le Comité international, une série de décisions est approuvée ; ces décisions sont conformes à celles figurant dans le document 97-26 bis.

Les missions du Groupe de travail sur l'équivalence sont les suivantes :

- établir l'équivalence entre la mesure d'activité (A_{lab}) de chaque laboratoire, pour chaque radionucléide, par rapport à la valeur de référence (A_{ref}), compte tenu des incertitudes associées ;
- publier les résultats de ces mesures à intervalles réguliers.

Établissement de l'équivalence des mesures et critères supplémentaires :

- l'équivalence des mesures doit être comprise comme étant la différence entre A_{lab} et A_{ref} et son incertitude associée ;
- l'équivalence des mesures sera tout d'abord établie en soumettant des échantillons au SIR ;
- les résultats d'autres comparaisons, en particulier des comparaisons internationales organisées par le Bureau international, seront pris en compte dans l'évaluation de A_{lab} et de A_{ref} sous réserve que les organisateurs de la comparaison fournissent des résultats suffisamment documentés.

Les membres du Groupe de travail sur l'équivalence sont : S. Buckman, J.M.R. Hutchinson, G. Ratel, D.F.G. Reher et M.J. Woods (coordonnateur). Les Groupes de travail sur le SIR et sur l'équivalence des étalons travailleront en collaboration étroite, et un rapport sur leurs activités sera inclus dans le rapport des neuf prochains mois de la Section II du CCEMRI.

6 NOUVEAUX GROUPES DE TRAVAIL

De nouveaux groupes de travail sont établis pour étudier la réalisation du becquerel et examiner les divergences constatées lors de la comparaison préliminaire de ^{192}Ir (*voir* Sections 3.2 et 4.4 respectivement). Le Groupe de travail sur la commande groupée de radionucléides est dissous (Section 5.3) et le Groupe de travail sur les systèmes de détection à haute efficacité sera dissous quand l'article de recension sur ce sujet sera terminé (Section 5.2).

7 COMPARAISONS INTERNATIONALES À VENIR

Après considération du rapport du Groupe de travail sur les comparaisons internationales (Section 5.5), le nucléide ^{152}Eu est choisi pour la prochaine comparaison. Un compromis est trouvé pour résoudre le conflit entre la nécessité de mener un plus grand nombre de comparaisons de manière régulière et l'importance d'effectuer de nouvelles comparaisons préliminaires : une seule solution sera préparée. La PTB a offert de préparer et de distribuer la solution de ^{152}Eu . Une comparaison préliminaire sera effectuée et, après résolution d'éventuels problèmes, on procédera à la comparaison internationale. Le NRC sera invité à joindre l'ETL, l'OMH et la PTB afin de participer à la comparaison préliminaire. Des échantillons seront envoyés aux participants à la comparaison préliminaire en novembre 1997, les résultats devront parvenir avant février 1998. La décision d'entreprendre ou de ne pas entreprendre une comparaison internationale sera prise en avril 1998.

Les autres nucléides proposés pour des comparaisons à venir sont le ^{55}Fe , le ^{85}Sr , le ^{90}Sr , le ^{153}Gd et l' ^{192}Ir .

8 ACTIVITÉS DU BUREAU INTERNATIONAL

C. Michotte rend compte (97-20) de l'étalonnage d'un système de spectrométrie γ pour mesurer les impuretés des radionucléides dans les échantillons soumis au SIR sans les altérer. La conception de ce système permet aux corrections pour le temps mort et pour l'empilement d'être indépendantes du convertisseur analogique/numérique et de l'analyseur multicanal utilisés. Les résultats de tests approfondis sont présentés. Ils sont corrigés pour le temps mort et l'empilement et tiennent compte des incertitudes dues aux caractéristiques de l'ampoule et à sa position, ainsi qu'à l'emploi d'une porte linéaire.

Tous les étalonnages ont été effectués à deux distances différentes du détecteur (19,5 cm et 50 cm). Deux supports en lucite évitent la détection des particules β susceptibles d'entraîner des distortions dans le spectre du rayonnement γ . En avril 1997 l'étalonnage de l'efficacité du système était toujours en cours.

9 RAPPORTS DES LABORATOIRES MEMBRES

Les rapports écrits des laboratoires membres sont distribués et les représentants ont la possibilité de les présenter brièvement. Ce point de l'ordre du jour constitue toujours un forum de discussion utile pour mettre en avant les activités des organisations membres dans le domaine de la métrologie des radio-nucléides.

10 QUESTIONS DIVERSES

10.1 Visite des laboratoires du Bureau international

La plupart des participants ont profité de l'invitation qui leur était faite de visiter les laboratoires chargés de la conservation des étalons de longueur et de radioactivité.

10.2 Questions diverses

T.J. Quinn explique que K. Debertain avait accepté de rester président de la Section II jusqu'à la présente réunion, bien qu'il ait pris sa retraite de la PTB. Il le remercie pour sa participation active en qualité de président et le félicite pour la façon excellente dont il a présidé la réunion. Il souhaite la bienvenue à B.R.S. Simpson en tant que nouveau président. T.J. Quinn invite B.R.S. Simpson et K. Debertain à assister à la prochaine session du CCEMRI qui aura lieu au Bureau international les 7 et 8 juillet 1997.

K. Debertain remercie les présents de leur contribution active aux travaux de la Section II pendant toutes ces années et à la communauté en général. Il présente ses meilleurs vœux à tous pour l'avenir.

S.M. Buckman, rapporteur
septembre 1997
révisé juin 1998

ANNEXE R(II) 1.

Documents de travail présentés à la 14^e réunion de la Section II du CCEMRI

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

Document
CCEMRI (II)/

- 97-1 NIST (États-Unis). — NIST radioactivity group report - 1995-1996, 6 p.
- 97-2 IRK (Autriche). — Summary of the research programme related to radionuclide metrology for the years 1996 and 1997 at the “Institut für Radiumforschung und Kernphysik” (IRK) of the University of Vienna, Austria, G. Winkler, 3 p.
- 97-3 NAC (Afrique du Sud). — Review of the activities at the NAC standardization laboratory (June 1995 to March 1997), 2 p.
- 97-4 CIEMAT (Espagne). — Radionuclide metrology at MRI-CIEMAT - Progress report (1995-1997), A. Grau Malonda, 5 p.
- 97-5 NPL (Royaume-Uni). — Review of activities in radionuclide metrology (June 1995 to April 1997), 4 p.
- 97-6 VNIIM (Féd. de Russie). — Communication for CCEMRI (Section II) on the work carried out at the D.I. Mendeleev Institute for Metrology in the field of radionuclide metrology for the period of 1995-1996, I.A. Kharitonov, N.I. Karmalitsyn, 3 p.
- 97-7 KRISS (Rép. de Corée). — Progress report on radionuclide metrology (1995-1997), 2 p.

Document

CCEMRI (II)/

- 97-8 BNM-LPRI (France). — Progress report 1995-1996 on radionuclide metrology at BNM-LPRI, N. Coursol, 5 p.
- 97-9 BIPM. — Trial comparison of activity measurements of a solution of ^{204}Tl , G. Ratel, 32 p.
- 97-10 NIM (Chine). — Progress report concerning radioactivity measurements at NIM (March 1995-1996), Li Fen, 2 p.
- 97-11 ANSTO (Australie). — Radionuclide metrology at ANSTO 96/97. Progress report, S. Buckman, 1 p.
- 97-12 ETL (Japon). — Review of activities at the ETL in 1995-96, Y. Hino, 3 p.
- 97-13 CIEMAT (Espagne). — Extension of the SIR, 4 p.
- 97-14 IMMR (Commission européenne). — Programme progress report 1996 of the radionuclide metrology group. Extract for CCEMRI(II), D.F.G. Reher, 13 p.
- 97-15 IMMR (Commission européenne), NPL(Royaume-Uni).— Proposal for realizing the becquerel at the basic level, D.F.G. Reher, M.J. Woods, 1 p.
- 97-16 IMMR (Commission européenne). — Critical evaluation of SIR, D.F.G. Reher, 2 p.
- 97-17 IRA (Suisse), OFMET (Suisse). — Progress report 1995-1997 on radionuclide metrology, 2 p.
- 97-18 ENEA (Italie). — Summary of the most recent activities (1995-1997) at ENEA in the field of interest of the CCEMRI Section II, P. De Felice, 4 p.
- 97-19 OMH (Hongrie). — Progress report on radionuclide metrology (1995-97), Á. Szörényi, 3 p.
- 97-20 BIPM. — Progress report on the detection of radioactive impurities at the BIPM, C. Michotte, 6 p.
- 97-21 VNIIM (Féd. de Russie). — Communication for CCEMRI (Section II) on the work carried out at the D.I. Mendeleev Institute for Metrology in the field of radionuclide metrology for the period of 1995-1996, I.A. Kharitonov, N.I. Karmalitsyn, 2 p.

Document
CCEMRI (II)/

- 97-22 RC (Pologne). — Review of the activities at the RC radionuclide metrology (May 1995 to April 1997), 2 p.
- 97-23 NRC (Canada). — Progress report on radionuclide metrology 1995-1997, D. Santry, 2 p.
- 97-24 IMMR (Commission européenne). — Proposal for realising the becquerel at the basic level, D.F.G. Reher, M.J. Woods (NPL), 1 p.
Realising the Bq at the basic level. What has to be done, D.F.G. Reher, 1 p.
- 97-25 IMMR (Commission européenne). — Some comments to the remarks of J.M.R. Hutchinson (1997-04-08) about the proposal of the equivalence working group on international traceability and equivalence, D.F.G. Reher, 1 p.
- 97-26 NPL (Royaume-Uni). — Equivalence of national and international measurement standards in the field of radioactivity for the purposes of international traceability, M.J. Woods, 3 p.
- 26 bis CCEMRI(II) decisions on metrological equivalence and critical evaluation of SIR, M.J. Woods, D.F.G. Reher, 2 p.
- 97-27 NMi-VSL (Pays-Bas). — Developments on the NMi standards for radioactivity measurements, W. de Vries, 2 p.
- 97-28 OMH (Hongrie). — Summary of the proposals of laboratories for a future activity comparison, Á. Szörényi, 5 p.
- 97-29 PTB (Allemagne). — Review of recent work and projects (April 1995 to March 1997), 5 p.

ANNEXE R(II) 2.

Actions résultant de la 14^e réunion de la Section II du CCEMRI

Responsable	Date	Action
Tous	5/97	Envoi des commentaires sur la comparaison préliminaire de ^{204}Tl à G. Ratel
G. Ratel	4/97	Rédaction du projet d'article sur la comparaison préliminaire de ^{204}Tl
G. Ratel	5/97	Distribution d'un graphique sur les résultats de la comparaison internationale de ^{204}Tl
D.F.G. Reher		Mesure des échantillons de ^{204}Tl de la comparaison préliminaire avec le système 4π CsI
G. Ratel	6/97	Nomination du comité d'évaluation du ^{204}Tl
G. Ratel	1/98	Circulation du rapport préliminaire du comité d'évaluation du ^{204}Tl
G. Ratel	5/97	Circulation du rapport sur la comparaison de ^{75}Se
Tous	6/97	Envoi à G. Ratel des commentaires sur le rapport sur le ^{75}Se
G. Ratel	8/97	Soumission du rapport sur le ^{75}Se à <i>Nuclear Instruments and Methods</i>
G. Ratel		Réponse à D.C. Santry sur la comparaison de ^{75}Se
G. Ratel		Nouveau graphique sur les résultats de la comparaison de ^{90}Sr classés par ordre d'activité
G. Ratel		Nouvelle mesure des anciens échantillons de ^{90}Sr

D.F.G. Reher		Mesure des échantillons de ^{90}Sr avec le système 4π CsI
G. Ratel	6/97	Distribution d'un bref résumé des résultats des mesures du ^{90}Sr
Tous	8/97	Envoi des remarques sur les résultats des mesures du ^{90}Sr à A. Grau Malonda
Groupe de travail sur l'extension du SIR		Évaluation des résultats de la comparaison de ^{90}Sr
Groupe de travail sur l'extension du SIR	1/98	Achèvement du rapport du Groupe de travail sur la comparaison de ^{90}Sr
Groupe de travail sur le système de référence du becquerel		Présentation des résultats dans le prochain rapport d'activité des neuf mois à venir
G. Winkler	12/97	Rédaction d'un article de recension sur les systèmes de comptage/détection à haute efficacité et soumission à <i>Applied Radiation and Isotopes</i>
A. Grau Malonda		Distribution de la table des matières de la <i>Mono-graphie BIPM</i> sur le comptage à scintillation liquide
Á. Szörényi	12/98	Distribution aux membres d'un questionnaire et des critères pour la sélection de radionucléides à comparer
G. Ratel		Invitation du NRC à participer à la comparaison préliminaire de ^{152}Eu
PTB	11/97	Préparation et distribution de la solution de ^{152}Eu
BIPM	97	Organisation de la comparaison préliminaire de ^{152}Eu
Participants	2/98	Envoi des résultats sur le ^{152}Eu au BIPM
BIPM	4/98	Décision d'entreprendre ou non une comparaison internationale de ^{152}Eu

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION III : MESURES NEUTRONIQUES
RAPPORT DE LA 12^e RÉUNION

(21-22 avril 1997)

Ordre du jour

- 1 Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Comparaison de mesures de fluence à 24,5 keV.
- 3 Comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques.
- 4 Équivalence des mesures.
- 5 Comparaisons de mesures à venir.
- 6 Les sources étalons de neutrons du Bureau international.
- 7 Questions diverses ; date de la prochaine réunion.

Résumé

La Section III (Mesures neutroniques) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa douzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, en avril 1997. On a rendu compte de l'état d'avancement de la comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV. Cinq membres de la Section ont transmis leurs résultats, l'un des membres n'a pas encore terminé ses mesures. Le retard pris dans le déroulement de la comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques a été expliqué. Le concept d'équivalence des étalons nationaux de mesure et la nécessité d'un système international plus structuré pour la reconnaissance de l'équivalence ont fait l'objet d'une discussion. Dans ce contexte, le programme de comparaisons a été passé en revue et les priorités pour les comparaisons à venir ont été discutées. Sont prioritaires notamment les mesures de fluence neutronique à plusieurs énergies et les mesures du taux d'émission de sources neutroniques de radionucléides. Le représentant du NIST a rendu compte de mesures du taux d'émission des anciennes sources neutroniques du Bureau international qui ont été transmises au NIST. Pour finir, les laboratoires membres ont échangé des informations sur leurs travaux en cours.

1 OUVERTURE DE LA RÉUNION ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR

La Section III (Mesures neutroniques)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)** a tenu sa douzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 21 et 22 avril 1997. C'était la première fois que la Section se réunissait depuis qu'il a été mis fin au programme de mesures neutroniques au Bureau international.

Étaient présents : N. Coursol (BNM-LPRI), D.M. Gilliam (NIST), N. Karmalitsyn (VNIIM), I.A. Kharitonov (VNIIM), H. Klein (PTB), K. Kudo (ETL), V.E. Lewis (président de la Section III, NPL), Li Fen (NIM), T.J.Quinn (directeur du BIPM).

Observateur : A. Plompen (IMMR).

Ont assisté à tout ou partie de la réunion : A. Allisy (membre du CCEMRI) ; P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM) ; P.J. Allisy-Roberts, M. Boutillon, D.T. Burns, C. Michotte et G. Ratel (BIPM).

Excusés : J.J. Broerse (TNO-MBL).

Le directeur du Bureau international accueille les participants et se dit très intéressé de voir comment la cohérence mondiale des mesures neutroniques a pu être maintenue en l'absence d'un programme expérimental de mesures neutroniques au Bureau international.

Le président de la Section III souhaite la bienvenue aux présents.

D.M. Gilliam accepte la charge de rapporteur.

* Pour la liste des membres, voir page 15.

** Pour la liste des sigles cités dans ce rapport, voir page 115.

2 COMPARAISON DE MESURES DE FLUENCE À 24,5 keV

Le président présente les résultats que lui ont envoyé cinq laboratoires ayant participé à la comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV ; chaque participant a effectué ses mesures avec les trois sphères de Bonner. En tout, les participants ont utilisé quatre types différents de champs neutroniques, cités ci-dessous par ordre chronologique. La comparaison sera terminée quand l'ETL aura fait parvenir ses résultats, à l'été 1997.

Laboratoire	Champ neutronique
CIAE	Sb/Be Faisceau filtré d'un réacteur
NIST	Faisceau filtré d'un réacteur
NPL	$^{45}\text{Sc}(p,n)$
PTB	Faisceau filtré d'un réacteur $^7\text{Li}(p,n)$ $^{45}\text{Sc}(p,n)$
VNIIM	Sb/Be

G. Ratel rend compte des vérifications des instruments au Bureau international et décrit l'action systématique mise en œuvre par le Bureau pour renormaliser les mesures de l'un des compteurs proportionnels à ^3He utilisé dans les comparaisons et momentanément défaillant. H. Klein décrit les modèles détaillés des sphères en polyéthylène et des compteurs à ^3He utilisés dans les calculs de transport selon la méthode de Monte Carlo (programme MCNP, B. Wiegel, PTB), afin de corriger la réponse de ces instruments de transfert aux petites différences d'énergie des diverses sources neutroniques employées

dans les laboratoires et aux neutrons parasites ayant une énergie supérieure ou inférieure à la composante principale.

Les résultats expérimentaux, considérés comme provisoires jusqu'à l'inclusion de ceux de l'ETL, sont normalisés à l'aide de facteurs arbitraires pour préserver l'anonymat des laboratoires. Ces résultats sont cohérents dans la limite de leurs incertitudes estimées, qui varient entre 4 % et 22 % à un niveau de confiance de 95 %, et ne font pas apparaître de tendance nette. À la demande de la Section, l'analyse des résultats sera parachevée par le président, qui n'a pas participé aux mesures au NPL. Ce travail aurait normalement dû se terminer en 1996, mais des problèmes dus à la panne d'un des composants majeurs au NPL et aux travaux de rénovation à l'ETL l'ont retardé.

3 COMPARAISON DE MESURES DE FLUENCE DE NEUTRONS THERMIQUES

Lors de la réunion de la Section III en 1995, D.M. Gilliam avait fait part d'un problème de perte de bore dans les dépôts actifs de chambres d'ionisation destinées à servir d'instruments de transfert. Pour étudier ce problème et les solutions possibles, une série spéciale de dépôts d'une très fine couche de bore a été fournie par l'IMMR au NIST pour faire des essais à différentes combinaisons de nature et d'humidité du gaz en circulation. Certains dépôts ont reçu un fin revêtement de graphite pour réduire la perte de bore. L'IMMR a aussi accepté de fournir une série de dépôts de ^{235}U pour suppléer, ou remplacer, les dépôts de bore.

On espère, la comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5keV étant pratiquement terminée, qu'il sera possible de procéder rapidement à la comparaison de neutrons thermiques. Cependant, d'autres essais sur la stabilité des dépôts risquent de retarder celle-ci jusqu'en 1998. D.M. Gilliam fait part de son intention de préparer un protocole une fois acquise une certaine expérience dans l'utilisation des instruments. Le BNM-LPRI a demandé à participer à la mise au point du protocole de la comparaison.

4 ÉQUIVALENCE DES MESURES

M. Quinn, directeur du Bureau international, traite brièvement de l'équivalence des étalons de mesure dans les laboratoires nationaux de métrologie représentés à la Section III et des liaisons entre les systèmes nationaux de mesure. Il demande à la Section III d'identifier les comparaisons clés qu'il convient de mettre en œuvre et de décider de la périodicité à laquelle il convient d'effectuer ces comparaisons, pour conserver ou améliorer le degré d'équivalence des mesures dans les laboratoires membres.

M. Quinn estime que, dans une large mesure, l'équivalence des mesures neutrones dans les laboratoires nationaux de métrologie est déjà établie. Il note que l'accroissement des échanges commerciaux a pour conséquence de créer une demande visant à disposer d'un système plus structuré pour assurer la reconnaissance de l'équivalence des systèmes nationaux d'assurance de qualité.

5 COMPARAISONS DE MESURES À VENIR

Le président rend compte de l'état d'avancement du programme de comparaisons de mesures neutroniques effectuées par la Section III au cours des trente dernières années. Pour les mesures de fluence, ces comparaisons se situent dans le domaine d'énergie situé entre 25 keV et 15 MeV, et concernent également les neutrons thermiques. Les autres sujets étudiés comprennent les comparaisons du taux d'émission de sources neutroniques de radionucléides et les comparaisons de mesure de dose absorbée de neutrons. La plupart de ces campagnes impliquent la circulation d'instruments de transfert, la durée d'une campagne pouvant atteindre cinq ans. Il note que les résultats les plus récents, à plusieurs énergies et dans plusieurs champs, datent maintenant de plus de dix ans.

H. Klein considère que les comparaisons clés de la Section III sont les mesures de fluence de neutrons monoénergétiques dans le domaine d'énergie situé au-dessous de 0,1 MeV et allant jusqu'à 15 MeV, et de neutrons thermiques ($\approx 0,025$ eV). Il suggère de répéter ces comparaisons tous les cinq à huit ans et il propose que les énergies neutroniques spécifiques recommandées par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) soient approuvées par la Section III comme celles identifiant les comparaisons clés. Les principales énergies sont à 27 keV, 144 keV, 250 keV, 565 keV, 1,2 MeV, 2,5 MeV, 5,0 MeV, 14,8 MeV et 19,0 MeV. Ces énergies sont d'un même niveau de priorité mais, pour les prochaines comparaisons, il conviendrait de choisir les domaines les mieux connus. H. Klein suggère que le temps nécessaire pour mener à bien la plupart de ces comparaisons pourrait être réduit de beaucoup si les participants à la Section III apportaient leurs instruments dans un même laboratoire, par exemple la PTB, où la plupart de ces énergies peut être réalisée commodément. Cette manière de procéder supprimerait le besoin de faire circuler un instrument de transfert, éviterait la composante d'incertitude engendrée par l'emploi d'un même instrument de transfert dans des champs

neutroniques différents, et permettrait d'appliquer de manière cohérente les corrections de fluence spectrale, qu'elles soient calculées ou mesurées.

Les participants discutent de ces propositions et se mettent d'accord pour adopter les énergies citées ci-dessus, avec le même niveau de priorité. La comparaison à 24,5 keV étant terminée, seules les énergies supérieures à 27 keV doivent être prises en compte dans les prochaines comparaisons. Ils pensent aussi que le programme serait accéléré si toutes les mesures étaient effectuées dans des champs neutroniques disponibles dans un (ou plusieurs) laboratoire(s). Le principal inconvénient serait celui du transport. Il est généralement admis que les propositions de H. Klein sont intéressantes et demandent à être étudiées et discutées en détail. H. Klein accepte de faire circuler une proposition plus détaillée aux membres pour examen.

K. Kudo de l'ETL déclare que les comparaisons de taux d'émission de sources neutroniques devraient faire partie des comparaisons clés. Les participants à la réunion sont d'accord et la question du type de source le plus approprié est discutée. I.A. Kharitonov du VNIIM est d'avis qu'un intervalle de dix ans entre chaque comparaison clé est suffisant. Il suggère qu'il serait préférable de faire circuler aux laboratoires participants une source de ^{244}Cm du VNIIM plutôt qu'une source de ^{252}Cf , en raison de sa période plus longue. Le président demande à I.A. Kharitonov si le VNIIM permettrait d'utiliser une source si précieuse pour la comparaison. I.A. Kharitonov répond qu'il va se renseigner. Le VNIIM informera le président de sa réponse, et le président écrira à tous les participants potentiels pour leur demander leur avis.

Le président est d'avis que les comparaisons mentionnées ci-dessus pourraient être organisées et effectuées indépendamment l'une de l'autre (c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire d'attendre qu'une comparaison soit terminée pour en commencer une autre) ; il estime d'autre part qu'il est réaliste de répéter les comparaisons tous les dix ans environ.

6 LES SOURCES ÉTALONS DE NEUTRONS DU BUREAU INTERNATIONAL

Les sources étalons de neutrons du Bureau international ont été remises au NIST pour qu'il en assure la conservation après qu'il ait été mis fin au programme de mesures neutroniques au Bureau international. D.M. Gilliam dit que le taux d'émission de ces sources mesuré au NIST est en accord à 0,6 % près avec les valeurs obtenues au Bureau international, comme le montre le tableau ci-dessous. Les valeurs se trouvent bien dans les limites des incertitudes estimées. Il note que ces sources sont à la disposition des autres laboratoires pour effectuer des comparaisons bilatérales avec le NIST (et indirectement avec le Bureau international).

Taux d'émission mesurés

	NIST	BIPM
Am-Be(α , n)	$2,278 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$	$2,285 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$
Ra-Be(α , n)	$3,381 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$	$3,360 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$
Ra-Be(γ , n)	$6,401 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$	$6,404 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$

7 QUESTIONS DIVERSES ; DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION

7.1 Ré-évaluation ENDF/B-VI

H. Klein ouvre la discussion sur la ré-évaluation de la distribution angulaire de H(n,n)H à l'aide du logiciel ENDF/B-VI. H. Klein et V.E. Lewis expriment un certain scepticisme au sujet de cette nouvelle évaluation, qui ne semble pas prendre en compte les mesures faites à 14 MeV lors d'une comparaison effectuée sous les auspices du CCEMRI. Ces mesures n'indiquaient pas la nécessité du changement qui a été fait entre les versions V et VI de ENDF/B. H. Klein demande que le NIST l'aide à obtenir une copie du rapport de Dodder et Hale qui donne les détails de cette ré-évaluation. On suggère que A. Carlson du NIST pourrait contacter H. Klein pour lui donner les références et discuter de l'évaluation de ENDF/B-VI. La section efficace en question est un des étalons les plus fondamentaux utilisés dans les comparaisons de mesures de fluence.

7.2 Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires des participants

Un échange d'informations très intéressant a lieu. De brefs résumés sur les travaux en cours dans leurs laboratoires sont présentés par K. Kudo, H. Klein, N. Karmalitsyn, V.E. Lewis, A. Plompen, Li Fen et D.M. Gilliam.

7.3 Visite des laboratoires du Bureau international

Une visite intéressante est organisée dans le laboratoire de mesures de l'effet Hall quantique.

7.4 Date de la prochaine réunion

La date de la treizième réunion de la Section III est discutée. Il est souhaitable de se réunir en 1999 pour traiter au mieux les affaires de la Section et rester en phase avec les sessions du CCEMRI.

Note du secrétariat après la réunion : Lors de la session du CCEMRI en juillet 1997, il a été convenu de réunir la Section III les 31 mai et 1^{er} juin 1999.

D.M. Gilliam, rapporteur
octobre 1997
révisé juin 1998

ANNEXE R(III) 1.

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

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

Document
CCEMRI (III)/

- 97-1 NIM (Chine). — Progress report on neutron measurements in recent years at NIM, 1 p.
- 97-2 ETL (Japon). — Recent activities on neutron standardization at the Electrotechnical Laboratory (1), K. Kudo, N. Takeda, T. Noguchi, H. Ohgaki, T. Yamazaki, 2 p.
- Recent activities on neutron standardization at the Electrotechnical Laboratory (2), N. Takeda, K. Kudo, 1 p.
- Nonlinearity of pulse height of recoil helium in ^3He proportional counters, 1 p.
- 97-3 VNIIM (Féd. de Russie). — Some results of the laboratory activity of the D.I. Mendeleev All-Russian Institute for Metrology in the field of neutron measurements in 1995-1997 years, N.N. Moiseev, M.A. Rasko, I.A. Kharitonov, 3 p.
- 97-4 VNIIM (Féd. de Russie). — The use of a spontaneous fission source on the basis of ^{248}Cm in neutron measurements, N.N. Moiseev, M.A. Rasko, I.A. Kharitonov, 2 p.
- 97-5 NPL (Royaume-Uni). — Neutron measurements at the National Physical Laboratory, V.E. Lewis, 4 p.

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
ARCS	<i>voir</i> ÖFS
ARL	Australian Radiation Laboratory, Yallambie (Australie)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
*BCMN	Bureau central de mesures nucléaires, IMMR-CCE, Commission européenne
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-LPRI	Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
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	Czech Metrological Institute, Inspectorate of Ionizing Radiation, Prague (Rép. tchèque)
COMECON	Council for Mutual Economic Assistance

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

COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
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)
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
GUM	(ex PKNM) Główny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
IAE	Institute of Atomic Energy, Beijing (Chine)
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IMMR	(ex BCMN) Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne
INMRI	<i>voir</i> ENEA
IOMP	International Organization for Medical Physics
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRD	<i>voir</i> LNMRI
IRK	Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne (Autriche)
IRPA	International Radioprotection Association
ISO	Organisation internationale de normalisation
*ITRI-TNO	Institute of Applied Radiobiology and Immunology, Rijswijk (Pays-Bas), <i>voir</i> TNO-MBL
KRISS	(ex KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée), <i>voir</i> KRISS
LNMRI/IRD	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro (Brésil)
LPRI	Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> BNM
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (États-Unis), <i>voir</i> NIST
NIM	Institut national de métrologie, Beijing (Chine)
*NIRP-SSI	National Institute of Radiation Protection, Stockholm (Suède), <i>voir</i> SRPI

NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (États-Unis)
NMi-VSL	Nederlands Meetinstituut : Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
OFMET	Office fédéral de métrologie, Wabern (Suisse)
ÖFS/ARCS	Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, GmbH/ Austrian Research Centre, Seibersdorf (Autriche)
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
*PKNM	PolSKI Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
RC	Radioisotope Centre, Otwock/Swierk (Pologne)
SRPI	(ex NIRP/SSI) Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
SSI	<i>voir</i> SRPI
TNO-MBL	TNO Medical Biological Laboratory, Rijswijk (Pays-Bas)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)

2 Sigles des termes scientifiques

BRS	Système de référence du becquerel
EGS4	Electron Gamma Showers Version 4
ENDF	Evaluated Nuclear Data File
LSC	Système de comptage à scintillation liquide
MCNP	Code de transport pour les neutrons et les photons selon la méthode de Monte Carlo
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma
TDCR	Rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles

STEDI

1, boulevard Ney, 75018 Paris

Dépôt légal, n°5950

ISBN 92-822-2162-8

ISSN 0255-3147

Achévé d'imprimer: décembre 1998

Imprimé en France