Comité consultatif
de photométrie et radiométrie
15e session (mars 1999)

Consultative Committee
for Photometry and Radiometry
15th Meeting (March 1999)

Bureau international des poids et mesures

Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR)

15e session (mars 1999)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 47)

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 0069-6447
ISBN 92-822-2171-7

TABLE DES MATIÈRES

Photographie des participants à la 15e session du Comité consultatif de photométrie et radiométrie **2**
États membres de la Convention du Mètre **7**
Le BIPM et la Convention du Mètre **9**
Liste des membres du Comité consultatif de photométrie et radiométrie **13**

Rapport au Comité international des poids et mesures, par J.L. Gardner **15**
Ordre du jour **16**
1 Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur **17**
2 Progrès faits dans les laboratoires **17**
2.1 Progrès de l'arrangement de reconnaissance mutuelle **18**
2.2 Progrès effectués dans les laboratoires nationaux depuis la 13e session du CCPR **18**
3 Discussion des résultats des comparaisons clés **23**
3.1 Rapport du Groupe de travail sur les comparaisons clés **23**
3.2 Sensibilité lumineuse **24**
3.3 Intensité lumineuse et flux lumineux **24**
3.4 Discussion **25**
3.5 Comparaisons antérieures dont les résultats pourraient figurer dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés **28**
4 Discussion des résultats de la comparaison de radiomètres cryogéniques **30**
5 Rapport sur les progrès des autres comparaisons en cours **31**
5.1 Comparaison clé d'éclairement énergétique spectral CCPR-K1 **31**
5.2 Comparaison clé de sensibilité spectrale CCPR-K2 **32**
5.3 Comparaison clé de facteur de réflexion spectrale diffuse CCPR-K5 **32**
5.4 Comparaison clé de facteur de transmission régulière CCPR-K6 **33**
5.5 Luminance énergétique spectrale **33**
5.6 Aire des ouvertures **33**
5.7 Programme de travail futur du CCPR **34**
6 Rapport du Groupe de travail sur la radiométrie spectrale pour l'ultraviolet dans l'air **34**

7 Rapport du Groupe de travail commun au CCT et au CCPR **36**

8 Comparaisons internationales et liens avec les organisations régionales de métrologie **36**

9 Liaison avec d'autres groupes **38**

10 Discussion des conclusions de la réunion du CCU sur la question de Ω_0 **38**

11 Rapport au Comité international et recommandations **39**

12 Questions diverses **39**

12.1 Conférence NEWRAD **39**

12.2 Optoélectronique **39**

12.3 Liens avec les rayonnements ionisants **40**

13 Prochaine session **41**

Annexe P 1. Documents de travail présentés à la 15e session du CCPR **43**

Liste des sigles utilisés dans le présent volume 45

ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE

Afrique du Sud
Allemagne
Argentine
Australie
Autriche
Belgique
Brésil
Bulgarie
Cameroun
Canada
Chili
Chine
Corée (Rép. de)
Corée (Rép. pop. dém. de)
Danemark
Dominicaine (Rép.)
Égypte
Espagne
États-Unis
Finlande
France
Hongrie
Inde
Indonésie
Iran (Rép. islamique d')
Irlande
Israël
Italie
Japon
Mexique
Norvège
Nouvelle-Zélande
Pakistan
Pays-Bas
Pologne
Portugal
Roumanie
Royaume-Uni
Russie (Féd. de)
Singapour
Slovaquie
Suède
Suisse
Tchèque (Rép.)
Thaïlande
Turquie
Uruguay
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 (43 520 m^2) 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 dix :

1. Le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif d'électricité (CCE) créé en 1927 ;
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le CCE s'est occupé des questions de photométrie) ;
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937 ;
4. Le Comité consultatif des longueurs (CCL), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) créé en 1952 ;
5. Le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) créé en 1956 ;
6. Le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) créé en 1958 (en 1969, ce Comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et 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 ;
10. Le Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations (CCAUV), créé en 1999.

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 DE PHOTOMÉTRIE ET RADIOMÉTRIE

au 24 mars 1999

Président

A.J. Wallard, membre du Comité international des poids et mesures, National Physical Laboratory, Teddington.

Secrétaire exécutif

R. Köhler, Bureau international des poids et mesures [BIPM], Sèvres.

Membres

Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie [BNM-INM], Paris.
Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa.
CSIR, National Metrology Laboratory [CSIR], Pretoria.
CSIRO, National Measurement Laboratory [CSIRO], Lindfield.
Departamento de Metrologia, Instituto de Fisica Aplicada [CSIC-IFA], Madrid.
Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba.
Helsinki University of Technology [HUT], Espoo.
Institut de recherche de Russie pour les mesures en optique physique [VNIIOFI], Moscou.
Institut national de métrologie [NIM], Beijing.
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin.
Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejon.
Measurement Standards Laboratory of New Zealand [MSL], Lower Hutt.
National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg.
National Physical Laboratory [NPL], Teddington.
Office fédéral de métrologie [OFMET], Wabern.
Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.
Slovenský Metrologický Ústav [SMU], Bratislava.
Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM], Sèvres.

Observateurs

Centro Nacional de Metrologia [CENAM], Queretaro.
Nederlands Meetinstituut [NMi] Delft.
Singapore Productivity and Standards Board [PSB], Singapour.
Ulusal Metroloji Enstitüsü [UME], Gebze-Kocaeli.

Comité consultatif
de photométrie et radiométrie

Rapport de la 15e session

(24-25 mars 1999)

au Comité international des poids et mesures

Ordre du jour

1 Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur.
2 Progrès faits dans les laboratoires :
  2.1 Progrès de l'arrangement de reconnaissance mutuelle ;
  2.2 Progrès effectués dans les laboratoires nationaux depuis la 13e session du CCPR.
3 Discussion des résultats des comparaisons clés :
  3.1 Rapport du Groupe de travail sur les comparaisons clés ;
  3.2 Sensibilité lumineuse ;
  3.3 Intensité lumineuse et flux lumineux ;
  3.4 Discussion ;
  3.5 Comparaisons antérieures dont les résultats pourraient figurer dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.
4 Discussion des résultats de la comparaison de radiomètres cryogéniques.
5 Rapport sur les progrès des autres comparaisons en cours :
  5.1 Comparaison clé d'éclairement énergétique spectral CCPR-K1 ;
  5.2 Comparaison clé de sensibilité spectrale CCPR-K2 ;
  5.3 Comparaison clé de facteur de réflexion spectrale diffuse CCPR-K5 ;
  5.4 Comparaison clé de facteur de transmission régulière CCPR-K6 ;
  5.5 Luminance énergétique spectrale ;
  5.6 Aire des ouvertures ;
  5.7 Programme de travail futur du CCPR.
6 Rapport du Groupe de travail sur la radiométrie spectrale pour l'ultraviolet dans l'air.
7 Rapport du Groupe de travail commun au CCT et au CCPR.
8 Comparaisons internationales et liens avec les organisations régionales de métrologie.
9 Liaison avec d'autres groupes.
10 Discussion des conclusions de la réunion du CCU sur la question de Ω_0.
11 Rapport au Comité international et recommandations.
12 Questions diverses :
  12.1 Conférence NEWRAD ;
  12.2 Optoélectronique ;
  12.3 Liens avec les rayonnements ionisants.
13 Prochaine session.

1 OUVERTURE DE LA SESSION ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR

Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR) a tenu sa 15e session au Bureau international des poids et mesures (BIPM), à Sèvres. Il a tenu quatre séances les mercredi 24 et jeudi 25 mars 1999.

Étaient présents : J. Bastie (BNM-INM), A. Bittar (MSL), P. Blaser (OFMET), L.P. Boivin (NRC), A. Corróns (IFA), B.F. Denner (CSIR), G. Dézsi (OMH), N.P. Fox (NPL), J.L. Gardner (CSIRO), E. Ikonen (HUT), In Won Lee (KRISS), Lin Yandong (NIM), J. Metzdorf (PTB), P. Nemeček (SMU), D. Nettleton (NPL), H. Onuki (ETL), A.C. Parr (NIST), T.J. Quinn (directeur du BIPM), M.-L. Rastello (IEN), V. Sapritsky (VNIIOFI), R. Saunders (NIST), T.R. Scott (NIST), P. Soardo (IEN), A.J. Wallard (président du CCPR), B. Wende (PTB).

Observateurs : C. Schrama (NMi-VSL), Xu Gan (PSB), J. Sanchez-Gonzalez (CENAM).

Invité : P. Bloembergen (NMi).

Assistaient aussi à la session : P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM) ; R. Goebel, R. Köhler, M. Stock, C. Thomas (BIPM).

Le président ouvre la session et accueille les participants, en particulier les nouveaux observateurs, le PSB (Singapour) et le CENAM (Mexique). Il dit que le CCPR a été actif depuis la précédente session, en particulier son Groupe de travail sur les comparaisons clés. Le directeur du BIPM accueille à son tour les participants. M. Gardner est nommé rapporteur. L'ordre du jour est adopté avec quelques changements. M. Köhler dit qu'aucun nouveau document n'a été présenté au début de la réunion ; la liste des documents de travail figure à l'annexe P 1.

2 PROGRÈS FAITS DANS LES LABORATOIRES

M. Wallard dit que le rapport de la 14e session ne comportait pas de rapports de laboratoires nationaux, ce qui sera à nouveau le cas lors de la présente session. Dans la période qui a précédé la présente session, de nombreux

laboratoires ont participé à l'élaboration de l'arrangement de reconnaissance mutuelle relatif à l'équivalence des mesures des laboratoires nationaux des États membres.

2.1 Progrès de l'arrangement de reconnaissance mutuelle

M. Quinn présente un graphique montrant comment les laboratoires nationaux de métrologie sont liés à la base de données du BIPM sur les comparaisons clés : ce processus repose sur la qualité des résultats des comparaisons clés et sur l'approbation des aptitudes des laboratoires en matière de mesures. Les différentes réunions des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie qui ont été organisées par le BIPM, celles du Comité international, des spécialistes de la métrologie et du Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM ont abouti au texte de l'arrangement de reconnaissance mutuelle qui sera signé en octobre 1999, en liaison avec la Conférence générale des poids et mesures.

De nouvelles directives sur les procédures utilisées pour les comparaisons clés ont été préparées en mars 1999. Le principal changement concerne le retrait de résultats. Les laboratoires peuvent se voir notifier que les résultats qu'ils ont soumis semblent présenter des anomalies, sans plus de détails. Ils ont ensuite la possibilité de soumettre à nouveau leurs résultats s'ils constatent une simple erreur numérique. S'ils ne constatent aucune erreur numérique, leur résultat est conservé dans le rapport de la comparaison. M. Quinn dit que le texte complet des directives pour les comparaisons clés est disponible sur le site Internet du BIPM (http://www.bipm.fr). Les nouvelles directives n'ont, dit-il, pas été appliquées aux comparaisons en cours.

2.2 Progrès effectués dans les laboratoires nationaux depuis la 13e session du CCPR

M. Wallard dit que la plupart des laboratoires ont présenté des rapports écrits sur ce sujet, et propose au délégué de chaque laboratoire de présenter son rapport.

M. Rastello dit que l'IEN fonde sa candela sur un radiomètre à susbtitution électrique à température ambiante et sur des récepteurs à piège. L'IEN compare les méthodes fondées sur un goniophomètre et sur une sphère intégrante pour mesurer le flux lumineux. Il a mis au point un programme pour les étalons photoniques, mesurant le rendement quantique et la

luminance énergétique par amplification paramétrique ; il utilise aussi des jonctions de Josephson à effet tunnel comme récepteurs bolométriques.

M. Nemeček dit que le SMU concentre ses efforts sur la sensibilité spectrale, en particulier sur les aspects liés à la mesure de la température radiométrique.

M. Onuki mentionne que l'ETL a mis au point de nouvelles installations pour l'étalonnage des récepteurs dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm, fondées sur le rayonnement d'un onduleur et sur un radiomètre à substitution électrique à la température ambiante ; il envisage d'étendre ses mesures à 100 nm avec un radiomètre refroidi à l'hélium 3.

M. Dészi dit que l'OMH utilise maintenant une méthode fondée sur un récepteur pour l'éclairement énergétique spectral ; l'OMH a amélioré ses méthodes de mesure des ouvertures et de la luisance, grâce à une meilleure connaissance de l'indice de réfraction.

M. Bittar présente les travaux en cours au MSL sur la modélisation du rendement quantique interne du silicium pour les longueurs d'onde dans l'ultraviolet ; des pièges à trois, quatre ou cinq éléments ont été comparés dans le cadre de cette étude. Il note aussi que des dépôts de chlorure de sodium ont été identifiés à la surface de certains récepteurs au silicium et il conclut que ceux-ci ont affecté l'uniformité de la réponse.

M. Nettleton remarque que le NPL met au point un nouveau système pour effectuer des mesures régulières de la constante de Stefan-Boltzmann afin de vérifier les performances à long terme des radiomètres cryogéniques. Des radiomètres cryogéniques refroidis mécaniquement sont maintenant couramment utilisés et fonctionnent même à des longueurs d'onde pouvant atteindre 10 µm avec une exactitude de 0,1 %. On emploie maintenant des lasers continus accordables, couvrant la plupart du domaine situé entre 200 nm et 11 µm. Il est envisagé de remplacer la sphère intégrante du NPL et un goniophotomètre du commerce a déjà été installé. Des travaux sur la corrélation à deux photons ont débuté et des spectromètres à transformée de Fourier sont maintenant utilisés pour la radiométrie spectrale. De nouvelles échelles ont été établies pour le facteur de réflexion diffuse, et un petit décalage a été constaté par rapport aux anciennes valeurs.

M. Parr dit que les laboratoires du NIST à Boulder ont installé un radiomètre cryogénique pour les mesures de puissance laser afin de répondre aux besoins métrologiques dans le domaine de la communication optique. À Gaithersburg, un synchrotron à 300 MeV fonctionne avec un radiomètre cryogénique, assurant des mesures de puissance optique à un niveau d'incertitude de 0,1 % du domaine des rayons x mous à celui de l'infrarouge. Une nouvelle sphère

intégrante est utilisée pour le flux lumineux. Des procédures concernant la photométrie de la lumière à éclat ont été mises au point pour les besoins de l'industrie aéronautique. Un nouveau radiomètre cryogénique est en service, avec des sources laser couvrant un domaine de 200 nm à l'infrarouge. Le NIST a remis en service des étalons pour la luisance et la réflexion diffuse fondés sur des mesures goniométriques. Le NIST a apporté son aide à la NASA pour l'étalonnage avant et après le lancement d'instruments radiométriques.

M. Gardner dit que le CSIRO a récemment lié la candela et les mesures de puissance dans l'infrarouge à un radiomètre cryogénique. Des efforts ont d'autre part été consacrés à l'estimation des incertitudes et à l'accréditation par des tiers de ses services d'étalonnage.

M. Boivin dit que le NRC met au point des radiomètres à sphère destinés à fonctionner dans le proche infrarouge avec un radiomètre cryogénique. Le NRC a aussi mis au point des récepteurs à piège à réflexion à grand champ de vision destinés à fonctionner avec ce système dans l'ultraviolet et dans le visible. Des radiomètres à substitution électrique à la température ambiante sont utilisés pour étalonner des récepteurs InSb refroidis à l'azote liquide pour des mesures de sensibilité spectrale allant jusqu'à 3000 nm.

M. Metzdorf dit que la PTB à Braunschweig a consacré beaucoup d'efforts à la photométrie dans le cadre de son rôle de laboratoire pilote d'un certain nombre de comparaisons clés. La radiométrie laser de puissance élevée est maintenant bien établie. M. Wende dit que la PTB à Berlin continue à utiliser un rayonnement synchrotron avec des radiomètres cryogéniques. Des photodiodes au silicium et au platine-silicium sont étalonnées couramment aux énergies de photons allant de quelques électrons-volt jusqu'au kiloélectron-volt avec l'anneau de stockage BESSY 1. Les techniques radiométriques fondées sur un synchrotron donnent des résultats prometteurs et pourraient fournir des références exactes pour les étalonnages de radionucléides et la dosimétrie des rayons x. M. Parr dit que le NIST possède des installations similaires et serait intéressé à collaborer avec la PTB. La discussion sur ce sujet se poursuivra ultérieurement au cours de la session.

M. Lee annonce que le KRISS a presque complètement réalisé à nouveau la candela au moyen d'un radiomètre cryogénique et d'un récepteur à piège. Le laboratoire met au point un calorimètre étalonné électriquement pour des mesures de puissance laser élevées. Un mini-arc à argon déclenché par une impulsion laser s'est avéré stable aux longueurs d'ondes dans l'ultraviolet à mieux que 1 % durant une heure. Les équipements pour le facteur de

réflexion absolu sont en cours de mise au point ; ils sont fondés sur un monochromateur et sur un détecteur à mosaïque. Le dispositif est fondé sur l'incidence diffuse et sur une géométrie de détection à un angle de 0°.

M. Corróns dit que l'IFA relie maintenant sa candela à un radiomètre cryogénique, et qu'il met au point un goniophotomètre pour mesurer le flux. Le laboratoire a constaté des problèmes d'uniformité de la réponse de photodiodes au silicium aux longueurs d'ondes dans l'ultraviolet mesurées avec un laser à He-Cd. En réponse aux questions de participants, il précise qu'il s'agit de photodiodes S1337 fonctionnant à 325 nm, et que le manque d'uniformité concerne les mesures du facteur de réflexion.

M. Blaser dit que l'OFMET envisage de déménager dans de nouveaux locaux et qu'il a amélioré ses techniques et équipements.

M. Bastie remarque qu'au BNM-INM un certain nombre d'étalons sont maintenant liés à un radiomètre cryogénique. Un laser He-Cd est utilisé à 325 nm. Des récepteurs à piège de grande surface sont maintenant utilisés comme étalons de transfert. Des étalons d'éclairement énergétique dans l'ultraviolet fondés sur des filtres à assez large bande et des photodiodes au GaP et au Ga-As-P sont aussi en cours de mise au point.

M. Lin dit que le NIM relie actuellement ses étalons fondamentaux à un radiomètre cryogénique. Le NIM dispose de deux faisceaux réservés à la métrologie sur un synchrotron qu'il utilise en commun avec des universités chinoises.

M. Ikonen dit que l'HUT utilise des radiomètres à filtre étalonnés par rapport à un radiomètre cryogénique pour la luminance et l'éclairement énergétiques spectraux aux longueurs d'onde situées entre 280 nm et 900 nm, destinés principalement aux mesures d'éclairement énergétique solaire. Certains problèmes dus à des réflexions internes doivent encore être résolus, en particulier aux longueurs d'onde situées dans le domaine de 280 nm à 300 nm. Le laboratoire a aussi mis au point une méthode optique directe pour la mesure des aires d'ouverture. La méthode repose sur une distribution uniforme d'éclairement énergétique constituée par une juxtaposition dense, à deux dimensions, de faisceaux lasers identiques espacés régulièrement. En pratique, la juxtaposition s'effectue en déplaçant l'ouverture entre des points de mesure disposés régulièrement dans un plan perpendiculaire au faisceau laser.

M. Denner dit que le CSIR a récemment obtenu un radiomètre cryogénique. Les équipements pour l'étalonnage d'appareils de mesure des rayonnements UV A, B et C ont été récemment améliorés pour répondre aux besoins des

clients. Au CSIR, les mesures de puissance optique pour les communications par fibres optiques dépendent maintenant de la section du temps et des fréquences.

M. Köhler mentionne que le BIPM réalise maintenant sa candela et qu'il est en train de mettre au point la réalisation de son lumen par étalonnage d'une sphère absolue. Le BIPM vient de faire l'acquisition d'un corps noir à caloduc à sodium comme source infrarouge. Il invite les participants à visiter les laboratoires lors de la séance prévue à cet effet pendant la réunion.

M. Xu dit que le PSB a installé de nouveaux équipements radiométriques pour mesurer la sensibilité spectrale dans le domaine de longueurs d'ondes situé entre 200 nm et 1600 nm par rapport à un radiomètre cryogénique refroidi mécaniquement et aux raies laser du krypton. L'étalonnage de radiomètres dans l'ultraviolet pour l'industrie des semiconducteurs constitue une source majeure de préoccupation pour le laboratoire : de grandes différences ont été constatées entre les instruments du commerce.

M. Sanchez indique que le CENAM possède maintenant un nouveau radiomètre cryogénique et qu'il met au point des équipements pour les fibres optiques et la spectrophotométrie.

M. Schrama dit que le NMi possède un radiomètre cryogénique fondé sur un monochromateur qui utilise des récepteurs à piège dans le vide pour mesurer la sensibilité spectrale dans le domaine du visible. Des équipements ont été mis au point pour certaines applications liées à la pyrométrie à basse température, avec des thermopiles à couches minces pour des transferts jusqu'à 20 µm. Le NMi étend ses mesures de sensibilité spectrale en-dessous du domaine du visible jusqu'à 190 nm ; avec un dispositif de refroidissement à l'azote ce système pourra effectuer des mesures jusqu'à 150 nm.

M. Köhler dit que ce tour de table recense bien les progrès en cours dans le domaine de la radiométrie, la bibliographie annexée aux rapports est particulièrement utile. M. Gardner demande que les bibliographies mentionnent des applications en radiométrie en dehors des centres d'intérêt propres à la métrologie, comme l'ont fait certains laboratoires, mais pas tous. M. Quinn note la nécessité de mettre à jour la bibliographie tous les ans, et propose qu'elle soit accessible sur le site Internet du BIPM.

M. Nettleton demande si les questions posées aux laboratoires dans le rapport seront étudiées. M. Wallard dit que les suggestions doivent être transmises à M. Köhler et remercie tous les intervenants pour leurs rapports écrits et oraux.

3 DISCUSSION DES RÉSULTATS DES COMPARAISONS CLÉS

M. Quinn présente Mme Claudine Thomas, qui est responsable de la coordination de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Il décrit la nomenclature proposée pour les comparaisons clés, qui comprend en particulier des identificateurs pour les Comités consultatifs, les organisations régionales, et pour les comparaisons bilatérales qui complètent une comparaison clé particulière.

3.1 Rapport du Groupe de travail sur les comparaisons clés

M. Wallard rappelle les missions du Groupe de travail sur les comparaisons clés. Le groupe s'est réuni quatre fois et a tenu des discussions approfondies par courrier électronique pour rechercher une méthode robuste et inattaquable pour exprimer les résultats des comparaisons clés. Le groupe a considéré le choix de la moyenne ou de la valeur médiane des mesures pour servir de valeur de référence à la comparaison clé étudiée. Finalement il a choisi la moyenne pondérée par l'inverse de l'incertitude au carré fournie par chaque laboratoire. La détection de valeurs aberrantes et leur exclusion pour l'estimation de la valeur de référence ont été discutées. Le groupe pense que l'on a besoin d'estimations fiables de l'incertitude, qui ne sont pas actuellement toujours fournies avec les résultats des comparaisons, les valeurs passées et présentes servant d'exemples. Le groupe de travail émet des réserves quant à certaines déclarations d'incertitudes faibles, et il suggère de limiter l'incertitude à un certain seuil en l'absence d'informations plus complètes. Cette limite serait normalement mentionnée lors de l'étape préparatoire, et représenterait ce que l'on considère comme l'état de l'art des mesures, chaque laboratoire qui déclarerait une valeur plus basse serait appelé à fournir des justifications détaillées. Pour les comparaisons clés en cours, une limite approuvée a été fixée pour éviter une pondération excessive des résultats de l'un quelconque des laboratoires. Le groupe a étudié les résultats de mesures spectrales, mais il lui reste à résoudre certaines questions complexes.

M. Wallard suggère de présenter les résultats disponibles des comparaisons clés, et de discuter ensuite du traitement de leur valeur de référence et de l'incertitude associée.

3.2 Sensibilité lumineuse

M. Köhler présente les résultats figurant dans le projet B du rapport de la comparaison de sensibilité lumineuse. Il a été rédigé selon les anciennes règles des comparaisons clés et les récents changements mentionnés dans l'arrangement de reconnaissance mutuelle n'ont pas été appliqués. Quinze laboratoires plus le BIPM ont participé à la comparaison, ce dernier comme laboratoire pilote. Les résultats du KRISS étaient de toute évidence aberrants ; le laboratoire a ensuite identifié un problème d'alignement dans son photomètre de référence, et ses résultats n'ont pas été pris en compte dans le calcul de la valeur de référence, mais ils figureront dans le rapport sur les résultats de la comparaison. D'après les recommandations du Groupe de travail sur les comparaisons clés, l'incertitude a été limitée à 0,2 % et une moyenne pondérée a été calculée.

La médiane et la moyenne non pondérée sont aussi indiquées : la différence est petite, de l'ordre de 0,1 % à 0,2 %. Mme Thomas s'interroge quant au calcul de l'écart-type ou de l'écart-type de la moyenne. La pratique recommandée est de calculer l'incertitude propagée. M. Boivin dit qu'il préfère une valeur moyenne non pondérée ou la médiane. M. Ikonen demande pourquoi on n'a pas utilisé la médiane. M. Nettleton répond que l'utilisation de la médiane n'impliquerait aucune confiance dans les valeurs des incertitudes individuelles, qui pourtant contiennent des informations utiles dont on devrait tenir compte. On note que les différentes méthodes de calcul influent peu sur la valeur de référence de cette comparaison, les différences sont du même ordre de grandeur que l'incertitude.

3.3 Intensité lumineuse et flux lumineux

M. Metzdorf discute du projet B du rapport qui concerne les résultats de ces deux comparaisons. Dix-huit laboratoires ont participé à la comparaison de lampes étalons d'intensité lumineuse et dix-sept à la comparaison de lampes étalons de flux lumineux. Il note que deux laboratoires (l'INTI et l'UME) se sont joints à la comparaison après qu'elle ait débuté. Les participants au CCPR conviennent que ce n'était pas autorisé par les directives sur les comparaisons clés en vigueur au moment où la comparaison a débuté, et qu'il ne faudrait pas normalement tenir compte de ces résultats ; ces laboratoires doivent effectuer des comparaisons bilatérales ou régionales d'après le protocole de l'arrangement de reconnaissance mutuelle, pour pouvoir faire figurer leurs résultats dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. M. Quinn observe que les deux laboratoires en question n'étaient pas

membres ou observateurs du CCPR, et n'étaient donc pas habilités à participer aux comparaisons clés des Comités consultatifs. Il est suggéré, toutefois, de considérer qu'ils ont participé à une comparaison bilatérale et de publier leurs résultats avec les autres résultats de la comparaison, mais de ne pas les utiliser pour le calcul de la valeur de référence de la comparaison clé.

M. Köhler présente les valeurs de référence des deux comparaisons clés obtenues par moyennes pondérées, après limitation des incertitudes individuelles à 0,25 % pour l'intensité lumineuse et à 0,3 % pour le flux lumineux. Les différences introduites sont minimes. M. Köhler présente aussi les rapports entre les valeurs de l'intensité lumineuse et celles de la sensibilité lumineuse obtenues dans les deux comparaisons, et dit en conclusion que les résultats sont en général cohérents. M. Metzdorf note que le projet B contient des représentations graphiques du rapport entre les unités d'intensité et de flux pour chaque laboratoire ; ces graphiques montrent des incohérences compte tenu du fait que les valeurs dérivées pour le flux sont fondées sur l'intensité. Deux laboratoires présentent des rapports supérieurs à 0,5 %.

M. Köhler présente aussi des graphiques sur les résultats des comparaisons d'intensité et de flux du CCPR au cours des soixante dernières années, montrant que la dispersion des valeurs a peu diminué avec le temps.

3.4 Discussion

M. Wallard note que les différentes méthodes de calcul de la valeur de référence ont peu d'incidence dans le cas de chacune des comparaisons présentées. Ceci a été discuté en détail par le Groupe de travail sur les comparaisons clés et un compromis a été trouvé. Le CCPR se doit d'approuver la méthode choisie par ce groupe de travail pour calculer la valeur de référence de ces comparaisons clés.

M. Quinn souligne que les comparaisons clés sont destinées à comparer les étalons de mesure nationaux, et que la valeur de référence de la comparaison clé ne doit pas exclure les laboratoires qui ne réalisent pas d'étalons primaires. M. Nettleton mentionne l'existence de corrélations connues entre les laboratoires, mais celles-ci doivent être ignorées pour les comparaisons présentées ici si l'on veut parvenir à une conclusion lors de cette réunion.

M. Soardo demande de chiffrer l'équivalence entre les laboratoires. M. Quinn répond que le degré d'équivalence de chaque laboratoire, exprimé sous la forme d'un écart par rapport à la valeur de référence de la comparaison clé et de l'incertitude associée, sera présenté dans le rapport final, afin d'être inclus dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés ; il a été décidé

de ne pas inclure de bande limitative au sein de laquelle tous les laboratoires seraient considérés comme équivalents.

M. Boivin est favorable à une moyenne non pondérée ou à la médiane. M. Köhler commente que la moyenne pondérée permet de limiter l'influence des laboratoires dont les résultats ont une exactitude plus modeste sur la valeur de référence. M. Metzdorf est du même avis, et note que c'est important dans le domaine de la sensibilité spectrale, par exemple, où certains laboratoires se raccordent directement à un radiomètre cryogénique. M. Nettleton est favorable à la moyenne pondérée assortie d'une limite, notant que l'incertitude sur le degré d'équivalence publiée serait fondée sur l'incertitude déclarée par le laboratoire.

M. Wallard note que le comité a approuvé les recommandations du groupe de travail sur la manière d'obtenir la valeur de référence, mais se demande si les comparaisons ne pourraient pas fournir d'autres résultats supplémentaires. M. Parr suggère que des informations sur les meilleures aptitudes en matière de mesure et sur la dispersion des résultats sont disponibles et indiquent vraiment l'état de l'art des aptitudes en radiométrie. La publication de ces informations serait utile et le Comité consultatif pourrait les utiliser pour déterminer la valeur de l'incertitude limite. M. Gardner souligne la nécessité d'inclure toutes les différences connues entre les unités disséminées et les unités réalisées, l'arrangement sur la reconnaissance mutuelle ne concernant que les unités disséminées, alors que l'une des missions traditionnelles du CCPR est d'obtenir la meilleure estimation de la vraie valeur de l'unité du SI à partir des réalisations primaires. M. Quinn suggère aussi la possibilité d'utiliser les méthodes de CODATA pour analyser la cohérence des résultats présentés. M. Ikonen se demande si l'incertitude sur la valeur de référence calculée par propagation n'est pas trop faible, et sa préférence va à une valeur de référence médiane. Il accepte cependant le compromis proposé sur la moyenne pondérée, avec une limite fixée, et l'incertitude propagée, mais demande que les rapports mentionnent les autres méthodes de calcul.

M. Wallard demande qui devrait être responsable de l'analyse des informations sur les incertitudes individuelles dans les exercices de comparaisons clés. M. Nettleton dit que cette analyse n'entre pas dans les responsabilités du laboratoire pilote. M. Metzdorf suggère que cela dépend si le rapport final inclut les bilans d'incertitude sur les réalisations des unités ou pas, puisque ces informations s'ajoutent à celles définies à l'origine par le Groupe de travail sur les comparaisons clés et le laboratoire pilote. M. Gardner suggère que le secrétaire exécutif devrait transmettre au laboratoire pilote les valeurs des incertitudes pour la comparaison et que le

groupe de travail devrait recevoir les valeurs des réalisations. M. Boivin note qu'il n'est pas possible de préciser par avance les composantes de l'incertitude pour la réalisation des unités proprement dite : les différents laboratoires peuvent utiliser des techniques différentes et toutes les composantes ne seront donc pas communes. C'est particulièrement vrai des systèmes à radiomètres cryogéniques fondés sur des lasers, comparés aux systèmes fondés sur des monochromateurs.

M. Quinn remarque qu'un certain nombre de laboratoires doivent encore compléter leur bilan d'incertitude détaillé pour les comparaisons présentées à la présente session. Il note que cette condition est un préalable à l'acceptation des résultats. M. Metzdorf s'engage au nom de la PTB à contacter les participants aux comparaisons d'intensité et de flux lumineux pour qu'ils fournissent un complément d'information sur les composantes du bilan d'incertitude identifiées pour ces comparaisons, et envoient des détails sur leur réalisation des unités de base au groupe de travail.

Il est décidé que les composantes de l'incertitude liées aux comparaisons doivent être transmises aux laboratoires pilotes des comparaisons clés, ainsi que les valeurs de toute différence connue entre les valeurs des unités disséminées et réalisées. M. Wallard demande au secrétaire exécutif de réclamer des informations sur les composantes de l'incertitude des réalisations des unités pour les trois comparaisons avant le 15 mai 1999. Ces informations seront étudiées par le Groupe de travail sur les comparaisons clés lors de sa prochaine session, prévue en octobre 1999. Il demande aussi que les rapports finaux, avec toutes les informations supplémentaires demandées aux laboratoires, soient préparés par le Groupe de travail sur les comparaisons clés pour approbation le 31 août 1999 au plus tard. Les rapports seront alors envoyés à tous les membres du comité pour être approuvés par correspondance.

M. Parr partage aussi quelques inquiétudes quant à la moyenne pondérée, en particulier quand les poids diffèrent d'un ordre de grandeur alors que des techniques similaires sont utilisées. Il conçoit que l'utilisation d'une moyenne pondérée, assortie d'une limitation de l'incertitude, constitue un compromis raisonnable si l'on prend en compte d'autres arguments que ceux qui ressortent uniquement de la statistique. M. Quinn est aussi d'avis que l'utilisation d'une moyenne non pondérée n'est pas gage d'un bon travail et que les laboratoires doivent améliorer l'estimation de leur incertitude. M. Nettleton dit que si on n'a pas confiance dans les incertitudes, il faut alors utiliser la médiane, mais cela engendre des problèmes d'estimation de l'incertitude de la valeur de référence. M. Boivin demande d'inclure toutes

les méthodes, mais M. Wallard répond que cette éventualité est acceptable pour le rapport provisoire, mais qu'on a besoin d'un résultat final.

D'après M. Soardo, la limitation doit être justifiée et ne doit pas être arbitraire. M. Gardner note que les limites fixées pour les présentes comparaisons ont été déterminées d'après des résultats qui incluent une composante due à l'incertitude de l'étalon de transfert ; pour les comparaisons ultérieures, la limite sera fixée d'après l'exactitude de l'étalon de base seulement. M. Soardo approuve et demande qu'une note décrivant le processus utilisé soit ajoutée aux rapports des comparaisons existantes.

M. Denner demande si l'on disposera d'informations sur la meilleure incertitude possible compte tenu de l'état de l'art, car ce serait une information importante pour les organisations régionales. M. Quinn dit qu'elle sera déterminée par le laboratoire pilote et par le Groupe de travail sur les comparaisons clés, et qu'elle figurera dans le rapport.

Il est décidé par consensus que la moyenne pondérée, avec une limite, et intégrant les laboratoires qui ne réalisent pas l'unité primaire, soit utilisée pour obtenir la valeur de référence de chacune de ces comparaisons clés.

Mme Thomas demande pourquoi le CCPR utilise des valeurs relatives, ou des différences à une valeur relative, donc proches de 0 ou de 1, plutôt que des valeurs dimensionnées avec l'unité voulue, comme c'est le cas pour les autres comités. Une discussion générale s'ensuit. Il est précisé que les comparaisons clés du CCPR concernent bien des unités de base, mais peuvent correspondre à différentes valeurs des grandeurs impliquées, valeurs qui dépendent de termes géométriques. De plus, c'est la valeur relative d'une comparaison clé du CCPR qui est transférée aux comparaisons régionales, et les utilisateurs sont habitués à ce format qui est couramment utilisé. Il est donc décidé de continuer à utiliser des valeurs relatives ou des différences par rapport à la valeur relative.

3.5 Comparaisons antérieures dont les résultats pourraient figurer dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés

M. Quinn ouvre la discussion en demandant au comité d'étudier si les résultats de certaines comparaisons passées du CCPR devraient être inclus dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. M. Metzdorf note que les comparaisons clés de photométrie qui viennent de s'achever sont de meilleure qualité que les anciennes. Il est décidé que pourraient y figurer les comparaisons d'éclairement énergétique spectral (1992), de sensibilité spectrale (1994) et de sensibilité des récepteurs à fibres optiques (1990).

M. Gardner souligne qu'un certain nombre de laboratoires ont ré-évalué leurs étalons depuis que les rapports correspondants ont été publiés. M. Köhler commente que l'état de l'art a changé : un seul laboratoire avait fourni des résultats fondés sur un radiomètre cryogénique lors de la comparaison de sensibilité spectrale de 1994. D'après M. Boivin, ces comparaisons constituent le meilleur soutien aux déclarations de l'annexe C de l'arrangement de reconnaissance mutuelle, dont on dispose à l'heure actuelle. M. Ikonen est d'accord avec lui, et dit qu'une nouvelle série de mesures spectrales serait longue à réaliser. M. Bittar demande si les résultats seront traités pour en extraire les valeurs de référence et les degrés d'équivalence. M. Quinn répond que ce serait probablement trop difficile et que l'effort n'en vaut peut-être pas la peine, mais qu'on devrait le faire si c'est possible ; de toute façon les rapports finaux de ces comparaisons pourraient être disponibles à partir de la base de données du BIPM. Le comité est favorable à l'entrée des résultats sans nouvelle analyse, en offrant la possibilité d'y ajouter des commentaires. M. Parr suggère que la présentation des résultats sous forme de graphiques dans la base de données doit aussi proposer un lien au rapport final. Le comité accepte d'inclure les résultats de la comparaison de sensibilité spectrale. M. Ikonen demande si l'on doit aussi inclure les résultats disponibles d'EUROMET et d'autres organisations régionales. M. Quinn est d'avis que ces résultats devraient être inclus si le protocole des comparaisons est jugé approprié et si les rapports ont été approuvés par les organisations régionales. Les comparaisons à venir nécessiteront l'approbation du Groupe de travail sur les comparaisons clés du CCPR. M. Metzdorf demande à M. Ikonen de poser la question à l'EUROMET.

Il est décidé que les résultats de la comparaison de sensibilité des récepteurs à fibres optiques soient inclus dans la base de données, le secrétaire exécutif étant chargé de contacter les participants pour obtenir leur approbation. M. Quinn remarque que les participants aux comparaisons passées pourraient décider de retirer leurs résultats.

M. Nettleton demande s'il convient d'inclure les résultats de la comparaison d'éclairement énergétique spectral, faisant référence en particulier aux résultats du NPL qui n'auraient pas dû figurer dans le rapport final. M. Quinn suggère que les résultats y soient inclus jusqu'au moment où la nouvelle comparaison d'éclairement énergétique spectral sera terminée. M. Denner demande de conserver tous les rapports publiés dans le passé, l'historique des performances est importante quand on recherche l'accréditation par un tiers.

M. Parr mentionne que le rapport fait partie des archives ; il suggère de présenter uniquement le rapport, sans tableau séparé, les laboratoires pouvant

ajouter leurs commentaires ou faire part de leur désapprobation. M. Wallard dit que cela peut aussi s'appliquer aux autres rapports plus anciens. Il est décidé de présenter provisoirement les trois rapports, sans tableau séparé, avec les premiers résultats disponibles sur un site Internet à accès limité aux membres du CCPR, pour approbation finale.

4 DISCUSSION DES RÉSULTATS DE LA COMPARAISON DE RADIOMÈTRES CRYOGÉNIQUES

M. Goebel présente le projet A du rapport. Dix-sept laboratoires ont participé à la comparaison suivant un schéma en étoile modifié ; des récepteurs à piège étaient utilisés comme instruments de transfert et l'on a comparé des radiomètres refroidis mécaniquement ou refroidis à l'hélium liquide, à entrée horizontale ou à entrée verticale, et utilisant un monochromateur ou une radiation de laser comme source. Soixante-dix pour cent des résultats sont en accord avec un facteur de couverture $k = 1$, la plupart avec un écart relatif inférieur à 3×10^{-4}. La préparation des faisceaux était cruciale pour effectuer des comparaisons de bonne qualité. Il note que certains laboratoires ont modifié leurs résultats, et qu'un laboratoire a remesuré le récepteur de transfert. M. Boivin demande si les mesures ont été obtenues en aveugle ; M. Goebel répond que des récepteurs différents ont été utilisés lors de la répétition de la mesure, mais bien sûr ils ont tous des sensibilités similaires. M. Fox est aussi préoccupé par le fait que cette comparaison ne suit pas le protocole des comparaisons clés. M. Wallard répond que ce n'est pas une comparaison clé. M. Nettleton suggère que les mesures qui sont répétées le soient uniquement sous la forme de comparaisons bilatérales. M. Parr est d'accord, mais note que les résultats de cette comparaison répétée ont fourni des informations utiles, et qu'il suffirait que le rapport final contienne une identification claire des résultats initiaux et finaux, en expliquant les différences. Il est décidé d'appliquer les directives pour les comparaisons clés et de publier les premiers résultats reçus. Si d'autres résultats ont été fournis par certains laboratoires à la suite de mesures répétées, ils seront considérés comme ceux de comparaisons bilatérales lors de la publication.

M. Köhler remarque qu'un laboratoire doit encore confirmer ses résultats avant que le rapport final ne soit préparé pour être publié dans *Metrologia*.

5 RAPPORT SUR LES PROGRÈS DES AUTRES COMPARAISONS EN COURS

5.1 Comparaison clé d'éclairement énergétique spectral CCPR-K1

M. Fox discute du protocole que le NPL, en qualité de laboratoire pilote, a envoyé aux treize participants dont au moins deux appartenaient à chaque organisation régionale. Les laboratoires ont huit semaines pour effectuer leurs mesures, lesquelles devront être toutes terminées avant mai 2000. La date d'achèvement a été fixée en fonction de la date de déménagement du laboratoire du NPL dans de nouveaux locaux. En réponse à la question de M. Saunders qui suggérait qu'il serait prudent de retarder la comparaison, M. Nettleton dit que, s'agissant d'une comparaison clé, il convient que les mesures soient achevées le plus tôt possible pour figurer dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. M. Metzdorf suggère que le NPL pourrait fournir une seule mesure intermédiaire, plutôt qu'une mesure « avant » et « après ». M. Fox souligne que la procédure proposée avait pour but de contrôler avec exactitude la dérive des étalons de transfert par utilisation d'un système commun. M. Metzdorf dit que les laboratoires peuvent contrôler la dérive, et se dit préoccupé par le fait que le programme laisse peu de latitude pour remédier aux éventuels dommages ou retards. M. Fox répond que des lampes de rechange sont disponibles en cas de dommage, et que le protocole demande expressément que les lampes soient transportées à la main pour minimiser leur dérive et les risques de dommage. M. Boivin se dit préoccupé par la nécessité de transporter les lampes à la main, car il considère cette pratique comme souhaitable mais non nécessaire, de plus elle est très onéreuse. M. Nettleton suggère que le NPL n'aurait pas besoin d'insister sur le transport manuel si l'on utilisait une moyenne pondérée pour déterminer la valeur de référence, parce que les laboratoires dont l'incertitude serait plus grande en raison du défaut de stabilité pendant le transport auraient un poids plus faible. M. Fox indique que, lors d'essais limités avec les lampes FEL, on a observé des dérives de 0,1 % à 0,8 % même si l'on transporte les étalons à la main, et que les lampes Polaron de type II à utiliser, qui ne couvrent pas la totalité du domaine spectral entre 250 nm et 2500 nm, étaient plus stables pendant le transport. Un certain nombre de laboratoires font part de difficultés pour organiser le transport des lampes à la main. M. Parr dit que les incertitudes obtenues dépendraient alors des moyens financiers disponibles et/ou de la situation géographique des laboratoires, mais considérer que le bénéfice du transport à la main est si

important est anecdotique et l'analyse des différences entre les résultats pourrait servir à fournir des informations pour évaluer cet effet. Il faudrait qu'il soit reconnu que les laboratoires ayant transporté le matériel à la main ont obtenu de meilleurs résultats pendant la comparaison. M. Gardner note le coût élevé des lampes Polaron et la nécessité d'en acheter de nouvelles si des lampes de ce type devaient faire partie des lampes d'un laboratoire particulier, même si le laboratoire en possède déjà. M. Fox répond qu'il a été prouvé que les lampes Polaron de type II ont des performances supérieures à celles des anciennes lampes, ce qui est un avantage pour la comparaison. M. Nettleton note aussi que le coût des étalons est bien inférieur à celui du travail qu'implique la participation à la comparaison. M. Nettleton propose que le NPL modifie le protocole pour accepter un autre moyen de transport des lampes, et que les résultats soient analysés séparément pour mettre en évidence les améliorations éventuelles dues au transport manuel. Le comité est d'accord. La PTB Braunschweig sera le laboratoire pilote de la comparaison dans le domaine spectral situé entre 200 nm et 2500 nm, mais les mesures ne débuteront pas avant l'an 2001.

5.2 Comparaison clé de sensibilité spectrale CCPR-K2

M. Parr dit que la comparaison dans l'infrarouge, dont le NIST est le laboratoire pilote, a débuté et que les photodiodes ont été expédiées. M. Köhler signale que quatorze laboratoires souhaitent participer à la comparaison dans le domaine spectral compris entre 300 nm et 1000 nm, comparaison fondée sur des photodiodes et des récepteurs à piège et dont le laboratoire pilote est le BIPM. M. Schrama demande si des laboratoires observateurs peuvent participer à la comparaison, M. Quinn dit que c'est possible à condition que les laboratoires aient montré des aptitudes techniques du plus haut niveau. M. Köhler dit aussi que la PTB Berlin sera le laboratoire pilote pour le domaine spectral compris entre 200 nm et 400 nm, mais que les mesures ne débuteront pas avant 2001.

5.3 Comparaison clé de facteur de réflexion spectrale diffuse CCPR-K5

M. Saunders annonce que le protocole a été établi et que les étalons ont été achetés pour que les mesures du facteur de réflexion spectrale diffuse puissent commencer au début de l'an 2000. Les laboratoires peuvent encore participer à la comparaison s'ils le souhaitent. M. Boivin se dit préoccupé du fait que chaque laboratoire ne dispose que d'un mois pour effectuer les mesures, il pense qu'une durée de deux mois serait plus raisonnable. M. Saunders

demande de confirmer que les invitations officielles ont été envoyées. M. Köhler dit que les adresses ont été fournies récemment et les invitations préparées. M. Nettleton remarque que le NPL a établi une nouvelle technique fondée sur un goniophotomètre pour les mesures du facteur de réflexion diffuse et que les résultats obtenus sont plus élevés que ceux obtenus avec l'ancienne technique du NPL fondée sur une sphère. M. Soardo est intéressé à collaborer avec le NPL pour comprendre l'origine de ces différences.

M. Quinn rappelle aux laboratoires pilotes que les directives pour les comparaisons clés demandent des bilans d'incertitude détaillés. M. Boivin demande que les comparaisons clés CCPR-K5 et CCPR-K6 soient coordonnées pour qu'il n'y ait pas de recouvrement des deux comparaisons dans un même laboratoire ; MM. Saunders et Bastie acceptent de coordonner leur déroulement dans le temps.

5.4 Comparaison clé de facteur de transmission régulière CCPR-K6

M. Bastie dit que des filtres neutres de 50 mm × 50 mm, à cinq valeurs situées entre 0,1 % et 92 % dans le domaine de 380 nm à 1000 nm, ont été choisis pour les mesures. Un faisceau parallèle, de 20 nm de diamètre sous incidence nulle avec une largeur de bande de 1 nm, a été recommandé. Dix-neuf laboratoires ont exprimé leur intérêt. Les filtres en verre BK7 et NG5 ont été vérifiés avant de spécifier les caractéristiques des filtres. M. Quinn observe que la Turquie ne peut pas participer à la comparaison parce que le laboratoire n'était pas représenté au CCPR que ce soit comme membre ou comme observateur.

5.5 Luminance énergétique spectrale

La comparaison de luminance énergétique est une comparaison supplémentaire, dans le domaine situé entre 220 nm et 2500 nm. Elle est fondée sur des lampes à ruban. M. Sapritsky dit que six laboratoires y participent. Le VNIIOFI a remis à niveau ses installations pour servir de laboratoire pilote. Les lampes se trouvent actuellement au NIST pour y être mesurées. Toutes les mesures devraient être terminées en novembre 1999.

5.6 Aire des ouvertures

M. Saunders dit que des ouvertures de haute qualité, usinées à l'outil au diamant, avec ou sans lèvre, ont été préparées par le NIST, mais la comparaison a été retardée parce que le laboratoire concerné déménageait

dans de nouveaux locaux. Cinq laboratoires y participent ; les ouvertures pourraient être disponibles pour des mesures dans d'autres laboratoires après l'achèvement de la comparaison initiale. Les ouvertures avec lèvre pourraient être mesurées de manière optique ou mécanique, et celles sans lèvre uniquement de manière optique.

5.7 Programme de travail futur du CCPR

M. Wallard demande si l'on doit considérer d'autres comparaisons. Le comité répond que les engagements actuels imposent déjà une lourde charge de travail. M. Nettleton suggère que si le CCPR devait se réunir à nouveau tous les quatre ans, il faudrait étudier d'autres programmes de travail éventuels dès maintenant. M. Quinn répond qu'un intervalle de deux ans entre les sessions est plus approprié pour le moment.

M. Wallard remarque l'utilité de la note de M. Köhler rédigée il y a un an sur l'état d'avancement des comparaisons et demande que cette pratique se poursuive entre les sessions. M. Köhler dit que cela n'est possible que s'il est tenu informé par les laboratoires pilotes, les mises à jour pourraient être accessibles sur le site Internet du BIPM. Le président félicite le secrétaire pour son rapport.

6 RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LA RADIOMÉTRIE SPECTRALE POUR L'ULTRAVIOLET DANS L'AIR

M. Wende dit que des mesures ont été effectuées avec des lampes à deutérium et à tungstène dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm. Les performances absolues des lampes à deutérium sont décevantes, mais les valeurs spectrales relatives sont satisfaisantes. Les mesures de luminance énergétique spectrale ont donné de meilleurs résultats que les mesures d'éclairement énergétique spectral, dont l'accord est moins bon que celui constaté lors de la comparaison de 1992. En conséquence, seuls les résultats de la comparaison de luminance énergétique ont été soumis pour publication à *Metrologia*. Lors de la réunion qui s'est tenue en 1997 à Berlin, il a été décidé que le groupe de travail devrait concentrer ses activités sur les mesures

fondées sur des récepteurs, en particulier sur des diodes Schottky PtSi-n-Si. Pour pouvoir effectuer des progrès rapides dans ce domaine, le groupe de travail a stimulé un projet EUROMET et un projet des Communautés européennes visant à améliorer l'exactitude de la radiométrie dans l'ultraviolet. Ces projets ont montré que l'on pouvait obtenir des incertitudes de 0,1 % à 0,3 % pour l'étalonnage de la sensibilité spectrale de photodiodes dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm. M. Wende remarque qu'un atelier se tiendra en connection avec la conférence NEWRAD à Madrid pour faire part des résultats. M. Fox mentionne que les incertitudes de 0,5 %, au-dessus de 210 nm, et de 1,5 %, au-dessous, déclarées par le NPL ont été réduites en utilisant une source fondée sur un mini-arc à argon et son monochromateur. M. Ikonen est surpris que le NPL n'ait pas utilisé une source fondée sur un laser. M. Fox répond qu'un laser est utilisé à 407 nm pour fournir une référence absolue dans cette région du spectre.

M. Schrama informe la réunion que le NMi ne va pas tarder à envoyer ses résultats étalonnés par rapport à un radiomètre cryogénique fondé sur un monochromateur. En réponse à la question de M. Boivin, il dit que l'on peut obtenir des incertitudes de 0,2 % en contrôlant la dérive pendant la durée des mesures.

M. Parr est préoccupé du fait que le travail du CCPR semble être devenu un projet d'EUROMET ; les laboratoires qui n'appartiennent pas à cette région n'ont pas eu la possibilité d'y participer. M. Quinn a le même sentiment. M. Wende explique que le groupe de travail a recherché des partenaires pour partager la charge de travail et le NIST a accepté de collaborer avec le projet d'EUROMET.

M. Wallard dit que les représentants au niveau régional doivent en informer le secrétaire exécutif du CCPR afin d'obtenir une réelle collaboration inter-régionale. M. Bittar demande si l'on poursuit les études au-dessus de 250 nm, le rapport se concentrant dans la région au-dessous de 250 nm, où les photodiodes platine-silicium ont l'avantage de la stabilité. M. Wende se réfère à des travaux antérieurs montrant que les diodes Si p-n sont stables au-dessus de 250 nm, et suggère, pour les comparaisons clés de sensibilité spectrale, de diviser en deux la région située entre 200 nm et 400 nm, aux environs de 250 nm. M. Köhler demande si l'on peut être assuré de l'approvisionnement en photodiodes platine-silicium qui sont préparées par un département spécifique d'une université. M. Wende répond qu'en principe il n'y a pas de différence par rapport à un approvisionnement par de petites compagnies. M. Metzdorf dit que son laboratoire a constaté des retards d'approvisionnement et que quelques diodes platine-silicium étaient

défectueuses. M. Nettleton dit que le groupe de travail a préparé un rapport détaillé sur le programme à long terme comme cela lui avait été demandé à l'origine, ce programme doit maintenant être exécuté pas à pas. M. Wallard demande qu'un rapport, établissant les priorités pour les activités à venir, soit préparé pour le CCPR à l'issue de l'atelier de Madrid. Le groupe doit se réunir juste après la présente session pour discuter des détails de cet atelier.

7 RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL COMMUN AU CCT ET AU CCPR

M. Quinn dit que les travaux de ce groupe, c'est-à-dire comparer l'exactitude que l'on peut obtenir pour la température du point de l'or par des méthodes radiométriques au moyen de radiomètres à filtre, ou par des méthodes pyrométriques, ont été retardés compte tenu de la charge de travail résultant des comparaisons clés. Un rapport a été préparé sur les activités de la PTB (CCPR99-05). Le groupe pourrait préparer un document sur l'état de l'art de la détermination des caractéristiques des radiomètres à filtre, car cela est directement applicable aux déterminations de l'éclairement énergétique spectral de certains laboratoires pour la comparaison clé connexe.

8 COMPARAISONS INTERNATIONALES ET LIENS AVEC LES ORGANISATIONS RÉGIONALES DE MÉTROLOGIE

M. Wallard rappelle aux membres que les organisations régionales de métrologie doivent transférer les valeurs de référence des comparaisons clés dans leur région, et il demande au secrétaire du CCPR de se tenir informé des activités régionales.

M. Gardner dit que la comparaison de sensibilité lumineuse du CCPR est actuellement répétée dans la région Asie-Pacifique par l'APMP conformément aux protocoles des comparaisons clés. Les comparaisons de sensibilité spectrale et d'intensité lumineuse mentionnées plus haut ont aussi

été répétées dans cette région. Les laboratoires ayant participé aux comparaisons du CCPR et aux comparaisons régionales d'intensité lumineuse n'ont pas obtenu des résultats cohérents et la procédure pour transférer ensuite la valeur de référence de la comparaison clé n'a pas été clairement définie.

M. Sanchez rapporte que le SIM envisage d'étendre les comparaisons clés du CCPR dans sa région, mais ces comparaisons gagneraient peut-être à être effectuées sur une base bilatérale. Les laboratoires de la région travaillent à démontrer leurs aptitudes pour figurer sur la liste de l'annexe C de l'arrangement de reconnaissance mutuelle.

M. Ikonen dit que l'EUROMET comprend maintenant dix-sept pays et a environ vingt-cinq projets en cours en radiométrie. Six comparaisons clés ont été programmées, chacune comporte au moins deux membres du CCPR pour assurer le lien à la valeur de référence de la comparaison clé. L'EUROMET a identifié les grandeurs et instruments nécessaires aux mesures ou aux étalonnages, pour assurer un recouvrement avec les comparaisons clés. Il demande si les comparaisons clés actuelles couvrent toutes les grandeurs intéressantes et importantes, en particulier si les aptitudes en matière de luminance lumineuse sont suffisamment confirmées par les performances dans les comparaisons clés d'intensité et de sensibilité lumineuses. M. Quinn rappelle au CCPR que les comparaisons clés n'ont jamais été destinées à couvrir toutes les aptitudes, mais représentent une série de mesures minimale, mais robuste, destinée à donner confiance dans les mesures connexes. M. Nettleton donne l'exemple des mesures de linéarité et de longueur d'onde, vérifiées pour déterminer la candela. Il incombe aux experts du CCPR de vérifier les meilleures aptitudes de mesure compte tenu de l'expérience et de ce qui est raisonnable.

M. Wallard remercie les intervenants et demande que les organisations régionales de métrologie présentent les résultats des comparaisons au Groupe de travail sur les comparaisons clés pour approbation avant de les transmettre pour inclusion dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

M. Köhler demande si les récepteurs, dont les caractéristiques sont bien connues, qui ont été utilisés pour la comparaison de sensibilité spectrale du CCPR devraient être mis à la disposition des groupes régionaux, en les renommant sous un autre nom pour préserver la confidentialité sur la valeur de leur réponse. M. Parr pense qu'il serait préférable d'attendre que la comparaison du CCPR soit terminée. M. Quinn pense qu'il est souhaitable de réutiliser ces récepteurs.

9 LIAISON AVEC D'AUTRES GROUPES

M. Bastie présente en détail les activités de la CIE. Une nouvelle division (8, Technologie des images) a été créée. Les nouvelles publications sur les activités du CCPR et les illuminants normalisés CIE pour la colorimétrie sont intitulées « Practical methods for the measurement of reflectance and transmittance » et « Measurement of the luminous intensity of LEDS ». Il informe les participants que la prochaine assemblée générale de la CIE se tiendra en juin 1999 à Varsovie. M. Boivin demande quelle est la région du spectre couverte par le nouveau comité pour les mesures dans l'ultraviolet. M. Xu répond que ce comité se limite actuellement aux UVA et UVB.

M. Parr dit que la prochaine réunion du CORM à Gaithersburg se concentrera sur la radiométrie liée à la signalisation de la circulation. Le rapport de la 7e réunion du CORM sur les besoins en radiométrie est en préparation.

M. Soardo dit que l'European Accreditation (EA) organise des comparaisons pour vérifier les déclarations pour l'accréditation des laboratoires, y compris les bilans d'incertitude.

M. Dézsi fait part de la création de DUMAMET, une organisation sous-régionale de métrologie réunissant les pays du Danube.

En réponse à une question de M. Bittar, M. Denner dit que la radiométrie est peu prioritaire en Afrique, et que le CSIR participe aux activités de l'APMP dans ce domaine.

10 DISCUSSION DES CONCLUSIONS DE LA RÉUNION DU CCU SUR LA QUESTION DE Ω_0

M. Quinn dit que le CCU a proposé lors d'une réunion récente que si le radian et le stéradian étaient considérés comme des unités de base, alors Ω_0 devrait être inclus dans les équations mettant en jeu le lumen ou la candela. Cependant, la Conférence générale avait considéré que le radian et le stéradian étaient des unités dérivées et que la pratique courante de ne pas inclure Ω_0 devait se poursuivre. Cette décision est en accord avec les recommandations figurant dans le recueil de normes de l'ISO.

M. Parr note que des questions ont été posées au sujet du nombre « 1 ». M. Quinn reconnaît que cette question concerne le CCPR, mais dit qu'elle n'a pas encore été résolue par le CCU et le CIPM.

11 RAPPORT AU COMITÉ INTERNATIONAL ET RECOMMANDATIONS

M. Wallard dit qu'il présentera un rapport officiel à la Conférence générale disant que le CCPR a approuvé trois comparaisons clés et il y joindra des extraits des réponses des laboratoires au questionnaire. Aucune recommandation n'a été proposée.

12 QUESTIONS DIVERSES

12.1 Conférence NEWRAD

M. Corróns invite tous les membres à participer à la réunion NEWRAD qui se tiendra en octobre 1999 à Madrid. M. Quinn présente un compte rendu de la réunion du conseil scientifique de NEWRAD. Une sélection de travaux présentés à la réunion sera publiée dans *Metrologia*, le texte complet devant en être soumis à des « referees » lors de la réunion.

12.2 Optoélectronique

M. Parr demande si les besoins spécifiques des laboratoires dans le domaine de la radiométrie, comme la puissance laser, les mémoires optiques, les méthodes de calcul optiques, la lithographie par ultraviolets et d'autres domaines doivent être étudiés par le CCPR. M. Nettleton remarque que le domaine de la technologie des images en couleur fait aussi l'objet de demandes là où les compétences primaires se situent dans le domaine des mesures optiques. Tous ces domaines recoupent les centres d'intérêt d'autres

Comités consultatifs, et le CCPR devrait leur demander de se joindre à lui pour étudier les besoins.

M. Wallard dit qu'il a discuté de certaines de ces questions avec le CCEM, mais que l'on n'a pas identifié de besoins pressants. M. Metzdorf note que certains points évoqués étaient déjà étudiés dans le cadre de comparaisons supplémentaires, en particulier par des organisations régionales. M. Denner dit que certains domaines de l'électronique sont larges, mais peu font appel à des mesures optiques. M. Boivin demande si les déclarations sur les mesures de fibres optiques à inclure dans l'annexe C auront le soutien du CCEM ou du CCPR.

M. Parr se propose de mener une étude sur les besoins existants de mesures radiométriques améliorées pour de nouveaux domaines non traditionnels. M. Wallard accueille chaleureusement cette proposition et lui demande de contacter les intéressés et de présenter un rapport au CCPR.

12.3 Liens avec les rayonnements ionisants

Mme Allisy-Roberts de la section des rayonnements ionisants du BIPM se joint à la réunion. M. Wende dit que plusieurs communautés sont impliquées dans la mesure des rayonnements électromagnétiques et qu'elles devraient partager leurs connaissances. Les mesures au moyen d'anneaux de stockage promettent d'offrir une exactitude meilleure dans le domaine des rayons x mous que les méthodes actuelles fondées sur des radionucléides étalons. À l'anneau de stockage d'électrons BESSY 2 de Berlin, la radiométrie cryogénique est déjà utilisée jusqu'à 10 keV. Pour atteindre 50 keV, le laboratoire met au point un système fondé sur le rayonnement d'un synchrotron et sur un radiomètre cryogénique ; les expériences débuteront en l'an 2000. M. Moscati, président du CCRI, est favorablement impressionné par ce travail qui offre la possibilité de relier la dosimétrie des rayons x à la radiométrie. Mme Allisy-Roberts dit que les besoins les plus importants concernent le domaine du spectre compris entre les longueurs d'onde de 100 nm et 1 nm, où les incertitudes sont de l'ordre de 0,4 %.

M. Quinn suggère que M. Wende présente ses résultats au CCRI ; Mme Allisy-Roberts accepte de faire circuler l'article de M. Wende à ce comité. M. Parr note que les États-Unis ont des besoins dans le domaine des mesures de puissance optique aux courtes longueurs d'onde et les progrès effectués à la PTB sont encourageants.

M. Wallard remercie M. Wende et Mme Allisy-Roberts.

13 PROCHAINE SESSION

Il est proposé que la prochaine session ait lieu dans deux ans, quand le projet B du rapport sur la comparaison clé d'éclairement énergétique spectral sera disponible. La date exacte sera déterminée en octobre 1999 et diffusée aux membres (le mois d'avril 2001 est évoqué).

M. Wallard note que M. Soardo, membre du CCPR depuis 1975, est susceptible de prendre sa retraite avant la prochaine session. Il le remercie de sa contribution et lui souhaite une heureuse retraite au nom du CCPR.

La session est close.

J.L. Gardner, rapporteur

avril 1999

ANNEXE P 1.
Documents de travail présentés à la 15e session du CCPR

Ces documents de travail peuvent être obtenus dans leur langue originale sur demande adressée au BIPM.

Document
CCPR

99-01 Replies to the questionnaire from BNM-INM, CSIR, CSIRO, ETL, HUT, IEN, IFA, KRISS, MSL, NIM, NIST, NMi, NPL, NRC, OFMET, OMH, PSB, PTB, SIM, VNIIOFI, 90 p.

99-02 BIPM. — An international comparison of luminous responsivity (Draft B, March 1999), R. Köhler, M. Stock, C. Garreau, 23 p.

99-03 CCPR/CCT working group. — CCPR/CCT working group comparison, N. Fox, 4 p.

99-04 BIPM. — Report on the international comparison of cryogenic radiometers based on transfer detectors (Draft A, March 1999), R. Goebel, M. Stock, R. Köhler, 65 p.

99-05 PTB (Allemagne). — Determination of the temperature of high-temperature black bodies, J. Fischer, R. Friedrich, 5 p.

99-06 PTB (Allemagne). — CCPR key comparisons of luminous intensity and luminous flux units with lamps as transfer standards – Confidential [report], only for participants (Draft B, February 1999), G. Sauter, D. Lindner, M. Lindemann, 27 p.

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences

APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
BESSY	Berliner Elektronenspeicherring-Geselschaft für Synchrotronstrahlung m.b.H. (Allemagne)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM-INM	Bureau national de métrologie, Institut national de métrologie, Paris (France)
CCEM	Comité consultatif d'électricité et magnétisme
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCRI	Comité consultatif des rayonnements ionisants
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCU	Comité consultatif des unités
CENAM	Centro Nacional de Metrologia, Mexico (Mexique)
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIPM	Comité international des poids et mesures
CORM	Council for Optical Radiation Measurements (États-Unis)
CSIC-IFA	Departamento de Metrologia, Instituto de Fisica Aplicada, Madrid (Espagne)
CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO-NML	CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie)
DUMAMET	Organisation régionale de métrologie regroupant les pays du Danube
EA	European Accreditation
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
HUT	Helsinki University of Technology, Helsinki (Finlande)
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France), *voir* BNM
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires (Argentine)
ISO	Organisation internationale de normalisation

KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
MSL	Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower-Hutt (Nouvelle-Zélande)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (États-Unis)
NEWRAD	Conference on New Developments and Applications in Optical Radiometry
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Chine)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (États-Unis)
NMi-VSL	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratory, Delft (Pays-Bas)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
OMH	Országos Mérésugyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
PSB	Singapore Productivity and Standards Board (Singapour)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
SIM	Sistema Interamericano de Metrologia
SMU	Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
VNIIOFI	Institut de recherche de Russie pour les mesures en optique physique, Moscou (Féd. de Russie)

2 Sigles des termes scientifiques

FEL	Type de lampes fabriquées par la General Electric Co. (États-Unis)
LED	Diode électroluminescente
SI	Système international d'unités