

**Comité consultatif  
d'électricité et magnétisme**  
22<sup>e</sup> session (septembre 2000)

**Consultative Committee  
for Electricity and Magnetism**  
22nd Meeting (September 2000)

**Bureau international des poids et mesures**

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

22<sup>e</sup> session (septembre 2000)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 71)

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 92-822-2183-0

## TABLE DES MATIÈRES

Photographie des participants à la 22<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 **8**

Le BIPM et la Convention du Mètre **9**

Liste des membres du Comité consultatif d'électricité et magnétisme **13**

**Rapport au Comité international des poids et mesures**, par B.M. Wood **17**

Ordre du jour **18**

- 1 Ouverture de la session ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **19**
- 2 Questions en relation avec les constantes fondamentales et le SI **20**
  - 2.1 Rapport du Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme **20**
  - 2.2 Rapport sur l'état d'avancement de l'ajustement des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés **22**
  - 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) **22**
- 3 Progrès effectués et à venir dans l'exactitude des mesures de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz **23**
- 4 Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson et d'échantillons de résistance de Hall quantifiée **25**
- 5 Comparaisons clés de grandeurs électriques à basse fréquence et de grandeurs magnétiques : rapport du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité **26**
- 6 Rapport sur la réunion du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences **28**
- 7 Discussion sur la procédure d'approbation des rapports des comparaisons clés à inclure dans l'annexe B de l'arrangement de reconnaissance mutuelle **28**
- 8 Activités de la section d'électricité du BIPM **28**

- 9 Futures activités du CCEM **30**
- 10 Questions diverses **31**
- 11 Date de la prochaine session **32**

**Rapport du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité, par B.M. Wood 33**

**Ordre du jour 34**

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **35**
- 2 Rapports sur les comparaisons clés achevées et en cours en courant continu et à basse fréquence **36**
  - 2.1 Comparaisons achevées **36**
  - 2.2 Comparaisons en cours **37**
- 3 Rapport sur les comparaisons clés du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences **38**
- 4 Propositions de nouvelles comparaisons clés **39**
- 5 Rapport sur la comparaison clé CCEM-K4 et le projet 345 de l'EUROMET à 10 pF et liaison entre les comparaisons clés du CCEM et celles des organisations régionales de métrologie **41**
- 6 Harmonisation des schémas de classification utilisés par les différentes organisations régionales de métrologie **42**
- 7 Questions diverses **44**
- 8 Date de la prochaine réunion **44**

**Rapport du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences, par J. Achkar 51**

**Ordre du jour 52**

- 1 Ouverture de la réunion ; approbation de l'ordre du jour ; nomination d'un rapporteur **53**
- 2 Approbation du rapport de la précédente réunion du GT-RF **53**
- 3 Rapports sur les comparaisons clés **54**
  - 3.1 Rapports sur les comparaisons achevées **54**
  - 3.2 Rapports sur l'état d'avancement des comparaisons en cours **54**

- 3.3 Nouvelles comparaisons **54**
- 3.4 Sujets éventuels de comparaisons futures **54**
- 4 Date de la prochaine réunion **55**

**Annexe E 1.** Documents de travail présentés à la 22<sup>e</sup> session du CCEM **63**

**Liste des sigles utilisés dans le présent volume 65**

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

au 14 septembre 2000

**États membres de la Convention du Mètre**

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

**Associés à la Conférence générale**

Hong Kong, Chine

## **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 14 septembre 2000

**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 central des industries électriques  
[BNM-LCIE], Paris.

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

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

Danish Institute of Fundamental Metrology [DFM], Lyngby.

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba.

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

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin.

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

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

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

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

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 [OFMET]\*, Wabern.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

Singapore Productivity and Standards Board [PSB], 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.

Justervesenet [JV], Oslo.

Ulusal Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute [UME], Gebze-Kocaeli.

### **Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité**

#### **Président**

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

#### **Membres**

Bureau national de métrologie, Laboratoire central des industries électriques [BNM-LCIE], Fontenay-aux-Roses.

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

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba.

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], Taejeon.

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

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

---

\* devenu l'Office fédéral de métrologie et d'accréditation [Metas], Wabern.

National Physical Laboratory [NPL], Teddington.  
Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium [NMI-VSL], Delft.  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.  
Singapore Productivity and Standards Board [PSB], Singapour.  
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 central des industries électriques [BNM-LCIE], Fontenay-aux-Roses.  
Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa.  
Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba.  
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 [CSIRO-NML], Lindfield.  
National Physical Laboratory [NPL], Teddington.  
Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium [NMI-VSL], Delft.  
Office fédéral de métrologie [OFMET]\*, Wabern.  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.  
Singapore Productivity and Standards Board [PSB], Singapour.  
Union radioscopique internationale [URSI].  
A.E. Bailey, Milford on Sea.  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM], Sèvres.

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

**Rapport de la 22<sup>e</sup> session**

(14 septembre 2000)

**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 Progrès effectués et à venir dans l'exactitude des mesures de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz.
- 4 Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson et d'échantillons de résistance de Hall quantifiée.
- 5 Comparaisons clés de grandeurs électriques à basse fréquence et de grandeurs magnétiques : rapport du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité.
- 6 Rapport sur la réunion du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences.
- 7 Discussion sur la procédure d'approbation des rapports des comparaisons clés à inclure dans l'annexe B de l'arrangement de reconnaissance mutuelle.
- 8 Activités de la section d'électricité du BIPM.
- 9 Futures activités du CCEM.
- 10 Questions diverses.
- 11 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), précédemment dénommé Comité consultatif d'électricité (CCE), a tenu sa vingt-deuxième session le 14 septembre 2000 au Bureau international des poids et mesures, Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Étaient présents : W.E. Anderson (NIST), H. Bachmair (PTB), E. Braun (PTB), F. Cabiati (IEN), L. Christian (MSL), J.P.M. de Vreede (NMI-VSL), E. Dressler (CSIR), T. Endo (ETL), L. Énard (BNM-LCIE), B.F. Field (NIST), G. Genevès (BNM-LCIE), E.O. Göbel (président du CCEM), T. Inoue (ETL), B. Jeckelmann (OFMET), H.D. Jensen (DFM), K. Komiyama (ETL), R.D. Lee (KRISS), Z. Lu (NIM), G.C. Marullo Reedtz (IEN), H. Nilsson (SP), T.J. Quinn (directeur du BIPM), B. Ricketts (CSIRO), I. Robinson (NPL), Y.P. Semenov (VNIIM), H. Seppä (VTT), V.Y. Shifrin (VNIIM), E. So (NRC), B.N. Taylor (NIST), D.R. Vasiliev (VNIIFTRI), B.M. Wood (NRC).

Invités : S.W. Chua (PSB), P. Klenovsky (CMI), M. Neira (CEM), H. Slinde (JV).

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

Excusé : A.K. Gupta (NPLI).

Le président du CCEM ouvre la session et accueille les participants. Le directeur du BIPM accueille à son tour les participants.

M. B.M. Wood est nommé rapporteur.

Dix-huit documents de travail ont été envoyés avant la réunion du CCEM pour étude, et d'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.

## **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 CCEM00-15 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 2000 à Sydney. Le texte qui suit résume brièvement ses commentaires.

La balance du watt du NIST a été entièrement reconstruite pour améliorer les résultats des mesures en réduisant l'effet de nombreux facteurs tels que l'alignement, le couplage électromagnétique et les vibrations. La balance et la bobine sont maintenant placées dans une enceinte sous vide, elle-même placée dans une cage de Faraday, pour réduire les erreurs liées à l'indice de réfraction de l'air et aux interférences électromagnétiques. Des systèmes de mesure annexes ont aussi été améliorés, par exemple un réseau programmable de jonctions de Josephson de 1 V a été ajouté afin d'améliorer la qualité des données. Avec une équipe de cinq personnes, le NIST envisage de remettre le système en service d'ici deux ans avec une incertitude relative de  $10^{-7}$ , et de  $10^{-8}$  d'ici trois ans, après optimisation du système. La construction du nouveau laboratoire de mesures de pointe du NIST (NIST Advanced Measurement Laboratory) a commencé afin d'offrir un environnement adapté aux meilleures mesures. L'expérience sur le « kilogramme électrique » du NIST devrait déménager dans ces nouveaux locaux quand les travaux de construction seront achevés, d'ici cinq ans environ.

Les derniers résultats du NPL ont été présentés à la CPEM 2000. Ils montrent que, si l'appareil n'est pas soumis à des perturbations extérieures, il est possible d'obtenir une incertitude relative de mesure de type A inférieure à  $1 \times 10^{-8}$  en faisant la moyenne des mesures effectuées pendant plusieurs nuits. Malheureusement, à la mi-avril, on a observé un changement des résultats des mesures de  $3 \times 10^{-7}$  en valeur relative que l'on ne peut pas expliquer. Depuis les résultats semblent stables. Le déménagement dans les nouveaux locaux du NPL devrait avoir lieu à la fin de l'année 2000.

Les travaux sur la nouvelle balance du watt de l'OFMET progressent bien. L'OFMET vérifie actuellement un certain nombre de sous-systèmes indépendants.

À l'université de Zagreb, on conçoit une balance électrostatique devant fonctionner avec une masse de 1 kg et une tension de 100 kV. Les moyens financiers de l'équipe sont limités et incertains, mais elle espère obtenir une incertitude relative finale de  $1 \times 10^{-8}$ .

La PTB poursuit ses études sur le dépôt par faisceaux d'ions. Cette expérience consiste à collecter dans une coupe des atomes d'or ionisés. La coupe est déchargée au travers d'une résistance, aux bornes de laquelle on mesure la chute de tension, de telle sorte que la charge collectée corresponde au courant intégré sur l'ensemble de la décharge. Elle est proportionnelle au nombre d'ions collectés. La masse d'or collectée, soit environ 10 g en dix jours, est mesurée avec exactitude.

L'expérience de lévitation de masses au NRLM progresse régulièrement. Le NRLM travaille actuellement sur le maintien de la position et de l'orientation de la masse en lévitation. Une autre source de préoccupation concerne la pénétration du flux magnétique dans le supraconducteur. Le NRLM espère obtenir une incertitude relative de  $1 \times 10^{-7}$  d'ici quelques années.

L'incertitude relative obtenue pour les différentes expériences sur la constante d'Avogadro, fondées sur des mesures de la masse molaire du silicium, est d'environ  $4 \times 10^{-7}$  et l'on espère la réduire à  $1 \times 10^{-7}$  à l'avenir. L'existence possible de vides de taille nanométrique dans les échantillons de silicium reste une question controversée et ce problème est à l'étude. Les recherches sur la stabilité des oxydes de surface se poursuivent.

Le BIPM a évalué la différence entre les valeurs d'une même masse étalon dans l'air ou sous vide, et ceci pour des étalons du type de ceux utilisés pour les différentes expériences de balance du watt. L'effet est habituellement de l'ordre de 10 µg/kg et c'est une des plus faibles composantes de l'incertitude.

Au BNM-LCIE une nouvelle expérience de balance du watt a été proposée et l'équipe attend que cette proposition soit approuvée. Elle espère que l'expérience débutera l'an prochain (en 2001). En raison de cette activité, le BNM-LCIE a demandé à faire partie du groupe de travail. Le CCEM accepte officiellement cette demande.

Enfin, le CCEM note que M. B.P. Kibble (NPL) a quitté la présidence du groupe de travail. Le CCEM lui est reconnaissant de ses nombreuses contributions à ses activités, et en particulier de son rôle de pionnier dans les travaux sur la balance du watt ; M. Göbel lui présente au nom du comité ses

remerciements pour sa collaboration au cours de ces nombreuses années. Lors de la CPEM 2000, le Groupe de travail sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype du kilogramme a recommandé que M. Robinson (NPL) remplace M. Kibble comme président, ce qui est officiellement approuvé par le CCEM.

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

M. Taylor présente en détail le document CCEM00-02 et examine les valeurs de 1998 de l'ajustement des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés de CODATA. En particulier, l'incertitude associée aux différentes déterminations de la constante de von Klitzing,  $R_K$ , est comparée à l'incertitude assignée à  $R_{K-90}$ . Après une discussion animée, le CCEM approuve la déclaration suivante :

Le CCEM, considérant le récent ajustement des valeurs des constantes fondamentales recommandé par CODATA en 1998, estime que la valeur de la constante de von Klitzing,  $R_{K-90}$ , peut être utilisée pour exprimer la valeur d'un étalon de référence de résistance en fonction de l'effet Hall quantique, avec une incertitude relative de  $1 \times 10^{-7}$  par rapport à l'ohm (un écart-type), incertitude deux fois plus faible que celle qui avait été admise en 1988.

## **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)**

Les projets COUNT et SETamp de l'Union européenne et de l'EUROMET sont discutés. Des informations supplémentaires sont accessibles sur le site Web [www.count.nl](http://www.count.nl). M. Genevès décrit les études sur la caractérisation des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique dans le cadre du projet SETamp. M. Jeckelmann ajoute ses commentaires sur le condensateur et sur les commutateurs cryogéniques mis au point à l'OFMET. M. Bachmair décrit les condensateurs cryogéniques coaxiaux, les dispositifs à pompe à effet tunnel monoélectronique à résistance parallèle, et les nouveaux types de dispositifs à effet tunnel monoélectronique blindés qui réduisent le bruit de l'électromètre à  $8 \times 10^{-6} e \text{ Hz}^{-1/2}$  à 10 Hz.

M. Bachmair décrit aussi les expériences effectuées à la PTB sur les dispositifs à onde acoustique de surface à 5 GHz. Des détails

complémentaires figurent dans le document CCEM00-08 qui décrit aussi la mise en service en parallèle de deux dispositifs de ce type à partir d'une source commune.

Le NPL a amélioré ses dispositifs à onde acoustique de surface pour fonctionner à des courants de 430 pA avec des plateaux plus plats. Des incertitudes de mesure d'environ 70 fA ont été observées.

Le SP et l'université Chalmers collaborent à une expérience sur des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique pour le comptage d'électrons.

Au NIST, Boulder, les travaux se poursuivent sur la mise au point de dispositifs à pompe fondés sur l'effet tunnel monoélectronique. Un groupe du NIST, Gaithersburg, met au point et vérifie des condensateurs cryogéniques et étudie la stabilisation de la charge environnante des dispositifs à effet tunnel monoélectronique.

À l'ETL, le blocage de Coulomb a été observé et des dispositifs simples à deux étages sont en service. Des pompes à sept étages sont en cours de mise au point. On ne sait pas actuellement quelle sera l'incidence de la réorganisation prévue de l'ETL sur ces projets.

### **3      PROGRÈS EFFECTUÉS ET À VENIR DANS L'EXACTITUDE DES MESURES DE LA RÉSISTANCE DE HALL QUANTIFIÉE À DES FRÉQUENCES DE L'ORDRE DU KILOHERTZ**

Le Groupe de travail du CCEM sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif s'est réuni le 18 mai à Sydney pendant la CPEM 2000 et le 11 septembre 2000 au BIPM. M. Braun résume l'état d'avancement des études sur la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif. Il décrit la structure des plateaux de résistance de Hall quantifiée que l'on a observée et les problèmes rencontrés quant à la reproductibilité de certaines mesures. Des améliorations notables ont été constatées dans les études récentes sur des dispositifs à résistance de Hall quantifiée à grilles mesurés en courant alternatif au BIPM et à la PTB. Ces deux laboratoires ont constaté des plateaux plus plats et une réduction significative de la dépendance linéaire en fonction de la fréquence lorsqu'on utilise des

dispositifs à résistance de Hall quantifiée à grilles. Un programme d'échange d'échantillons à résistance de Hall quantifiée en courant alternatif a été proposé et les activités sont en cours.

M. Delahaye décrit l'effet de grilles sur les dispositifs à résistance de Hall quantifiée en courant alternatif. Pour les dispositifs classiques, la résistance de Hall quantifiée varie de  $1 \times 10^{-7}/\text{kHz}$  ou plus en valeur relative en fonction de la fréquence lorsque la résistance est mesurée à des fréquences de l'ordre du kilohertz.

Dans le document CCEM00-07, il est proposé, pour expliquer cette variation, un mécanisme de perte associé à l'accumulation de charges électriques dans le dispositif. Les pertes qui influencent la résistance de Hall sont celles localisées dans la partie du dispositif située entre les prises de tension de Hall et la prise de courant au potentiel du blindage. L'influence des pertes peut être minimisée en ajustant les tensions alternatives appliquées à des grilles placées sous les bords du dispositif à potentiel du blindage et à potentiel élevé. Le critère d'ajustage est l'annulation, à une fréquence donnée, du coefficient de tension (ou de courant) de la résistance de Hall. Dans ces conditions la largeur, en fonction de l'induction magnétique, des plateaux des parties réelles et imaginaires de l'impédance de Hall est nettement augmentée, et la variation relative avec la fréquence de la résistance de Hall, pour cinq des dispositifs testés, est réduite à  $\pm 2 \times 10^{-8}/\text{kHz}$ .

Le CCEM examine le document CCEM00-13 dans lequel M. Rietveld (NMi-VSL) propose quelques modifications mineures au document *Technical Guidelines for Reliable Measurements of the Quantized Hall Resistance*. Le CCEM examinera donc les modifications éventuelles à ce document et demande à que les commentaires ou corrections en vue de sa révision soient envoyés à M. Delahaye du BIPM avant la fin de l'an 2000. Ces commentaires seront étudiés et un rapport sera préparé par MM. Delahaye et Jeckelmann pour être soumis au CCEM lors de sa prochaine session. M. Göbel demande si un document de directives pour les mesures en courant alternatif de la résistance de Hall quantifiée doit être étudié maintenant. M. Braun répond que c'est prématuré, car on ne domine pas suffisamment le sujet. C'est aussi l'avis de tous.

#### 4 FOURNITURE DE RÉSEAUX DE JONCTIONS DE JOSEPHSON ET D'ÉCHANTILLONS DE RÉSISTANCE DE HALL QUANTIFIÉE

M. Genevès annonce que le Laboratoire d'électronique Philips (LEP), qui a fourni un certain nombre de dispositifs de résistance de Hall quantifiée de qualité métrologique, a été réorganisé et s'appelle maintenant la société OMMIC, à vocation exclusivement commerciale. Il s'attend à ce que le prix des nouveaux dispositifs à résistance de Hall quantifiée augmente considérablement. Il note que la personne qui s'occupait autrefois de ces dispositifs prend sa retraite.

M. Anderson annonce que la société Hypres espère continuer à fournir des réseaux de jonctions de Josephson au cours des prochaines années.

La PTB indique qu'elle dispose d'un nombre très limité d'échantillons non testés pour l'effet Hall quantique. Quelques réseaux programmables de jonctions de Josephson sont disponibles pour des essais.

La société IPHT à Jena (Allemagne) ne peut fournir actuellement que des réseaux de un volt.

M. Seppä annonce que le VTT a mis au point des réseaux d'environ 2000 jonctions SIS capables de délivrer des tensions alternatives jusqu'à 1 V et 3 V.

M. Anderson indique que le NIST fabrique maintenant pour l'utilisation en alternatif des réseaux programmables de jonctions de Josephson et des réseaux à haute fréquence mais dont la tension de sortie est très limitée. On ne dispose pas d'échantillons pour le moment. Le NIST ne peut pas fournir pour le moment d'échantillons de résistance de Hall quantifiée.

M. Wood dit qu'un nombre restreint d'échantillons de résistance de Hall quantifiée sont produits par le NRC.

M. Ricketts dit que les laboratoires membres de l'APMP sont préoccupés de la carence d'échantillons de résistance de Hall quantifiée.

M. Christian dit que les réseaux de 10 V de technologie SIS ne sont pas aussi faciles à utiliser que les réseaux de 1 V, mais la situation pourrait s'améliorer quand des réseaux SINIS de 10 V seront disponibles.

M. Göbel encourage tous les laboratoires fabriquant des réseaux programmables de 1 V et de 10 V à les mettre à la disposition des métrologistes.

M. Genevès décrit les travaux effectués au LEP et au BNM-LCIE sur la mise au point de réseaux de résistance de Hall quantifiée et leur utilisation pour obtenir différentes valeurs de résistances quantifiées, en particulier des faibles valeurs (document CCEM00-09).

## **5 COMPARAISONS CLÉS DE GRANDEURS ÉLECTRIQUES À BASSE FRÉQUENCE ET DE GRANDEURS MAGNÉTIQUES : RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL DU CCEM SUR LES COMPARAISONS CLÉS EN ÉLECTRICITÉ**

Le rapport sur la quatrième réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité figure aux pages 33 à 49.

M. Göbel passe en revue la composition de ce groupe de travail : il comprend le BNM-LCIE, le CSIRO-NML, l'IEN, le NIST, le NMi-VSL, le NPL, le NRC, la PTB, le VNIIM et le BIPM. Après discussion, le CCEM accepte d'ajouter l'ETL, le KRISS et le SP à la liste des membres.

Le mode opératoire des groupes de travail concernés par les comparaisons clés est examiné :

- Le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences présente l'état d'avancement de ses comparaisons, les données soumises à l'annexe B du MRA et les propositions de nouvelles comparaisons au Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité pour approbation.
- Le Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité présente l'état d'avancement de toutes les comparaisons, les données soumises à l'annexe B du MRA et les propositions de nouvelles comparaisons au CCEM pour approbation.
- Le CCEM approuve le nombre, la périodicité et le domaine couvert par les comparaisons clés. Il approuve aussi les données soumises à l'annexe B du MRA.



Le CCEM approuve les actions suivantes discutées et recommandées par le Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité et détaillées dans le rapport sur la quatrième réunion :

- approbation pour l'équivalence (c'est-à-dire pour inclusion dans l'annexe B du MRA, avec les résultats) de la comparaison CCEM-K4 (pour mémoire), et des comparaisons permanentes suivantes du BIPM : BIPM.EM-K10.a, BIPM.EM-K10.b, BIPM.EM-K11.a, BIPM.EM-K11.b, BIPM.EM-K12.a, BIPM.EM-K12.b, BIPM.EM-K12.c, BIPM.EM-K13.a et BIPM.EM-K13.b ;
- approbation pour l'équivalence provisoire (c'est-à-dire pour inclusion dans l'annexe B du MRA, sans résultats, en tant que comparaison clé provisoire) : CCEM.RF-K.1.b.W, en considérant que lorsque l'on se sera mis d'accord sur une méthode pour calculer la valeur de référence de la comparaison clé, cette comparaison sera proposée pour l'équivalence dans l'annexe B) ;
- approbation pour l'équivalence provisoire (c'est-à-dire pour inclusion dans l'annexe B du MRA, sans résultats, en tant que comparaison clé provisoire) : CCEM.RF-K5.a.CL.

Un certain nombre d'autres comparaisons touchent à leur fin. Il est décidé de distribuer le projet B du rapport et les informations que l'on propose d'inclure dans l'annexe B du MRA aux membres du CCEM, par correspondance ou par courrier électronique, ceux-ci pouvant donner leur accord de la même manière.

Trois nouvelles comparaisons dans le domaine des grandeurs aux radiofréquences et quatre nouvelles comparaisons en courant continu et à basse fréquence sont proposées comme nouvelles comparaisons clés. Elles sont détaillées dans le rapport du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité. Ces sept comparaisons sont approuvées comme nouvelles comparaisons clés du CCEM.

Pour améliorer la conformité entre les résultats présentés dans le projet B du rapport et ceux soumis à l'annexe B du MRA, un comité constitué de Mme Thomas, de M. de Vreede et de M. Field est établi pour préparer une liste de contrôle pour les auteurs et les « referees » des rapports. Cette liste figure à la fin du présent rapport sous la référence CCEM00-18 ; elle est approuvée par le CCEM.

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

Le rapport sur la réunion du 12 septembre 2000 du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences figure aux pages 51 à 61.

**7      DISCUSSION SUR LA PROCÉDURE D'APPROBATION  
DES RAPPORTS DES COMPARAISONS CLÉS À  
INCLURE DANS L'ANNEXE B DE L'ARRANGEMENT DE  
RECONNAISSANCE MUTUELLE**

La plupart des questions relatives à la procédure d'approbation des rapports a déjà été traitée à la section 5.

M. Anderson demande de passer en revue les comparaisons clés, le domaine couvert par celles-ci et leur périodicité. M. Bachmair parle du domaine couvert par les comparaisons et donne en exemple la comparaison CCEM-K6. M. Anderson souligne que l'on devrait revoir régulièrement le domaine couvert par toutes les comparaisons clés du CCEM, ce que le président du groupe de travail approuve.

**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 1997. Dans le domaine de la métrologie des tensions, quatre nouvelles comparaisons « sur place » d'étalons de tension à réseau de Josephson ont été entreprises, dont trois à 10 V. De plus, neuf comparaisons bilatérales d'étalons de tension électroniques à diode de Zener ont été effectuées en utilisant des étalons voyageurs à diode de Zener du BIPM. De nombreux laboratoires nationaux de métrologie participant à ces

comparaisons utilisent leurs propres étalons de Josephson. Le BIPM a participé à quatre reprises à la comparaison de l'EUROMET d'étalons à diode de Zener de 10 V (projet 429 de l'EUROMET).

La section d'électricité du BIPM a mené des recherches appliquées sur les facteurs qui limitent l'incertitude des étalons à diode de Zener et en a conclu que, pour les étalons à diode de Zener les plus communément utilisés (Fluke 732B) on observe une faible dépendance en fonction de la température et de la pression. Des coefficients de température statistiquement significatifs variant entre  $-39 \times 10^{-9}/\text{K}$  et  $+41 \times 10^{-9}/\text{K}$  en valeur relative ont été observés sur seize des dix-sept instruments à 1,018 V ; des valeurs comprises entre  $-15 \times 10^{-9}/\text{K}$  et  $+16 \times 10^{-9}/\text{K}$  en valeur relative ont été observées à 10 V sur onze des dix-sept instruments. Des coefficients de pression statistiquement significatifs d'environ  $1,9 \times 10^{-9}/\text{hPa}$  en valeur relative ont été observés sur tous les instruments Fluke 732B équipés du nouvel amplificateur de référence de type L. Toutes les diodes de Zener du BIPM utilisées pour les comparaisons bilatérales ont été caractérisées pour ces effets. Pour certaines comparaisons bilatérales, des corrections pouvant atteindre  $4 \times 10^{-7}$  en valeur relative ont été appliquées.

La section d'électricité mène aussi des recherches sur les corrélations temporelles auxquelles sont sujets les instruments de mesure en courant continu. Les techniques d'analyse comprennent la densité spectrale de puissance et la variance d'Allan, calculées toutes deux en traitant des séries de lectures de nanovoltmètres comme séries temporelles. Un des principaux résultats est que tous les étalons à diode de Zener de 10 V étudiés sont sujets au bruit en  $1/f$  qui limite la résolution des tensions mesurées de  $2$  à  $8 \times 10^{-8}$  de la tension de sortie, indépendamment du nombre de mesures, une fois que le seuil du bruit en  $1/f$  est atteint. Pour les nanovoltmètres les plus récents, cette condition est atteinte en quelques dizaines de secondes.

Dans le domaine de la métrologie des résistances, deux nouvelles comparaisons sur place d'étalons à résistance de Hall quantifiée et de rapport de résistances ont été effectuées. Cinq comparaisons bilatérales d'étalons de résistance ont été effectuées, la plupart avec des étalons voyageurs de  $1 \Omega$  ou de  $10 \text{ k}\Omega$  du BIPM. Le BIPM a participé avec succès au projet 487 de l'EUROMET (comparaison de résistance de  $100 \Omega$  utilisant un étalon voyageur stabilisé en pression et en température). Dans le domaine de la métrologie des capacités, le BIPM a terminé la mise au point de la chaîne de mesure reliant, à des fréquences de l'ordre du kilohertz, l'impédance de condensateurs de  $10 \text{ pF}$  à la résistance de Hall quantifiée (mesurée en courant continu ou à  $1 \text{ Hz}$ ) au moyen d'une résistance coaxiale dont la différence de

résistance courant continu/courant alternatif est calculable. La chaîne permet maintenant au BIPM d'étalonner des condensateurs de 10 pF à 1000 Hz et à 1592 Hz par rapport à  $R_{K-90}$  avec une incertitude-type relative de  $5 \times 10^{-8}$  et d'effectuer des étalonnages et des comparaisons bilatérales à 10 pF et à 100 pF. Les bilans d'incertitude ont été vérifiés en participant à la comparaison clé CCEM-K4 (10 pF) et au projet 345 de l'EUROMET (10 pF et 100 pF). Le BIPM participe aussi au projet 432 de l'EUROMET, une comparaison de résistance de passage courant alternatif/courant continu.

Dans un autre domaine de recherche, le BIPM a fait des progrès considérables dans la compréhension des pertes en courant alternatif dans les dispositifs pour effet Hall quantique de type GaAs. Le coefficient de « courant » de la résistance de Hall quantifiée est en réalité un coefficient de tension occasionné par des pertes non linéaires en courant alternatif. En plaçant des grilles aux bords des dispositifs à résistance de Hall quantifiée et en ajustant la tension alternative des grilles de manière à ce que le coefficient de tension de la résistance de Hall quantifiée soit nul, le coefficient relatif de fréquence de la résistance de Hall quantifiée, à des fréquences de l'ordre du kilohertz, chute de 1 à  $2 \times 10^{-7}/\text{kHz}$  à une valeur n'excédant pas  $2 \times 10^{-8}/\text{kHz}$ . M. B.P. Kibble a contribué à ce travail durant deux séjours de deux mois au BIPM comme chercheur invité.

## 9 FUTURES ACTIVITÉS DU CCEM

Le CCEM ne propose pas d'activités supplémentaires.

M. Robinson demande s'il est nécessaire d'effectuer d'autres comparaisons dans le domaine du magnétisme. Une réunion a eu lieu à Sydney pendant la CPEM 2000 mais peu de laboratoires nationaux de métrologie étaient prêts ou volontaires pour participer à ces comparaisons à ce moment-là. Notons que deux comparaisons proposées dans le domaine du magnétisme sont en attente.

Le CSIR-NML demande si des membres seraient intéressés par une comparaison clé de résistance en courant continu dans le domaine du teraohm ou en courant alternatif. Cette question est transmise au président du Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité pour discussion lors de la prochaine réunion de ce groupe.

## 10 QUESTIONS DIVERSES

M. Nilsson (SP) fait référence au document CCEM00-03 sur la définition de l'écart de transfert courant continu/courant alternatif préconisée par un grand nombre d'experts. Le CCEM accepte d'apporter son soutien à l'utilisation de la nouvelle définition de l'écart de transfert courant continu/courant alternatif.

M. de Vreede se réfère au document du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité du 13 septembre 2000 sur la nomenclature courant alternatif/courant continu lorsque la grandeur en question est une tension et non un courant. Le comité décide de transférer cette question au Comité technique 1 de la CEI.

M. Wood fait la démonstration d'un logiciel destiné à aider les laboratoires pilotes et les groupes de travail sur les comparaisons à préparer et vérifier les tableaux de degrés d'équivalence. Ce logiciel est libre de droits et tous ceux qui désirent en obtenir une copie peuvent contacter M. Wood.

M. Quinn mentionne que cela fait longtemps que *Metrologia* n'a pas publié de numéro spécial sur la métrologie en électricité et demande aux membres du CCEM d'étudier cette question à l'avenir.

À diverses occasions pendant la réunion des remarques ont été faites au sujet des documents de travail présentés au CCEM et pendant les réunions des groupes de travail. Les documents doivent concerner les points à l'ordre du jour. Normalement, le CCEM ne sollicite pas de descriptions générales des activités de laboratoire qui ne concernent pas des points à l'ordre du jour. Le rapport de la section d'électricité du BIPM fait exception à cette règle parce que le CCEM doit conseiller le CIPM sur ces activités. Il est demandé aux membres du CCEM de faire davantage d'efforts pour soumettre les documents au CCEM avant la date limite fixée afin de laisser aux participants suffisamment de temps pour les lire avant la réunion. Un effort doit être fait pour que les documents électroniques ne dépassent pas 1 megaoctet, parce que nombre de serveurs électroniques limitent la taille des documents à ce niveau.

## 11 DATE DE LA PROCHAINE SESSION

La prochaine session du CCEM devrait avoir lieu en septembre 2002. La date exacte sera fixée ultérieurement.

M. Göbel remercie tous les participants pour les efforts et l'attention qu'ils ont déployés et déclare la session close.

B.M. Wood, rapporteur  
décembre 2000

**Rapport du Groupe de travail du CCEM  
sur les comparaisons clés en électricité**

(13-14 septembre 2000)

**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 Rapports sur les comparaisons clés achevées et en cours en courant continu et à basse fréquence :
  - 2.1 Comparaisons achevées ;
  - 2.2 Comparaisons en cours.
- 3 Rapport sur les comparaisons clés du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.
- 4 Propositions de nouvelles comparaisons clés.
- 5 Rapport sur la comparaison clé CCEM-K4 et le projet 345 de l'EUROMET à 10 pF et liaison entre les comparaisons clés du CCEM et celles des organisations régionales de métrologie.
- 6 Harmonisation des schémas de classification utilisés par les différentes organisations régionales de métrologie.
- 7 Questions diverses.
- 8 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 en électricité a tenu sa quatrième réunion les 13 et 14 septembre 2000 au Bureau international des poids et mesures, Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Étaient présents : W.E. Anderson (NIST), H. Bachmair (PTB), E. Braun (PTB), F. Cabiati (IEN), L. Christian (MSL), J.P.M. de Vreede (NMi-VSL), E. Dressler (CSIR), T. Endo (ETL), L. Énard (BNM-LCIE), B.F. Field (NIST), G. Genevès (BNM-LCIE), S. Giblin (NPL), E.O. Göbel (président du CCEM), T. Inoue (ETL), B. Jeckelmann (OFMET), H.D. Jensen (DFM), K. Komiyama (ETL), R.D. Lee (KRISS), Z. Lu (NIM), G.C. Marullo Reedtz (IEN), H. Nilsson (SP), T.J. Quinn (directeur du BIPM), B. Ricketts (CSIRO), I. Robinson (NPL), Y.P. Semenov (VNIIM), H. Seppä (VTT), V.Y. Shifrin (VNIIM), E. So (NRC), B.N. Taylor (NIST), D.R. Vasiliev (VNIIFTRI), B.M. Wood (NRC).

Invités : S.W. Chua (PSB), P. Klenovsky (CMI), M. Neira (CEM), H. Slinde (JV).

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

Excusé : A.K. Gupta (NPLI).

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

M. Wood est nommé rapporteur.

Au total, vingt et un documents (CCEM/WGKC Sep00-1 à 21) ont été présentés et acceptés. L'ordre du jour révisé est examiné et approuvé.

## **2 RAPPORTS SUR LES COMPARAISONS CLÉS ACHEVÉES ET EN COURS EN COURANT CONTINU ET À BASSE FRÉQUENCE**

### **2.1 Comparaisons achevées**

Le texte sur la comparaison clé CCEM-K4 (10 pF) à inclure dans l'annexe B de l'arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA) est légèrement modifié par le BIPM et, après consultation du laboratoire pilote et du président du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité, ce texte est approuvé pour les déclarations d'équivalence et pour inclusion dans l'annexe B du MRA. Le groupe de travail remercie Mme Anne-Marie Jeffery pour son excellent travail qui a facilité la publication des résultats de la première comparaison clé du CCEM figurant à l'annexe B du MRA.

La discussion commence par l'examen du document WGKC Sep00-01 qui propose au groupe de travail d'approuver pour l'équivalence les résultats des comparaisons clés permanentes de tension et de résistance du BIPM. Ces comparaisons sont référencées BIPM.EM-K10.a, BIPM.EM-K10.b, BIPM.EM-K11.a, BIPM.EM-K11.b, BIPM.EM-K12.a, BIPM.EM-K12.b, BIPM.EM-K12.c, BIPM.EM-K13.a et BIPM.EM-K13.b. Après s'être mis d'accord sur des changements mineurs, ces comparaisons sont approuvées pour l'équivalence (c'est-à-dire pour inclusion dans l'annexe B, avec leurs résultats).

M. Witt recommande que l'équivalence entre les laboratoires qui n'assurent pas la traçabilité aux réseaux de jonctions de Josephson ni aux étalons de résistance à effet Hall quantique ne soit valable que trois ans. Une discussion s'ensuit, mais sans que les participants parviennent à un accord. Toutefois, M. Quinn propose de « signaler » les résultats datant de plus de trois ans et explique qu'il convient d'augmenter l'incertitude des étalons correspondants en raison de leur dérive. Une autre question est de savoir comment prendre en compte l'ajustement de l'étalon de référence d'un laboratoire effectué après une comparaison bilatérale, ce qui est assez courant. M. Quinn rappelle que le MRA donne uniquement la liste des résultats « bruts » des comparaisons, même quand le laboratoire déclare qu'il « ajustera » ses valeurs après la comparaison. Le laboratoire peut cependant demander à faire figurer dans l'annexe B du MRA une déclaration sur ses actions à venir.

M. Field décrit l'état d'avancement de la comparaison CCEM-K2, une comparaison de résistances de 10 M $\Omega$  et de 1 G $\Omega$ . Après discussions, il est

décidé de former un « comité d'examen de la comparaison » chargé principalement d'examiner de façon critique le projet B du rapport et éventuellement d'aider à la préparation des parties du rapport qui seront publiées dans l'annexe B. Le groupe de travail décide alors d'appliquer aussi cette approche aux autres comparaisons. Les détails spécifiques de tous les comités chargés d'examiner les comparaisons sont mentionnés au tableau figurant à la fin de ce rapport (pages 45-46).

M. Bachmair présente la comparaison CCEM-K3, une comparaison d'inductance à 10 mH. Il décrit ensuite la comparaison CCEM-K6.a, une comparaison d'écart de transfert tension alternative/tension continue. Ensuite, M. de Vreede présente la comparaison CCEM-K6.c, une comparaison d'écart de transfert tension alternative/tension continue à plus haute fréquence. Pour ces trois comparaisons, le groupe de travail décide d'établir des comités pour les examiner (pour plus de détails, voir le tableau).

## 2.2 Comparaisons en cours

M. Field présente le document WGKC Sep00-16 et décrit l'état d'avancement de la comparaison CCEM-K5, une comparaison de mesures de puissance et d'énergie en courant alternatif. Quelques laboratoires supplémentaires ont demandé à y participer et les mesures sont maintenant presque achevées. Un comité chargé de l'examen de la comparaison CCEM-K5 a été établi.

Pour guider les membres des comités chargés de l'examen des comparaisons, M. Field suggère de préparer une liste de points à vérifier lors de l'examen du projet B des rapports de comparaisons proposées pour l'équivalence (c'est-à-dire publiées avec leurs résultats, y compris les degrés d'équivalence, dans l'annexe B). Cette proposition est approuvée et une liste a été préparée par M. Field, Mme Thomas et M. de Vreede ; elle figure à la fin du rapport (pages 48-49).

M. Robinson présente le document WGKC Sep00-19 qui décrit l'état d'avancement de la comparaison clé CCEM-K7, une comparaison de rapport de tensions alternatives. Il dit que deux laboratoires supplémentaires s'y sont joints et que les mesures sont en cours. Un comité d'examen de la comparaison sera établi lors de la prochaine réunion du Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité.

M. Marullo Reedtz examine l'état d'avancement de la comparaison clé CCEM-K8, une comparaison de rapport de tensions continues, et se réfère au document WGKC Sep00-20. Les mesures devraient s'achever en avril 2001.

Il fait part de sa préoccupation quant au non-respect par certains laboratoires du temps alloué pour soumettre les résultats au laboratoire pilote.

Le groupe de travail recommande de bien respecter les directives relatives au délai de six semaines alloué pour soumettre les résultats et il recommande de contacter le directeur du laboratoire national de métrologie concerné si le délai dépasse trois mois.

Le document WGKC Sep00-18 décrivant l'état d'avancement de la comparaison clé CCEM-K9, une comparaison d'écart de transfert tension alternative/tension continue jusqu'à 1000 V, est examiné. Les mesures ont débuté avec un retard de deux mois. Un comité chargé de l'examen de la comparaison sera établi lors de la prochaine réunion du Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité.

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

M. L. Énard présente les conclusions de la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF).

Les propositions suivantes du GT-RF sont approuvées par le Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité :

- CCEM.RF-K1.b.W : puissance à 62 GHz. Le rapport a été approuvé par le GT-RF. Les résultats ont été présentés à la CPEM 2000 et soumis pour publication. La valeur de référence et les degrés d'équivalence n'ont pas encore été établis. Le laboratoire pilote essaiera différentes méthodes de calcul qu'il soumettra au GT-RF. Une fois la méthode choisie, il proposera au CCEM d'approuver les résultats pour l'équivalence.
- CCEM.RF-K1.c.W : puissance à 45 GHz. Nous en sommes au projet A du rapport.
- CCEM.RF-K1.d.W : puissance à 94 GHz. Après des changements mineurs, le projet B du rapport sera soumis au GT-RF pour approbation par courrier électronique. Il est proposé de faire figurer les résultats dans l'annexe B du MRA avec la mention « approuvé pour l'équivalence ».

provisoire » (c'est-à-dire de les inclure, sans valeur de référence ni degrés d'équivalence, dans l'annexe B).

- CCEM.RF-K2.W : puissance de bruit à des fréquences proches de 10 GHz. Les résultats n'ont pas été publiés. Le Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité demande à ce qu'ils soient publiés ou à ce qu'il ne soit pas fait mention de la comparaison. Cette question est notée dans le tableau des actions à mener.
- CCEM.RF-K5.a.CL : paramètres  $S$ , dans la bande de fréquence de 2 GHz à 18 GHz. Les résultats sont publiés. Il est proposé de les publier dans l'annexe B du MRA avec la mention « approuvé pour l'équivalence provisoire ».
- CCEM.RF-K7.a.F.1 : champ électrique jusqu'à 1 GHz. Il a été demandé au laboratoire pilote d'inclure une seconde série de valeurs pour le NPL dans le rapport. Les résultats seront ensuite soumis à approbation pour l'équivalence provisoire.
- CCEM.RF-K7.a.F.2 : puissance surfacique (d'antenne) à 2,45 GHz et à 10 GHz. Il a été demandé au laboratoire pilote d'inclure une seconde série de valeurs du NPL dans le rapport. Les résultats seront ensuite soumis à approbation pour l'équivalence provisoire.

Trois autres comparaisons devraient s'achever prochainement.

#### **4 PROPOSITIONS DE NOUVELLES COMPARAISONS CLÉS**

Suite aux discussions lors de la réunion sur les mesures magnétiques organisée par le CCEM dans le cadre de la CPEM 2000, une comparaison d'induction magnétique a été proposée (document WGKC Sep2000-09), ou plus précisément du rapport champ magnétique/courant pour un solénoïde. La PTB sera le laboratoire pilote et M. K. Weyand la personne à contacter. Il faudra établir un protocole et M. Witt recommande d'utiliser comme modèle le protocole (document WGKC Sep2000-21) préparé par MM. T. Inoue (ETL), D. Janick (PTB) et A. Michaud (NRC).

Un comité d'examen de la comparaison composé de Mme G. Crotti (IEN) et de MM. M. Hall (NPL) et K. Weyand (PTB) est établi ; il est chargé de

préparer le protocole (*voir* tableau page 47), dans l'éventualité où la comparaison serait approuvée par le CCEM (note du rapporteur : elle a été approuvée). Le protocole sera envoyé à tous les participants à la réunion du CCEM qui, comme d'habitude, doivent servir de contact entre leur laboratoire et le CCEM.

Ensuite, la proposition de la PTB (document WGKC Sep2000-10) relative à une comparaison clé de résistance à  $100\ \Omega$  est examinée et approuvée ; les laboratoires intéressés à y participer sont le BNM-LCIE, le CEM, le CSIR-NML, le CSIRO-NML, l'ETL, l'IEN, le JV, le NIM, le NIST, le NMi-VSL, le NPL, le NRC, l'OFMET, la PTB, le SP, le VTT et le BIPM. Un comité d'examen de la comparaison est établi ; il est composé de MM. F. Delahaye (BIPM), R. Elmquist (NIST) et B. Schumacher (PTB) (*voir* tableau). Si la comparaison est approuvée par le CCEM (note du rapporteur : elle a été approuvée), un protocole sera préparé avant la fin de l'année 2000 et envoyé à tous les participants à la réunion du CCEM.

La proposition d'une comparaison d'écarts de transfert tension alternative/tension continue dans le domaine du millivolt ayant pour laboratoire pilote le SP est examinée (document WGKC Sep2000-11A). La liste des laboratoires intéressés à y participer figure dans le document WGKC Sep2000-11B : ce sont le BNM-LCIE, le CEM, le CENAM, le CSIR-NML, le CSIRO-NML, le DFM-AREPA, l'INTI, le JV, le NIM, le NMi-VSL, le NPL, le NRC, la PTB, le VNIIM et le VTT. Un comité d'examen de la comparaison est établi ; il est composé de MM. M. Klonz (PTB), K.-E. Rydler (SP) et C. van Mullem (NMi-VSL) (*voir* tableau). Si la comparaison est approuvée par le CCEM (note du rapporteur : elle a été approuvée), un protocole sera préparé avant la fin de l'année 2000 et envoyé à tous les participants à la réunion du CCEM.

Pour finir, une proposition de comparaison d'induction magnétique aux valeurs des grandeurs géomagnétiques ayant pour laboratoire pilote le VNIIM est présentée par M. Shifrin pour discussion (documents WGKC Sep2000-12A et 12B). Le but de cette comparaison est d'obtenir une incertitude relative proche de  $1 \times 10^{-6}$ . La comparaison proposée dans le document 12A utilise un étalon de transfert fourni par le VNIIM ; celle proposée dans le document 12B suppose que chaque participant puisse disposer d'un étalon de transfert convenable. Les laboratoires intéressés sont :

- Proposition 1, document WGKC Sep2000-12A : le KRISS et le VNIIM ;

- Proposition 2, document WGKC Sep2000-12b : le KRISS, le NIM et le VNIIM.

Après la réunion, la PTB et le NPL ont déclaré qu'ils ne participeront pas à la comparaison. Compte tenu du nombre restreint de laboratoires intéressés, MM. Bachmair, Göbel et Witt décident que ce ne sera pas une comparaison clé, mais ils suggèrent de retenir cette proposition comme sujet de comparaison supplémentaire.

Les quatre nouvelles comparaisons clés proposées sont approuvées par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité.

## **5 RAPPORT SUR LA COMPARAISON CLÉ CCEM-K4 ET LE PROJET 345 DE L'EUROMET À 10 pF ET LIAISON ENTRE LES COMPARAISONS CLÉS DU CCEM ET CELLES DES ORGANISATIONS RÉGIONALES DE MÉTROLOGIE**

M. Giblin présente le document WGKC Sep2000-08 et décrit les premiers essais pour relier les résultats du projet 345 de l'EUROMET à 10 pF à ceux de la comparaison clé CCEM-K4. Les deux comparaisons utilisent une méthodologie différente ; par exemple dans la comparaison de l'EUROMET, des laboratoires ont été autorisés à répéter leurs mesures. Sept laboratoires ont participé aux deux comparaisons mais les mesures ont été effectuées à plusieurs années d'intervalle. M. Giblin dit que si les deux comparaisons avaient eu un protocole commun, des étalons voyageurs communs et une méthode d'analyse commune, et que si les mesures avaient été effectuées sur une période de temps plus courte, il aurait été beaucoup plus facile d'en effectuer l'analyse et d'en tirer des conclusions. Pour analyser les résultats, il lui a fallu faire des hypothèses sur les coefficients de corrélation entre les résultats des laboratoires communs aux deux comparaisons. Malheureusement, les valeurs élevées de  $\chi^2$  indiquent, qu'en général, les valeurs des laboratoires communs aux deux comparaisons sont mal corrélées et qu'elles ne sont pas cohérentes. Cela pourrait être dû à un défaut de stabilité dans le temps des étalons voyageurs ou des étalons de référence des participants. Différentes valeurs de référence ont été calculées, mais les résultats ne sont pas concluants.

M. Christian présente le document WGKC Sep2000-14. L'approche proposée suppose des biais propres à chaque laboratoire, ainsi que des variations dans le temps des étalons voyageurs. Les composantes de l'incertitude de type A des laboratoires ont été utilisées pour estimer la répétabilité des mesures permettant l'analyse des résultats. Cette méthode minimise la variance pondérée en fonction d'une contrainte équivalant à la définition de la valeur de référence de la comparaison clé. Alors que le document décrit une étude complète du point de vue mathématique, il n'en est qu'au stade préliminaire en ce qui concerne son application pratique pour effectuer la liaison entre la comparaison clé CCEM-K4 et le projet 345 de l'EUROMET.

M. Bachmair souligne fortement que nous avons besoin d'établir un modèle acceptable pour ce processus de liaison. Un comité est établi pour examiner ce problème spécifique, trouver une solution et préparer un rapport. Il est composé de MM. M. Cox (NPL), F. Delahaye (BIPM), S. Giblin (président), W. Kessel (PTB), G. Trapon (BNM), B. Wood (NRC), du CSIRO, du MSL, du NIST et du NMi-VSL. Les laboratoires qui n'ont pas encore désigné de représentant à ce comité sont priés de le faire rapidement et de communiquer le nom de la personne en question à MM. Bachmair et Giblin.

Le comité a pour mission de résoudre le problème spécifique à la liaison entre la comparaison clé CCEM-K4 et le projet 345 de l'EUROMET, et ensuite d'essayer d'en résumer les conclusions pour établir une procédure plus générale. Ce rapport devra être présenté à la prochaine réunion du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité.

## **6 HARMONISATION DES SCHÉMAS DE CLASSIFICATION UTILISÉS PAR LES DIFFÉRENTES ORGANISATIONS RÉGIONALES DE MÉTROLOGIE**

La version actuelle du schéma de classification utilisé par les organisations régionales de métrologie pour établir la liste des aptitudes des laboratoires en matière de mesures et d'étalonnages pour l'annexe C du MRA, version 5.0 (document WGKC Sep2000-04), est examinée. M. Vasiliev présente certaines modifications proposées par COOMET (document WGKC



Sep2000-15) et explique quelles sont les différences. Les changements par rapport avec la version 5.0 sont mentionnés ci-dessous :

4.3.6	facteur de qualité	approuvé
5.3	rapport de tension en alternatif, atténuation et gain	approuvé
9.3	forme de l'onde du courant et de la tension	approuvé
9.3.1	harmoniques du courant à la fréquence du secteur	approuvé
9.3.2	distortion harmonique de tension	approuvé
10.1.1	champ électrostatique	approuvé
10.1.2	champ électrique	approuvé
10.2.1	fluxmètre, étalon de flux	approuvé
10.2.2	magnétomètre, teslamètre	approuvé
10.2.8	gradient de champ magnétique	approuvé
11.4.5	température de luminosité radio, luminance énergétique spectrale dans l'espace	approuvé
11.6.3	modulation d'amplitude et de fréquence	ajouter : appareil de mesure du scintillement
11.6.5	écart de fréquence	rejeté
11.7	tension et courant pour les grandeurs aux radiofréquences	approuvé
11.7.4	courant et générateur de courant pour les grandeurs aux radiofréquences	approuvé
12.1	conductivité électrique	approuvé
11.3.1	complexe ? scalaire/complexe ?	à décider

Toutes les organisations régionales de métrologie représentées par des membres du groupe de travail ont approuvé le schéma de classification révisé. Le nouveau schéma de classification révisé devra être mis à la disposition de tous les laboratoires nationaux de métrologie. (Note du rapporteur : le CCEM a ensuite approuvé les modifications en question. Le schéma de classification révisé a été transmis au Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM et des exemplaires ont été distribués aux participants à la réunion du Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité pour information.)

## **7 QUESTIONS DIVERSES**

M. Semenov décrit des étalons de capacité d'un type nouveau ; il espère présenter une proposition de comparaison au CCEM lors de sa prochaine session. Les laboratoires intéressés peuvent le contacter pour plus de détails sur cette proposition de comparaison.

M. Reymann suggère de présenter séparément l'incertitude de transfert calculée ou estimée pour chaque comparaison clé.

## **8 DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION**

La prochaine réunion se tiendra au BIPM à la fin du mois de septembre 2001. La date exacte sera fixée par courrier électronique.

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

B.M. Wood, rapporteur  
décembre 2000

Résumé des actions demandées à divers participants lors de la réunion des 13 et 14 septembre 2000 du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité.

<b>Comité</b>	<b>Personnes responsables</b>	<b>Action</b>	<b>Date limite</b>
Comité d'examen de la comparaison CCEM-K2	R. Dziuba, R. Elmquist, B. Jeckelmann, B. Schumacher, Y. Semenov	Envoyer le rapport révisé aux membres du Groupe de travail sur les comparaisons clés par e-mail.	Fin 2000
Comité d'examen de la comparaison CCEM-K3	H. Eckart, D. Reymann, Y. Semenov	Envoyer le rapport révisé aux membres du Groupe de travail sur les comparaisons clés par e-mail.	Fin 2000
Comité d'examen de la comparaison CCEM-K6.a	M. Klonz, H. Nilsson, H. Slinde, T.J. Witt, (C. van Mullem)	Réviser le projet B et l'envoyer à H. Bachmair qui demandera l'accord des participants par e-mail.	Fin 2000
Comité d'examen de la comparaison CCEM-K6.c	M. Klonz, H. Nilsson, H. Slinde, T.J. Witt, (C. van Mullem)	Réviser le projet B et l'envoyer à H. Bachmair après l'avoir fait pour la comparaison CCEM-K6.a.	
Comité d'examen de la comparaison CCEM-K8	CSIR-NML (E. Dressler), G.C. Marullo-Reedtz, H. Nilsson, B. Ricketts	Examiner soigneusement le projet B.	
Comité chargé de proposer une liste de contrôle pour les rapports des comparaisons clés	J. de Vreede, B. Field, C. Thomas	Rédiger une liste de contrôle et l'envoyer aux membres du CCEM.	Achevé et inclus dans le rapport

Comité d'examen de la comparaison CCEM-K5	T. Nelson, H. Nilsson, N. Oldham, PTB (R. Bergeest), E. So	Réviser le projet B.	
Comité de liaison entre les comparaisons CCEM-K4 et EM345	Tous ceux qui ont participé aux deux comparaisons ainsi que L. Christian (MSL), M. Cox (NPL), CSIRO (nom ?), F. Delahaye (BIPM), S. Giblin (président), W. Kessel (PTB), NIST (nom ?), NMI-VSL (nom ?), G. Tracon (BNM-LCIE), B. Wood (NRC). Merci de communiquer les noms des personnes à contacter à H. Bachmair et S. Giblin <u>maintenant</u> .	Effectuer la liaison entre la comparaison du CCEM et celle des organisations régionales de métrologie.	Dans un an, pour la prochaine réunion du Groupe de travail sur les comparaisons clés en électricité.

Résumé des actions demandées à divers participants lors de la réunion des 13 et 14 septembre 2000 du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés en électricité.

But	Personnes responsables	Action	Date limite
Essayer de publier les résultats de la comparaison CCEM.RF-K2.W sous forme de rapport du NPL.	I. Robinson		Si le rapport ne peut être publié le 31 octobre 2000, supprimer cette comparaison de la base de données. M. Bachmair a ensuite accepté de repousser la date limite.
Rédiger le protocole de la comparaison de <i>B/I</i> proposée. Doc. WGKC Sep00-9	G. Crotti, M. Hall, K. Weyand	Le distribuer aux représentants des membres du CCEM.	Protocole demandé pour la fin de l'an 2000.
Rédiger le protocole de la comparaison de 100 $\Omega$ . Doc. WGKC Sep00-10	BIPM (F. Delahaye), NIST (R. Dziuba, R. Elmquist), PTB (B. Schumacher)	Le distribuer aux représentants des membres du CCEM.	Protocole demandé pour la fin de l'an 2000.
Rédiger le protocole de la comparaison proposée en tension alternative/tension continue (mV). Doc. WGKC Sep00-11a	NMi (C. van Mullem), PTB (M. Klonz), SP (K.-E. Rydler)	Le distribuer aux représentants des membres du CCEM.	Protocole demandé pour la fin de l'an 2000.
Confirmer à H. Bachmair sa volonté de participer à la comparaison proposée de <i>B</i> (géomagnétisme). Doc. WGKC Sep00-12A et 12B. Spécifier option 1 pour 12A ou 2 pour 12B.	NIM, NPL, PTB		Fin octobre 2000

**Document CCEM 00-18 : Liste de points à vérifier pour l'examen du projet B des rapports des comparaisons clés du CCEM**

par J. de Vreede, B. Field et C. Thomas

Le comité chargé de l'examen du projet B de rapport des comparaisons clés doit vérifier que celui-ci contient les informations suivantes :

- 1 l'identité de tous les participants, avec le nom complet de leur organisation, leur sigle, et le pays représenté ;
- 2 l'échéancier de la comparaison, incluant en particulier pour chaque laboratoire la date des mesures et la référence des étalons effectivement utilisés ;
- 3 le protocole de mesure et la logistique (si nécessaire) de la comparaison, ainsi que tout écart d'un laboratoire par rapport à ce protocole et la raison invoquée ;
- 4 le résumé des résultats de mesure de chaque laboratoire, les matrices et les graphiques d'équivalence ; le comité d'examen doit vérifier l'exactitude des calculs dans la mesure du possible ;
- 5 la méthode utilisée pour déterminer la valeur de référence et son incertitude et les raisons du choix de la méthode ;
- 6 pour chaque laboratoire national de métrologie un bilan d'incertitude qui corresponde au protocole ;
- 7 la mention de tout retrait éventuel d'un participant ou de toute modification des résultats d'un participant, afin que le comité d'examen puisse vérifier que la situation est conforme aux exigences du document de directives.

De plus, le comité d'examen doit vérifier que :

- 8 tous les participants à la comparaison répondent aux critères requis dans le MRA ;
- 9 tous les participants à la comparaison ont eu suffisamment de temps pour revoir le projet B (et le projet préalable) du rapport et approuvent la ou les méthodes d'analyse présentée(s) dans ce rapport ;

- 10 le rapport suit les directives sur l'utilisation correcte des unités du SI ;
- 11 le rapport est conforme aux principes et aux notations du *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*.

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

(12 septembre 2000)

**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 Approbation du rapport de la précédente réunion du GT-RF.
- 3 Rapports sur les comparaisons clés :
  - 3.1 Rapports sur les comparaisons achevées ;
  - 3.2 Rapports sur l'état d'avancement des comparaisons en cours ;
  - 3.3 Nouvelles comparaisons ;
  - 3.4 Sujets éventuels de comparaisons futures.
- 4 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 12 septembre 2000.

Étaient présents : J. Achkar (BNM-LCIE), L. Brunetti (IEN), H.A. Chua (PSB), R.N. Clarke (NPL), J.P.M. de Vreede (NMi-VSL), E. Dressler (CSIR-NML), L. Érard (président), K. Hilty (OFMET), T. Inoue (ETL), K. Komiyama (ETL), R.D. Lee (KRISS), X. Ma (NIM), J. Randa (NIST), B. Ricketts (CSIRO-NML), Y.P. Semenov (VNIIM), U. Stumper (PTB), D.R. Vasiliev (VNIIFTRI), B.M. Wood (NRC).

Assistait aussi à la réunion : T.J. Witt (secrétaire exécutif du CCEM).

Le président souhaite la bienvenue aux membres du groupe de travail et ouvre la réunion.

L'ordre du jour est examiné et approuvé.

M. J. Achkar est nommé rapporteur.

## **2 APPROBATION DU RAPPORT DE LA PRÉCÉDENTE RÉUNION DU GT-RF**

Le rapport de la précédente réunion du GT-RF est approuvé.

### **3 RAPPORTS SUR LES COMPARAISONS CLÉS**

#### **3.1 Rapports sur les comparaisons achevées**

Les participants examinent les quatre comparaisons achevées depuis la précédente réunion. Au stade du projet B du rapport, il est recommandé de se mettre d'accord sur la valeur de référence de la comparaison clé et sur les degrés d'équivalence déduits du rapport. Ces comparaisons sont détaillées au tableau 1.

#### **3.2 Rapports sur l'état d'avancement des comparaisons en cours**

Le tableau 2 résume l'état d'avancement des comparaisons en cours décidées en 1986, 1992, 1997, 1998 et en 1999.

#### **3.3 Nouvelles comparaisons**

Après avoir examiné les comparaisons en cours ou qui viennent de s'achever, le GT-RF propose de débiter trois nouvelles comparaisons sur le bruit, l'affaiblissement et l'intensité du champ électrique. Ces comparaisons sont détaillées au tableau 3.

#### **3.4 Sujets éventuels de comparaisons futures**

Le groupe de travail décide de soumettre à discussion lors de la prochaine réunion des comparaisons futures dans le domaine du bruit, des antennes etc. Ces comparaisons sont détaillées au tableau 4.

#### **4      DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION**

La prochaine réunion du GT-RF aura lieu soit en 2001, juste avant la prochaine session du CCEM, soit en 2002, le jour précédant ou suivant la CPEM.

J. Achkar, rapporteur  
Octobre 2000

**Tableau 1. Comparaisons achevées du CCEM dans le domaine des radiofréquences (CCEM.RF)**

K1.b.W	<p>Puissance sur guide d'ondes R 620 : efficacité de montures bolométriques à 62 GHz (GT-RF/95-1).</p> <p>Laboratoire pilote : BNM-LCIE ; participants : NIST, NPL, SSIA.</p> <p>Recommandée pour l'équivalence provisoire. Le BNM-LCIE terminera le calcul de la valeur de référence de la comparaison clé et des degrés d'équivalence. (Note du rapporteur : la comparaison a été approuvée pour l'équivalence provisoire par le CCEM.)</p>
K1.d.W	<p>Puissance sur guide d'ondes R 900 : efficacité de montures bolométriques à 94 GHz (GT-RF/97-3).</p> <p>Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, ETL, NIST, NPL, PTB.</p> <p>Recommandée pour l'équivalence provisoire. Le NPL apportera quelques modifications mineures. Le rapport sera publié sous forme de résumé dans <i>Metrologia</i>. (Note du rapporteur : la comparaison a été approuvée pour l'équivalence provisoire par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés.)</p>
K2.W	<p>Puissance de bruit sur guide d'ondes à 9 GHz, 10,5 GHz et 11,2 GHz (GT-RF/78-13).</p> <p>Approuvée par tous les participants en 1997. Recommandée pour l'équivalence provisoire. (Note du rapporteur : le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés recommande d'en publier le rapport ou sinon, de ne pas mentionner cette comparaison dans l'annexe B du MRA).</p>
K5.a.CL	<p>Mesure des paramètres de dispersion (paramètres <i>S</i>) à l'aide de systèmes « large bande » dans la bande de fréquence 2 GHz–18 GHz (GT-RF/83-4).</p> <p>Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIRO-NML, IEN, NIST, NMi-VSL, OFMET, PTB, SP.</p> <p>Recommandée pour l'équivalence provisoire. Le rapport du NPL est considéré comme le projet B du rapport. Le NPL vérifiera s'il a été publié dans <i>Metrologia</i>. (Note du</p>

rapporteur : la comparaison a été approuvée pour l'équivalence provisoire par le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés).

**Tableau 2. État d'avancement des comparaisons en cours du CCEM dans le domaine des radiofréquences (CCEM.RF)**

K1.c.W	<p>Puissance sur guide d'ondes R 400 : efficacité de montures bolométriques à 45 GHz (GT-RF/97-2).</p> <p>Laboratoire pilote : NIST ; participants : BNM-LCIE, NIST, NPL, VNIIM.</p> <p>Rapport en préparation. L'ETL, l'IEN et le KRISS n'ont pas participé à cette comparaison. Les commentaires au rapport seront envoyés par les participants au NIST d'ici un mois (octobre 2000). Ensuite le GT-RF soumettra le rapport à l'approbation des participants dans un délai de deux mois, par correspondance.</p>
K3.F	<p>Gain d'antenne cornet sur CEI R 320 à 26,5 GHz, 33 GHz et 40 GHz (GT-RF/92-1).</p> <p>Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, KRISS, NIST, NMi-VSL, NPL.</p> <p>Les mesures sont achevées. Le NPL calculera la valeur de référence de la comparaison clé et les degrés d'équivalence pour inclusion dans le projet A du rapport.</p>
K4.CL	<p>Tension (1 V) sur ligne coaxiale 50 <math>\Omega</math> à des fréquences comprises entre 1 MHz et 300 MHz (option jusqu'à 1000 MHz) (GT-RF/ 92-6).</p> <p>Laboratoire pilote : NMi-VSL ; participants : AREPA, CEM, CMI, CSIRO-NML, IEN, KRISS, NIST, NRC, PTB, SMU.</p> <p>Il est suggéré : 1) de terminer la comparaison et de rédiger le projet A du rapport ; 2) de commencer une nouvelle comparaison en 2001 sous la référence CCEM.RF-K4.a.CL avec les participants suivants : BNM-LCIE, NIM, NMi-VSL (laboratoire pilote), OFMET, PSB, PTB, VNIIM.</p>

- K5.b.CL Mesure des paramètres de dispersion (paramètres  $S$ ) à l'aide de systèmes « large bande » dans la bande de fréquence 2 GHz-18 GHz (connecteur de type N) (GT-RF/92-3).  
Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIR-NML, IEN, KRIS, NIST, NMi-VSL, NRC, OFMET, PSB, PTB.  
Le NPL proposera un protocole en octobre 2000. Le NRC s'est joint à la comparaison. Les participants enverront leurs suggestions ou commentaires sur le protocole au NPL dans un délai d'un mois (octobre 2000).
- K5.c.CL Paramètres (de dispersion)  $S$  en PC-3,5 entre 50 MHz et 26,5 GHz (GT-RF/97-1).  
Laboratoire pilote : BNM-LCIE ; participants : CMI, CSIR-NML, CSIRO-NML, IEN, INTA, KRIS, MIKES, NIM, NIST, NMi-VSL, NPL, NRC, OFMET, PSB, PTB, SNIIM, SP.  
Le BNM-LCIE a distribué le protocole aux participants. Le CSIR-NML, le NIM et le SNIIM se sont joints à la comparaison. Le BNM-LCIE enverra une invitation au SNIIM. Le NMi-VSL et le NPL aideront le BNM-LCIE à calculer la valeur de référence de la comparaison clé et les degrés d'équivalence.
- K7.a.F.1 Intensité de champ électrique entre 300 MHz et 1000 MHz (GT-RF/86-1).  
Laboratoire pilote : NIST; participants : ARC, BNM-LCIE, CRL, ETL, IEN, JQA, KEC, KRIS, NIST, NMi-VSL, NPL.  
Le rapport est en cours. Comme les résultats ont été publiés sans ceux du NPL, il est décidé que le NIST ajoutera les résultats du NPL au projet B du rapport (publication de l'IEEE et rapport du NPL). Le rapport sera soumis à approbation par correspondance.
- K7.a.F.2 Puissance surfacique à 2,45 GHz et à 10 GHz (GT-RF/86-1).  
Laboratoire pilote : NIST ; participants : ARC, BNM-LCIE, CRL, ETL, IEN, JQA, KEC, KRIS, NIST, NMi-VSL, NPL.  
Le rapport est en cours. Comme les résultats ont été publiés sans ceux du NPL, il est décidé que le NIST ajoutera les

- résultats du NPL au projet B du rapport (publication de l'IEEE et rapport du NPL). Le rapport sera soumis à approbation par correspondance.
- K7.b.F Facteur d'antenne à 10 kHz, 100 kHz, 30 MHz et à 1000 MHz : antennes tige non-résonante (GT-RF/92-8).  
Laboratoire pilote : NPL ; participants : CSIRO-NML, ETL, IEN, NIST, NPL.  
Le NPL enverra le projet A du rapport aux participants. Le BNM-LCIE et le NMi-VSL n'ont pas participé à la comparaison. Depuis que le projet A du rapport a été envoyé, le NIM et le VNIIFTRI ont demandé à participer à la comparaison.
- K8.CL Puissance sur ligne coaxiale 50  $\Omega$  : efficacité de montures bolométriques (connecteur de type N) (GT-RF/98-1).  
Laboratoire pilote : NMi-VSL ; participants : BNM-LCIE, CSIR-NML, CSIRO-NML, ETL, INTA, KRISS, NIM, NIST, NPL, NRC, OFMET, PSB, PTB.  
La comparaison est en cours.
- K9 Puissance de bruit entre 12,4 GHz et 18 GHz (GT-RF/99-1).  
Laboratoire pilote : BNM-LCIE ; participants : NIST, NPL, PTB, VNIIFTRI.  
La comparaison est en cours. Le VNIIFTRI s'est joint aux participants. Le NPL et la PTB communiqueront leur bilan d'incertitude au BNM-LCIE.
- K10.CL Puissance sur ligne coaxiale 50  $\Omega$  : efficacité de bolomètres (connecteur en 3,5 mm) (GT-RF/99-2).  
Laboratoire pilote : PTB ; participants : BNM-LCIE, CSIR-NML, CSIRO-NML, ETL, IEN, NIST, NMi-VSL, NPL, NRC, OFMET, PSB, VNIIFTRI.  
La comparaison est en cours. La PTB enverra un nouvel échéancier de mesures aux participants avant la fin du mois de novembre 2000.



**Tableau 3. Nouvelles comparaisons du CCEM dans le domaine des radiofréquences (CCEM.RF)**

K18.CL	<p>Bruit sur ligne coaxiale 50 <math>\Omega</math> à des fréquences jusqu'à 1 GHz (GT-RF/00-1).</p> <p>Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, NIST, VNIIFTRI.</p> <p>Le protocole et l'échéancier des mesures sont en préparation.</p>
K19.CL	<p>Affaiblissement à 60 MHz et à 5 GHz à l'aide d'un affaiblisseur à plots en type N sur 50 <math>\Omega</math> (GT-RF/00-2).</p> <p>Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIR-NML, ETL, IEN, NIM, NIST, NMi-VSL, NRC, OFMET, PSB, PTB, VNIIFTRI.</p> <p>Le protocole et l'échéancier des mesures sont en préparation.</p>
K20	<p>Mesure de l'intensité du champ électrique aux fréquences comprises entre 10 MHz et 1 GHz (GT-RF/00-3).</p> <p>Laboratoire pilote : OFMET ; participants : CSIR-NML, CSIRO-NML, IEN, KRISS, NIST, NPL, NMi-VSL, PTB, SP, STUK.</p> <p>La comparaison a été effectuée en tant que projet 520 de l'EUROMET. Il a été décidé de la convertir en une comparaison clé du GT-RF. L'IEN, le CSIR-NML, le NMi-VSL, le NPL, l'OFMET, la PTB et le STUK ont déjà participé à la comparaison clé de l'EUROMET.</p>

**Tableau 4. Sujets éventuels de comparaisons futures**

T.1	<p>Mesure de la température du bruit sur guide d'ondes entre 18 GHz et 40 GHz.</p> <p>Proposée par le BNM-LCIE. Participants éventuels : NIST, NPL et VNIIFTRI. Il a été décidé de remettre la discussion de ce projet à la prochaine réunion du GT-RF.</p>
T.2	<p>Mesure du facteur d'antennes tige aux fréquences comprises entre 100 Hz et 40 MHz.</p> <p>Proposée par le NPL. Participant éventuel : NIST. Il a été décidé de remettre la discussion de ce projet à la prochaine réunion du GT-RF.</p>
T.3	<p>Il a été demandé au NPL de donner des détails complémentaires sur les points suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• proposition de convertir la comparaison 458 de l'EUROMET sur les antennes dipôles en une comparaison du GT-RF ;</li><li>• proposition de relancer la comparaison GT-RF/92-7 sur les antennes cadre.</li></ul>
T.4	<p>Le NPL demande aux laboratoires nationaux de métrologie s'ils sont intéressés par les domaines suivants : paramètres de bruit, temps de montée d'impulsion, impédance et puissance en 2,4 mm.</p>

**ANNEXE E 1.****Documents de travail présentés à la 22<sup>e</sup> session du CCEM**

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

Document  
CCEM

- 00-1 BIPM. — Work of the Electricity section of the BIPM for the period October 1997-June 2000, 33 p.
- 00-2 NIST (États-Unis). — The 1998 CODATA recommended values of  $K_J$  and  $R_K$  and possible CCEM recommendations to the CIPM regarding volt and ohm representations based on the Josephson and quantum Hall effects, B.N. Taylor, P.J. Mohr, 5 p.
- 00-3 SP (Suède). — The definition of ac-dc transfer difference; letter of K.-E. Rydler, 3 p.
- 00-4 ETL (Japon). — Progress in dc/lf electrical standards projects during the period from June 1997 to July 2000 at the ETL, T. Endo, 5 p.
- 00-5 NMI-VSL (Pays-Bas). — General progress report of the VSL during 1997-2000, J.P.M. de Vreede, 5 p.
- 00-6 OFMET (Suisse). — Progress in the representation of the electrical quantities at OFMET, M. Flüeli, K. Hilty, B. Jeanneret, B. Jeckelmann, 6 p.
- 00-7 BIPM. — Progress in ac measurements of the quantized Hall resistance at the BIPM, F. Delahaye, B.P. Kibble, A. Zarka, 2 p.
- 00-8 PTB (Allemagne). — Progress report on electrical metrology at the PTB between 1997 and 2000, 18 p.
- 00-9 BNM-LCIE (France), LEP (France). — Development of QHE device array resistance standards, W. Poirier, K. Hayashi, A. Bounouh, H. Fhima, F. Piquemal, G. Genevès, J.P. André, 25 p.

## Document

## CCEM

- 00-10 BNM-LCIE (France). — The quantum metrological triangle experiment at the BNM-LCIE: a progress report, F. Gay, Y. De Wilde, F. Piquemal, G. Genevès, 13 p.
- 00-11 BNM-LCIE (France). — Détermination de la résistance de Hall quantique,  $R_K$ , en fonction de la capacité calculable du BNM-LCIE = Determination of the quantized Hall resistance  $R_K$  in terms of the BNM-LCIE calculable capacitor, G. Trapon, O. Thévenot, J.C. Lacueille, W. Poirier, H. Fhima, G. Genevès, 13 p.
- 00-12 Entry of the CCEM-K4 in Appendix B of the MRA – Capacitance at nominal value 10 pF, 3 p.
- 00-13 NMI-VSL (Pays-Bas). — Comments on the “Technical Guidelines for Reliable Measurements of the Quantized Hall Resistance” (*Metrologia*, 1989, **26**, 63–68), G. Rietveld, 1 p.
- 00-14 NPLI (Inde). — General progress report of NPL(I) during 1997-2000, 4 p.
- 00-15 NPL (Royaume-Uni). — Report on the meeting of the CCEM Working Group on Electrical Methods to Monitor the Stability of the Kilogram, B.P. Kibble, I. Robinson, 3 p.
- 00-16 NPL (Royaume-Uni). — A report on progress in electromagnetic measurements at NPL, I. Robinson, 5 p.
- 00-17 IEN (Italie). — Progress report of the IEN in electricity and magnetism, F. Cabiati, G. Marullo Reedtz, 8 p.
- 00-18 Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés. — Checklist for review of Draft B reports of CCEM intercomparisons, C. Thomas, J. de Vreede, B. Field, 1 p.

## LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

### 1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences

APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARC	Austrian Research Centre, Seibersdorf (Autriche)
AREPA	AREPA Test and Kalibrering A/S, Silkeborg (Danemark)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-LCIE	Bureau national de métrologie, Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
CCE*	Comité consultatif d'électricité, <i>voir</i> CCEM
CCEM	(ex CCE) Comité consultatif d'électricité et magnétisme
CEI	Commission électrotechnique internationale
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Mexico (Mexique)
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
COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Measurement Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO-NML	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie)
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
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.

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
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)
JQA	Japan Quality Assurance Organization (Japon)
JV	Justervesenet, Kjeller (Norvège)
KEC	Kansai Electronic Industry Development Center (Japon)
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
LCIE*	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France), <i>voir</i> BNM
LEP*	Laboratoire d'électronique Philips, Limeil-Brévannes (France), <i>voir</i> OMMIC
Metas	(ex OFMET) Office fédéral de métrologie et d'accréditation, Wabern (Suisse)
MIKES	Mittatekniikan Keskus, Helsinki (Finlande)
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)
NMi-VSL	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
NML*	National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie), <i>voir</i> CSIRO
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)

OFMET*	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse), <i>voir</i> Metas
OMMIC	(ex LEP) Limeil-Brévannes (France)
PSB	Singapore Productivity and Standards Board (Singapour)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
SMU	Šlovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SNIIM	Siberian Scientific and Research Institute for Metrology, Gosstandart of Russia, Novosibirsk (Féd. de Russie)
SP	(ex Statens Provningsanstalt) Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SSIA	State Scientific Industrial Association “Metrology”, Kharkov (Ukraine)
STUK	Säteililyturvakeskus, 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-Petersbourg (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

## 2 Sigles des termes scientifiques

COUNT	Projet de recherche bénéficiant du soutien de la Commission européenne “Counting Electrons One by One: Measurement of Very Small Electrical Currents”
QHE	Effet Hall quantique/Quantum Hall Effect
SET	Single Electron Tunnelling
SETamp	Projet de recherche sur les dispositifs à effet tunnel monoélectronique lié au projet COUNT
SI	Système international d’unités

SINIS	Jonctions de matériaux supraconducteurs isolants normaux (métal)
SIS	Supraconducteur isolant supraconducteur