

Bureau international des poids et mesures

Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR)

16^e session (avril 2001)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 59)

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 92-822-2187-3

TABLE DES MATIÈRES

Photographie des participants à la 16^e session du Comité consultatif de photométrie et radiométrie **2**

États membres de la Convention du Mètre et associés à la Conférence générale **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 ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **19**
- 2 Progrès faits dans les laboratoires **20**
- 3 Discussion sur l'état d'avancement et les résultats des comparaisons clés **27**
 - 3.1 Comparaison clé d'éclairement énergétique spectral CCPR-K1 **27**
 - 3.1.1 Comparaison clé CCPR-K1.a, dans le domaine situé entre 250 nm et 2500 nm **27**
 - 3.1.2 Comparaison clé CCPR-K1.b, dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm **27**
 - 3.2 Comparaison clé de sensibilité spectrale CCPR-K2 **28**
 - 3.2.1 Comparaison clé CCPR-K2.a, dans le domaine situé entre 900 nm et 1600 nm **28**
 - 3.2.2 Comparaison clé CCPR-K2.b, dans le domaine situé entre 300 nm et 1000 nm **28**
 - 3.2.3 Comparaison clé CCPR-K2.c, dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm **29**
 - 3.3 Comparaison clé de facteur de réflexion spectrale diffuse CCPR-K5 **29**
 - 3.4 Comparaison clé de facteur de transmission spectrale régulière CCPR-K6 **30**
 - 3.5 Discussion **30**
- 4 État d'avancement et résultats des comparaisons supplémentaires **31**
 - 4.1 Comparaison supplémentaire de luminance énergétique spectrale CCPR-S1 **31**
 - 4.2 Comparaison supplémentaire d'aires d'ouverture CCPR-S2 **31**

- 4.3 Comparaison supplémentaire de radiomètres cryogéniques
CCPR-S3 **31**
- 5 État d'avancement et résultats des comparaisons des organisations
régionales de métrologie **32**
 - 5.1 APMP **32**
 - 5.2 SIM **32**
 - 5.3 EUROMET **33**
 - 5.4 SADC MET **33**
- 6 Questions diverses relatives aux comparaisons **33**
- 7 État d'avancement de la base de données du BIPM sur les comparaisons
clés **34**
- 8 Rapport du Groupe de travail sur les comparaisons clés **35**
 - 8.1 Comparaisons régionales **35**
 - 8.2 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages **35**
 - 8.3 Examen futur des déclarations d'aptitudes **36**
 - 8.4 Traitement unifié des résultats des comparaisons clés **36**
 - 8.5 Traitement des valeurs spectrales **37**
- 9 Vocabulaire sur les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages
dans le domaine de la photométrie et de la radiométrie **37**
- 10 Rapport du Groupe de travail sur la radiométrie spectrale pour
l'ultraviolet dans l'air **39**
- 11 Programme de travail futur du CCPR **41**
- 12 Programme de travail futur du BIPM **43**
- 13 Recommandation au CIPM **45**
- 14 Liaison avec le Groupe de travail 5 du CCT sur la thermométrie par
rayonnement **45**
- 15 Liaison avec d'autres organisations **46**
 - 15.1 CIE **46**
 - 15.2 CORM **47**
- 16 Questions diverses : NEWRAD **47**
- 17 Prochaine session du CCPR **48**

Recommandation présentée au Comité international des poids et mesures

- P 1 (2001). Étalons photométriques du Bureau international des poids et
mesures (BIPM) **49**

Annexe P 1. Documents de travail présentés à la 16^e session du CCPR **51**

Liste des sigles utilisés dans le présent volume **53**

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

au 24 avril 2001

États membres de la Convention du Mètre

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

Associés à la Conférence générale

Cuba	Lettonie
Équateur	Lituanie
Hong Kong, Chine	Malte

LE BIPM ET LA CONVENTION DU MÈTRE

Le Bureau international des poids et mesures (BIPM) a été créé par la Convention du Mètre signée à Paris le 20 mai 1875 par dix-sept États, lors de la dernière séance de la Conférence diplomatique du Mètre. Cette Convention a été modifiée en 1921.

Le Bureau international a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 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), aux échelles de temps (1988) et à la chimie (2000). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers, en 1988 pour la bibliothèque et des bureaux, et en 2001 a été inauguré un bâtiment pour l'atelier, des bureaux et des salles de réunion.

Environ quarante-cinq physiciens et techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau international. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié dans le *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures*.

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

Les Comités consultatifs ont un règlement commun (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, **31**, 97). Ils tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers. Le président de chaque Comité consultatif est désigné par le Comité international ; il est généralement membre du Comité international. Les Comités consultatifs ont pour membres des laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés, dont la liste est établie par le Comité international, qui envoient des délégués de leur choix. Ils comprennent aussi des membres nominativement désignés par le Comité international, et un

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

- 1 le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif d'électricité (CCE) créé en 1927 ;
- 2 le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le CCE s'est occupé des questions de photométrie) ;
- 3 le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937 ;
- 4 le Comité consultatif des longueurs (CCL), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) créé en 1952 ;
- 5 le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) créé en 1956 ;
- 6 le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) créé en 1958 (en 1969, ce Comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et 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 1998.

Les travaux de la Conférence générale, du Comité international et des Comités consultatifs sont publiés par les soins du Bureau international dans les collections suivantes :

- *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* ;

- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures* ;
- *Rapports des sessions des Comités consultatifs*.

Le Bureau international publie aussi des monographies sur des sujets métrologiques particuliers et, sous le titre *Le Système international d'unités (SI)*, une brochure remise à jour périodiquement qui rassemble toutes les décisions et recommandations concernant les unités.

La collection des *Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée par décision du Comité international, de même que le *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (11 volumes publiés de 1966 à 1988).

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

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

**LISTE DES MEMBRES
DU COMITÉ CONSULTATIF
DE PHOTOMÉTRIE ET RADIOMÉTRIE**

au 24 avril 2001

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-NML], Pretoria.

Helsinki University of Technology [HUT], Espoo.

Institut de recherche de Russie pour les mesures en optique physique, Gosstandart de Russie [VNIIOFI], Moscou.

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

Instituto de Fisica Aplicada, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas [IFA-CSIC], Madrid.

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin.

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

Measurement Standards Laboratory of New Zealand [MSL], Lower Hutt.

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

National Measurement Laboratory, CSIRO [NML-CSIRO], Lindfield.

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

National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

NMi Van Swinden Laboratorium, Nederlands Meetinstituut [NMi VSL],
Delft.

Office fédéral de métrologie et d'accréditation [METAS], 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 Metrología [CENAM], Querétaro.

Singapore Productivity and Standards Board [PSB], Singapour.

Ulusal Metroloji Enstitüsü [UME], Gebze-Kocaeli.

**Comité consultatif
de photométrie et radiométrie**

Rapport de la 16^e session

(24-26 avril 2001)

au Comité international des poids et mesures

Ordre du jour

- 1 Ouverture de la session ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Progrès faits dans les laboratoires.
- 3 Discussion sur l'état d'avancement et les résultats des comparaisons clés :
 - 3.1 Comparaison clé d'éclairement énergétique spectral CCPR-K1 ;
 - 3.2 Comparaison clé de sensibilité spectrale CCPR-K2 ;
 - 3.3 Comparaison clé de facteur de réflexion spectrale diffuse CCPR-K5 ;
 - 3.4 Comparaison clé de facteur de transmission spectrale régulière CCPR-K6 ;
 - 3.5 Discussion.
- 4 État d'avancement et résultats des comparaisons supplémentaires :
 - 4.1 Comparaison supplémentaire de luminance énergétique spectrale CCPR-S1 ;
 - 4.2 Comparaison supplémentaire d'aires d'ouverture CCPR-S2 ;
 - 4.3 Comparaison supplémentaire de radiomètres cryogéniques CCPR-S3.
- 5 État d'avancement et résultats des comparaisons des organisations régionales de métrologie :
 - 5.1 APMP ;
 - 5.2 SIM ;
 - 5.3 EUROMET ;
 - 5.4 SADC MET.
- 6 Questions diverses relatives aux comparaisons.
- 7 État d'avancement de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.
- 8 Rapport du Groupe de travail sur les comparaisons clés :
 - 8.1 Comparaisons régionales ;
 - 8.2 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages ;
 - 8.3 Examen futur des déclarations d'aptitudes ;
 - 8.4 Traitement unifié des résultats des comparaisons clés ;
 - 8.5 Traitement des valeurs spectrales.
- 9 Vocabulaire sur les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages dans le domaine de la photométrie et de la radiométrie.

- 10 Rapport du Groupe de travail sur la radiométrie spectrale pour l'ultraviolet dans l'air.
- 11 Programme de travail futur du CCPR.
- 12 Programme de travail futur du BIPM.
- 13 Recommandation au CIPM.
- 14 Liaison avec le Groupe de travail 5 du CCT sur la thermométrie par rayonnement.
- 15 Liaison avec d'autres organisations :
 - 15.1 CIE ;
 - 15.2 CORM.
- 16 Questions diverses : NEWRAD.
- 17 Prochaine session du CCPR.

1 OUVERTURE DE LA SESSION ; APPROBATION DE L'ORDRE DU JOUR ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR

Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR) a tenu sa 16^e session au Bureau international des poids et mesures (BIPM), à Sèvres. Il a tenu cinq séances du mardi 24 au jeudi 26 avril 2001.

Étaient présents : J. Bastie (BNM-INM), A. Bittar (MSL), P. Blattner (METAS), L.P. Boivin (NRC), A. Corróns (IFA-CSIC), G. Day (NIST), G. Dézsi (OMH), N.P. Fox (NPL), J.L. Gardner (NML-CSIRO), E. van der Ham (NMI VSL), E. Ikonen (HUT), C. Johnson (NIST), In Won Lee (KRISS), Lin Yandong (NIM), J. Metzdorf (PTB), P. Nemeček (SMU), D. Nettleton (NPL), T.J. Quinn (directeur du BIPM), M.L. Rastello (IEN), T. Saito (NMIJ), V. Sapritsky (VNIIOFI), W. Schmutz (PMOD/WRC, expert du METAS), B. Theron (CSIR-NML), A.J. Wallard (président du CCPR), B. Wende (PTB), J. Zwinkels (NRC).

Observateurs : C. Matamoros (CENAM), K. Türkoglu (UME), Xu Gan (PSB).

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

Le président ouvre la session et accueille les représentants des laboratoires membres et les observateurs. Une lettre de remerciement à M. Soardo, qui vient de prendre sa retraite après avoir participé pendant de nombreuses années aux réunions du CCPR, circule pour signature.

M. Gardner est nommé rapporteur.

L'ordre du jour est approuvé.

La liste des documents de travail du CCPR figure à l'annexe P 1.

Le président invite le directeur du BIPM à s'adresser aux participants. M. Quinn souhaite la bienvenue à tous au BIPM pour cette session du CCPR qui se tiendra pour la dernière fois dans la Grande Salle du Pavillon de Breteuil. Il mentionne qu'il est invité à se rendre le lendemain à une réunion sur un projet de norme commun à l'ISO et à la CEI qui aura un impact sur les laboratoires nationaux de métrologie et sur la mise en œuvre de leur système d'accréditation ; ceci témoigne de l'importance croissante de la métrologie au niveau international. Il note que, suite à l'introduction de l'arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA), le Comité international a entrepris de

mettre à jour son rapport sur les besoins internationaux futurs dans le domaine de la métrologie, et il accueille favorablement tout commentaire qui serait fait au cours de la présente session dans le domaine de la photométrie et de la radiométrie. M. Quinn souhaite la bienvenue en particulier à M. Schmutz, directeur du World Radiation Center (WRC), et rappelle que la 21^e Conférence générale a adopté en 1999 la Résolution 4, afin d'attirer l'attention des gouvernements sur la nécessité d'utiliser les unités du Système international d'unités (SI) dans les mesures liées à l'environnement. Il exprime aussi son intention de diffuser à l'avenir sous forme électronique, dans la mesure du possible, les documents de travail des réunions qui se tiendront au BIPM ; les documents de travail des Comités consultatifs seront accessibles sur le serveur du BIPM, avec un mot de passe.

2 PROGRÈS FAITS DANS LES LABORATOIRES

M. Wallard dit que le questionnaire sur l'état d'avancement des activités et les travaux à venir dans les laboratoires (CCPR/01-07) a, entre autres, pour but de stimuler une coopération active entre les laboratoires, afin de partager les connaissances et les ressources avant d'entreprendre de nouvelles activités. La plupart des laboratoires ont présenté des rapports écrits, il invite donc les représentants de ces laboratoires à les présenter.

M. Blattner signale que le laboratoire suisse a changé de nom : il est maintenant dénommé METAS ; il souligne par ailleurs l'importance des mesures utilisant des fibres optiques. Le METAS aimerait que l'on organise des comparaisons de mesureurs de puissance de fibres optiques et de dispersion chromatique.

M. Theron indique que le CSIR établit maintenant la traçabilité de ses mesures grâce à un radiomètre cryogénique ; il envisage, cependant, d'apporter des améliorations au radiomètre qui fonctionne à la température ambiante. Le CSIR dispose d'un nouveau spectrophotomètre de référence. Le laboratoire éprouve le besoin d'établir la traçabilité des mesures de brillance et d'indices de réfraction et a aussi besoin de lasers à utiliser dans le domaine médical.

M. Lin dit que le NIM a amélioré ses étalons de température de couleur, fondés sur un corps noir, et qu'il met au point des étalons pour le facteur de

réflexion diffuse sous incidence normale ; le NIM collabore à la mise au point d'étalons pour l'ultraviolet fondés sur le rayonnement d'un synchrotron. Les mesures de diodes électroluminescentes prennent de plus en plus d'importance.

M. Corróns dit que l'IFA-CSIC a mis au point de nouveaux étalons de sensibilité spectrale dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm, étalons fondés sur des récepteurs à piège au silicium et sur le radiomètre cryogénique. Un nouveau goniophotomètre a été fabriqué pour des mesures de flux lumineux.

M. Ikonen dit que l'HUT a consacré beaucoup d'efforts à étalonner des radiomètres dans l'ultraviolet et à améliorer l'exactitude des mesures dans l'ultraviolet au moyen de radiomètres à filtre. Il note l'importance d'étalonner les longueurs d'onde avec exactitude (des erreurs pouvant atteindre 0,5 nm ont été constatées) et signale que la stabilité des filtres est décevante. En réponse à une question de M. Wende au sujet de l'accord entre les mesures actuelles et les précédentes mesures de rendement quantique du silicium aux longueurs d'onde dans l'ultraviolet, il dit que l'HUT et la PTB comparent actuellement leurs résultats.

M. Lee dit que le KRISS progresse dans la mise au point des échelles d'éclairement énergétique spectral fondées sur un corps noir à haute température.

M. Sapritsky note que le VNIIOFI a mis au point de nouvelles sources à corps noir prometteuses à base de matériaux eutectiques, de carbures d'iridium et de rhénium. Le VNIIOFI a collaboré avec des experts en thermométrie du NMIJ/AIST (précédemment dénommé NRLM) afin de déterminer la stabilité et la reproductibilité des points de fusion et de congélation de ces matériaux ; les résultats seront présentés à TempMeko en juin 2001.

M. Metzdorf dit que c'est maintenant la PTB à Berlin qui est responsable des étalons de sensibilité spectrale. La photométrie des diodes électroluminescentes prend de plus en plus d'importance. Le laboratoire progresse dans la mise au point d'un robot complexe pour la goniophotométrie. Il prend acte du fait que le CCPR a élargi ses centres d'intérêt au delà de ses domaines d'activités traditionnels et suggère que les questionnaires à venir comprennent des questions sur les fibres optiques et les mesures relatives aux matériaux. M. Wende souligne que les mesures de sensibilité spectrale à la PTB Berlin sont maintenant fondées sur des radiomètres cryogéniques à substitution électrique servant de récepteurs étalons primaires dans tout le

domaine spectral allant du proche infrarouge jusqu'aux rayons x durs, c'est-à-dire le domaine des énergies photoniques comprises entre 0,7 eV et 10 keV. Le rayonnement synchrotron monochromatique est utilisé pour les énergies photoniques supérieures à 3 eV, et les rayonnements laser pour les énergies inférieures à 5,4 eV. Pour étendre le domaine couvert par le radiomètre cryogénique dans le domaine de l'infrarouge jusqu'à 10 μm , on se sert d'un nouvel équipement utilisant un arc à plasma à haute densité de puissance (25 kW/cm^3) comme source de rayonnement infrarouge. Cette source permet d'obtenir des flux de rayonnement monochromatique d'un ordre de grandeur supérieur à celui des sources infrarouges classiques. La PTB Berlin a aussi mis au point des équipements pour aider l'industrie des semi-conducteurs dans le domaine de la photolithographie en dessous de 200 nm, en particulier pour les rayonnements à 157 nm et à 13 nm. À 13 nm, l'incertitude relative typique des mesures du facteur de réflexion des multicouches molybdène-silicium utilisées pour la projection de structures de masques sur des supports de silicium est de 0,2 %.

Mme Zwinkels dit que le NRC a terminé la mise au point de radiomètres à sphère comme étalons de transfert pour la sensibilité spectrale dans le proche infrarouge. Un corps noir au point fixe du cuivre a été utilisé pour améliorer les échelles de luminance énergétique spectrale du NRC. Les mesures spectrophotométriques ont été améliorées en mettant à niveau l'instrument de référence du NRC et la technique de transformée de Fourier dans l'infrarouge a été associée à de meilleurs récepteurs pour obtenir des mesures plus exactes dans le domaine situé entre 2 μm et 25 μm . M. Boivin estime que le CCPR devrait être plus actif dans ce domaine afin d'étayer les déclarations d'incertitudes dans l'annexe C du MRA.

M. Gardner mentionne dans son rapport que le CSIRO a amélioré sa compréhension des incertitudes intervenant dans les mesures de propriétés telles que la couleur, qui ne peuvent pas être comparées directement mais doivent être reliées aux incertitudes des échelles spectrales. De nouveaux calculs sur les corrélations éventuelles dans les échelles spectrales primaires sont présentés.

Mme Johnson présente les nombreux progrès réalisés au NIST dans le domaine de la radiométrie. Elle souligne les applications aux étalonnages du fond de rayonnement aux infrarouges, de niveau bas, et aux mesures dans l'espace ; des problèmes spécifiques d'alignement ont été observés lors du transfert d'étalonnages à des instruments de grande dimension. L'appareillage SIRCUS fondé sur un laser a été utilisé pour l'étalonnage de caméras à dispositif de transfert de charge (CCD), et sera utilisé pour

étalonner la réponse de photomètres. Dans un proche avenir, les étalonnages d'éclairement énergétique spectral seront directement traçables au radiomètre cryogénique au moyen de techniques de radiométrie à filtre permettant d'établir la température d'un corps noir de référence, avec des incertitudes qui devraient être trois ou quatre fois meilleures que celles obtenues lors des précédentes déterminations. Les équipements synchrotron du NIST ont été récemment mis à niveau pour obtenir une incertitude de 0,5 % pour la sensibilité spectrale dans le domaine de longueurs d'ondes comprises entre 125 nm et 320 nm. M. Day présente les travaux à venir au NIST Boulder. Le NIST a besoin d'étalonner des lasers à excimère à 157 nm et à 190 nm, et serait heureux de collaborer avec d'autres laboratoires dans ce domaine. Les principales activités d'étalonnage concernent les lasers de puissance élevée (jusqu'à 10 kW) et les communications par fibre optique. Un récepteur pyroélectrique spécialement conçu a été fabriqué pour obtenir une exactitude de 0,1 % dans le proche infrarouge. La réponse en fréquence du récepteur peut maintenant être déterminée jusqu'à 50 GHz, et le besoin pourrait se faire sentir d'aller jusqu'à 110 GHz. M. Nettleton demande quels sont les progrès réalisés au NIST dans les mesures liées à l'apparence ; M. Day lui conseille de s'adresser à M. Nadal du NIST pour de plus amples détails. Mme Johnson annonce que Bob Saunders, qui a été un des délégués du NIST lors de plusieurs sessions du CCPR, va prendre sa retraite. Les participants font circuler une lettre de remerciements pour signature.

M. Fox présente les progrès réalisés sur le récepteur absolu à rayonnement au NPL. On pense maintenant que l'écart de l'ordre de 0,1 % constaté lors des mesures est lié au revêtement noir du radiateur dont le facteur de réflexion est élevé en incidence rasante ; ce problème devrait être résolu en utilisant de nouveau la peinture noire Nextel. Un radiomètre cryogénique couplé à un monochromateur a été mis au point ; il présente un bruit palier de 10 pW. Des mesures de radiométrie fondées sur des lasers sont maintenant disponibles dans un domaine de longueurs d'ondes étendu et accordable. Le NPL met au point un radiomètre à filtre utilisant une optique imageante afin de mesurer les températures thermodynamiques aux points de congélation. Des écarts de l'ordre de 0,5 % entre les valeurs du facteur de réflexion mesurées à l'aide d'une sphère ou d'un goniomètre ont été étudiés. De nouveaux verres très stables ont été mis au point pour les radiomètres à filtre aux longueurs d'onde dans l'ultraviolet. M. Boivin s'interroge sur leur nécessité, car les corps noirs à haute température peuvent être correctement caractérisés dans le visible. M. Fox explique que les mesures dans l'ultraviolet sont nécessaires pour vérifier l'émissivité de la cavité dans

l'ultraviolet. M. Wende est d'accord avec lui, et mentionne que les cavités à haute température ne sont généralement pas isothermes et que leur émissivité doit donc être caractérisée dans l'ultraviolet. M. Fox présente aussi les progrès réalisés dans le domaine de la spectrométrie par transformée de Fourier et mentionne un déménagement des équipements au NPL.

M. Bastie dit que le BNM a mis au point des radiomètres à filtre avec des photodiodes GaAsP de 10 mm² pour réaliser les échelles d'éclairement énergétique spectral dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm. Les autres activités concernent des modifications apportées au système optique pour les mesures de sensibilité spectrale afin de permettre de comparer le récepteur de référence à cavité pyroélectrique avec les récepteurs à piège. En réponse aux questions de M. Boivin sur l'uniformité de la réponse des récepteurs GaAsP, M. Bastie dit que les meilleurs d'entre eux ont une réponse qui varie d'environ 1 % au centre, mais se dégrade de 10 % à 15 % à la périphérie. L'uniformité est toutefois améliorée dans une configuration à piège.

M. Bittar dit que le MSL continue à utiliser des récepteurs à piège à cinq éléments comme étalons de référence pour caractériser les radiomètres à filtre. Le MSL a récemment effectué une nouvelle réalisation de sa candela, à partir d'un radiomètre cryogénique ; ceci a entraîné un décalage de la valeur de 0,96 %. Les travaux en cours sont centrés sur les échelles d'éclairement énergétique spectral dans l'ultraviolet et M. Bittar note que les récepteurs Hamamatsu de 18 mm² ne sont pas aussi spéculaires que les récepteurs plus petits de type S1337. M. Gardner dit que le CSIRO a réduit la composante de réflexion diffuse des anciens récepteurs plus grands en les nettoyant et a ainsi restauré l'accord avec les mesures orthogonales obtenues en utilisant les pièges à transmission à quatre éléments. M. Bittar note que la qualité de la surface des récepteurs à aire large ne paraît pas aussi bonne à vue d'œil.

M. Saito dit que l'ETL fait maintenant partie d'une organisation plus large connue sous le nom de NMIJ, le National Metrology Institute of Japan. Il présente des résultats montrant l'importance de caractériser la divergence du faisceau lorsque l'on compare les réponses de récepteurs au silicium, en particulier aux longueurs d'onde situées dans le domaine compris entre 10 nm et 200 nm, indépendamment de la polarisation du faisceau incident. En réponse à M. Wende, il dit qu'un radiomètre cryogénique à ³He, fondé sur un cryostat du commerce, est en cours de construction dans son laboratoire.

M. Dézsi dit qu'il n'a pas reçu le questionnaire du CCPR. L'OMH s'est consacré principalement aux comparaisons de mesures, et à la mise au point de radiomètres imageants utilisant des récepteurs en germanium et des

récepteurs en InGaAs pour la thermométrie. Il n'a pas participé à la comparaison clé CCPR-K6 en raison de problèmes avec son instrument, mais il participe à une comparaison de mesures de facteur de transmission régulière de l'EUROMET.

M. van der Ham signale que le NMi VSL étalonne maintenant la réponse des radiomètres à filtre directement par rapport à un radiomètre cryogénique fondé sur un monochromateur. M. Boivin demande si les écarts importants de la réponse des récepteurs platine-silicium, observés lors de la comparaison bilatérale avec la PTB, ont été résolus. M. van der Ham répond que les laboratoires sont parvenus à un accord ; les problèmes venaient des échelles et pas des récepteurs. M. Fox dit que les différences étaient dues à des erreurs de longueurs d'onde. Le NMi VSL met au point de nouveaux équipements pour l'éclairement énergétique spectral qui seront prêts dans deux ans.

M. Nemeček dit que le SMU s'intéresse principalement à l'étalonnage de la sensibilité spectrale des pyromètres, et aux dispositifs tels que les atténuateurs et les réflectomètres optiques dans le domaine temporel utilisés pour les télécommunications. Le SMU cherche actuellement à faire accréditer ses services d'étalonnage.

Mme Rastello prie le CCPR d'excuser l'absence d'un rapport écrit. L'IEN collabore avec le NIST et avec d'autres laboratoires de l'EUROMET sur des techniques de corrélation de photons pour l'étalonnage à de faibles niveaux de lumière. L'IEN collabore aussi avec le NPL à la mise au point d'un récepteur au silicium amélioré. Un récent programme du laboratoire concernait la sauvegarde d'éléments du patrimoine culturel italien, comme des fresques et d'autres reliques.

M. Xu souligne que le PSB établit la traçabilité de ses échelles de sensibilité spectrale à un radiomètre cryogénique. La radiométrie dans le proche ultraviolet utilisant des récepteurs à large bande reste une priorité. Le PSB a mis au point de nouveaux équipements pour étalonner des lampes d'éclairement énergétique spectral et pour des mesures de facteur de transmission spectrale. Ces dernières mesures seront utilisées lors de leur participation à la comparaison clé CCPR-K6.

M. Türkoglu dit que l'UME possède maintenant un radiomètre cryogénique en état de fonctionnement et qu'il a établi une échelle de sensibilité spectrale dans le visible, fondée sur un récepteur à piège. L'UME effectue actuellement une comparaison d'intensité lumineuse et de flux lumineux avec la PTB. Les domaines qui lui semblent importants sont l'étalonnage de

réflectomètres optiques dans le domaine du temps et la mesure de facteur de rétro réflexion.

M. Matamoros dit que le CENAM possède un radiomètre cryogénique opérationnel. Des problèmes de manque de stabilité ont été observés lors de la comparaison effectuée récemment avec la PTB. Le CENAM met au point une échelle de flux lumineux fondée sur la technique absolue de la sphère intégrante de Y. Ohno et sur leur aptitude à étalonner des radiomètres dans l'ultraviolet.

M. Schmutz note que l'Organisation météorologique mondiale (OMM) conserve la référence radiométrique mondiale mais que cette organisation n'a pas de lien officiel avec les organes de la Convention du Mètre pour le moment ; un tel lien devrait être établi à l'avenir. Sa participation à cette session du CCPR a pour but d'établir un lien administratif entre l'OMM et le CCPR. Le Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos, World Radiation Center (PMOD/WRC) conserve et utilise, pour l'OMM, l'étalon primaire de pyrohéliométrie pour des niveaux de puissance correspondant à celle du soleil. Récemment on a demandé à l'OMM d'installer des équipements afin d'étalonner les géopyromètres et les radiomètres à large bande dans l'ultraviolet dans le domaine des puissances correspondant à celles de l'observation solaire, et il souhaiterait établir une collaboration dans ce domaine.

M. Köhler est invité à présenter les progrès réalisés au BIPM. Il dit qu'il présentera ceux-ci plus en détail ultérieurement sous un autre point de l'ordre du jour. Il note que les réponses au questionnaire sont difficiles à résumer. Les réponses convergent pour exprimer une préoccupation quant aux efforts consacrés aux comparaisons clés, et un intérêt croissant pour les étalonnages dans l'ultraviolet. Les étalonnages dans les domaines de la spectrophotométrie et des fibres optiques sont aussi largement mentionnés. Les réponses reflètent un désir de disposer de meilleures lampes, de meilleurs récepteurs de transfert et, dans une moindre mesure, de meilleures mesures dans l'infrarouge. Aucun laboratoire n'a exprimé d'intérêt pour améliorer les mesures en photométrie, malgré le peu d'amélioration de l'accord entre les laboratoires constaté lors des comparaisons.

Après une discussion générale sur des propositions d'établir de nouveaux groupes de travail dans les domaines de l'infrarouge, des fibres optiques, des technologies de pointe et de l'ultraviolet, M. Wallard encourage les membres à réfléchir à ces questions.

3 DISCUSSION SUR L'ÉTAT D'AVANCEMENT ET LES RÉSULTATS DES COMPARAISONS CLÉS

3.1 Comparaison clé d'éclairement énergétique spectral CCPR-K1

3.1.1 Comparaison clé CCPR-K1.a, dans le domaine situé entre 250 nm et 2500 nm

M. Fox présente le document CCPR/01-13. Des treize laboratoires participant à la comparaison clé en plus du NPL qui était le laboratoire pilote, quatre seulement ont effectué les mesures à ce jour. La comparaison a été retardée en raison de problèmes de qualité de l'eau avec le corps noir à haute température, qui est l'instrument de référence. Elle risque aussi d'être affectée par le déménagement du laboratoire prévu en août-septembre 2001. Si nécessaire, le NPL ajoutera une étape supplémentaire à la comparaison, s'il faut effectuer d'autres mesures après le déménagement, et si ces mesures indiquent une différence systématique par rapport aux mesures effectuées avec les équipements actuels. En réponse à Mme Johnson, M. Fox dit que les écarts seront étalonnés et les mesures corrigées d'après les échelles actuelles du NPL. Un projet A de rapport devrait être disponible aux alentours de mars 2002.

3.1.2 Comparaison clé CCPR-K1.b, dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm

M. Metzdorf indique que le questionnaire sur la participation à la comparaison a été envoyé et que la date limite de réponse a été fixée au 31 mai 2001. Le chevauchement avec la comparaison clé dans le domaine situé entre 250 nm et 2500 nm est considéré comme un avantage, parce que le spectre du deutérium comprend des raies de longueur d'onde supérieure à 360 nm. M. Metzdorf dit qu'un article sera soumis à la conférence NEWRAD au sujet de la procédure de sélection des lampes. Il n'a pas été possible de mettre au point des lampes asservies sur un récepteur. Il suggère qu'un récepteur en carbure de silicium pourrait être utilisé pour contrôler la dérive à long terme ; il serait placé sur le chemin du faisceau, avant et après une série de mesures. Il se demande si le domaine spectral compris entre 190 nm et 360 nm ne serait pas mieux approprié pour éviter le problème des raies et étendre les mesures à des longueurs d'ondes un peu plus courtes. Mme Johnson préfère conserver le domaine compris entre 200 nm et 400 nm, car c'est celui que couvrent les services proposés par le NIST. M. Nettleton

n'est pas très favorable à passer à des longueurs d'ondes plus courtes que 200 nm et il préfère conserver la limite supérieure de 400 nm ; un seul point de ce domaine est susceptible de coïncider avec les raies d'émission du deutérium et ce problème pourrait être réduit en précisant la largeur de bande de mesure. Mme Zwinkels demande s'il serait possible de participer à la comparaison dans un domaine restreint. M. Metzdorf répond que la limite supérieure recouvre déjà le domaine couvert par la comparaison de lampes à tungstène et s'inquiète de l'augmentation de la charge de travail que cela occasionnerait. M. Köhler répond que les dates des mesures pour les deux domaines spectraux se chevauchent déjà.

M. Wallard résume la discussion, et constate que les participants sont d'accord pour conserver le domaine compris entre 200 nm et 400 nm ; la question de la participation à un domaine restreint sera examinée une fois que toutes les réponses seront connues. Cinq laboratoires avaient déjà fait part de leur intérêt à la PTB ; parmi ceux-ci, un seul était intéressé à la fois par la mesure d'une lampe FEL et des lampes à deutérium prévues pour cette comparaison. M. Nettleton indique qu'il n'est utile d'inclure ce type de lampes que si l'on réussit à stabiliser le récepteur ; le NPL a une certaine expérience dans ce domaine et pourrait collaborer avec la PTB.

3.2 Comparaison clé de sensibilité spectrale CCPR-K2

3.2.1 Comparaison clé CCPR-K2.a, dans le domaine situé entre 900 nm et 1600 nm

Mme Johnson dit que les quatre séries de mesures sont terminées ; les photodiodes semblent avoir fait preuve de stabilité. Les résultats ont été analysés, et le projet A de rapport devrait être disponible en octobre 2001. En réponse à une question de M. Ikonen, M. Nettleton rappelle au comité la décision qui avait été prise antérieurement d'utiliser la moyenne pondérée des mesures à chaque longueur d'onde pour calculer les valeurs de référence.

3.2.2 Comparaison clé CCPR-K2.b, dans le domaine situé entre 300 nm et 1000 nm

M. Goebel fait part de progrès satisfaisants. Les récepteurs de transfert ont été envoyés pour la première étape de la comparaison en septembre 2000 et ont été retournés en février 2001. Un laboratoire a retardé sa participation en raison d'un problème survenu sur son équipement de mesure de sensibilité spectrale. Neuf autres laboratoires ont participé à la seconde étape de la comparaison et l'on attend le retour des récepteurs.

3.2.3 Comparaison clé CCPR-K2.c, dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm

M. Wende présente des transparents de M. Rabus, le coordinateur de cette comparaison. Les photodiodes Hamamatsu S5227 ont toutes été réceptionnées et chaque participant devrait recevoir un récepteur à piège et trois récepteurs individuels. Cependant, seulement vingt-deux des cent quarante photodiodes platine-silicium ont été reçues à ce jour, en raison d'un problème de fabrication à l'ETH. Le protocole de la comparaison a été approuvé par le Groupe de travail sur les comparaisons clés, mais il n'a pas encore été distribué en raison de l'incertitude sur la date de livraison des récepteurs restants. On espère que la comparaison pourra débuter en mars 2002 et se terminer en février 2003. M. Wende dit qu'il n'existe pas d'autres récepteurs platine-silicium ayant une stabilité comparable. M. Boivin demande si le BNM a déterminé la stabilité des photorécepteurs GaAsP dans l'ultraviolet. M. Bastie répond que les photorécepteurs sont stables à 0,2 % près, après vieillissement. M. Wende rappelle au comité que les photorécepteurs platine-silicium sont utilisés depuis longtemps ; ils restent le meilleur choix de récepteurs aux courtes longueurs d'onde en particulier.

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

M. Metzdorf dit que le protocole de la comparaison clé CCPR-K5 est encore en discussion, car il est difficile de déterminer quels sont les artefacts convenables. Il faut choisir entre les étalons optiques Spectralon, le verre opale ou des mosaïques. Des comparaisons bilatérales entre le NIST, le NRC et la PTB ont montré un accord satisfaisant avec le Spectralon 99. Mme Zwinkels dit que le NRC a obtenu de bons résultats avec le verre opale de fabrication russe, qui a montré une uniformité élevée et une photoluminescence négligeable, lorsque le verre est soigneusement poli avant sa première utilisation. Les mesures à la PTB avec le Spectralon 99 étaient instables aux courtes longueurs d'onde. M. Metzdorf est d'accord, et mentionne une dégradation pouvant atteindre 15 % à 400 nm. Des échantillons uniformes conservés dans le noir pendant neuf mois ont varié de 5 %. Mme Johnson dit qu'il est connu que le défaut de propreté du Spectralon pose des problèmes pour les mesures dans l'ultraviolet. La date de début de la comparaison est maintenant fixée à octobre 2001. M. Bittar demande s'il est encore possible de s'y joindre.

3.4 Comparaison clé de facteur de transmission spectrale régulière CCPR-K6

M. Bastie explique que quinze des dix-huit séries de filtres ont été retournées au BNM en décembre 2000. Le BNM termine les mesures de retour et le projet A de rapport devrait être prêt en octobre 2001. Il note que cette comparaison comprend des participants qui sont observateurs et non pas membres du CCPR.

3.5 Discussion

M. Wallard rappelle que le CCPR avait décidé précédemment que seuls les résultats obtenus par ses membres pouvaient participer à la détermination de la valeur de référence de la comparaison clé. M. Quinn suggère que tous les participants ayant la qualité d'experts devraient pouvoir y contribuer, à condition que leur participation soit approuvée avant le début de la comparaison. M. Nettleton prend acte de cette suggestion qui diffère de la décision prise antérieurement : deux observateurs s'étaient joints à la comparaison d'intensité lumineuse après qu'elle ait commencé. Le comité estime que la section 5 du document de directives pour les comparaisons clés du CIPM, lié à l'arrangement de reconnaissance mutuelle, est suffisamment claire ; le groupe de travail décide donc des participants qui seront admis à se joindre à la comparaison clé avant qu'elle ne débute et tous les participants contribueront à l'analyse des résultats, qu'ils soient membres ou observateurs du CCPR.

Pour ce qui est de la participation tardive à la comparaison du facteur de réflexion spectrale diffuse, il est décidé que le MSL peut demander à se joindre à la comparaison puisque le protocole n'est pas encore établi. Le NIM est aussi intéressé ; M. Bittar et M. Lin sont priés de contacter directement l'organisateur, M. Early du NIST.

La question de la publication des résultats est soulevée. M. Köhler rappelle que les résultats figurant dans le projet A de rapport peuvent être portés à la connaissance de tous, seulement si tous les participants sont d'accord et si les résultats sont anonymes.

M. Wallard remercie tous les participants pour les efforts qu'ils ont consacrés à ces comparaisons, et en particulier les organisateurs et les laboratoires pilotes.

4 ÉTAT D'AVANCEMENT ET RÉSULTATS DES COMPARAISONS SUPPLÉMENTAIRES

4.1 Comparaison supplémentaire de luminance énergétique spectrale CCPR-S1

M. Sapritsky dit que les mesures progressent et que le projet A de rapport devrait être prêt en juillet 2001. Le NPL pourrait avoir du retard en raison du déménagement dans son nouveau laboratoire ; si tel était le cas, M. Sapritsky préférerait retarder la publication du rapport plutôt que de voir le NPL se retirer de la comparaison et entreprendre une comparaison bilatérale peu après la comparaison principale.

4.2 Comparaison supplémentaire d'aires d'ouverture CCPR-S2

Mme Johnson dit que des artefacts usinés au tour et avec un outil au diamant ont été distribués. Deux laboratoires supplémentaires vont participer à la comparaison. Les mesures au NRC ont été retardées et tous les laboratoires ayant mesuré les artefacts n'ont pas encore soumis leurs résultats. On observe que certaines ouvertures ont été endommagées.

4.3 Comparaison supplémentaire de radiomètres cryogéniques CCPR-S3

M. Köhler note que l'ETL (maintenant dénommé le NMIJ) et l'IEN entreprennent une nouvelle série de mesures. M. Gardner dit que deux des laboratoires de l'APMP, le NIM et le PSB, souhaitent répéter cette comparaison au niveau régional, mais il est jugé préférable que ces deux laboratoires s'adressent directement au BIPM. Cette proposition est approuvée.

5 ÉTAT D'AVANCEMENT ET RÉSULTATS DES COMPARAISONS DES ORGANISATIONS RÉGIONALES DE MÉTROLOGIE

5.1 APMP

M. Gardner dit que l'APMP a terminé la comparaison régionale correspondant à la comparaison clé CCPR-K3.b de sensibilité lumineuse. Le CSIRO en est le laboratoire pilote. Deux laboratoires, le CSIRO et le MSL, ont participé à la fois à la comparaison organisée par le Comité consultatif et à celle organisée au niveau régional par l'APMP ; les résultats obtenus dans le cadre des deux comparaisons étaient cohérents, compte tenu d'un récent changement de la réalisation de la candela par le MSL. Les autres participants ont donc pu être reliés de manière fiable à la valeur de référence de la comparaison clé. Le BIPM a calculé de son côté les degrés d'équivalence ; ces valeurs sont en accord avec les résultats publiés dans le rapport. Le Groupe de travail sur les comparaisons clés a reçu le rapport de la comparaison et a approuvé sa publication dans l'annexe B du MRA sous la référence APMP.PR-K3.b, sous réserve que le NPL (Inde) soit mentionné sous le sigle NPLI et que le MSL fournisse les informations relatives à sa déclaration d'incertitudes au Groupe de travail sur les comparaisons clés.

M. Gardner dit qu'aucune autre comparaison régionale n'est envisagée. Les quelques laboratoires de l'APMP qui demandent à être reliés aux valeurs de référence des comparaisons clés doivent être orientés vers des comparaisons bilatérales, parce que la majorité des laboratoires de l'APMP qui sont plus intéressés par la radiométrie que par la photométrie fondamentale sont membres du CCPR.

5.2 SIM

M. Matamoros dit que le SIM a entrepris une comparaison de facteur de transmission spectrale et demande si elle pourrait être reliée à la comparaison clé CCPR-K6. Mme Zwinkels signale que des artefacts de routine et un protocole différent sont utilisés pour les étalonnages, mais ils sont effectués en aveugle. M. Wallard dit que le SIM doit présenter un rapport au Groupe de travail sur les comparaisons clés et demande qu'un lien soit établi entre les deux comparaisons, si le Groupe de travail sur les comparaisons clés juge que cela est possible.

5.3 EUROMET

M. Ikonen présente une liste d'activités de l'EUROMET qui a effectué au niveau régional des comparaisons correspondant aux comparaisons du CCPR : CCPR-K1.a, -K2.a, -K2.b, -K3.a, -K4, -K5 et -K6 ; certaines de ces comparaisons comprenaient jusqu'à huit laboratoires membres du CCPR et aptes à établir la liaison avec les valeurs de référence des comparaisons clés. Une discussion a lieu au sujet de la nomenclature qu'il convient d'utiliser pour les comparaisons répétant la comparaison CCPR-K2.a, lesquelles ont été organisées sous forme de deux comparaisons bilatérales. Ces comparaisons sont maintenant dénommées EUROMET.PR-BK2.a1 et EUROMET.PR-BK2.a2.

5.4 SADC MET

M. Theron dit que seule l'Afrique du Sud est active dans le domaine de la photométrie et de la radiométrie au sein de SADC MET.

6 QUESTIONS DIVERSES RELATIVES AUX COMPARAISONS

Le président mentionne le document de M. Parr (CCPR/01-4) dans lequel il suggère de surveiller en permanence les besoins en matière de comparaisons dans des domaines qui ne sont pas couverts traditionnellement par le CCPR. Le comité approuve la suggestion d'inclure une activité de veille dans les missions du Groupe de travail sur les comparaisons clés.

M. Fox demande comment classer correctement les deux comparaisons bilatérales de facteur de transmission spectrale organisées par le NPL. Elles se déroulent dans le cadre du CCPR, mais elles se situent au niveau inter-régional et en-dehors des domaines de longueurs d'onde couverts par la comparaison clé du CCPR. Les protocoles de ces comparaisons ont été notifiés au secrétaire exécutif du CCPR avant le début des mesures. Une discussion générale s'ensuit. Il est décidé que pour qu'une comparaison soit considérée comme comparaison du CCPR, il faut que tous les membres du CCPR soient invités à y participer. Les deux comparaisons dont il est question sont plutôt considérées comme des comparaisons pilotes ayant pour

but de vérifier la technologie en usage dans de nouveaux domaines, et elles n'ont pas leur place dans l'annexe B. Quand on se réfère à la comparaison pour étayer les déclarations de l'annexe C, on peut mentionner que l'on utilise intégralement le protocole des comparaisons du CCPR dans le champ « commentaires ». Le CCPR encourage la pratique de notifier tous les projets de comparaisons et leurs protocoles au secrétaire exécutif avant qu'elles ne débutent. M. Boivin préférerait que cette pratique ne soit pas obligatoire, et que les résultats des comparaisons publiés continuent à être reconnus comme fondement technique servant à étayer les déclarations soumises à l'annexe C.

7 ÉTAT D'AVANCEMENT DE LA BASE DE DONNÉES DU BIPM SUR LES COMPARAISONS CLÉS

Mme Thomas présente les annexes B et C de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés aux participants, et en particulier les moteurs de recherche proposés. La possibilité d'inclure des liens aux sites web des laboratoires est évoquée. Mme Thomas demande aux laboratoires de l'informer directement des fautes typographiques constatées dans l'annexe C et des mises à jour des informations. Tout changement à la liste des aptitudes proprement dite doit être approuvé par le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB). Mme Zwinkels demande pourquoi il n'y a que des informations concernant l'APMP et l'EUROMET dans l'annexe C. Mme Thomas répond que seules ces organisations régionales ont terminé l'examen des aptitudes à temps pour la réunion de mars 2001 du JCRB, et en fait les informations n'ont été accessibles sur le serveur du BIPM qu'une semaine avant la réunion du CCPR. Mme Thomas présente aussi la matrice d'équivalence pour les comparaisons clés et montre comment les résultats des comparaisons régionales et bilatérales subséquentes seront ajoutés à la matrice.

8 RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LES COMPARAISONS CLÉS

M. Wallard dit que le Groupe de travail sur les comparaisons clés s'est réuni la veille de la présente session du CCPR et qu'il a un certain nombre de questions à soumettre au CCPR pour approbation ou discussion. Les questions qui ne sont pas traitées à un autre point de ce rapport sont mentionnées ci-dessous.

8.1 Comparaisons régionales

La comparaison clé APMP.PR-K3.b est la première à être intégralement reliée à une comparaison du CCPR. Il faut noter que certains participants ne sont pas signataires du MRA, car leur État ne figure ni parmi les membres de la Convention du Mètre ni parmi les associés à la Conférence générale. Considérant que ces participants sont susceptibles de signer le MRA ultérieurement, le Groupe de travail sur les comparaisons clés a examiné le rapport avec leurs résultats, mais les degrés d'équivalence ne seront calculés que pour les signataires du MRA. Le rapport complet sera toutefois inclus dans l'annexe B. Le CCPR approuve cette procédure.

8.2 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages

Dans la première version de la base de données de l'annexe C, les détails des déclarations d'incertitude (variation de l'incertitude avec le mesurande, la longueur d'onde etc.) étaient insérés comme des commentaires. Compte tenu de l'importance de ces informations, il est recommandé de les joindre directement au domaine d'incertitude. Mme Thomas accepte d'appliquer ces changements aux données existantes ; les laboratoires doivent être informés de cette demande pour l'inclusion des données ultérieures.

Une discussion générale sur l'exactitude des déclarations d'incertitudes s'ensuit, en particulier quand le domaine d'incertitudes déclaré couvre un domaine de longueurs d'ondes. Les incertitudes pour les mesures d'éclairement énergétique spectral d'une lampe à deutérium dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm varient beaucoup. Elles ne sont pas linéaires en raison de problèmes liés à la raie d'émission à 370 nm. M. Gardner observe que déclarer de manière précise les incertitudes des valeurs spectrales impliquerait de créer une entrée pour chaque longueur d'onde, ce qui n'est pas réalisable ; des exceptions telles que celle décrite à 370 nm peuvent être

identifiées dans la colonne consacrée aux commentaires. M. Boivin suggère de préciser les incertitudes minimale et maximale pour le domaine en question, mais M. Köhler remarque que la structure des tableaux sur les aptitudes repose sur le principe d'une variation linéaire de l'incertitude en fonction de la longueur d'onde lorsque le domaine est spécifié. M. Nettleton dit que l'annexe C ne doit pas être considérée comme un document scientifique, mais comme un guide pour l'industrie et les organismes de régulation.

Les participants sont d'avis que les valeurs spectrales (ou les autres valeurs pour lesquelles un intervalle d'incertitude est déclaré) doivent être réparties en plusieurs sous-domaines, l'incertitude étant traitée comme si elle variait de manière quasi-linéaire sur chacun d'entre eux. Les exceptions peuvent être signalées dans la colonne de commentaires ; les laboratoires sont aussi encouragés à y inclure des liens à leur site web pour de plus amples détails.

8.3 Examen futur des déclarations d'aptitudes

Le Groupe de travail sur les comparaisons clés a demandé au BIPM de conserver et de donner accès, de manière restrictive, à des copies de tous les fichiers complets sur les aptitudes, y compris les colonnes de commentaires utilisées pour leur examen et qui ne figurent pas dans les listes accessibles au public. M. Gardner suggère d'aller plus loin : la procédure d'examen serait plus facile si les fichiers de déclarations étaient conservés sur le serveur du BIPM. Ils pourraient être structurés de manière telle que seul le laboratoire concerné pourrait modifier les fichiers en question, l'accès en lecture seule serait accordé à l'équipe chargée de l'examen au niveau régional, puis à des équipes inter-régionales et enfin au JCRB. Cela éviterait de faire circuler plusieurs fichiers, portant souvent le même nom. Mme Thomas pense que ce serait utile et elle étudiera la mise en place de ce système.

8.4 Traitement unifié des résultats des comparaisons clés

M. Wallard fait part d'une nouvelle initiative du BIPM consistant à fournir un logiciel pour le traitement des résultats des comparaisons clés. Mis au point par un petit groupe de mathématiciens et de statisticiens sélectionnés dans le milieu de la métrologie, ce logiciel vérifié avec soin permettra au laboratoire pilote d'entrer les informations relatives aux résultats, aux incertitudes et aux corrélations connues, de permettre le choix du type de moyenne utilisée et de traiter les résultats. Le groupe chargé de ce logiciel devra aussi considérer la question du traitement des valeurs spectrales du

CCPR. Le président fait part de certaines préoccupations sur le traitement des résultats des comparaisons clés exprimées par M. Parr dans une note au groupe de travail. En réponse aux diverses questions, M. Köhler dit que ce logiciel est destiné au laboratoire pilote, qui doit prendre les décisions quant aux méthodes à utiliser et identifier les problèmes relatifs à la comparaison. Le logiciel doit offrir la possibilité d'entrer ces choix, puis doit ensuite traiter les résultats selon des procédures documentées et vérifiées, de manière à éviter les erreurs d'arrondi et les autres problèmes observés dans le passé. La robustesse du logiciel sera vérifiée à partir des données des comparaisons existantes. Mme Thomas est d'avis que ce logiciel ne remplacera pas les connaissances scientifiques, mais il permettra de garder trace au BIPM des méthodes utilisées et des décisions qui ont été prises, par qui et quand, lors du traitement des résultats des comparaisons. La méthode d'analyse utilisée dans ce logiciel devrait être incluse dans le protocole technique de la comparaison.

8.5 Traitement des valeurs spectrales

M. Nettleton rappelle aux membres la décision du groupe de travail sur les comparaisons clés de demander aux laboratoires pilotes de ne pas traiter, jusqu'à nouvel ordre, les valeurs spectrales de manière globale, mais de calculer une valeur de référence et son incertitude pour chaque longueur d'onde utilisée lors de la comparaison clé.

9 VOCABULAIRE SUR LES APTITUDES EN MATIÈRE DE MESURES ET D'ÉTALONNAGES DANS LE DOMAINE DE LA PHOTOMÉTRIE ET DE LA RADIOMÉTRIE

M. Gardner dit que l'on a rencontré des problèmes pour classer certaines déclarations d'aptitudes selon la liste de services approuvée par le Groupe de travail du CCPR sur les comparaisons clés en juin 2000. Ces problèmes sont principalement liés aux déclarations relatives à des artefacts de nature générale, dont les incertitudes ne peuvent pas être spécifiées de manière fiable à l'avance. L'EUROMET a pris la décision à ce sujet en janvier 2001, lors d'une réunion à laquelle participaient des représentants de toutes les organisations régionales de métrologie, d'utiliser une liste restreinte pour les

déclarations à soumettre en mars 2001 ; à cette occasion, M. Goodman du NPL et M. Gardner du CSIRO ont été chargés de suggérer des modifications à la liste des intitulés. Un projet de document a été rédigé afin de préciser quel est le but des déclarations d'aptitudes et de proposer des rubriques à supprimer de la liste, ou à discuter ultérieurement (CCPR/01-15). Ces propositions ont été approuvées par le groupe de travail sur les comparaisons clés lors de sa réunion qui a précédé le CCPR. Il a été décidé que les laboratoires qui n'avaient pas été en mesure de fournir des informations relevant de la liste restreinte de mars 2001 devraient établir leurs déclarations d'aptitudes, correspondant à cette liste, pour la réunion d'octobre 2001 du JCRB ; toutes les aptitudes relevant des autres rubriques, qui ne sont pas identifiées comme étant à supprimer, seront examinées au sein des régions et inter-régionalement selon le programme du JCRB pour sa réunion de mars 2002. Les rubriques à supprimer et les nouvelles rubriques seront examinées lors des programmes suivants du JCRB, mais seulement après discussion et approbation de leur liste par le Groupe de travail sur les comparaisons clés.

Mme Zwinkels craint que la région couverte par le SIM n'ait été oubliée lors de la première étape, du fait de retards de communication internes. M. Ikonen dit que le JCRB en est conscient, et qu'il a approuvé par avance les CMCs correspondant à la première série de rubriques, à condition que les organisations régionales soient d'accord. Mme Zwinkels se déclare soucieuse du nombre de changements qu'il faudra apporter aux déclarations du fait que les instructions ont été modifiées. Mme Johnson note des préoccupations similaires du NIST au sujet des efforts que requiert la préparation des données à inclure dans la base de données de l'annexe C. M. Gardner dit que le but de la procédure proposée est d'éviter du désordre, mais que des problèmes surgiront quand même au moment où l'on introduira de nouvelles rubriques, en particulier lorsque l'on aura à spécifier précisément les paramètres ayant une influence pour établir correctement les incertitudes. Les laboratoires sont encouragés à faire usage de la colonne de commentaires pour indiquer leurs aptitudes face à des mesures générales dans des domaines étendus et à restreindre les déclarations à des domaines ou des valeurs spécifiques.

Le comité approuve cette procédure. M. Gardner distribuera les documents approuvés à tous les laboratoires juste après la session du CCPR ; il sera la personne à contacter par ceux qui souhaitent faire des commentaires sur les rubriques de la liste de services pour les prochaines réunions. M. Ikonen demande de mettre à jour les directives sur la rédaction des aptitudes en

matière de mesures et d'étalonnages ; M. Nettleton transmettra cette requête à M. Goodman du NPL.

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

M. Wende résume le troisième rapport (CCPR/01-05) du Groupe de travail du CCPR sur la radiométrie spectrale pour l'ultraviolet dans l'air. Il rappelle au comité que les missions initiales de ce groupe étaient d'étudier les problèmes dans le domaine situé entre 200 nm et 400 nm afin d'améliorer la qualité des mesures, et d'adopter de nouvelles techniques le cas échéant. Le groupe existe depuis plusieurs années, il a entrepris plusieurs comparaisons et organisé des ateliers. Des progrès ont été réalisés dans le domaine des sources et des récepteurs, et dans les mesures du facteur de réflexion et du facteur de transmission. Certaines applications s'étendent aux longueurs d'ondes plus courtes que 200 nm. M. Wende recherche un nouveau président pour le groupe de travail ; ce dernier rapport et les recommandations attendantes pourront servir de fondement aux travaux à venir. Après avoir remercié les membres du groupe de travail et en particulier M. Wende pour leurs efforts, le président ouvre la discussion.

M. Sapritsky expose les résultats obtenus avec les nouveaux corps noirs fondés sur des matériaux eutectiques iridium-carbone et rhénium-carbone. À 650 nm, les mesures de température sont répétables à ~ 30 mK près et la luminance énergétique spectrale à 0,006 %, ce qui est suffisant pour contrôler les variations solaires à long-terme. M. Nettleton note que les résultats sont impressionnants, que la technique des corps noirs défie les limites de la radiométrie fondée sur des récepteurs, mais que les températures plus basses de ces nouvelles sources rendent les mesures dans l'ultraviolet difficiles. M. Wende remarque que les corps noirs à 3200 K ont grandement amélioré la radiométrie de l'ultraviolet dans l'air : l'incertitude de 400 mK sur la température est équivalente à 0,2 %, au niveau de confiance de 95 %, sur l'émission spectrale à 300 nm. Aux longueurs d'ondes plus courtes, le manque d'uniformité de la température augmente les incertitudes, en particulier pour la luminance énergétique.

Le président note que le groupe de travail a rédigé un certain nombre de recommandations détaillées, et ouvre la discussion sur l'avenir du groupe. Les recommandations (CCPR/01-5a) sont largement approuvées, et il est décidé que le groupe poursuivra ses activités mais sous un nouveau nom, Groupe de travail du CCPR sur la radiométrie dans l'ultraviolet, afin de refléter l'intérêt porté aux longueurs d'ondes plus courtes que 200 nm. M. Day exprime son intérêt pour l'étalonnage des lasers à excimère, et accueille favorablement toute coopération dans ce domaine. L'attention se porte aussi sur un certain nombre de réponses au questionnaire, exprimant un intérêt pour les mesures dans l'ultraviolet à large bande. M. Metzdorf dit que le MRA a changé la manière dont s'effectuent les comparaisons, et il serait préférable de travailler en petits groupes et de se consacrer davantage aux besoins de l'industrie, avec souplesse. Le président estime qu'il faudra entreprendre de nouveaux travaux, mais souhaite poursuivre les activités fructueuses du groupe sur l'ultraviolet dans l'air. M. Wende note, qu'à Madrid, il avait été décidé que le groupe devrait centrer ses activités sur des domaines proches du SI. En réponse à Mme Johnson, il dit que certains besoins sont difficiles à satisfaire, par exemple des exactitudes de 1 % en radiométrie à 30 nm et de 0,2 % pour le facteur de réflexion des multicouches aux longueurs d'ondes de l'ultraviolet dans le vide pour répondre aux besoins de l'industrie. M. Saito présente des transparents montrant que la divergence du faisceau est un facteur important quand on utilise des photorécepteurs au silicium à ces courtes longueurs d'onde.

Les participants sont d'avis que les applications aux larges bandes doivent être considérées à part. Le rapport du groupe de travail est approuvé. M. Wende suggère que le nouveau président soit membre d'un laboratoire autre que la PTB, mais qu'il soit l'un des délégués au CCPR. [Il est décidé de réunir le groupe de travail à l'occasion de la conférence NEWRAD pour déterminer le programme de travail à venir.] Les personnes concernées sont libres d'organiser les réunions à leur convenance, mais il serait préférable de discuter à l'avance des suggestions relatives au programme de travail au sein du Groupe de travail sur les comparaisons clés qui regroupe toutes les personnes intéressées et qui doit se réunir juste avant la réunion du Groupe de travail sur la radiométrie dans l'ultraviolet. Cela aiderait à préparer les discussions et des décisions du groupe sur l'ultraviolet. M. Köhler accepte de faire circuler les détails aux membres du CCPR, et pas seulement aux membres du groupe de travail, afin de solliciter des commentaires sur les propositions contenues dans le rapport. M. Ikonen accepte de présider le Groupe de travail sur la radiométrie dans l'ultraviolet jusqu'à la prochaine

réunion ; un nouveau président sera alors nommé pour la période à venir une fois le programme de travail détaillé déterminé. Mme Johnson dit que conformément à la tradition, un atelier d'une journée sur la radiométrie dans l'ultraviolet devrait avoir lieu lors de la conférence NEWRAD. M. Nettleton dit que la réunion du groupe de travail doit se tenir indépendamment de NEWRAD et être réservée aux membres du CCPR.

11 PROGRAMME DE TRAVAIL FUTUR DU CCPR

Le président note qu'aucune nouvelle comparaison n'a été demandée jusqu'à présent pour les grandeurs fondamentales, alors qu'un certain nombre de réponses au questionnaire et de commentaires faits lors de la réunion concernent des problèmes liés à l'industrie, comme les mesureurs de puissance pour les fibres optiques et les radiomètres dans l'ultraviolet en particulier. Il demande s'il existe des groupes d'utilisateurs dont les intérêts sont étroitement liés à ceux du CCPR, il serait alors préférable qu'ils fassent part de leurs besoins lors des sessions du CCPR plutôt que lors des réunions au sein des groupes d'utilisateurs. Ceux qui travaillent sur les techniques de visualisation et sur les applications liées au domaine de l'ultraviolet sont donnés en exemple. M. Xu répond qu'il est président du Comité technique de la CIE sur les mesureurs pour l'ultraviolet. Il note que les rapports de l'ancien Groupe de travail sur la radiométrie spectrale pour l'ultraviolet dans l'air fournissent des informations utiles aux nouveaux laboratoires, mais les écarts entre les étalonnages des mesureurs pour l'ultraviolet viennent plus de la méthode d'étalonnage employée que des limites imposées par les unités, et ce n'est donc pas un problème relevant du CCPR. Mme Zwinkels dit que des groupes tels que le Council for Optical Radiation Measurements (CORM) aux États-Unis et l'Optical Radiation Club au Royaume-Uni reçoivent davantage de commentaires des utilisateurs. M. Nettleton dit que le CCPR doit être attentif aux préoccupations des utilisateurs exprimées lors de certains ateliers, plutôt que de diriger les débats, afin de déterminer quels sont les problèmes liés à l'amélioration des techniques ou à l'utilisation des domaines qui les concernent et qui sont différents de ceux habituellement utilisés dans le cadre du CCPR. Mme Johnson mentionne un exercice de ce type au NIST dans le domaine de la thermométrie par rayonnement, dans le

cadre duquel les utilisateurs finaux ont mentionné des problèmes, mais où les fournisseurs avaient des intérêts de propriétaires et ne souhaitaient peut-être pas partager les solutions. M. Metzdorf est sceptique quant à la participation de l'industrie. L'expérience des réseaux thématiques dans le domaine de l'ultraviolet a montré la difficulté à obtenir des réactions. M. Ikonen mentionne qu'au moins un des groupes de travail en réseau a bénéficié de la participation de l'industrie et que d'autres groupes concernés par les questions de santé et de sécurité ont rédigé des rapports utiles.

Le président sollicite des commentaires sur les applications dans le domaine des fibres optiques, les techniques de visualisation, et les mesures d'aspect. M. Day dit que les groupes d'utilisateurs dans le domaine des fibres optiques doivent se réunir à Cambridge (Royaume-Uni) en 2001 et à Boulder (États-Unis) en 2002. M. Nettleton dit qu'il est nécessaire de mettre au clair les responsabilités respectives du CCPR et des organisations régionales, et note que l'EUROMET organise une comparaison supplémentaire de mesureurs de puissance sur fibres optiques. M. Blattner demande si le CCPR doit aussi organiser une telle comparaison : M. Gardner dit qu'une comparaison antérieure du CCPR avait démontré un bon accord sur les mesures de sensibilité spectrale à 1300 nm et à 1550 nm, et qu'une comparaison de ce type est susceptible de démontrer les variations introduites par les connecteurs plutôt que les problèmes liés aux unités du SI. Deux réunions, celle sur l'imagerie en couleurs et la conférence de la Society for Information Technology, réunissent des groupes d'utilisateurs permettant d'identifier des problèmes relevant des activités du CCPR.

M. Bittar demande jusqu'où le CCPR doit aller en ce qui concerne ces techniques annexes. M. Nettleton suggère que les organisations régionales de métrologie pourraient avoir besoin d'une valeur de référence pour les aider à vérifier les déclarations d'aptitudes. M. Ikonen dit que les laboratoires nationaux de métrologie peuvent vérifier les déclarations s'ils connaissent la méthode employée et sa traçabilité aux grandeurs concernées par les comparaisons clés. M. Boivin est d'accord avec lui, et suggère que les mesureurs de puissance sur fibres optiques et les étalonnages de radiomètres à large bande ne sont pas des questions fondamentales. M. Xu ajoute que de nombreuses questions posées sont liées à la normalisation de la géométrie, aux coupleurs etc., ce qui ne relève pas de comparaisons clés ni du CCPR. M. Bittar suggère que les questions du domaine de l'industrie concernent les laboratoires nationaux de métrologie du pays concerné, et pas le CCPR. M. Wallard est d'accord, mais dit que la participation du CCPR pourrait être discutée une fois les problèmes connus. M. van der Ham dit que le

questionnaire du CCPR est faussé dans ce sens qu'il favorise les intérêts des laboratoires nationaux de métrologie, et que les organisations telles que la CIE représentent mieux les besoins de l'industrie. M. Nettleton suggère que les problèmes de l'industrie doivent figurer en permanence à l'ordre du jour du CCPR. Les membres du CCPR sont d'accord et le président leur demande d'être à l'écoute des besoins lors des conférences et ateliers sur le sujet, afin d'identifier les questions qui relèvent du CCPR. Le secrétaire exécutif collationnera les suggestions de travaux futurs faites en réponse au questionnaire, celles-ci seront examinées par le Groupe de travail sur les comparaisons clés lors de sa prochaine réunion.

12 PROGRAMME DE TRAVAIL FUTUR DU BIPM

Le président signale que les documents CCPR/01-01 et -03 traitent du programme de travail à venir du BIPM, et il accueille favorablement les conseils du CCPR au CIPM. M. Köhler ajoute que le BIPM possède de bons équipements dans le domaine du visible, en particulier aux longueurs d'onde laser pour les mesures de puissance et de sensibilité, mais qu'il manque de personnel et d'expérience aux autres longueurs d'onde. Il suggère qu'un second radiomètre cryogénique, fondé sur un monochromateur, serait utile pour contrôler la dérive de la cavité de l'instrument actuel et étendre les échelles dans l'ultraviolet et l'infrarouge. Le but déclaré est de contribuer à l'harmonisation des mesures dans l'ultraviolet et d'acquérir une expérience utile pour les mesures d'ozone effectuées par la nouvelle section de chimie du BIPM, entre autres.

Mme Zwinkels suggère qu'une comparaison directe de radiomètres cryogéniques fondés sur des lasers ou des monochromateurs serait utile. M. Köhler répond que ces informations seront fournies par la comparaison clé CCPR-K2. M. Fox dit que le NPL n'a constaté de différence qu'au niveau de 0,01 %. M. Boivin dit qu'un système fondé sur un monochromateur pourrait produire des mesures fiables au niveau de 0,1 % dans l'ultraviolet.

M. Nettleton dit que l'existence du MRA peut avoir des conséquences importantes pour le BIPM, qui doit apporter son aide à de nombreux domaines de la métrologie. Les laboratoires peuvent maintenant établir de

manière fiable la traçabilité à de nombreuses sources et le BIPM pourrait voir décroître la demande en matière d'étalonnage d'artefacts ; l'importance pourrait se déplacer vers un besoin d'une plus grande expertise et la nécessité d'obtenir des bilans d'incertitude plus fiables. M. Köhler répond que le BIPM continue à fournir les étalons d'intensité et de flux lumineux à douze laboratoires, et qu'il se doit de jouer le rôle de laboratoire pilote des comparaisons. Mme Johnson dit que les laboratoires nationaux de métrologie apprécient d'être le laboratoire pilote des comparaisons, car cela donne confiance à leur clients dans leurs aptitudes de mesure. Le président observe que les circonstances peuvent changer avec l'introduction du MRA, mais le BIPM, qui joue un rôle central en métrologie, a besoin de personnel qualifié et compétent au plus haut niveau, capable de mener des recherches, pour étendre ses aptitudes comme proposé. M. Fox suggère que le BIPM aurait avantage à envoyer son personnel acquérir de l'expérience dans d'autres laboratoires, par exemple en se formant aux techniques du synchrotron. M. Metzdorf dit que les intérêts du CCPR ont été définis et concernent les grandeurs faisant l'objet des comparaisons clés ; pour couvrir tous les domaines, y compris les propriétés des matériaux, il faudrait que le BIPM restreigne ses aptitudes au domaine du visible. Mme Zwinkels n'est pas d'accord avec lui, et souligne que les problèmes de mesure des matériaux se situent principalement dans l'ultraviolet et dans l'infrarouge. M. van der Ham ajoute que l'émissivité des cavités est peut-être aussi moins bien connue en dehors du domaine du visible.

M. Wallard résume la discussion en concluant sur un accord à repousser toute décision sur le programme de travail du BIPM jusqu'à ce que la mise à jour du rapport du CIPM sur les besoins à long terme soit terminée (*voir* CCPR/01-11), et jusqu'à ce que le CCPR dispose d'informations sur les problèmes de mesure suite à la veille exercée par ses membres dans les divers ateliers. Il a toutefois constaté que le BIPM a besoin d'exercer une activité de recherche efficace pour l'aider à exercer sa mission. Dans l'idéal, sauf en cas de nécessité, il est préférable d'éviter que le BIPM n'effectue des recherches déjà faites par les laboratoires nationaux de métrologie. Les travaux de recherche fondamentale sur des sujets tels que les récepteurs, les filtres, et la propagation de bonnes règles de mise en pratique sont utiles. Un moyen de traiter les nouvelles technologies, ou celles qui prennent plus d'importance, peut être de collaborer avec d'autres équipes pour mieux connaître les points essentiels. Un tel mécanisme serait un moyen de préparer le BIPM à mieux aborder les mesures dans l'ultraviolet ou dans l'infrarouge.

13 RECOMMANDATION AU CIPM

M. Köhler signale que les comparaisons clés CCPR-K3 et –K4 d'intensité et de flux lumineux étaient les premières comparaisons en photométrie dont le BIPM n'était pas le laboratoire pilote. Les unités réalisées au BIPM doivent être ajustées à partir des valeurs de référence de ces comparaisons clés. M. Stock dit que les moyennes internationales déduites des valeurs de référence sont inférieures de 0,30 % et de 0,36 % respectivement, pour l'intensité et le flux lumineux, à celles déduites des comparaisons de 1985 qui ont servi à disséminer les unités du BIPM. M. Bastie note que le BNM a confirmé l'écart d'intensité dans la réalisation de ses unités. M. Köhler dit que le BIPM conserve l'historique de l'évolution de la candela qu'il réalise et qu'un article à ce sujet est en préparation pour la conférence NEWRAD. Il signale que le BIPM réalise maintenant indépendamment les unités photométriques fondées sur son radiomètre cryogénique, et demande si le BIPM doit disséminer les unités qu'il réalise ou les valeurs de référence des comparaisons clés. Il est décidé de disséminer les valeurs de référence des comparaisons clés, et un projet de Recommandation P 1 (2001) est préparé pour présentation au CIPM. M. Bastie note que le BIPM doit conserver à la fois les valeurs de 1985 et les valeurs actuelles, pour ses propres archives. Les réalisations indépendantes du BIPM seront utilisées pour contrôler la stabilité des unités qu'il conserve.

14 LIAISON AVEC LE GROUPE DE TRAVAIL 5 DU CCT SUR LA THERMOMÉTRIE PAR RAYONNEMENT

Mme Johnson dit que l'ancien groupe de travail commun au CCT et au CCPR s'est réuni une fois depuis sa création en 1996, qu'il a préparé deux rapports, et qu'il organise actuellement une comparaison restreinte de radiomètres à filtre. Cette comparaison pilote entre le NIST, le NMIJ, le NPL et la PTB est en cours ; les résultats devraient être connus en juin 2001. Le but de cette comparaison est de déterminer le domaine de température pour lequel la radiométrie absolue serait apte à fournir une exactitude meilleure que celle de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90). Il est

envisagé de faire circuler un pyromètre sur image. M. Wallard ajoute que ce groupe espère préparer un guide sur comment mesurer au mieux les températures au moyen de radiomètres à filtre.

M. Nettleton dit que le CCPR devrait établir une liaison avec le nouveau groupe de travail du CCT sur la thermométrie par rayonnement, dont M. Fischer, de la PTB, est le président ; ce groupe a été créé l'an passé après que le CCT ait estimé que l'ancien groupe de travail commun au CCT et au CCPR n'était pas assez actif. M. Wallard répond que des courriers ont déjà été échangés et que les missions d'un groupe de travail commun ont été approuvées. M. Fox y représente le CCPR et Mme Johnson en est membre en qualité de représentant du NIST dans le domaine de la thermométrie.

15 LIAISON AVEC D'AUTRES ORGANISATIONS

15.1 CIE

M. Bastie résume l'organigramme de la CIE, notant que la Division 1 (vision et couleur) comprend six comités, que la Division 2 (mesure de la lumière et rayonnement) en comprend sept, et que la Division 6 (photobiologie et photochimie) en comprend huit, dont les centres d'intérêt chevauchent ceux du CCPR. La Division 6 a consacré beaucoup d'efforts à déterminer les spectres d'activité. M. Bastie prend acte des précédentes recommandations du CCPR sur l'utilisation des unités du SI pour ces mesures et M. Quinn demande à M. Bastie de présenter au CCPR un rapport sur les travaux futurs de la CIE dans ce domaine. M. Bastie souligne que les discussions du CCPR en 1977 sur le facteur $V(\lambda)$ étaient comparables à celles qui se déroulent actuellement sur les spectres d'activité en photobiologie. Il est décidé que le CCPR préparera un document général expliquant la procédure formelle pour établir directement la traçabilité des spectres au SI. Un groupe de travail est établi : il est présidé par M. Bastie, et comprend M. Bittar (MSL), M. Köhler (BIPM) et Mme Rastello (IEN), ainsi que des représentants du NIST et du NPL, qui n'ont pas encore été désignés. M. Bastie informera tous les comités de la CIE concernés des activités du CCPR. Le document devrait être prêt pour la prochaine session du CCPR.

M. Nettleton dit que la CIE a organisé un atelier sur les incertitudes, qui a attiré une forte participation de l'industrie et dans lequel la contribution du CCPR a été reconnue. Mme Zwinkels dit que l'accès aux projets de normes a fait l'objet de débats animés au sein de la CIE : bien que l'on sollicite largement les commentaires sur ces projets, leur accès est restreint aux membres de la CIE, parce que la CIE tire ses revenus de la vente des documents. Un certain nombre de membres du CCPR signalent leur implication dans les comités de la CIE. M. Metzdorf pense qu'il serait utile que le CCPR soit informé des activités de la CIE avant les réunions du CCPR ; M. Bastie se charge d'obtenir ces informations.

M. Saito évoque les problèmes observés au sujet de la définition de la température de répartition lors de l'examen des déclarations d'aptitudes ; M. Köhler posera cette question à la Division 2 de la CIE.

15.2 CORM

Mme Johnson conseille aux membres de se référer au document soumis par le NIST pour en savoir plus sur le CORM. M. Wallard dit que les rapports du CORM sont utiles pour identifier les besoins, le septième rapport ne devrait pas tarder à paraître. M. Boivin observe qu'il est courant que la Division 2 de la CIE se réunisse à proximité de la réunion du CORM, car ces deux organismes ont beaucoup de centres d'intérêt communs.

16 QUESTIONS DIVERSES : NEWRAD

Mme Johnson donne des détails à propos de la conférence NEWRAD : elle durera quatre jours, et comprendra en plus un atelier sur les mesures dans l'ultraviolet, animé par le Groupe de travail sur la radiométrie dans l'ultraviolet, le cinquième jour. Les articles présentés à la conférence feront l'objet d'un numéro spécial de *Metrologia*, comme lors des conférences précédentes. Une discussion a lieu sur la date de publication des comptes rendus de la conférence et un appel à l'aide de services éditoriaux extérieurs. M. Nettleton suggère de donner un prix aux meilleurs article et poster. Une discussion sur la radiométrie dans l'espace devrait avoir lieu durant la conférence.

17 PROCHAINE SESSION DU CCPR

La prochaine session du CCPR devrait avoir lieu en avril ou mai 2003. M. Gardner signale qu'il aura pris sa retraite avant la date de cette réunion et présente ses vœux au comité pour ses travaux à venir. Le président le remercie pour sa contribution aux activités du CCPR et déclare la session close.

J.L. Gardner, rapporteur

mai 2001

révisé octobre 2001

**RECOMMANDATION DU
COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE ET RADIOMÉTRIE
PRÉSENTÉE AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**

RECOMMANDATION P 1 (2001) :

**Étalons photométriques du Bureau international des poids et mesures
(BIPM)**

Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie,

considérant que

- il appartient au BIPM de disséminer les meilleures réalisations possibles des unités du Système international d'unités (SI) ;
- les valeurs attribuées aux étalons d'intensité lumineuse et de flux lumineux conservés par le BIPM doivent à la fois assurer l'uniformité mondiale des mesures et être en accord avec la définition de la candela de 1979 ;
- l'arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA) implique que les réalisations conservées et disséminées par le BIPM bénéficient de la reconnaissance mondiale ;
- les moyennes des résultats des comparaisons clés CCPR-K3.a et CCPR-K4 (approuvées à la suite de la 15^e session du CCPR en 1999) des réalisations nationales constituent les meilleures valeurs de référence représentatives de la candela et du lumen ;
- le BIPM a déjà, dans le passé, conservé comme références des unités photométriques des groupes d'étalons dont les valeurs avaient été établies à partir des résultats de comparaisons internationales ;
- la valeur attribuée depuis 1985 aux étalons d'intensité lumineuse conservés par le BIPM est supérieure de 0,30 % à la valeur de référence de la comparaison clé CCPR-K3.a ;
- la valeur attribuée depuis 1985 aux étalons de flux lumineux conservés par le BIPM est supérieure de 0,36 % à la valeur de référence de la comparaison-clé CCPR-K4 ;

recommande que

- le BIPM continue, comme par le passé, à conserver et disséminer des réalisations des unités photométriques du SI représentant les meilleures moyennes déduites de comparaisons ;
- les valeurs attribuées aux étalons conservés par le BIPM comme représentations de la candela et du lumen soient respectivement réduites de 0,30 % et 0,36 % à partir du 1^{er} janvier 2002, afin de conserver et de disséminer les valeurs de référence des comparaisons clés correspondantes ;
- ces ajustements soient publiés.

ANNEXE P 1.

Documents de travail présentés à la 16^e session du CCPR

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

Document
CCPR/

- 01-01 BIPM. — Current status of work in the BIPM radiometry and photometry section and perspectives for future developments, R. Köhler, R. Goebel, M. Stock, S. Solve, 6 p.
- 01-02 BIPM. — Transfer of the Key Comparison Reference Values of CCPR-K3.a and CCPR-K4 from the pilot laboratory (PTB) to the BIPM, M. Stock, R. Goebel, R. Köhler, 10 p.
- 01-03 BIPM. — On the BIPM photometric quantities, R. Köhler, M. Stock, R. Goebel, S. Solve, 2 p.
- 01-04 NIST (États-Unis). — Letter of 23 February 2001 from A.C. Parr (NIST) to A.J. Wallard, A.C. Parr, 2 p.
- 01-05 Groupe de travail du CCPR sur la radiométrie spectrale pour l'ultraviolet dans l'air. — Report of the Working Group on Air-Ultraviolet Spectral Radiometry to the CCPR, B. Wende, 27 p.
- 01-05a Groupe de travail du CCPR sur la radiométrie spectrale pour l'ultraviolet dans l'air. — Recommendations of the Air-UV Working Group, B. Wende, 5 p.
- 01-06 APMP. — APMP Comparison of Luminous Responsivity (APMP.PR-K3.b), draft B, J.L. Gardner, E. Atkinson, 7 p.
- 01-07 Replies to the questionnaire (confidential)
- 01-08 NIST (États-Unis). — Extreme Ultraviolet Lithography, 10 p.
- 01-09 NPL (Royaume-Uni). — CCPR Supplementary Comparison: Spectral Regular Reflectance (4000 cm^{-1} to 550 cm^{-1}) [$2.5\text{ }\mu\text{m}$ to $18\text{ }\mu\text{m}$], 18 p.

Document
CCPR/

- 01-10 NPL (Royaume-Uni). — CCPR Supplementary Comparison: Spectral Transmittance (4000 cm^{-1} to 550 cm^{-1}) [$2.5\text{ }\mu\text{m}$ to $18\text{ }\mu\text{m}$], 19 p.
- 01-11 BIPM. — Update of the 1998 report on “National and international needs relating to metrology”, 1 p.
- 01-12 NPL (Royaume-Uni). — Status report on CCPR/CCT comparisons of filter radiometers and temperature measurements, N. Fox, 4 p.
- 01-13 NPL (Royaume-Uni). — Status report on key comparison K1-a (Spectral Irradiance $250\text{ nm} - 2500\text{ nm}$), N. Fox, 3 p.
- 01-14 BNM-INM (France). — Progress report on the “key comparison” CCPR-K-6, J. Bastie, 5 p.
- 01-15 EUROMET. — Proposed revised list of service categories for photometry and radiometry, T. Goodman, 9 p.

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences

APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM-INM	Bureau national de métrologie, Institut national de métrologie, Paris (France)
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Mexico (Mexique)
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIPM	Comité international des poids et mesures
CORM	Council for Optical Radiation Measurements (États-Unis)
CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO*	<i>voir</i> NML-CSIRO
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule/Swiss Federal Institute of Technology, Zurich (Suisse)
ETL*	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon), <i>voir</i> NMIJ/AIST
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
HUT	Helsinki University of Technology, Helsinki (Finlande)
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IFA-CSIC	Instituto de Física Aplicada, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (Espagne)
INM*	Institut national de métrologie, Paris (France), <i>voir</i> BNM
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires (Argentine)
ISO	Organisation internationale de normalisation
JCRB	Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM/Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM

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

KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon (Rép. de Corée)
METAS	(ex OFMET) Office fédéral de métrologie et d'accréditation, Wabern (Suisse)
MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle/Mutual Recognition Arrangement
MSL	Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower-Hutt (Nouvelle-Zélande)
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	NMi Van Swinden Laboratory, Nederlands Meetinstituut, Delft (Pays-Bas)
NMIJ/AIST	National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba (Japon)
NML-CSIRO	National Measurement Laboratory, CSIRO, Lindfield (Australie)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NPLI	National Physical Laboratory of India, New Delhi (Inde)
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
NRLM*	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon), voir NMIJ/AIST
OFMET*	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse), voir METAS
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OMM	Organisation météorologique mondiale
PMOD/WRC	Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos, World Radiation Center, Davos (Suisse)
PSB	Singapore Productivity and Standards Board (Singapour)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
SADCMET	SADC Cooperation in Measurement Traceability
SIM	Sistema Interamericano de Metrologia
SMU	Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)

TempMeko	International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science
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, Gosstandart de Russie, Moscou (Féd. de Russie)

2 Sigles des termes scientifiques

CCD	Caméra à dispositif de transfert de charge/Charge-coupled-device camera
EIT-90	Échelle internationale de température de 1990
FEL	Type de lampes fabriquées par la General Electric Co. (États-Unis)
SI	Système international d'unités