

**Bureau international des poids et mesures**

**Comité consultatif  
d'électricité et magnétisme  
(CCEM)**

23<sup>e</sup> session (septembre 2002)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 81)

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

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

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

Conception graphique :  
Monika Jost

Imprimé par : Stedi, Paris

ISSN 1608-4055  
ISBN 92-822-2198-9

## TABLE DES MATIÈRES

Photographie des participants à la 23<sup>e</sup> session du Comité consultatif d'électricité et magnétisme **2**

États membres de la Convention du Mètre et associés à la Conférence générale **9**

Le BIPM et la Convention du Mètre **11**

Liste des membres du Comité consultatif d'électricité et magnétisme **15**

**Rapport au Comité international des poids et mesures**, par B. Jeckelmann **19**

Ordre du jour **20**

1 Ouverture de la session ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **21**

2 Questions en relation avec les constantes fondamentales et le SI **22**

2.1 Rapport du Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme **22**

2.2 Rapport sur l'état d'avancement de l'ajustement des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés **24**

2.3 Progrès effectués dans la réalisation des unités électriques du SI et amélioration de notre connaissance de  $K_J$  et  $R_K$  ; étude des possibilités d'utilisation en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique (SET) **25**

2.3.1 Directives sur l'effet Hall quantique **25**

2.3.2 Effet tunnel monoélectronique **25**

3 Rapport du Groupe de travail sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif et discussion sur l'utilisation de l'effet Hall quantique pour établir les étalons d'impédance **26**

4 Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson programmables et non biaisés et d'échantillons de résistance de Hall quantifiée **28**

4.1 Réseaux de Josephson non biaisés **28**

4.2 Réseaux de Josephson programmables **28**

4.3 Dispositifs à effet Hall quantique **28**

5 Rapport sur la réunion du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences **29**

- 6 Comparaisons clés de grandeurs électriques à basse fréquence et de grandeurs magnétiques **30**
  - 6.1 Rapport du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés **30**
  - 6.2 Discussion sur les comparaisons dans le domaine du magnétisme **31**
- 7 Discussion sur les procédures d'élaboration, de mise en œuvre, de rédaction du rapport et d'approbation des comparaisons clés du CCEM **31**
- 8 Activités de la section d'électricité du BIPM **32**
- 9 Activités futures du CCEM **35**
- 10 Discussion sur la structure des groupes de travail du CCEM **36**
- 11 Questions diverses ; date de la prochaine session **37**

**Rapport du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés,**

par B. Jeckelmann **39**

Ordre du jour **40**

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **43**
- 2 Discussion sur la cinquième réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés **44**
- 3 Rapports sur les comparaisons clés en courant continu et à basse fréquence **45**
  - 3.1 Comparaisons clés continues du BIPM **45**
  - 3.2 Comparaisons clés du CCEM achevées **46**
  - 3.3 Comparaisons clés du CCEM en cours **48**
- 4 Rapport sur les comparaisons clés du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences **51**
- 5 Discussion générale sur l'organisation des comparaisons clés du CCEM **52**
  - 5.1 Mesures prises pour limiter le nombre de comparaisons clés du CCEM **52**
  - 5.2 Discussion sur les procédures écrites pour l'élaboration, la mise en œuvre, la rédaction du rapport et l'approbation des comparaisons clés du CCEM **53**

- 5.3 Moyens d'accélérer l'acceptation des rapports des comparaisons clés **54**
- 5.4 Conclusions à tirer des résultats des comparaisons clés **54**
- 5.5 Critères pour aider les laboratoires nationaux de métrologie à décider de leur participation aux comparaisons clés **55**
- 5.6 Rôle des différents groupes de travail du CCEM et collaboration aux comparaisons clés **55**
- 6 Propositions de nouvelles comparaisons clés **55**
  - 6.1 Puissance alternative d'ondes non-sinusoïdales **55**
  - 6.2 Transfert courant alternatif-continu **56**
  - 6.3 Nouvelles comparaisons proposées dans le domaine des radiofréquences **57**
- 7 Rapports sur les comparaisons clés des organisations régionales de métrologie **57**
  - 7.1 Nomenclature des comparaisons **57**
  - 7.2 Rapports des organisations régionales de métrologie **57**
    - 7.2.1 Comparaisons du SIM **57**
    - 7.2.2 Comparaisons de l'APMP **58**
    - 7.2.3 Comparaisons de l'EUROMET **58**
  - 7.3 Traitement des comparaisons clés des organisations régionales de métrologie par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et par le CCEM **59**
  - 7.4 Procédure appropriée pour inclure les comparaisons supplémentaires des organisations régionales de métrologie dans l'annexe B **59**
  - 7.5 Harmonisation des tâches entre le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et les présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie dans le domaine de l'électricité et du magnétisme **60**
- 8 Questions diverses ; date de la prochaine réunion **60**

**Rapport du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences**, par J. Randa **63**

Ordre du jour **64**

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **65**
- 2 Comparaisons achevées **66**
- 3 Rapports sur les comparaisons en cours **67**
- 4 Schéma révisé pour les comparaisons clés **69**
- 5 Propositions de nouvelles comparaisons **71**
- 6 Questions diverses ; date de la prochaine réunion **72**

**Annexe E 1.** Documents de travail présentés à la 23<sup>e</sup> session du CCEM **73**

**Liste des sigles utilisés dans le présent volume 75**

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

au 13 septembre 2002

### États membres de la Convention du Mètre

Afrique du Sud	Irlande
Allemagne	Israël
Argentine	Italie
Australie	Japon
Autriche	Malaisie
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	Yougoslavie
Iran (Rép. islamique d')	

### Associés à la Conférence générale

Cuba	Malte
Équateur	Philippines
Hong Kong, Chine	Taipei chinois
Lettonie	Ukraine
Lituanie	

## **LE BIPM ET LA CONVENTION DU MÈTRE**

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

Le Bureau international a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m<sup>2</sup>) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre.

Le Bureau international a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques ; il est donc chargé :

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles pour la mesure des principales grandeurs physiques et de conserver les prototypes internationaux ;
- d'effectuer la comparaison des étalons nationaux et internationaux ;
- d'assurer la coordination des techniques de mesure correspondantes ;
- d'effectuer et de coordonner les mesures des constantes physiques fondamentales qui interviennent dans les activités ci-dessus.

Le Bureau international fonctionne sous la surveillance exclusive du Comité international des poids et mesures (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) à laquelle il présente son rapport sur les travaux accomplis par le Bureau international.

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

- de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour assurer la propagation et le perfectionnement du Système international d'unités (SI), forme moderne du Système métrique ;
- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et d'adopter les diverses résolutions scientifiques de portée internationale ;
- d'adopter toutes les décisions importantes concernant la dotation, l'organisation et le développement du Bureau international.



Le Comité international comprend dix-huit membres appartenant à des États différents ; il se réunit actuellement tous les ans. Le bureau de ce Comité adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau international. La principale mission du Comité international est d'assurer l'unification mondiale des unités de mesure, en agissant directement, ou en soumettant des propositions à la Conférence générale.

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau international ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques et radiométriques (1937), des rayonnements ionisants (1960) et aux échelles de temps (1988). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers et en 1988 a été inauguré un bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux.

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

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

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

consultatifs, *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, **64**, 6). Ces Comités sont actuellement au nombre de dix :

- 1 Le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif d'électricité (CCE) créé en 1927 ;
- 2 Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le CCE s'est occupé des questions de photométrie) ;
- 3 Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937 ;
- 4 Le Comité consultatif des longueurs (CCL), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) créé en 1952 ;
- 5 Le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) créé en 1956 ;
- 6 Le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) créé en 1958 (en 1969, ce Comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II) ;
- 7 Le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le Comité international en 1954) ;
- 8 Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980 ;
- 9 Le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), créé en 1993 ;
- 10 Le Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations (CCAUV), créé en 1998.

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

- *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* ;
- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures* ;
- *Rapports des sessions des Comités consultatifs*.

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

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

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

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

**LISTE DES MEMBRES  
DU COMITÉ CONSULTATIF  
D'ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME**

au 13 septembre 2002

**Président**

E.O. Göbel, membre du Comité international des poids et mesures,  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

**Secrétaire exécutif**

T.J. Witt, Bureau international des poids et mesures [BIPM], Sèvres.

**Membres**

Bureau national de métrologie, Laboratoire André Marie Ampère [BNM-LNE/LAMA], Fontenay aux Roses.

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

CSIR, National Metrology Laboratory [CSIR-NML], Pretoria.

Danish Institute of Fundamental Metrology [DFM], Lyngby.

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

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin.

Justervesenet/Norwegian Metrology and Accreditation Service [JV], Kjeller.

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.

National Physical Laboratory of India [NPLI], New Delhi.

Nederlands Meetinstituut/Van Swinden Laboratorium [NMI VSL], Delft.  
Office fédéral de métrologie et d'accréditation [METAS], Bern-Wabern.  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.  
Standards, Productivity and Innovation Board [SPRING Singapore],  
Singapour.  
Swedish National Testing and Research Institute [SP], Borås.  
M. H. Seppä, VTT Automation, Espoo.  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM], Sèvres.

**Observateurs**

Centro Español de Metrología [CEM], Madrid.  
Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute [CMI], Prague.  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], Buenos Aires.  
Ulusal Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute [UME], Gebze-  
Kocaeli.

**Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés****Président**

M. H. Bachmair, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

**Membres**

Bureau national de métrologie, Laboratoire André Marie Ampère [BNM-LNE/LAMA], Fontenay aux Roses.  
Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa.  
Institut de métrologie D.I. Mendéléev [VNIIM], Gosstandart de Russie,  
Saint-Pétersbourg.  
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin.  
Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Daejeon.  
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.  
Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium [NMI VSL], Delft.  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.  
Swedish National Testing and Research Institute [SP], Borås.  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM], Sèvres.

### **Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences**

#### **Président**

L. Énard, Bureau national de métrologie, Paris.

#### **Membres**

Bureau national de métrologie, Laboratoire André Marie Ampère [BNM-LNE/LAMA], Fontenay aux Roses.  
Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa.  
Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques [VNIIFTRI], Gosstandart de Russie, Moscou.  
Institut national de métrologie [NIM], Beijing.  
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin.  
Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejeon.  
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.  
Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium [NMI VSL], Delft.  
Office fédéral de métrologie et d'accréditation [METAS], Bern-Wabern.  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.  
Standards, Productivity and Innovation Board [SPRING Singapore], Singapour.  
Union radioscientifique internationale [URSI].  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM], Sèvres.

**Comité consultatif**  
**d'électricité et magnétisme**

**Rapport de la 23<sup>e</sup> session**

(12-13 septembre 2002)

**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 Questions en relation avec les constantes fondamentales et le SI :
  - 2.1 Rapport du Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme ;
  - 2.2 Rapport sur l'état d'avancement de l'ajustement des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés ;
  - 2.3 Progrès effectués dans la réalisation des unités électriques du SI et amélioration de notre connaissance de  $K_J$  et  $R_K$  ; étude des possibilités d'utilisation en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique (SET).
- 3 Rapport du Groupe de travail sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif et discussion sur l'utilisation de l'effet Hall quantique pour établir les étalons d'impédance.
- 4 Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson programmables et non biaisés et d'échantillons de résistance de Hall quantifiée :
  - 4.1 Réseaux de Josephson non biaisés ;
  - 4.2 Réseaux de Josephson programmables ;
  - 4.3 Dispositifs à effet Hall quantique.
- 5 Rapport sur la réunion du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences.
- 6 Comparaisons clés de grandeurs électriques à basse fréquence et de grandeurs magnétiques :
  - 6.1 Rapport du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés ;
  - 6.2 Discussion sur les comparaisons dans le domaine du magnétisme.
- 7 Discussion sur les procédures d'élaboration, de mise en œuvre, de rédaction du rapport et d'approbation des comparaisons clés du CCEM.
- 8 Activités de la section d'électricité du BIPM.
- 9 Activités futures du CCEM.
- 10 Discussion sur la structure des groupes de travail du CCEM.
- 11 Questions diverses ; date de la prochaine session.



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

Le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM) a tenu sa vingt-troisième session au Bureau international des poids et mesures (BIPM), Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 12 et 13 septembre 2002.

Étaient présents : W.E. Anderson (NIST), H. Bachmair (PTB), L. Christian (MSL), S.W. Chua (SPRING Singapore), J.P.M. de Vreede (NMI VSL), E. Dressler (CSIR-NML), L. Érard (BNM), G. Genevès (BNM-LNE), E.O. Göbel (président du CCEM), D. Inglis (NRC), T. Inoue (NMIJ/AIST), B. Jeckelmann (METAS), H. Jensen (DFM), J. H. Kim (KRISS), Z. Lu (NIM), G. Marullo Reedtz (IEN), J. Melcher (PTB), M.K. Mittal (NPLI), H. Nilsson (SP), J.K. Olthoff (NIST), F. Piquemal (BNM-LNE), T.J. Quinn (directeur du BIPM), J.P. Randa (NIST), B. Ricketts (CSIRO-NML), I.A. Robinson (NPL), K.-E. Rydler (SP), H. Seppä (VTT), E.Z. Shapiro (VNIIM), E. So (NRC), Y.S. Song (KRISS), H. Yoshida (NMIJ/AIST).

Invités : Y. Gülmez (UME), F. Jelinek (CMI), M. Neira (CEM), H. Slinde (JV).

Assistaient aussi à la session : P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM) ; E. Braun (PTB) ; F. Delahaye, D. Reymann, C. Thomas, A.J. Wallard (BIPM), T.J. Witt (secrétaire exécutif du CCEM).

Excusé : Dr H. Laiz (INTI).

Le président du CCEM ouvre la session et accueille les participants.

Douze documents de travail ont été envoyés avant la réunion du CCEM pour examen, et deux autres ont été remis pendant la réunion. Une liste de ces documents figure à l'annexe E 1.

L'ordre du jour est examiné et approuvé.

M. B. Jeckelmann est nommé rapporteur.

## **2 QUESTIONS EN RELATION AVEC LES CONSTANTES FONDAMENTALES ET LE SI**

### **2.1 Rapport du Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme**

M. Robinson fait référence au document CCEM/02-08 et présente un résumé de la réunion du Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme qui s'est tenue pendant la CPEM 2002 à Ottawa. Le texte qui suit résume brièvement ses commentaires.

Le 22 juin 2002, quatre équipes travaillant sur la balance du watt se sont réunies pour la première fois lors d'un atelier technique. Cette réunion a offert un forum de discussion utile sur la mise en œuvre détaillée des expériences sur la balance du watt. Il a été décidé de continuer à organiser des réunions sur ce thème au moins une fois par an. La prochaine sera hébergée par le BNM en juin 2003.

À l'université de Zagreb, les travaux sur la balance du watt électrostatique ont cessé en raison de problèmes financiers. Cette expérience était destinée à peser une masse de 1 kg au moyen d'une force électrostatique.

L'expérience de lévitation de masses au NMIJ/AIST progresse ; le NMIJ espère obtenir une incertitude relative de  $1 \times 10^{-6}$ . Malheureusement, les moyens financiers affectés à l'expérience ont été réduits et un seul physicien travaille sur le projet.

La PTB a réussi ses essais préliminaires sur le dépôt d'ions et a obtenu une incertitude de 1 %. Elle travaille actuellement à augmenter le courant du faisceau d'ions au moyen d'une nouvelle source d'ions d'or ou de bismuth, ce qui présenterait le double avantage d'obtenir des courants de faisceau pouvant atteindre 30 mA et de ne plus utiliser d'argon dans la source d'ions. La PTB espère obtenir une incertitude relative de  $1 \times 10^{-7}$  en 2007.

Le projet sur la constante d'Avogadro relie le kilogramme à la constante d'Avogadro au moyen de mesures précises de la constante du réseau, de la masse volumique et de la masse molaire d'un monocristal de silicium. L'incertitude relative actuelle de cette technique est de  $2 \times 10^{-7}$ . Les travaux futurs concernent l'utilisation d'un cristal enrichi isotopiquement (99,99 % de  $^{28}\text{Si}$ ). Le groupe travaillant sur ce projet espère obtenir une incertitude relative de  $5 \times 10^{-8}$  en 2005 et de  $2 \times 10^{-8}$  en 2008.

Au BNM, l'expérience sur la balance du watt est à mi-étape de la phase de conception. L'expérience sera fondée sur un aimant en cobalt-samarium et sur une masse d'essai de 500 g. En ce qui concerne la partie mobile de l'expérience, la balance et la bobine, suspendues à des rubans flexibles, se déplaceront ensemble. On espère obtenir une incertitude relative de  $1 \times 10^{-8}$ . L'appareil prototype devrait être prêt fin 2003.

La balance du watt du METAS est opérationnelle ; sa reproductibilité est de  $6 \times 10^{-7}$  en valeur relative. La balance a récemment été déménagée dans un nouveau laboratoire présentant de meilleures conditions ambiantes. L'assemblage aimant-bobine est en cours de modification afin de réduire les effets d'hystérésis. On espère obtenir une incertitude relative de  $1 \times 10^{-8}$ . Les premiers résultats devraient être disponibles fin 2003.

La balance du watt du NIST a été entièrement reconstruite, et est largement améliorée par rapport à l'ancien appareil. Le nouveau système a été essayé avec succès dans le vide pour la première fois en 2001 et a depuis été amélioré. Le groupe espère obtenir une incertitude relative de  $1 \times 10^{-7}$  fin 2002 et de  $1 \times 10^{-8}$  fin 2003.

Dans le cadre de l'expérience sur la balance du watt du NPL, de nombreuses mesures ont été réalisées pour rechercher l'origine d'un changement des résultats des mesures de  $3 \times 10^{-7}$  en valeur relative survenu en avril 2000. Ce changement est maintenant attribué à de lentes variations de l'angle du support de la balance. Des modifications ont été apportées à l'appareil pour éliminer ce problème. L'appareil devrait être à nouveau en service en septembre 2002. On espère obtenir une incertitude relative meilleure que  $5 \times 10^{-8}$  en juillet 2003. Le déménagement dans les nouveaux locaux du NPL devrait avoir lieu après cette date.

Pour renforcer la liaison entre les différentes expériences pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme, la collaboration entre le Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme et certains groupes de travail du CCM (sur la constante d'Avogadro, la gravimétrie) sera plus intense.

Enfin, le groupe de travail a examiné les progrès actuels dans la mesure de la constante de Planck et il recommande au CCEM de ne pas modifier les valeurs conventionnelles, ni leurs incertitudes, qui sont fondées sur la constante de Planck et son incertitude associée. Cette recommandation est approuvée par le CCEM.

M. Quinn présente brièvement la proposition du BIPM concernant l'expérience sur la balance du watt cryogénique (CCEM/02-09). Les commentaires critiques concernant cette proposition sont bienvenues.

## **2.2 Rapport sur l'état d'avancement de l'ajustement des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés**

M. Taylor, membre du CODATA Task Group on Fundamental Constants, n'a pas pu être présent à la réunion du CCEM et M. Göbel commente en son nom le document CCEM/02-04 qui présente les valeurs actuelles dans le Système international d'unités (SI) de la constante de Josephson  $K_J$  et de la constante de von Klitzing,  $R_K$ . Il attire l'attention sur le dernier paragraphe du document CCEM/02-04 : la possibilité que la valeur de  $K_J$  recommandée en 2002 diffère de manière significative de celle de 1998 lorsque l'on prendra en compte les nouveaux résultats dérivés des expériences sur la constante d'Avogadro y est discutée. Par conséquent, les représentations pratiques du volt fondées sur l'effet Josephson et sur  $K_{J-90}$  pourraient ne plus être cohérentes avec le SI, comme cela avait été prédit lors de l'ajustement des constantes fondamentales par CODATA en 1998.

M. Bachmair propose que le prochain ajustement des valeurs de CODATA soit remis à une date ultérieure afin que les importants résultats des expériences sur la balance du watt, attendus en 2003, ne soient pas exclus de l'analyse. Les membres du CCEM sont de son avis et conseillent au CODATA Task Group on Fundamental Constants de retarder d'un an la date limite pour l'acceptation des nouveaux résultats. M. Quinn fait cependant remarquer que CODATA a décidé d'effectuer des ajustements des constantes fondamentales plus fréquemment.

M. Göbel dit (CCEM/02-05) que le CIPM a approuvé la déclaration faite par le CCEM lors de sa 22<sup>e</sup> session en septembre 2000 de réduire l'incertitude assignée à l'écart entre  $R_{K-90}$  et  $R_K$  à  $1 \times 10^{-7}$  en valeur relative. Le CCEM n'a aucune raison de recommander au CIPM une réduction supplémentaire de cette incertitude, ni de changer l'incertitude assignée à l'écart entre  $K_{J-90}$  et  $K_J$ .

Enfin, M. Göbel exprime ses remerciements à M. Taylor au nom du CCEM pour ses nombreuses contributions aux activités du CCEM pendant de longues années. Il remercie aussi MM. P. Mohr et B. Taylor pour le document CCEM/02-04.

## 2.3 Progrès effectués dans la réalisation des unités électriques du SI et amélioration de notre connaissance de $K_J$ et $R_K$ ; étude des possibilités d'utilisation en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique (SET)

### 2.3.1 Directives sur l'effet Hall quantique

Lors de sa 22<sup>e</sup> session, le CCEM a demandé à MM. F. Delahaye et B. Jeckelmann de préparer une version révisée des *Technical Guidelines for Reliable Measurements of the Quantized Hall Resistance* publiés en 1988. Un premier projet de texte révisé a été présenté et discuté à la réunion des experts sur l'effet Hall quantique pendant la CPEM 2002 à Ottawa. Après quelques modifications mineures, le document est soumis au CCEM comme document CCEM/02-01. M. Delahaye présente les grandes lignes de ce document. Le paragraphe sur le choix de dispositifs convenables pour l'effet Hall quantique destinés à des applications métrologiques est modifié par rapport à la version de 1988 pour tenir compte des derniers résultats. L'influence de contacts imparfaits sur les propriétés du gaz électronique bi-dimensionnel fait l'objet d'une attention plus soutenue. Des tests pour déceler un effet quantique imparfait dans les dispositifs à effet Hall quantique sont proposés et des méthodes pour vérifier les dispositifs de mesure sont présentés. Le CCEM approuve la version révisée des directives, et repousse la date limite pour l'envoi des commentaires à la fin 2002 ; il propose d'en publier la version finale dans *Metrologia*.

### 2.3.2 Effet tunnel monoélectronique

L'état d'avancement du projet COUNT de l'Union européenne est discuté. Ce projet est mené en collaboration entre le BNM-LNE, l'université Chalmers, le METAS, le NMi VSL, le NPL, la PTB et le SP, en vue de la réalisation d'un étalon quantique pour le courant électrique. Il est centré sur l'amélioration de deux dispositifs à effet tunnel monoélectronique complémentaires : une pompe électronique utilisée pour générer des courants et un compteur électronique pour mesurer des courants pouvant atteindre quelques picoampères. M. Piquemal décrit les progrès réalisés au BNM-LNE sur le projet COUNT concernant le triangle métrologique (CCEM/02-12). On a obtenu une incertitude relative de type A de  $4 \times 10^{-6}$  pour la mesure de courants de 3,2 pA et une amélioration d'un facteur dix semble réalisable. M. Jeckelmann commente l'état d'avancement du sous-projet sur la réalisation d'un étalon de capacité quantique fondé sur la valeur de  $e$

(CCEM/02-06). Tous les éléments de l'expérience sont prêts et les premières évaluations de l'exactitude sont prévues pour la fin de 2002.

M. Bachmair décrit l'état d'avancement des expériences effectuées à la PTB sur les dispositifs à onde acoustique de surface à 5 GHz. En utilisant la meilleure technique actuelle de lithographie par faisceaux d'électrons, il est possible de réaliser des dispositifs améliorés dans lesquels les réflexions acoustiques parasites sont réduites. Par conséquent, les plateaux observés sont plus plats ; l'incertitude se situe au niveau de  $1 \times 10^{-4}$  en valeur relative.

M. Olthoff présente les progrès réalisés au NIST sur la mise au point de dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique (CCEM/02-11). Des recherches sont effectuées sur la mise au point éventuelle d'une pompe de paires d'électrons à sept jonctions comme nouvel étalon de courant. D'importants progrès ont été faits dans la réalisation d'étalons de capacité quantiques fondés sur le comptage d'électrons. Le NIST espère fermer le triangle métrologique au niveau de  $1 \times 10^{-7}$  en valeur relative vers la fin de 2003.

Le NPL poursuit ses travaux sur les dispositifs à onde acoustique de surface en collaboration avec l'université de Cambridge. Des dispositifs de nouvelle génération sont prêts pour des mesures d'essai.

Le DFM collabore avec l'université de Copenhague dans le cadre d'un programme de recherche européen sur l'effet tunnel monoélectronique.

Le NRC étudie une application de l'effet tunnel monoélectronique pour la thermométrie.

L. Christian présente des travaux théoriques sur le projet COUNT effectués au MSL.

### **3 RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LES MESURES DE LA RÉSISTANCE DE HALL QUANTIFIÉE EN COURANT ALTERNATIF ET DISCUSSION SUR L'UTILISATION DE L'EFFET HALL QUANTIQUE POUR ÉTABLIR LES ÉTALONS D'IMPÉDANCE**

Le Groupe de travail sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif s'est réuni le 15 juin 2002 à Ottawa avant la CPEM, puis le 9 septembre au BIPM. M. Braun présente le rapport de ces réunions et les

activités du groupe de travail, en général, depuis sa création en 1997 (CCEM/02-14). Le groupe a favorisé une intense coopération entre ses membres. Par exemple, M. Braun mentionne le projet en cours entre le METAS, le NRC et la PTB. Des experts des trois laboratoires ont eu la possibilité de travailler ensemble pendant plusieurs semaines sur l'un des sites pour étudier les influences des différents dispositifs de mesure et de la préparation des échantillons. L'état d'avancement de ces études est tel que plusieurs laboratoires peuvent utiliser la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif avec une incertitude meilleure que  $1 \times 10^{-7}$  en valeur relative. Des portes bien ajustées permettent de contrôler la dépendance en fréquence occasionnée par les pertes entre le dispositif à effet Hall quantique et son environnement ; dans ces conditions on observe des plateaux plats dans un grand domaine de valeurs du champ magnétique. Il n'a toutefois encore pas été démontré que les résultats obtenus dans un laboratoire peuvent toujours être reproduits dans un autre. Il est donc encore prématuré de formuler des directives pour des mesures exactes de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif.

À la fin de son rapport, M. Braun demande de poursuivre les expériences sur le condensateur calculable. L'effet Hall quantique sert simplement de représentation très reproductible de l'unité de résistance. Il est important de maintenir un lien fiable au SI. Bien sûr, la constante de structure fine assure aussi un lien au SI ; ce lien, cependant, dépend des calculs d'électrodynamique quantique effectués dans un seul laboratoire. D'autres liens sont souhaitables, comme par exemple au moyen du condensateur calculable. Le CCEM soutient ce point de vue.

Enfin le CCEM prend acte de la démission de M. Braun en tant que président du groupe de travail. Le CCEM reconnaît ses nombreuses contributions à la métrologie et son rôle actif de président pendant de longues années. M. Göbel lui exprime, au nom du CCEM, ses remerciements. M. Braun dit que le Groupe de travail sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif a approuvé sa proposition de nommer M. Melcher de la PTB pour lui succéder ; cette proposition est officiellement approuvée par le CCEM.

#### **4 FOURNITURE DE RÉSEAUX DE JONCTIONS DE JOSEPHSON PROGRAMMABLES ET NON BIAISÉS ET D'ÉCHANTILLONS DE RÉSISTANCE DE HALL QUANTIFIÉE**

##### **4.1 Réseaux de Josephson non biaisés**

Il est possible de se procurer des réseaux non biaisés de 1 V et de 10 V auprès de la société américaine Hypres. M. Anderson a consulté la société Hypres à ce sujet et confirme que celle-ci a suffisamment de réseaux en stock pour faire face aux besoins.

La société IPHT à Jena (Allemagne) peut fournir des réseaux de 1 V. Il est prévu de transférer la technologie des réseaux de 10 V de la PTB à la société IPHT dans un proche avenir. Entre temps, la PTB peut fournir un nombre limité de réseaux de 10 V. Le laboratoire fait payer les réseaux au prix coûtant. Des réseaux sont aussi disponibles dans le cadre de projets de collaboration entre le laboratoire intéressé et la PTB.

M. Song annonce que le KRISS pourra fournir des réseaux de 10 V à l'avenir.

##### **4.2 Réseaux de Josephson programmables**

L'AIST met au point des réseaux programmables de 1 V qui fonctionnent à la température de 10 K et à la fréquence de 16 GHz. Les puces sont conçues en collaboration avec le NIST. Un nombre limité de réseaux sera mis à la disposition des laboratoires nationaux de métrologie intéressés.

M. Seppä annonce que le VTT peut fournir quelques réseaux de 1 V biaisés.

M. Bachmair indique que la PTB peut fournir des réseaux de 1 V ; la mise au point de réseaux de 10 V est en cours. La PTB peut fournir des puces à prix coûtant ou dans le cadre d'un projet de collaboration.

##### **4.3 Dispositifs à effet Hall quantique**

La PTB peut fournir un nombre limité de dispositifs à effet Hall quantique non vérifiés, dans les mêmes conditions que pour les réseaux de Josephson.

M. Inglis annonce qu'une nouvelle série de dispositifs sera mise au point au NRC. Les laboratoires nationaux de métrologie sont invités à se joindre à ce



projet. Les dispositifs non vérifiés seront à la disposition des partenaires au projet à un prix unitaire inférieur à cent dollars canadiens.

Le BIPM dispose toujours de dispositifs produits par l'ancien Laboratoire d'électronique Philips (LEP). Le BIPM a en stock trente dispositifs non protégés montés sur des boîtiers TO-8 et quarante dispositifs montés avec une couche protectrice.

## **5 RAPPORT SUR LA RÉUNION DU GROUPE DE TRAVAIL DU CCEM POUR LES GRANDEURS AUX RADIOFRÉQUENCES**

M. Érard présente le rapport de la réunion du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF) qui s'est tenue le 10 septembre 2002 au BIPM (le rapport figure pages 63 à 72). Le groupe a présenté au Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés plusieurs propositions concernant les comparaisons terminées et de nouvelles comparaisons. Ce sujet est traité dans la section 6.1.

M. Érard annonce sa démission en tant que président du groupe de travail ; le groupe de travail approuve sa proposition de nommer M. Randa du NIST pour lui succéder. Au nom du CCEM, M. Göbel exprime ses remerciements à M. Érard pour sa contribution de longue durée aux activités du GT-RF et à la communauté des métrologistes en général. (Note du rédacteur : le rapport de la 16<sup>e</sup> réunion du GT-RF sera annexé au rapport du CCEM une fois approuvé par les participants.)

## **6 COMPARAISONS CLÉS DE GRANDEURS ÉLECTRIQUES À BASSE FRÉQUENCE ET DE GRANDEURS MAGNÉTIQUES**

### **6.1 Rapport du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés**

M. Bachmair présente le rapport de la sixième réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés qui s'est tenue les 11 et 12 septembre 2002. Le rapport détaillé de la réunion est annexé au rapport du CCEM. (Note du rédacteur : le rapport de la 6<sup>e</sup> réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité sera annexé au rapport du CCEM une fois approuvé par les participants.)

Le CCEM a approuvé les actions suivantes, discutées et recommandées par le groupe de travail.

Il a approuvé pour l'équivalence provisoire les comparaisons suivantes :

- CCEM.RF-K1.c.W (puissance sur guide d'ondes) ;
- CCEM.RF-K3.F (gain d'antenne) ;
- CCEM.RF-K7.a.F.1 (champ électrique) ;
- CCEM.RF-K7.a.F.2 (puissance surfacique) ;
- CCEM.RF-K7.b.F (facteur d'antenne).

Il a approuvé pour l'équivalence totale les comparaisons suivantes :

- CCEM-K5 (puissance alternative) ;
- CCEM-K8 (rapport de tension en continu) ;
- CCEM.RF-K1.d.W (puissance sur guide d'ondes).

Il a approuvé les nouvelles comparaisons suivantes proposées :

- comparaison clé de transfert courant alternatif-courant continu ; la comparaison débutera quand les comparaisons clés CCEM-K6.c, -K9 et -K11 seront terminées ;
- étude pilote de puissance alternative avec des ondes de forme non-sinusoïdale ;
- comparaison subséquente à la comparaison clé CCEM-K8 (rapport de tension en continu) ;
- comparaison bilatérale subséquente à la comparaison clé CCEM.RF-K9 (puissance de bruit) entre la PTB et le VNIIFTRI ;

- comparaison supplémentaire CCEM.RF-S1.CL (puissance sur ligne coaxiale en 2,4 mm).

Il a approuvé la proposition de nouvelles comparaisons d'étalons de capacité en continu du BIPM à 10 pF (BIPM.EM-K14.a) et à 100 pF (BIPM.EM-K14.b).

Il a approuvé la proposition de schéma révisé pour les comparaisons clés en courant continu et à basse fréquence et aux radiofréquences.

Il a aussi approuvé la proposition d'une nouvelle procédure de traitement par le CCEM des comparaisons clés des organisations régionales de métrologie, décidée durant la réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés (voir rapport en annexe pages 39 à 62).

## **6.2 Discussion sur les comparaisons dans le domaine du magnétisme**

La première comparaison clé dans le domaine du magnétisme (CCEM.M-K1 : flux magnétique surfacique) a débuté en juillet 2001 avec neuf participants. Elle progresse doucement. Il n'est pas prévu d'entreprendre d'autre activité dans ce domaine pour le moment.

## **7 DISCUSSION SUR LES PROCÉDURES D'ÉLABORATION, DE MISE EN ŒUVRE, DE RÉDACTION DU RAPPORT ET D'APPROBATION DES COMPARAISONS CLÉS DU CCEM**

Le CCEM a tout d'abord discuté du statut des comparaisons supplémentaires, déjà discuté pendant la réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés. M. Quinn cite les sections 6.3 et 7.3 de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM (MRA) et la section T 10 du supplément technique au MRA, qui mentionnent les comparaisons supplémentaires. Selon le MRA, des comparaisons supplémentaires peuvent être organisées pour répondre à des besoins spécifiques non couverts par les comparaisons clés, et pour renforcer la confiance dans les certificats d'étalonnage et de mesurage. Le texte ne donne pas de détail au sujet de l'organisation et de l'analyse des comparaisons supplémentaires. M. Quinn est d'avis que, d'après l'esprit du MRA, les comparaisons supplémentaires ne sont pas

destinées à imiter les comparaisons clés. L'organisation détaillée et la mise en œuvre de ces comparaisons doit suivre des procédures simplifiées. En ce qui concerne la publication des résultats des comparaisons supplémentaires, la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB) publiera uniquement le rapport final sous la forme d'un fichier pdf, une fois celui-ci approuvé par le CCEM. Il mentionne aussi la section 12 des directives pour les comparaisons clés du CIPM et suggère que la phrase « ... les comparaisons supplémentaires ... doivent être réalisées conformément à ces directives » soit remplacée par « ... l'organisation et l'analyse des comparaisons supplémentaires doit être inspirée par ces directives ». Enfin M. Quinn dit que les Comités consultatifs doivent, autant que possible, éviter d'organiser des comparaisons supplémentaires.

Après discussion, le CCEM décide d'adopter les règles suivantes pour les comparaisons supplémentaires :

- le nombre des comparaisons supplémentaires du CCEM doit être réduit au minimum ;
- les rapports des comparaisons sont publiés dans la KCDB et dans le *Technical Supplement* de *Metrologia* ;
- le président du groupe de travail du CCEM concerné est responsable de l'approbation des comparaisons supplémentaires des organisations régionales de métrologie ;
- des procédures simplifiées doivent être adoptées pour les comparaisons supplémentaires.

## **8 ACTIVITÉS DE LA SECTION D'ÉLECTRICITÉ DU BIPM**

M. Witt résume les activités de la section d'électricité du BIPM depuis la précédente session du CCEM en 2000 (CCEM/02-02).

### Résumé des activités dans la section d'électricité du BIPM depuis septembre 2000

Dans le domaine de la métrologie des tensions :

- comparaison directe de deux réseaux de 10 V du BIPM montrant une différence relative moyenne de  $3 \times 10^{-12}$  assortie d'un écart-type relatif de la moyenne de  $4 \times 10^{-12}$  ;
- comparaisons de réseaux de jonctions programmables de Josephson de 1 V (polarisés) avec des réseaux classiques non biaisés en accord à -0,05 nV (incertitude-type de 0,12 nV) et à -0,09 nV (incertitude-type de 0,09 nV) ;
- mise au point de réseaux de connexion de haute qualité pour renforcer l'automatisation des étalonnages et pour les travaux de recherche ;
- achèvement de six comparaisons clés de tension en continu du BIPM (BIPM.EM-K11.a et BIPM.EM-K11.b).

Dans le domaine des impédances :

- préparation de deux boîtiers supportant des dispositifs à effet Hall quantique à porte pour distribution au METAS et à la PTB ; confirmation au BIPM de l'efficacité de portes pour réduire la dépendance en fréquence de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz utilisant ces boîtiers (dépendance en fréquence :  $1 \times 10^{-8}$  à  $2 \times 10^{-8}$  par kilohertz en valeur relative) ; un rapport du METAS confirme les résultats du BIPM ;
- améliorations dans la fabrication de résistances coaxiales alternatif-continu permettant de réduire l'incertitude sur l'étalonnage des étalons de capacité fondés sur des mesures de la résistance de Hall quantifiée et sur  $R_{K-90}$  ;
- rénovation réussie d'un ancien bain à huile du commerce datant d'une trentaine d'années, permettant d'obtenir une stabilité de 1 mK à un point donné et un gradient de température n'excédant pas quelques millikelvins ; mise en œuvre d'une rénovation similaire de deux autres bains ;
- participation à la comparaison CCEM-K10 (100  $\Omega$ ) et à une comparaison bilatérale subséquente de capacités de 10 pF et de 100 pF (et organisation de nouvelles comparaisons clés en continu du BIPM de ces grandeurs, voir section 6.1) ;
- participation à la préparation de directives techniques pour les mesures de la résistance de Hall quantifiée (voir section 2.3).

En ce qui concerne la détermination des caractéristiques du bruit des mesures électriques :

- études détaillées du bruit utilisant des spectres de fréquence et la variance d'Allan pour quatre procédures de mesure : bruit blanc et bruit en  $1/f$  au moyen de nanovoltmètres analogiques et numériques ; les distributions d'échantillonnage mesurées de la variance d'Allan sont en chi carré dans les quatre cas ; on a trouvé une relation empirique pour les intervalles statistiques de confiance de la variance d'Allan ; ceci donne des informations utiles à l'élaboration des méthodes de mesure ;
- participation avec le NIST à un projet destiné à appliquer la variance d'Allan et l'analyse spectrale à la détermination des caractéristiques du bruit des étalons à diodes de Zener et à la comparaison de réseaux de jonctions de Josephson au NIST ; ce projet a été mené à bien et on a obtenu des résultats satisfaisants en juillet 2002 ; le NIST poursuit la détermination des caractéristiques du bruit de ses étalons à diode de Zener.

Étalonnages pour les États membres de la Convention du Mètre :

- vingt-neuf certificats d'étalonnage ont été émis pour dix laboratoires nationaux de métrologie entre septembre 2000 et juin 2001, et soixante-deux certificats ont été émis pour treize laboratoires nationaux de métrologie entre juillet 2001 et septembre 2002.

CCEM et MRA : secrétariat exécutif du CCEM ; participation à l'examen des comparaisons clés CCEM-K2, -K3 et -K6.b, corrections au rapport de la comparaison CCEM-K4 ; liaison entre les comparaisons clés CCEM-K4 et EUROMET.EM-K4.

M. Quinn présente son approche des activités à venir de la section d'électricité. Comme lors des dernières années, des étalons quantiques transportables mis en œuvre par le BIPM seront nécessaires pour comparer les réalisations des étalons électriques des laboratoires nationaux de métrologie au niveau de  $1 \times 10^{-9}$  en valeur relative. Le service d'étalonnage offert par la section d'électricité est apprécié par les plus petits laboratoires et il est probable que ce sera encore le cas à l'avenir. Outre la conservation des étalons quantiques électriques, des liaisons fiables entre les unités électriques et mécaniques sont nécessaires. Cela pose des questions au sujet de l'implication à long-terme des laboratoires nationaux de métrologie dans des expériences telles que le condensateur calculable ou la balance du watt. Le BIPM pourrait avoir pour rôle de mettre en œuvre ces expériences qui demandent un engagement à long terme. C'est pourquoi des activités ont

débuté au BIPM pour étudier la possibilité de mettre en œuvre un projet sur le condensateur calculable, en collaboration avec le CSIRO, et un projet sur la balance du watt. Le projet sur le condensateur calculable est hautement prioritaire et les laboratoires nationaux de métrologie sont invités à contribuer à la mise au point d'un instrument de nouvelle génération donnant une incertitude meilleure que  $1 \times 10^{-8}$  en valeur relative.

Le CCEM exprime son soutien à ces projets. Il pense que le projet sur la balance du watt est prioritaire en raison des implications à long terme de cette activité, pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme.

Enfin M. Göbel s'informe des expériences en cours sur le condensateur calculable dans les laboratoires nationaux de métrologie. Pour le moment des instruments sont en fonctionnement au BNM, au CSIRO, au MSL, au NIM, au NIST, au NPLI et à la PTB. Parmi ces laboratoires, le BNM, le CSIRO, le NIM, le NIST et le NPLI prévoient de continuer à faire fonctionner leurs dispositifs à l'avenir. La décision n'a pas encore été prise au MSL et à la PTB.

## **9 ACTIVITÉS FUTURES DU CCEM**

M. Göbel ne voit pas la nécessité de modifier de manière fondamentale les activités du CCEM à l'avenir. Plusieurs participants disent que le CCEM devrait se concentrer davantage sur les aspects scientifiques de son travail et déléguer les activités liées au MRA aux groupes de travail. Le CCEM et ses groupes de travail devraient s'efforcer d'éviter de discuter des mêmes questions pendant les réunions des groupes de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences et sur les comparaisons clés, puis pendant la session plénière du CCEM. M. Göbel répond qu'il a fallu consacrer beaucoup de temps et d'efforts pour établir les règles et les procédures pour la mise en œuvre du MRA. Il pense, qu'après la fin de la période de transition du MRA, le CCEM devra à nouveau se concentrer sur les activités scientifiques. En ce qui concerne les comparaisons, le CCEM prendra uniquement les décisions finales. M. Witt propose d'espacer d'au moins une demi-journée la session du CCEM et les réunions de ses groupes de travail

pour permettre une meilleure préparation du CCEM. Cette procédure est approuvée.

M. de Vreede demande si le CCEM devrait discuter de questions liées aux propriétés diélectriques à l'avenir. M. Randa répond que ce domaine est déjà couvert par le GT-RF. Il est aussi noté que seuls quelques laboratoires sont actifs dans ce domaine et que, pour cette raison, il n'est pas justifié que le CCEM s'en occupe.

## **10 DISCUSSION SUR LA STRUCTURE DES GROUPES DE TRAVAIL DU CCEM**

Le statut futur du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et du GT-RF est discuté. Il est proposé que les deux groupes de travail aient le même statut en ce qui concerne les procédures d'approbation des comparaisons clés. Les deux groupes de travail présenteront donc directement leur rapport au CCEM. Pour faciliter la coordination des activités de ces deux groupes, leurs présidents continueront à assister aux réunions des deux groupes. M. Marullo Reedtz propose de changer le nom du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux basses fréquences (WGLF) afin de mieux refléter cette nouvelle organisation. Le CCEM approuve officiellement la nouvelle structure proposée et le nouveau nom.

Une question est posée sur la nécessité de créer un groupe de travail sur l'effet tunnel monoélectronique. Le CCEM pense que ce n'est pas nécessaire. Il est noté que ces activités sont discutées dans le cadre d'un groupe d'experts de l'EUROMET ouvert à tous.



## **11 QUESTIONS DIVERSES ; DATE DE LA PROCHAINE SESSION**

Il est proposé d'inviter les présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie aux réunions du GT-RF et du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux basses fréquences. Cette proposition est approuvée.

L'annonce de nouvelles comparaisons clés est discutée. Il est décidé que, lorsqu'une nouvelle proposition sera faite, le laboratoire pilote devra envoyer une lettre d'invitation à tous les laboratoires nationaux de métrologie représentés au CCEM.

Le CCEM décide de publier sur le site Web du BIPM les documents de travail suivants : CCEM/02-01, -04, -05, -08, -09 et -14.

La prochaine session du CCEM devrait avoir lieu en septembre 2004. La date exacte sera fixée ultérieurement. (Note du rédacteur : le Comité international des poids et mesures s'est réuni du 8 au 11 octobre 2002 et a fixé les dates des réunions du GT-RF et du WGLF à la semaine du 3 novembre 2003.)

M. Göbel remercie tous les participants pour leur contribution et l'attention qu'ils ont déployées et déclare la session close.

B. Jeckelmann, rapporteur  
janvier 2003

**Rapport du Groupe de travail du CCEM**

**sur les comparaisons clés**

(11-12 septembre 2002)

**au Comité consultatif d'électricité et magnétisme**

## Ordre du jour

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Discussion sur la cinquième réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés.
- 3 Rapports sur les comparaisons clés en courant continu et à basse fréquence :
  - 3.1 Comparaisons clés continues du BIPM ;
  - 3.2 Comparaisons clés du CCEM achevées ;
  - 3.3 Comparaisons clés du CCEM en cours.
- 4 Rapport sur les comparaisons clés du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.
- 5 Discussion générale sur l'organisation des comparaisons clés du CCEM :
  - 5.1 Mesures prises pour limiter le nombre de comparaisons clés du CCEM ;
  - 5.2 Discussion sur les procédures écrites pour l'élaboration, la mise en œuvre, la rédaction du rapport et l'approbation des comparaisons clés du CCEM ;
  - 5.3 Moyens d'accélérer l'acceptation des rapports des comparaisons clés ;
  - 5.4 Conclusions à tirer des résultats des comparaisons clés ;
  - 5.5 Critères pour aider les laboratoires nationaux de métrologie à décider de leur participation aux comparaisons clés ;
  - 5.6 Rôle des différents groupes de travail du CCEM et collaboration aux comparaisons clés.
- 6 Propositions de nouvelles comparaisons clés :
  - 6.1 Puissance alternative d'ondes non-sinusoïdales ;
  - 6.2 Transfert courant alternatif-continu ;
  - 6.3 Nouvelles comparaisons proposées dans le domaine des radiofréquences.

- 7 Rapports sur les comparaisons clés des organisations régionales de métrologie :
  - 7.1 Nomenclature des comparaisons ;
  - 7.2 Rapports des organisations régionales de métrologie ;
  - 7.3 Traitement des comparaisons clés des organisations régionales de métrologie par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et par le CCEM ;
  - 7.4 Procédure appropriée pour inclure les comparaisons supplémentaires des organisations régionales de métrologie dans l'annexe B ;
  - 7.5 Harmonisation des tâches entre le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et les présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie dans le domaine de l'électricité et du magnétisme.
- 8 Questions diverses ; date de la prochaine réunion.



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

Le Groupe de travail du Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM) sur les comparaisons clés a tenu sa sixième réunion les 11 et 12 septembre 2002 au Bureau international des poids et mesures (BIPM), Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Étaient présents : W.E. Anderson (NIST), H. Bachmair (PTB), J.P.M. de Vreede (NMI VSL), L. Énard (BNM-LNE), G. Genevès (BNM-LNE), D. Inglis (NRC), T. Inoue (NMIJ/AIST), M. Kelley (NIST), J.H. Kim (KRISS), K. Komiyama (NMIJ/AIST), G.C. Marullo Reedtz (IEN), J. Melcher (PTB), H. Nilsson (SP), J.K. Olthoff (NIST), T.J. Quinn (directeur du BIPM), J.P. Randa (NIST), B. Ricketts (CSIRO), I. Robinson (NPL), K.-E. Rydler (SP), E. So (NRC), Y.S. Song (KRISS), E.Z. Shapiro (VNIIM), H. Yoshida (NMIJ/AIST).

Invités : L. Christian (MSL), S.W. Chua (SPRING Singapore), E. Dressler (CSIR-NML), Y. Gülmez (UME), B. Jeckelmann (METAS), F. Jelinek (CMI), H.D. Jensen (DFM), Z. Lu (NIM), M.K. Mittal (NPLI), M. Neira (CEM), H. Sánchez (ICE), H. Seppä (VTT), H. Slinde (JV).

Assistaient aussi à la réunion : F. Delahaye, D. Reymann, C. Thomas, T.J. Witt (secrétaire exécutif du CCEM) (BIPM).

M. Bachmair ouvre la réunion et souhaite la bienvenue aux participants à la sixième réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés.

M. B. Jeckelmann est nommé rapporteur.

Au total, trente-cinq documents (CCEM WGKC/02-01 à -35) ont été présentés et placés sur le site Web du BIPM en accès restreint. L'ordre du jour révisé est examiné et approuvé.

## **2 DISCUSSION SUR LA CINQUIÈME RÉUNION DU GROUPE DE TRAVAIL DU CCEM SUR LES COMPARAISONS CLÉS**

Deux laboratoires nationaux de métrologie ont ajouté des commentaires au rapport de la cinquième réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés des 27 et 28 juin 2001, qui a été envoyé le 18 septembre 2001 par courrier électronique. Le rapport révisé fait l'objet du document de travail CCEM WGKC/02-17.

Le document CCEM WGKC/02-18 présente une mise à jour du résumé des actions demandées à certains participants lors de la réunion des 27 et 28 juin 2001. Toutes les actions sont achevées.

Lors de la dernière réunion, des questions concernant la participation aux comparaisons clés, la publication des résultats dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB) et la conversion des comparaisons clés des organisations régionales de métrologie en comparaisons clés du CIPM restent ouvertes. La lettre de H. Bachmair, président du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés, adressée au directeur du BIPM pour éclaircir ces questions, et la réponse de M. Quinn, figurent respectivement dans les documents de travail CCEM WGKC/02-09 et -10.

L'EUROMET a décidé de réviser le schéma de classification des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) avant de débiter la deuxième étape de l'évaluation des CMCs. Pour les accepter le plus largement possible, on a demandé aux représentants des organisations régionales de métrologie et aux délégués du CCEM leur avis sur les changements à apporter. Après de légères modifications, le schéma a été finalement approuvé par les organisations régionales de métrologie et par le CCEM à la fin de février 2002 (CCEM WGKC/02-21). En même temps, le BIPM a rédigé plusieurs instructions au sujet de l'élaboration des CMCs (*voir* documents CCEM WGKC/02-22, -23, -24 et -25).

### **3 RAPPORTS SUR LES COMPARAISONS CLÉS EN COURANT CONTINU ET À BASSE FRÉQUENCE**

#### **3.1 Comparaisons clés continues du BIPM**

Depuis la dernière réunion du CCEM, plusieurs nouveaux résultats de comparaisons bilatérales ont été publiés dans la KCDB :

BIPM.EM-K10 : Tension continue, étalons à effet Josephson, pas de nouveaux résultats.

BIPM.EM-K11 : Tension continue, étalons à diodes de Zener, à 1,018 V et à 10 V, cinq comparaisons (avec le BEV, le GUM, le NML Irlande (deux fois) et le SMU).

BIPM.EM-K12 : Résistance continue, étalons de résistance à effet Hall quantique, pas de nouveaux résultats.

BIPM.EM-K13 : Résistance continue, trois comparaisons avec le CMI (10 k $\Omega$ ) et le NML (1  $\Omega$  et 10 k $\Omega$ ).

Le BIPM propose une nouvelle comparaison clé, en continu, d'étalons de capacité de 10 pF et de 100 pF (CCEM WGKC/02-01). Le groupe de travail approuve cette proposition et la soumet pour approbation au CCEM. Les identificateurs de ces nouvelles comparaisons sont BIPM.EM-K14.a (10 pF) et BIPM.EM-K14.b (100 pF). Comme pour les autres comparaisons en continu du BIPM dans le domaine de l'électricité, il a été décidé que la valeur du BIPM sera considérée comme la valeur de référence de la comparaison clé. Une première comparaison bilatérale avec le NPL a été effectuée à titre d'essai. Les résultats seront publiés dans la KCDB comme premiers résultats de cette nouvelle comparaison clé. Une note d'explication sera présentée dans la KCDB sur la manière de relier les résultats de la comparaison bilatérale entre le BIPM et le NPL à ceux de la comparaison clé CCEM-K4.



### 3.2 Comparaisons clés du CCEM achevées

CCEM-K2 : Résistance en continu à 10 M $\Omega$  et à 1 G $\Omega$  ; le laboratoire pilote est le NIST.

Le rapport final a été approuvé par correspondance fin décembre 2001 et les résultats ont été publiés dans la KCDB. Les effets de corrélation négligés dans le rapport qui a été approuvé sont discutés dans le document de travail CCEM WGKC/02-06 et un erratum au rapport final est proposé (CCEM WGKC/02-02). Comme la nouvelle analyse n'a pratiquement pas d'incidence sur la valeur de référence de la comparaison clé et n'a qu'une influence très légère sur les incertitudes sur les écarts par rapport à la valeur de référence, il est décidé de ne pas modifier les données dans la KCDB. Une note sera ajoutée dans la base de données pour expliquer que les corrélations entre les valeurs des  $D_i$ , issues de l'utilisation d'une équation de régression pour décrire le comportement des étalons voyageurs en fonction du temps, ne sont pas prises en compte.

CCEM-K3 : Inductance à 10 mH ; le laboratoire pilote est la PTB.

Le projet B de rapport a été discuté lors de la dernière réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en juin 2001. Après quelques légères modifications, le rapport a été approuvé par E. Göbel, président du CCEM en juillet 2001. La comparaison a été approuvée pour l'équivalence et les résultats ont été publiés dans la KCDB.

CCEM-K4 : Capacité à 10 pF ; le laboratoire pilote est le NIST.

La comparaison a été approuvée pour l'équivalence. Les résultats et un rapport final légèrement révisé sont publiés dans la KCDB.

Liaison entre les comparaisons clés CCEM-K4 et EUROMET.EM-K4.

Une proposition de T.J. Witt et de F. Delahaye a été discutée et approuvée lors de la dernière réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés. Une version révisée du rapport a été placée en accès restreint sur le site Web du BIPM fin juin 2002. Il a été demandé aux délégués

du CCEM et du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés d'approuver le rapport avant le 15 août 2002. Huit laboratoires ont répondu (deux d'entre eux ayant fait des commentaires) et ont approuvé le rapport. Les résultats de la comparaison clé CCEM-K4 et ceux de la comparaison clé EUROMET.EM-K4 qui leur sont liés ont été publiés dans la KCDB durant la première semaine de septembre 2002. C'est la première fois qu'une liaison est établie entre une comparaison clé du CIPM et celle d'une organisation régionale de métrologie dans le domaine de l'électricité et du magnétisme.

CCEM-K5 : Puissance alternative à 50 Hz/60 Hz ; le laboratoire pilote est le NIST.

Le groupe chargé de l'examen de la comparaison est composé de R. Bergeest, T. Nelson, H. Nilsson et E. So. E. So présente un rapport sur l'examen des résultats de la comparaison. Le projet B de rapport a été discuté par ce groupe et des modifications concernant l'analyse des résultats ont été proposées. Le rapport révisé (CCEM WGKC/02-30) prend en compte les corrélations entre la valeur de référence de la comparaison clé et les résultats des participants obtenus en utilisant l'équation de régression pour décrire le comportement des étalons voyageurs en fonction du temps. Le rapport doit être soumis à la procédure de revue interne du NIST. Il a toutefois été décidé d'accepter le rapport dans sa forme actuelle.

Le rapport final et les fichiers Excel des tableaux de résultats doivent être envoyés à C. Thomas et à T.J. Witt avant fin octobre 2002.

CCEM-K6.a : Transfert de tension alternative-continue à 3 V ; le laboratoire pilote est la PTB.

Le projet B de rapport a été discuté pendant la réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en juin 2001. Le rapport a été approuvé par le CCEM par correspondance vers la fin de janvier 2002. La comparaison a été approuvée pour l'équivalence et les résultats publiés

dans la KCDB (sans les tableaux de degrés d'équivalence par paires de laboratoires).

### 3.3 Comparaisons clés du CCEM en cours

CCEM-K6.b : Transfert de tension alternative-continue pour les hautes tensions, le laboratoire pilote est le BNM-LNE.

Cette comparaison a été remplacée par la comparaison clé CCEM-K9. Elle sera retirée de la KCDB.

CCEM-K6.c : Transfert de tension alternative-continue à haute fréquence ; le laboratoire pilote est le NMi VSL.

Le groupe chargé de l'examen de la comparaison est composé de M. Klonz, K.-E. Rydler, C. van Mullem et T.J. Witt (coordonnateur). J. de Vreede présente le rapport sur l'état d'avancement de la comparaison (CCEM WGKC/02-16). Dans le projet B de rapport, on acceptera les mêmes exemptions que celles utilisées pour l'analyse de la comparaison CCEM-K6.a. Il est demandé si la comparaison doit être approuvée pour l'équivalence provisoire plutôt que définitive, car certains laboratoires y ont participé plusieurs fois. Le problème est le même que pour la comparaison CCEM-K6.a, c'est-à-dire que les mesures suivantes seraient considérées comme équivalentes à une comparaison bilatérale subséquente à la comparaison clé et effectuée après qu'un laboratoire participant ait découvert une erreur dans ses mesures initiales. Il est décidé d'approuver les résultats de la comparaison pour l'équivalence définitive une fois que le projet B de rapport aura été approuvé. La révision est prévue pour fin 2002.

CCEM-K7 : Rapport de tension alternative ; le laboratoire pilote est le NPL.

Le groupe chargé de l'examen de la comparaison est composé de L. Callegaro (coordonnateur), Y. Gülmez, I. Robinson et G. Small. I. Robinson présente l'état d'avancement de la comparaison (CCEM WGKC/02-29). Le nombre de laboratoires participant à la comparaison a été étendu. Le NIST s'est joint à la comparaison. Le programme a pris un retard important en raison de problèmes douaniers. Les mesures devraient être terminées

en février 2003. Le projet B de rapport devrait être prêt lors de la prochaine réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés.

CCEM-K8 : Rapport de tension en courant continu ; le laboratoire pilote est l'IEN.

Le groupe chargé de l'examen de la comparaison est composé de G. Marullo Reedtz, H. Nilsson (coordonnateur), B. Ricketts et B. van Oostrom. G. Marullo Reedtz présente le projet B de rapport de la comparaison (CCEM WGKC/02-11) qui a déjà été examiné avec succès par ce groupe. La méthode appliquée pour calculer la valeur de référence de la comparaison clé, et en particulier les critères appliqués pour rejeter les résultats aberrants, sont brièvement discutés. Il serait souhaitable d'avoir quelques règles acceptées par tous pour le calcul des valeurs de référence des comparaisons clés (CCEM WGKC/02-27).

Comme ce sont les rapports de tension, et pas les étalons nationaux, qui ont fait l'objet de cette comparaison, et comme les corrélations entre les résultats sont négligeables, G. Marullo Reedtz propose que les degrés d'équivalence de la comparaison clé CCEM-K8 pour les paires de laboratoires ne soient pas publiés. Il s'ensuit une discussion détaillée sur cette question. T.J. Witt présente des arguments pour et contre la présentation de tableaux de degrés d'équivalence pour les paires de laboratoires (CCEM WGKC/02-32). Les participants recommandent que cette question soit décidée au cas par cas. Dans le cas particulier de la comparaison clé CCEM-K8, il est décidé d'autoriser à ne pas publier ces tableaux d'équivalence dans la KCDB, à condition de le justifier et d'indiquer comment les calculer, sous forme d'équations ou d'un texte. De plus, on ajoutera une estimation des effets occasionnés par les corrélations dues à la régression linéaire des valeurs des étalons voyageurs.

Le rapport révisé devrait être prêt à la fin de l'année 2002.

CCEM-K9 : Transfert de tension alternative-continue à 500 V et à 1000 V ; le laboratoire pilote est le BNM/LNE.

Le groupe chargé de l'examen de la comparaison est composé de P. Filipinski, M. Flüli (coordonnateur) et K.-E. Rydler. G. Genevès présente un rapport sur l'état d'avancement de la comparaison. Tous les participants auront terminé leurs mesures fin 2002. Des tests supplémentaires seront effectués pour vérifier la stabilité des étalons voyageurs. Le projet A de rapport devrait être prêt en mars 2003 et le projet B de rapport lors de la prochaine réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés.

CCEM-K10 : Résistance continue à 100  $\Omega$  ; le laboratoire pilote est la PTB.

Le groupe chargé de l'examen de la comparaison est composé de F. Delahaye (coordonnateur), R. Elmquist et de B. Schumacher. H. Bachmair présente le rapport sur l'état d'avancement de la comparaison. Trois des boucles de la comparaison sont terminées. Les laboratoires qui n'étaient pas prêts à effectuer les mesures dans le temps imparti auront la possibilité de participer à une cinquième boucle. Les mesures devraient être terminées avant fin mai 2003.

CCEM-K11 : Transfert de tension alternative-continue aux basses tensions ; le laboratoire pilote est le SP.

Le groupe chargé de l'examen de la comparaison est composé de M. Klonz (coordonnateur), K.-E. Rydler et C. van Mullem. K.-E. Rydler présente le rapport sur l'état d'avancement de la comparaison (CCEM WGKC/02-28). Elle a débuté en septembre 2001. Les problèmes douaniers et de transport en Russie au printemps 2002 ont occasionné un retard de deux mois. L'étalon voyageur est très stable. C. van Mullem n'étant plus disponible pour être membre du groupe chargé de l'examen, il est demandé au NMi VSL de nommer un nouveau membre avant fin septembre 2002.

CCEM.M-K1 : Flux magnétique surfacique ; le laboratoire pilote est la PTB.

Le groupe chargé de l'examen de la comparaison est composé de M. Hall (coordonnateur) et de K. Weyand.

H. Bachmair présente le rapport sur l'état d'avancement de la comparaison. Elle a débuté en juillet 2001 avec neuf participants. Elle respecte les délais prévus et l'étalon voyageur est maintenant envoyé au dernier participant. Le projet B de rapport devrait être prêt pour la prochaine réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés.

#### **4 RAPPORT SUR LES COMPARAISONS CLÉS DU GROUPE DE TRAVAIL POUR LES GRANDEURS AUX RADIOFRÉQUENCES**

M. J. Randa présente, à la place de L. Énard, le rapport sur les comparaisons discutées lors de la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF) du 10 septembre 2002.

Il propose d'approuver les comparaisons suivantes pour l'équivalence provisoire :

- CCEM.RF-K1.c.W (puissance sur guide d'onde) ;
- CCEM.RF-K3.F (gain d'antenne) ;
- CCEM.RF-K7.a.F.1 (intensité de champ électrique) ,
- CCEM.RF-K7.a.F.2 (puissance surfacique) ;
- CCEM.RF-K7.b.F (facteur d'antenne).

Comparaison à approuver pour l'équivalence définitive :

- CCEM.RF-K1.d.W (puissance sur guide d'onde aux fréquences de 75 GHz et de 94 GHz ; cette comparaison est déjà approuvée pour l'équivalence provisoire).

Nouvelles comparaisons proposées :

- Comparaison bilatérale subséquente entre la PTB et le VNIIFTRI pour corriger les résultats de la comparaison clé CCEM.RF-K9 (puissance de bruit).
- CCEM.RF-S1.CL (puissance, connecteur en 2,4 mm) ; le laboratoire pilote est le NIST.

Le groupe de travail approuve toutes les comparaisons mentionnées ci-dessus et les transmet au CCEM pour décision finale.

## **5 DISCUSSION GÉNÉRALE SUR L'ORGANISATION DES COMPARAISONS CLÉS DU CCEM**

### **5.1 Mesures prises pour limiter le nombre de comparaisons clés du CCEM**

W. Anderson commente le document de travail CCEM WGKC/02-15, et exprime ses préoccupations au sujet du volume de travail consacré actuellement aux comparaisons clés. Il encourage le groupe de travail à prendre des actions efficaces pour mieux maîtriser la quantité de travail consacrée aux comparaisons clés. Le nombre de comparaisons clés devrait être limité et on devrait choisir une série de comparaisons appropriées pour s'assurer d'une efficacité optimale. H. Bachmair analyse la situation de la manière suivante : depuis le début de la période de transition de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle (le MRA), trop de comparaisons clés ont été effectuées en parallèle. On ne disposait à ce moment-là que de procédures incomplètes, et il n'y avait pas de format uniforme pour les protocoles et les rapports, ni d'approche uniforme pour l'analyse des résultats des comparaisons. De plus, les procédures d'examen étaient trop compliquées ; c'est pourquoi il a fallu beaucoup de temps pour terminer la première comparaison clé. La situation s'est considérablement améliorée et le temps nécessaire à un laboratoire pilote pour mener à bien une comparaison clé est bien moindre qu'au début. Nous devons cependant améliorer encore plus la procédure pour mener à bien les comparaisons clés. Il faut définir clairement les buts et les attentes avant de débiter la comparaison. Il faut réduire le nombre des participants ; des formats de fichiers doivent être préparés pour les protocoles et les rapports, la procédure d'examen doit être simplifiée et, enfin, le schéma de choix proprement dit des comparaisons clés doit aussi être révisé. Une proposition de schéma révisé pour les comparaisons aux basses fréquences, en continu et aux radiofréquences est présentée dans le document CCEM WGKC/02-07. Selon ce nouveau schéma, huit grandeurs clés sont proposées dans le domaine des basses fréquences et en continu, et sept pour les radiofréquences. On ne peut mener qu'une seule

comparaison clé à la fois pour chaque grandeur clé. Ceci réduira le nombre de comparaisons clés en cours à un moment donné. De plus, des mesures opérationnelles sont prises pour accélérer le processus.

Les participants accueillent favorablement cette proposition. La question du nombre et du choix des grandeurs clés est discutée brièvement. Le groupe est d'avis que le nombre proposé est suffisant. Il n'est pas possible ni nécessaire d'étayer toutes les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) par des comparaisons clés. Des comparaisons supplémentaires peuvent être effectuées pour répondre à des besoins spécifiques. D. Vassilev souligne que le schéma de classification des CMCs (CCEM WGKC/02-21) inclut aussi certaines propriétés des matériaux et il demande si celles-ci devraient faire l'objet de comparaisons clés. Après discussion, il est décidé de ne pas effectuer de comparaisons clés pour les matériaux.

Pour information, une comparaison est définie comme achevée lorsque le projet B de rapport est approuvé par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et qu'il est transmis au CCEM pour approbation finale. Une nouvelle comparaison clé concernant la même grandeur clé peut alors débuter. (Toutefois, le travail de préparation et les études pilotes peuvent débuter plus tôt.)

Le schéma révisé est approuvé.

## **5.2 Discussion sur les procédures écrites pour l'élaboration, la mise en œuvre, la rédaction du rapport et l'approbation des comparaisons clés du CCEM**

H. Bachmair présente ce sujet en mentionnant la liste de tous les documents de directives traitant des comparaisons. Il conseille que toutes les informations importantes soient rassemblées dans un seul document. G. Marullo Reedtz propose que les directives du CIPM soient d'abord révisées. C. Thomas souligne que les autres Comités consultatifs sont susceptibles d'avoir les mêmes problèmes et qu'il serait judicieux de collationner d'abord les questions ouvertes sur les comparaisons et des idées pour améliorer les procédures. Cette approche est approuvée. H. Bachmair contactera les personnes responsables des comparaisons clés du CCEM et des organisations régionales de métrologie fin septembre 2002 pour collecter des informations. La date limite pour répondre est fin 2002.



### **5.3 Moyens d'accélérer l'acceptation des rapports des comparaisons clés**

H. Bachmair présente cette question : le but est de traiter les résultats des comparaisons clés en quelques mois. D'un côté, il est nécessaire d'améliorer les directives pour aider les laboratoires pilotes depuis la rédaction du projet A de rapport de la comparaison jusqu'à la publication des résultats dans la KCDB. Ce point a déjà été discuté dans la section 5.2. D'un autre côté, la procédure pour l'acceptation des rapports par le CCEM a besoin d'être accélérée. Le BIPM a pour cela créé un site Web en accès restreint sur lequel sont placés tous les projets B de rapports en vue de leur examen. Il est demandé aux membres du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et aux membres du CCEM de voter pour ou contre l'acceptation de ces rapports sans attendre la prochaine réunion. Cette procédure a été appliquée avec succès pour la première fois au projet B de rapport de la comparaison CCEM-K2 en novembre 2001.

Un autre moyen d'accélérer cette procédure est de donner plus d'autonomie au GT-RF. Jusqu'à maintenant, les décisions du GT-RF concernant les comparaisons étaient discutées par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés avant d'être transmises au CCEM pour approbation finale. Il est proposé que ces deux groupes de travail aient le même statut quant aux procédures d'approbation des comparaisons clés. Les deux groupes effectuent le travail technique de comparaison dans leur domaine respectif et tous deux soumettent leurs décisions directement au CCEM pour approbation finale. Cette proposition est acceptée et transmise au CCEM pour étude ultérieure. H. Bachmair mentionne qu'une étroite collaboration sera maintenue entre les deux groupes de travail ; le président de chaque groupe participera notamment aux réunions de l'autre groupe de travail.

### **5.4 Conclusions à tirer des résultats des comparaisons clés**

Pour certains participants à la comparaison clé CCEM-K8, la différence entre leur résultat et la valeur de référence de la comparaison clé est supérieure à son incertitude étendue. G. Marullo Reedtz souligne que dans de tels cas des actions correctives devront être prises (par exemple augmenter l'incertitude des CMCs fondés sur la comparaison). Le groupe pense que la responsabilité d'introduire des mesures appropriées incombe au JCRB et aux organisations régionales de métrologie, parce que ce type d'incident peut arriver au cours de n'importe quelle comparaison clé. Comme les présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie assistent aux réunions

du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et à celles du GT-RF, il est facile de leur transmettre les informations concernant les résultats incohérents. Les laboratoires devraient avoir la possibilité de répéter les comparaisons dès que possible pour améliorer leurs résultats. Ce mécanisme est contrôlé par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés ; il est déjà opérationnel.

### **5.5 Critères pour aider les laboratoires nationaux de métrologie à décider de leur participation aux comparaisons clés**

Les critères pour participer aux comparaisons clés du CCEM sont les suivants :

- le laboratoire doit être volontaire pour participer à la comparaison clé du CCEM et, si possible, à celle de l'organisation régionale de métrologie correspondante ;
- le laboratoire doit être capable de transférer la valeur de référence de la comparaison clé à celle de l'organisation régionale de métrologie sans augmenter l'incertitude de manière substantielle ;
- les organisations régionales de métrologie intéressées doivent être représentées par un nombre suffisant de laboratoires compétents.

En général, ces critères devraient être suffisants pour que le nombre des participants aux comparaisons clés du CCEM reste à un niveau acceptable.

### **5.6 Rôle des différents groupes de travail du CCEM et collaboration aux comparaisons clés**

Ce point a déjà été discuté à la section 5.3.

## **6 PROPOSITIONS DE NOUVELLES COMPARAISONS CLÉS**

### **6.1 Puissance alternative d'ondes non-sinusoïdales**

E. So présente la proposition décrite dans les documents CCEM WGKC/02-19 et -20. Cette comparaison avait déjà été proposée lors de la dernière

réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés. Un groupe chargé de l'examen de la proposition, composé de R. Berggest (PTB), E. Shapiro (VNIIM) S. Svensson (SP) et P. Wright (NPL) est formé. Cinq laboratoires (NIST, NPL, NRC, PTB et SP) sont intéressés à participer à la comparaison clé proposée ; le NRC a accepté d'en être le laboratoire pilote.

Comme peu de laboratoires ont les moyens d'effectuer des mesures dans ce domaine, il est proposé d'effectuer une comparaison supplémentaire plutôt qu'une comparaison clé. S'ensuit une discussion générale sur la différence entre les comparaisons clés et supplémentaires. Certains participants ne voient pas de différence entre les deux types de comparaison en ce qui concerne le compte rendu des résultats. D'autres pensent que l'analyse des résultats devrait être faite de manière moins rigoureuse dans le cas des comparaisons supplémentaires et que l'on devrait publier uniquement le rapport (pas de tableaux d'équivalence) dans la KCDB. Il est décidé de transmettre cette question au CCEM pour discussion ultérieure. (Note du rédacteur : au moment de préparer le compte rendu de la réunion, il est décidé que M. Quinn proposera des changements au document de directives pour les comparaisons clés du CIPM afin de donner plus de flexibilité dans la mise en œuvre et la rédaction du rapport des comparaisons supplémentaires. Une proposition vise à permettre d'effectuer des comparaisons supplémentaires pour lesquelles il n'y aurait pas l'équivalent de la valeur de référence de la comparaison clé. Dans ce cas, la KCDB ne contiendrait pas de graphiques ni de tableaux de résultats, mais seulement une version au format pdf du rapport de la comparaison.)

En ce qui concerne la proposition actuelle, le groupe demande au CCEM d'accepter cette comparaison comme étude pilote du CCEM.

## **6.2 Transfert courant alternatif-continu**

La comparaison de transfert de courant alternatif-continu décrite dans le document CCEM WGKC/02-08, qui est présentée brièvement par B. Ricketts, a été proposée à une réunion d'experts dans le domaine des basses fréquences pendant la CPEM 2002. Le NML CSIRO (Australie) s'est porté volontaire pour en être le laboratoire pilote.

Cette proposition est bien accueillie et sera soumise au CCEM pour approbation. Selon le schéma révisé des comparaisons clés, la nouvelle comparaison devrait débiter seulement après l'achèvement (vers 2004) des trois comparaisons clés en cours en courant alternatif-continu (CCEM-K6.c, -K9 et -K11).

### **6.3 Nouvelles comparaisons proposées dans le domaine des radiofréquences**

Le GT-RF a examiné deux nouvelles comparaisons lors de sa réunion du 10 septembre 2002 :

- une comparaison bilatérale entre la PTB et le VNIIFTRI pour corriger la comparaison clé CCEM.RF-K9 (puissance de bruit) ;
- une nouvelle comparaison supplémentaire CCEM.RF-S1.CL (puissance, connecteur en 2,4 mm) ; le laboratoire pilote est le NIST.

## **7 RAPPORTS SUR LES COMPARAISONS CLÉS DES ORGANISATIONS RÉGIONALES DE MÉTROLOGIE**

### **7.1 Nomenclature des comparaisons**

G. Marullo Reedtz présente le document CCEM WGKC/02-31 (révisé le 10 septembre 2002) proposant un changement de nomenclature des comparaisons clés des organisations régionales de métrologie. Selon ce nouveau schéma, des identifiants supplémentaires sont introduits dans la nomenclature des comparaisons, pour permettre d'attribuer le même numéro aux comparaisons clés en correspondance et menées à différents niveaux (CCEM, comparaisons régionales et bilatérales). La proposition a été discutée et approuvée pendant la réunion des présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie qui s'est tenue le 9 septembre 2002 au BIPM. Le nouveau schéma de nomenclature est discuté et approuvé avec certaines modifications et il est présenté dans le document CCEM WGKC/02-31, daté du 12 septembre 2002.

### **7.2 Rapports des organisations régionales de métrologie**

#### **7.2.1 Comparaisons du SIM**

H. Sánchez présente au nom du SIM le rapport sur les comparaisons effectuées sous l'égide du SIM. La liste figure dans le document CCEM WGKC/02-35. Le SIM devrait définir, avant fin novembre 2002, le statut des comparaisons clés figurant dans la liste (clé ou supplémentaire,

conforme au MRA ou pas). Le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés statuera sur leur approbation lors de sa prochaine réunion.

#### 7.2.2 Comparaisons de l'APMP

S.W. Chua présente un rapport sur les comparaisons de l'APMP mentionnées dans le document CCEM WGKC/02-04. Parmi celles-ci, figure la troisième comparaison de l'APMP de tension continue (CCEM WGKC/02-05) qui est proposée comme ancienne comparaison à publier dans la KCDB pour l'équivalence provisoire. L'identificateur de la comparaison sera APMP.EM.BIPM-K11. S.W. Chua est prié de remplir le formulaire de la comparaison (disponible comme document CCEM WGKC/02-34) et de l'envoyer à H. Bachmair avant fin septembre 2002. (Note : la date limite est repoussée à fin novembre pour donner le temps à l'APMP de normaliser leurs identificateurs de comparaisons.)

Il est demandé à l'APMP de décider s'il faut publier ou pas dans la KCDB les comparaisons terminées avant 1990.

#### 7.2.3 Comparaisons de l'EUROMET

G. Marullo Reedtz présente les comparaisons de l'EUROMET mentionnées dans le document CCEM WGKC/02-12. Il propose d'approuver des informations nouvelles ou modifiées concernant plusieurs comparaisons déjà publiées dans la base de données. Les informations en question sont en couleur dans la liste des comparaisons.

Il propose aussi d'enregistrer dans la base les comparaisons en cours suivantes :

- EUROMET 597 (flux magnétique) ; le laboratoire pilote est le CMI. Cette comparaison est proposée comme comparaison supplémentaire.
- EUROMET 599 (rapport de tension alternative à 50 Hz) ; le laboratoire pilote est le CMI. Cette comparaison est proposée comme comparaison supplémentaire.
- EUROMET 633 (facteurs d'étalonnage de montures pour bolomètres) ; le laboratoire pilote est le NMi VSL. Cette comparaison est proposée comme comparaison clé correspondant à la comparaison clé CCEM.RF-K8.CL.

Pour la comparaison EUROMET.EM-S6 (champ électrique), dont le laboratoire pilote est la PTB, le projet B de rapport est disponible (CCEM WGKC/02-14) et a été approuvé par le président du comité technique de

l'EUROMET. Il est proposé que cette comparaison supplémentaire soit acceptée pour publication dans la KCDB. Suite à la proposition de H. Bachmair, il est décidé de publier le rapport final dans la base de données ; toutefois, les tableaux contenant les résultats n'y seront pas publiés.

Le laboratoire pilote doit envoyer le rapport final de la comparaison supplémentaire EUROMET.EM-S6 au format pdf à C. Thomas fin 2002. La comparaison a été proposée au CCEM pour approbation finale.

### **7.3 Traitement des comparaisons clés des organisations régionales de métrologie par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et par le CCEM**

Les procédures à suivre dans le cas des comparaisons clés des organisations régionales de métrologie et la distribution des tâches entre le président du comité technique de l'organisation régionale de métrologie et le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés ne sont pas encore clairement définies. Après une discussion sur ce sujet, un sous-groupe, composé de H. Bachmair, S.W. Chua, G. Marullo Reedtz, J. Randa et T.J. Witt est chargé de proposer des procédures appropriées avant la prochaine session du CCEM. Les conclusions figurent dans le document CCEM WGKC/02-36. Elles sont soumises au CCEM pour examen.

### **7.4 Procédure appropriée pour inclure les comparaisons supplémentaires des organisations régionales de métrologie dans l'annexe B**

Le statut des comparaisons supplémentaires des organisations régionales de métrologie est discuté. Le groupe décide de demander la même chose pour les comparaisons supplémentaires du CCEM et des organisations régionales de métrologie. Ces dernières sont effectuées sous l'entière responsabilité des organisations régionales de métrologie. Après acceptation du rapport final par le comité technique de l'organisation régionale de métrologie, celui-ci est envoyé au Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et au CCEM pour approbation finale.

Le format de publication des résultats des comparaisons supplémentaires dans la KCDB sera choisi au cas par cas. En général, seul le rapport final est publié. Exceptionnellement un résumé des résultats (*voir*, par exemple, la

comparaison supplémentaire CCL-S1) est disponible dans la base de données.

**7.5 Harmonisation des tâches entre le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et les présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie dans le domaine de l'électricité et du magnétisme**

Ce sujet a été discuté lors de la réunion des présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie dans le domaine de l'électricité et du magnétisme qui s'est tenue au BIPM le 9 septembre 2002 (les comptes rendus ne sont pas encore disponibles, mais S.W. Chua a envoyé une liste d'actions à entreprendre). Dans le futur, ces réunions précéderont normalement celles du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et du GT-RF, et il est décidé que les présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie seront invités aux réunions du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et du GT-RF en qualité d'observateurs.

**8 QUESTIONS DIVERSES ;  
DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION**

H. Bachmair propose les dates provisoires du 8 au 12 septembre 2003 pour les prochaines réunions du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et du GT-RF. Les participants au Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés seront notifiés de la confirmation ou du changement de date. (Note du rédacteur : le Comité international des poids et mesures s'est réuni du 8 au 11 septembre 2002 et a fixé la date de la prochaine réunion du GT-RF et du Groupe de travail du CCEM sur les basses fréquences (l'ancien groupe sur les comparaisons clés) à la semaine du 3 au 7 novembre 2003.)

M. Bachmair remercie tous les participants et déclare la réunion close.

B. Jeckelmann, rapporteur  
janvier 2003

Résumé des actions demandées à divers participants lors de la réunion des 11 et 12 septembre 2002 du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés (voir le document CCEM WGKC/2002-33 pour les mises à jour)

Objet	N° réf.	Personnes responsables	Action	Date limite
Rapport final et tableaux de la comparaison clé CCEM-K5	1	N. Oldham, T. Nelson (NIST)	Envoyer le rapport final et les fichiers Excel des tableaux à C. Thomas et T.J. Witt	Fin octobre 2002
Révision du projet B de la comparaison clé CCEM-K6.c	2	J. de Vreede (C. van Mullen)	Préparer le projet B avec des exceptions similaires à celles utilisées dans la comparaison clé CCEM-K6.a	Fin 2002
		Groupe chargé de l'examen de la comparaison clé : C. van Mullem, M. Klonz, K.-E. Rydler, T.J. Witt		
Groupe chargé de l'examen de la comparaison clé CCEM-K11	3	J. de Vreede	Nommer un responsable d'un laboratoire national de métrologie pour remplacer C. van Mullem dans le groupe chargé de l'examen de la comparaison	Fin septembre 2002
Rapport final et tableaux de la comparaison clé CCEM-K8	4	G. Marullo Reedtz	Expliquer pourquoi les tableaux d'équivalence par paire de laboratoires ne figurent pas dans la KCDB. Inclure des équations ou un texte expliquant comment les calculer. Ajouter une note estimant les effets des corrélations dues à la régression linéaire sur les étalons voyageurs. Envoyer le rapport final et les fichiers Excel à C. Thomas et T.J. Witt	Fin 2002



Objet	N° réf.	Personnes responsables	Action	Date limite
Trouver un moyen d'accélérer la rédaction et l'approbation des rapports des comparaisons clés	5	H. Bachmair	Contact par e-mail les personnes responsables des comparaisons clés du CCEM (et de l'EUROMET) pour connaître les questions qu'ils se posent au sujet de la rédaction du rapport des comparaisons clés et leurs idées pour accélérer le traitement du rapport des comparaisons clés. Date limite de réponse : fin 2002	Fin septembre 2002
Prendre les mesures nécessaires pour inclure les comparaisons proposées par le SIM dans la KCDB	6	H. Sánchez	Indiquer parmi les comparaisons mentionnées dans le document de travail CCEM WGKC/02-35 celles qui sont des comparaisons clés et supplémentaires	Fin novembre 2002
APMP.EM. BIPM.K11 (CCEM WGKC/02-05)	7	S.W. Chua	Remplir avec H. Bachmair le formulaire de la comparaison (similaire à celui du document CCEM WGKC/02-34)	Fin novembre 2002
		H. Bachmair	Transmettre un exemplaire du formulaire de déclaration à C. Thomas	
EUROMET.EM-S6 (CCEM WGKC/02-11)	8	H. Eckardt	Effectuer les corrections mineures demandées au rapport, le convertir au format pdf, et l'envoyer à C. Thomas	Fin 2002

**Rapport du Groupe de travail du CCEM  
pour les grandeurs aux radiofréquences**

(10 septembre 2002)

**au Comité consultatif d'électricité et magnétisme**

**Ordre du jour**

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Comparaisons achevées.
- 3 Rapports sur les comparaisons en cours.
- 4 Schéma révisé pour les comparaisons clés.
- 5 Propositions de nouvelles comparaisons.
- 6 Questions diverses ; date de la prochaine réunion.

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

Le Groupe de travail du Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM) pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF) s'est réuni au Bureau international des poids et mesures (BIPM) à Sèvres, le 10 septembre 2002.

Étaient présents : D. Allal (BNM-LNE/LAMA), L. Brunetti (IEN), R.N. Clarke (NPL), J.P.M. de Vreede (NMI VSL), L. Érard (président), K. Hilty (METAS), D. Inglis (NRC), T. Inoue (NMIJ/AIST), J.H. Kim (KRISS), K. Komiyama (NMIJ/AIST), J. Randa (NIST), B. Ricketts (NML CSIRO), Y.S. Song (KRISS), U. Stumper (PTB), D.R. Vasiliev (VNIIFTRI).

Invités : H. Bachmair (PTB, Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés), L. Christian (MSL), H.A. Chua (SPRING Singapore), E. Dressler (CSIR-NML), Q. Gao (NIM), G. Marullo Reedtz (EUROMET, IEN), H. Sánchez (SIM, ICE).

Assistaient aussi à la réunion : C. Thomas (BIPM), T.J. Witt (secrétaire exécutif du CCEM) ; F. Heysek (CMI), F. Jelinek (CMI).

Le président, L. Érard, ouvre la réunion et souhaite la bienvenue aux membres du groupe de travail, qui se présentent, et rappelle aux personnes qui souhaitent assister à la réunion en qualité d'observateurs qu'elles doivent obtenir préalablement une invitation du président. Cette réunion n'est pas ouverte à tous et il est nécessaire d'y être invité, soit en qualité de représentant officiel (d'un laboratoire national de métrologie membre et ou d'une autre organisation participante, comme le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés ou une organisation régionale de métrologie), soit être invité à titre d'observateur.

L'ordre du jour figurant dans le document GT-RF/02-18 est approuvé.

M. J. Randa est nommé rapporteur.

M. L. Érard annonce son intention de quitter la présidence du GT-RF, après treize années de services émérites dans cette fonction. Il annonce aussi son intention de recommander au président du CCEM, qui nomme le président du GT-RF, de nommer M. J. Randa pour lui succéder. Il est demandé aux participants s'ils ont des objections ou d'autres candidats à présenter, mais il n'est fait aucune remarque. Les actions demandées lors de la réunion de l'an

passé (GT-RF/01-19) sont examinées rapidement ; elles sont toutes achevées. Les actions demandées par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés sont aussi mentionnées ; elles sont achevées.

## **2 COMPARAISONS ACHEVÉES**

Une discussion sur les comparaisons en cours s'ensuit, avec des recommandations pour les comparaisons achevées durant l'année passée. Les comparaisons achevées comprennent trois comparaisons que le GT-RF a recommandées pour l'équivalence provisoire l'an passé, mais qui ont été omises par inadvertance de la liste transmise au CCEM par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés. Ce sont les trois comparaisons K1.c.W (puissance, dont le NIST est le laboratoire pilote), K7.a.F1 (champ électrique, dont le NIST est le laboratoire pilote), et K7.a.F.2 (puissance surfacique, dont le NIST est le laboratoire pilote). Il a été décidé de les recommander à nouveau pour l'équivalence provisoire. Les comparaisons clés K3.F (gain d'antenne, dont le NPL est le laboratoire pilote, documents GT-RF/02-06 et -16), dont les résultats doivent être publiés d'ici la fin de l'année, et K7.b.F (facteur d'antenne, dont le NPL est le laboratoire pilote) sont aussi recommandées pour l'équivalence provisoire. La comparaison K1.d.W (puissance, dont le NPL est le laboratoire pilote, GT-RF/02-02), qui avait été provisoirement acceptée pour l'équivalence provisoire est recommandée pour l'équivalence à part entière. (Le préfixe CCEM.RF- est omis pour chacune des comparaisons mentionnées dans le présent rapport.) Pour connaître les détails des comparaisons du GT-RF, vous pouvez consulter la base de données du BIPM sur les comparaisons clés à l'adresse <http://www.bipm.org/kcdb/>.

### 3 RAPPORTS SUR LES COMPARAISONS EN COURS

Les comparaisons en cours sont aussi discutées. Le détail et l'état d'avancement des comparaisons peut être consulté sur le site Web mentionné précédemment ; nous ne présenterons ici que de brefs commentaires et les actions à entreprendre. Nous indiquerons aussi les documents de travail du GT-RF concernés.

- K4.a.CL Le projet A de rapport sera disponible pour les participants à la fin de 2002. (GT-RF/02-11)
- K4.b.CL Deux laboratoires supplémentaires doivent encore effectuer des mesures ; il est prévu de finir les mesures à la fin de 2002.
- K5.b.CL On attend les commentaires au sujet du protocole ; la comparaison commencera quand le groupe chargé de l'examen (MM. Allal, Judish, Michaud, Ridler) l'aura approuvé. Le CMI est à ajouter à la liste des participants dans la base de données (GT-RF/02-07).
- K5.c.CL Encore reportée ; nous devons attendre au minimum que la comparaison K5.b.CL soit terminée (peut-être en 2006). La personne à contacter est maintenant M. D. Allal.
- K8.CL Le projet A est en cours, il devrait être terminé à la fin de l'année 2002. Cette comparaison clé est liée à une comparaison de l'EUROMET. Mme C. Thomas vérifiera si l'INTA est un laboratoire désigné par l'Espagne. (Note du rédacteur : ce n'est pas le cas, voir ci-dessous). La Slovénie y participe, mais n'est pas signataire de la Convention du Mètre, ses résultats ne peuvent donc pas être inclus dans la base de données. (Les signataires de la Convention du Mètre, et les laboratoires désignés par les laboratoires nationaux de métrologie, figurent à l'annexe A du MRA, voir GT-RF/02-10 <http://www.bipm.org/pdf/signatories.pdf>).
- K9 M. D. Allal est la nouvelle personne à contacter. Le projet A sera finalisé avant la fin de l'année 2002. Le groupe chargé de l'examen est constitué de MM. D. Allal (BNM-LNE), J. Randa (NIST, coordonnateur), et R. Uzdin (VNIIFTRI).
- K10.CL Les mesures sont terminées, et le projet A est en préparation. Le NMi VSL participe uniquement à la comparaison correspondante de l'EUROMET. Plusieurs autres laboratoires

participent aussi uniquement à la comparaison de l'EUROMET (Turquie, Grèce...). Le laboratoire pilote (PTB) répartira les participants selon le type de dispositifs mesurés et publiera deux rapports séparés, avec un lien entre les deux. Le projet A sera prêt à la fin de l'année 2002.

K18.CL En cours. Le groupe chargé de l'examen comprend D. Adamson (NPL), K. Hilty (METAS, coordonnateur) et J. Randa (NIST).

K19.CL En cours. Le KRISS et le NPLI (Inde) s'y sont joints. Cette comparaison, en deux boucles, sera considérée comme une seule comparaison, avec un seul rapport (qui devrait être prêt vers la fin de 2004). Le rapport devra examiner si les étalons sont indépendants ou non pour calculer la valeur de référence de la comparaison clé et les degrés d'équivalence. M. J. de Vreede remplace L. Énard comme coordonnateur du groupe chargé de l'examen.

K20 En cours, mais retardée. La question de savoir si le STUK (Finlande) est un laboratoire désigné a été vérifiée par Mme C. Thomas ; elle dit que ce n'est pas encore le cas, mais que la demande est en cours. Le groupe chargé de l'examen est composé de MM. D. Allal (BNM-LNE, coordonnateur), K. Holland (NPL), B. Muehlemann (METAS) et K. Muentner (PTB).

K21.F En cours. Taipei chinois ne peut y participer (voir ci-dessous). Le METAS s'est retiré.

S21.F En cours.

Pendant ces discussions, M. Quinn rejoint la réunion et souhaite la bienvenue aux participants. Il répond que l'INTA n'est pas un laboratoire désigné par l'Espagne.

D'autres questions sont aussi discutées dans le cadre des comparaisons en cours. Le groupe de travail se demande s'il faut rédiger deux rapports lorsqu'une comparaison organisée par une organisation régionale de métrologie coïncide avec, ou recouvre en grande partie, une comparaison du GT-RF, ou si un rapport suffit pour les deux. En principe, cette situation ne devrait pas se reproduire à l'avenir, parce que les comparaisons clés des organisations régionales de métrologie doivent suivre, plutôt que précéder ou coïncider avec une comparaison clé du CCEM. Il est décidé que cette question sera traitée au cas par cas.

Une autre question concerne la participation aux comparaisons clés du GT-RF des laboratoires de pays qui ne sont pas membres de la Convention du Mètre. Ce point est éclairci après la réunion. La règle est que la participation aux comparaisons clés du CIPM est limitée aux laboratoires nationaux de métrologie et aux laboratoires désignés des États membres de la Convention du Mètre. Une comparaison clé du GT-RF est une comparaison clé du CCEM, et donc les laboratoires des États associés à la Conférence générale ne sont pas autorisés à participer aux comparaisons du GT-RF. Cependant, rien n'empêche les laboratoires désignés des États associés à la Conférence générale de participer à une comparaison clé régionale ou bilatérale lorsque la comparaison clé du GT-RF est achevée. Si le laboratoire est un laboratoire désigné d'un État associé, les résultats de la comparaison en question pourront être publiés dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Taipei chinois est associé à la Conférence générale des poids et mesures.

Le NMIJ/AIST doit décider du sigle à utiliser dans la base de données.

#### **4 SCHÉMA RÉVISÉ POUR LES COMPARAISONS CLÉS**

M. H. Bachmair présente une proposition qu'il a soumise avec M. U. Stumper concernant le nombre des comparaisons clés du CCEM (GT-RF/02-09). Cette proposition concerne le désir exprimé par quelques laboratoires nationaux de métrologie de réduire et de mieux contrôler le nombre des comparaisons clés et la charge de travail concomitante. Les éléments majeurs de cette proposition ont le soutien des représentants à la réunion. Le concept de grandeurs clés est introduit ; les comparaisons clés ne peuvent porter que sur des grandeurs clés et il ne peut y avoir qu'une seule comparaison clé à un moment donné pour une même grandeur clé. Des comparaisons clés identiques (c'est-à-dire dont tous les paramètres sont identiques : mêmes grandeur, fréquences, connecteur, niveaux etc.) ne peuvent être effectuées plus d'une fois tous les dix ans environ. Il y aura au départ sept grandeurs clés : tension, puissance, puissance de bruit, paramètres de diffusion et impédance, atténuation, champ électromagnétique (ou paramètres de champ), et paramètres d'antenne (facteur d'antenne, gain). Les comparaisons de guide d'onde et coaxiales sont toutes deux classées sous la



même grandeur clé. Il est possible d'ajouter ou de soustraire des grandeurs clés suivant les besoins. En particulier, il a été discuté de l'adjonction des paramètres de pulsation à la liste. Il a été décidé de ne pas les ajouter pour le moment, mais ce sera peut-être le cas à l'avenir. Pour le moment il y a au moins deux comparaisons clés en cours pour la plupart des grandeurs clés. Aucune nouvelle comparaison clé d'aucune grandeur ne pourra débuter tant que les comparaisons clés en cours de cette grandeur ne seront pas terminées. Un débat s'ensuit pour savoir quand l'on considère qu'une comparaison est terminée : est-ce à la fin des mesures, au moment de la rédaction du projet A de rapport, ou après la rédaction du projet B ? Il est décidé qu'une comparaison clé ne sera considérée comme terminée par le GT-RF qu'une fois que la totalité du travail du GT-RF sera achevée, c'est-à-dire après l'approbation du projet B et la recommandation du GT-RF d'accepter la comparaison clé pour l'équivalence plénière. Il faut que le maximum d'organisations régionales de métrologie possible y soient représentées, pour établir des liens aux comparaisons clés subséquentes des organisations régionales de métrologie, mais le nombre total de participants, ainsi que le nombre de mesures nécessaires, seront limités. La suggestion que les participants aux comparaisons clés du GT-RF soient proposés ou nommés par les organisations régionales de métrologie (comme c'est le cas pour les comparaisons clés dans le domaine des basses fréquences) n'est pas bien accueillie par la majorité des participants.

Les demandes de comparaisons supplémentaires du GT-RF sont discutées. Il est décidé de demander des directives au CCEM ou des règles à ce sujet. (Note du rédacteur : au moment de préparer ce rapport, M. Quinn propose quelques modifications au document de directives pour les comparaisons clés du CIPM, afin de rendre plus flexibles la mise en œuvre et la rédaction du rapport des comparaisons supplémentaires. Il est proposé d'autoriser d'effectuer des comparaisons supplémentaires sans l'équivalent d'une valeur de référence de la comparaison clé. Dans ce cas la base de données du BIPM sur les comparaisons clés ne contiendra pas de graphique ni de tableaux de résultats, mais seulement un fichier pdf du rapport de la comparaison.)

## 5 PROPOSITIONS DE NOUVELLES COMPARAISONS

Quatre nouvelles propositions de comparaisons éventuelles du GT-RF sont discutées. Le VNIIFTRI propose une comparaison bilatérale de bruit avec la PTB (GT-RF/02-14). Elle sera recommandée pour approbation au Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés. La comparaison devrait répéter la plupart des mesures de la comparaison clé K9.W (les mesures à 18 GHz seront omises), et par conséquent elle fera l'objet d'une comparaison bilatérale subséquente à la comparaison clé, la PTB assurant la liaison à la comparaison clé K9.W.

Le NPL propose une comparaison clé d'atténuation dans une bande de fréquence choisie parmi trois (GT-RF/02-08). Une comparaison clé d'atténuation est déjà en cours (K19.CL), aussi cette comparaison ne débutera que lorsque la comparaison clé K19.CL sera terminée. J. Howes (NPL) sollicite des commentaires et des marques d'intérêt. C'est surtout la bande comprise entre 26 GHz et 40 GHz qui suscite l'intérêt.

Le NIST propose une comparaison supplémentaire de puissance sur ligne coaxiale en 2,4 mm (GT-RF/02-03). Une discussion s'ensuit pour savoir si ce doit être une comparaison clé ou supplémentaire, et il est décidé de proposer que ce soit une comparaison supplémentaire, dans l'attente de la réponse du CCEM concernant les critères pour les comparaisons supplémentaires. Un groupe chargé de l'examen de la comparaison est établi, formé de MM. D. Adamson (NPL, coordonnateur), T. Crowley (NIST) et E. Dressler (CSIR-NML). Le protocole sera envoyé aux participants potentiels et finalisé, avant d'être approuvé par le groupe chargé de l'examen. L'identificateur CCEM.RF-S1.CL est assigné à cette comparaison.

Les membres du groupe de travail semblent intéressés par une comparaison sur les propriétés diélectriques des matériaux. Cette comparaison sera probablement organisée comme comparaison supplémentaire de l'EUROMET.

## **6 QUESTIONS DIVERSES ; DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION**

M. T.J. Witt distribue des formulaires utilisés par le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) pour proposer et suivre l'évolution des comparaisons clés. Il recommande de les adapter et de les utiliser au GT-RF pour suivre les comparaisons régionales et celles du GT-RF. Les participants semblent les trouver utiles et il leur est demandé de suggérer des modifications. M. R. Clark est volontaire pour aider à dépouiller les formulaires. (Note du rédacteur : les formulaires proposés par MM. H. Bachmair, J. Randa et T.J. Witt sont disponibles en accès restreint sur le site Web comme document GT-RF/02-19 révisé).

Les progrès récents dans le domaine des radiofréquences et des micro-ondes dans les différents laboratoires sont ensuite brièvement passés en revue, de manière informelle. La date de la prochaine réunion est discutée. Les deux dates possibles sont début juin et début septembre. Dans les deux cas, la réunion sera coordonnée avec celle du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés. Les participants préfèrent début septembre, et cette proposition est transmise au Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et au CCEM. (Note du rédacteur : les réunions du CCEM sont prévues du 3 au 6 novembre 2003. La date probable de la réunion du GT-RF sera le 4 novembre 2003.)

La réunion se termine par des remerciements à Luc Érard, qui a assuré pendant de nombreuses années avec efficacité la présidence du GT-RF.

Les points demandant une action ultérieure sont présentés sous forme de tableau dans le document GT-RF/02-17.

J. Randa, rapporteur  
janvier 2003

**ANNEXE E 1.****Documents de travail présentés à la 23<sup>e</sup> session du CCEM**

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

Document  
CCEM/

- 02-01 BIPM, METAS (Suisse). — Revised Technical Guidelines for Reliable DC Measurements of the Quantized Hall Resistance, F. Delahaye, B. Jeckelmann, 13 p.
- 02-02 BIPM. — Report on the activities of the BIPM Electricity section since the last CCEM meeting, T.J. Witt, 20 p. (en accès restreint/restricted access)
- 02-03 PTB (Allemagne). — Progress Report on Electrical Metrology at the PTB between 2000 and 2002 on the Occasion of the 23rd Meeting of the CCEM, J. Kohlmann, R. Behr, F. Müller, O. Kieler, T. Funck, J. Niemeyer, 17 p. (en accès restreint/restricted access)
- 02-04 NIST (États-Unis). — Present Status of SI Values of  $K_J$  and  $R_K$ , P.J. Mohr, B.N. Taylor, 6 p.
- 02-05 BIPM. — CIPM Approves Lower Uncertainty on  $R_{K-90}$ , T.J. Witt, 1 p.
- 02-06 METAS (Suisse). — Progress in the representation of the electrical quantities at METAS, K. Hilty, B. Jeanneret, B. Jeckelmann, 3 p. (en accès restreint/restricted access)
- 02-07 KRISS (Rép. de Corée). — A Report on Progress in Electromagnetic Metrology at KRISS, 2 p. (en accès restreint/restricted access)
- 02-08 NPL (Royaume-Uni). — Report on the meeting of the CCEM Working Group on Electrical Methods to Monitor the Stability of the Kilogram - June 2002, I. Robinson, 6 p.

Document  
CCEM/

- 02-09 BIPM. — Outline proposal for a cryogenic watt-balance experiment – September 2002, T.J. Quinn, R.S. Davis, T.J. Witt, F. Delahaye, A. Picard, H. Fang, 4 p.
- 02-10 NIM (Chine). — New Development in the Field of Electromagnetic Metrology at NIM, Z. Lu, Z. Zhang, H. Shao, L. Zhang, 2 p. (en accès restreint/restricted access)
- 02-11 NIST (États-Unis). — A Report on Advances in Fundamental Electrical Metrology at NIST, M. Kelley, 4 p. (en accès restreint/restricted access)
- 02-12 BNM-LNE/LAMA (France). — A progress report on electrical metrology at the BNM-LNE/LAMA 2000-2002, F. Piquemal, 5 p. (en accès restreint/restricted access)
- 02-13 BIPM. — Summary of actions requested of various participants at the 12-13 September 2002 meeting of the CCEM, T.J. Witt, 2 p. (en accès restreint/restricted access)
- 02-14 PTB (Allemagne). — Report on the activities of the CCEM Working Group on AC Measurements of the QHR, E. Braun, 5 p.

## LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

### 1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences

AIST*	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <i>voir</i> NMIJ/AIST
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-LNE	Bureau national de métrologie, Laboratoire national d'essais, Paris (France)
CCE*	Comité consultatif d'électricité, <i>voir</i> CCEM
CCEM	(ex CCE) Comité consultatif d'électricité et magnétisme
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière : métrologie en chimie
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague et Brno (Rép. tchèque)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Measurement Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO*	<i>voir</i> NML CSIRO
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
ETL*	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon), <i>voir</i> NMIJ/AIST
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
GT-RF	Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences

---

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

GUM	Glówny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad, San José (Costa Rica)
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, Madrid (Espagne)
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires (Argentine)
IPHT	Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V., Jena (Allemagne)
JCRB	Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM/Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM
JV	Justervesenet, Kjeller (Norvège)
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon (Rép. de Corée)
LAMA	Laboratoire André Marie Ampère, Fontenay aux Roses (France)
LEP*	Laboratoire d'électronique Philips, Limeil-Brévannes (France), voir OMMIC
LNE*	Laboratoire national d'essais, Paris (France), voir BNM-LNE
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)
NIM	Institut national de métrologie, Beijing (Chine)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (États-Unis)
NMIJ/AIST	National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba (Japon)
NMi VSL	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)

NML CSIRO	National Measurement Laboratory, CSIRO, Lindfield (Australie)
NML	National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NPLI	National Physical Laboratory of India, New Delhi (Inde)
NRC	National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
NRLM*	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon), <i>voir</i> NMIJ/AIST
OFMET*	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse), <i>voir</i> METAS
OMMIC	(ex LEP) Limeil-Brévannes (France)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
SIM	Sistema Interamericano de Metrología
SMU	Šlovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovakie)
SP	(ex Statens Provningsanstalt) Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SPRING	(ex PSB) Standards, Productivity and Innovation Board, Singapour (Singapour)
STUK	Sätelilyturvakeskus, Helsinki (Finlande)
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
URSI	Union radioscopique internationale
VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radio-techniques, Gosstandart de Russie, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Gosstandart de Russie, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
VSL*	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), <i>voir</i> NMI
VTT	Centre for Metrology and Accreditation, Technical Research Centre of Finland, Espoo (Finlande)
WGKC	Groupe de travail sur les comparaisons clés/Working Group on Key Comparisons
WGLF	Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux basses fréquences/CCEM Working Group on Low-Frequency Quantities



**2 Sigles des termes scientifiques**

CMC	Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages/ Calibration and Measurement Capabilities
COUNT	Projet de recherche bénéficiant du soutien de la Commission européenne "Counting Electrons One by One: Measurement of Very Small Electrical Currents"
KCDB	Base de données du BIPM sur les comparaisons clés/ BIPM Key Comparison Database
SET	Single-Electron Tunnelling
SI	Système international d'unités