

Comité consultatif d'électricité (CCE)

Consultative Committee
for Electricity (CCE)

Rapport de
la 21^e session
(juin 1997)
Report of
the 21st Meeting
(June 1997)



Bureau
international
des poids
et mesures

Organisation
intergouvernementale
de la Convention
du Mètre

Comité consultatif d'électricité ■ 21^e session (juin 1997)
Consultative Committee for Electricity ■ 21st Meeting (June 1997)

Comité consultatif d'électricité
 21^e session (juin 1997)

W.E. Anderson H. Seppä
 R. Liu B.M. Wood E.R. Williams
 H. Nilsson A. Ploshinsky B.P. Kibble H. Bachmair
 G. Genevès R.E. Hebner I. Robinson G.C. Marullo Reedtz
 U. Feller J. Melcher D. Reymann T.J. Witt
 F. Cabiati E. Braun



B. Jeckelmann T.J. Quinn T. Endo
 E. So G.W. Small L. Érard F. Delahaye J.P.M. de Vreede
 B.N. Taylor E.O. Göbel B.S. Mathur R.D. Lee K. Jones
 P. Giacomo

Bureau international des poids et mesures

Comité consultatif d'électricité (CCE)

21^e session (juin 1997)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 75)

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

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

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

Conception graphique :
Monika Jost

Imprimé par : Stedi, Paris

ISSN 0069-6455
ISBN 92-822-2163-6

TABLE DES MATIÈRES

Photographie des participants à la 21 ^e session du Comité consultatif d'électricité	2
États membres de la Convention du Mètre	8
Le BIPM et la Convention du Mètre	9
Liste des membres du Comité consultatif d'électricité	13
Rapport au Comité international des poids et mesures, par B.M. Wood	15
Ordre du jour	16
1 Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur	19
2 Questions en relation avec les constantes fondamentales et le SI	20
2.1 Rapport du Groupe de travail 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	21
2.3 Progrès effectués dans la réalisation des unités électriques du SI et amélioration de notre connaissance de K_J et de R_K ; possibilités d'utiliser en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique	22
3 Progrès effectués et à venir dans les mesures exactes de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz	25
4 Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson et d'échantillons pour résistance de Hall quantifiée	27
5 Comparaisons clés de grandeurs électriques	29
5.1 Rapport du Groupe de travail sur les comparaisons internationales	31
5.2 Discussion sur les comparaisons clés proposées	31
5.3 Rapports préliminaires ou finaux sur les comparaisons internationales en cours (en courant continu ou en courant alternatif à basse fréquence) organisées par le CCE	32

5.3.1	Comparaison 92-1 de condensateurs de 10 pF (laboratoire pilote : NIST)	32
5.3.2	Comparaison 92-2 de puissance et d'énergie en courant alternatif, entre 50 Hz et 60 Hz (laboratoire pilote : NIST)	32
5.3.3	Comparaison 92-3 de dispositifs de transfert courant alternatif/courant continu à soudures multiples (laboratoire pilote : PTB)	32
5.3.4	Comparaison 92-4 de convertisseurs thermiques de tension à soudeuse unique, entre 50 kHz et 100 kHz (laboratoire pilote : BNM-LCIE)	33
5.3.5	Comparaison 92-5 de convertisseurs thermiques de tension à soudeuse unique, entre 1 MHz et 50 MHz (laboratoire pilote : NMi-VSL)	33
5.3.6	Comparaison 95-1 de résistances en courant continu de 10 MΩ et 1 GΩ (laboratoire pilote : NIST)	33
5.3.7	Extension de la comparaison 88-1 d'inductances de 10 mH (laboratoire pilote : PTB)	33
5.3.8	Directives pour les comparaisons	33
5.4	Progrès dans l'organisation des nouvelles comparaisons	34
5.4.1	Comparaison 97-1 de rapports de tensions en courant alternatif (laboratoire pilote : NPL)	34
5.4.2	Comparaison 97-2 de rapports de tensions en courant continu (laboratoire pilote : IEN)	34
5.4.3	Liste de comparaisons clés de grandeurs électriques en courant continu et en courant alternatif à basse fréquence	35
6	Rapport sur la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences	37
7	Activités de la section d'électricité du BIPM	38
8	Futures activités du CCE	39
9	Questions diverses	40
10	Date de la prochaine session	41

Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences,

par J. Achkar	43
Ordre du jour	44
1 Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur	45
2 Comparaisons internationales achevées depuis la dernière réunion du groupe de travail (juin 1995)	46
3 Comparaisons presque achevées	47

4	État d'avancement des autres comparaisons en cours	48
5	Nouvelles comparaisons	49
6	Informations sur les comparaisons d'EUROMET	50
7	Rapport du sous-groupe sur les comparaisons clés	51
8	Comparaisons futures	52
9	Directives pour l'organisation de comparaisons	53
10	Travaux récents dans les différents laboratoires du GT-RF	54
11	Date de la prochaine réunion	55
Annexe E 1. Documents de travail présentés à la 21^e session du CCE		63
Liste des sigles utilisés dans le présent volume		69

ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE

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

LE BIPM ET LA CONVENTION DU MÈTRE

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

Le Bureau international a son siège près de Paris, dans le domaine (43520 m²) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre.

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

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

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

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

- de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour assurer la propagation et le perfectionnement du Système international d'unités (SI), forme moderne du Système métrique ;

- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et d'adopter les diverses résolutions scientifiques de portée internationale ;
- d'adopter toutes les décisions importantes concernant la dotation, l'organisation et le développement du Bureau international.

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

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

Environ quarante-cinq physiciens et techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau international. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les *Procès-verbaux des séances du Comité international*.

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

Les Comités consultatifs ont un règlement commun (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, **31**, 97). Ils tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers. Le président de chaque Comité consultatif est désigné par le

Comité international ; il est généralement membre du Comité international. Les Comités consultatifs ont pour membres des laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés, dont la liste est établie par le Comité international, qui envoient des délégués de leur choix. Ils comprennent aussi des membres nominativement désignés par le Comité international, et un représentant du Bureau international (Critères pour être membre des Comités consultatifs, *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, **64**, 6). Ces Comités sont actuellement au nombre de neuf :

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

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

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

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

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

Les travaux du Bureau international font l'objet de publications dans des journaux scientifiques ; une liste en est donnée chaque année dans les *Procès-verbaux des séances du Comité international*.

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

**LISTE DES MEMBRES
DU COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ**
au 24 juin 1997

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, Division of Production Technology [DPT], Pretoria.

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield.

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba.

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

Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

Istituto Elettrotecnico Galileo Ferraris [IEN], Turin.

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

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

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.

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

COMITÉ CONSULTATIF
D'ÉLECTRICITÉ

RAPPORT
DE LA 21^e SESSION
(24-25 juin 1997)

AU COMITÉ INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES

Ordre du jour

- 1 Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Questions en relation avec les constantes fondamentales et le SI :
 - 2.1 Rapport du Groupe de travail 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 de R_K ; possibilités d'utiliser en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique.
- 3 Progrès effectués et à venir dans les mesures exactes 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 pour résistance de Hall quantifiée.
- 5 Comparaisons clés de grandeurs électriques :
 - 5.1 Rapport du Groupe de travail sur les comparaisons internationales ;
 - 5.2 Discussion sur les comparaisons clés proposées ;
 - 5.3 Rapports préliminaires ou finaux sur les comparaisons internationales en cours (en courant continu ou en courant alternatif à basse fréquence) organisées par le CCE ;
 - 5.4 Progrès dans l'organisation des nouvelles comparaisons.
- 6 Rapport sur la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radio-fréquences.
- 7 Activités de la section d'électricité du BIPM.
- 8 Futures activités du CCE.

9 Questions diverses.

10 Date de la prochaine session.

1 OUVERTURE DE LA SESSION ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR

Le Comité consultatif d'électricité (CCE) a tenu sa vingt et unième session le 24 et le 25 juin 1997 au Bureau international des poids et mesures (BIPM), Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Étaient présents : W.E. Anderson (NIST), H. Bachmair (PTB), E. Braun (PTB), F. Cabiati (IEN), J.P.M. de Vreede (NMi-VSL), T. Endo (ETL), L. Érard (BNM-LCIE), U. Feller (OFMET), G. Genevès (BNM-LCIE), E.O. Göbel (président du CCE), R.E. Hebner (NIST), B. Jeckelmann (OFMET), B.P. Kibble (NPL), R.D. Lee (KRISS), R. Liu (NIM), G.C. Marullo Reedtz (IEN), B.S. Mathur (NPLI), A. Ploshinsky (VNIIM), T.J. Quinn (directeur du BIPM), I. Robinson (NPL), G.W. Small (CSIRO), E. So (NRC), B.N. Taylor (NIST), E.R. Williams (NIST), B.M. Wood (NRC).

Invités : K. Jones (DSIR-MSL), H. Nilsson (SP), H. Seppä (VTT).

Assistaient aussi à la session : P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM) ; F. Delahaye, J. Melcher, D. Reymann, T.J. Witt (BIPM).

Le président du CCE, M. Göbel, et le directeur du BIPM accueillent les participants. M. Wood est nommé rapporteur. Au total, quarante-cinq documents sont présentés pour être étudiés par le CCE. Une liste de ces documents figure à l'annexe E 1 (page 63). 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 sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme

Le président demande aux participants de rendre compte des travaux en cours sur les constantes fondamentales et les unités SI dans les laboratoires nationaux.

M. Kibble présente le rapport du Groupe de travail sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme. Il résume l'état d'avancement des différentes expériences (CCE/97-14). L'incertitude relative sur l'expérience de lévitation de masses au NRLM est actuellement d'environ 2×10^{-6} et on espère à l'avenir réduire cette incertitude au niveau de 1×10^{-7} . Dans l'expérience sur la mesure de la constante d'Avogadro avec un objet en silicium, un écart relatif d'environ 3×10^{-6} , qui pourrait être dû à des lacunes dans le cristal de silicium, n'a pas encore été éliminé. Des améliorations à venir pourraient peut-être réduire l'incertitude relative à environ 5×10^{-8} . Cette expérience sera examinée plus en détail par le Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro. La PTB effectue une étude utilisant un spectromètre de masse afin d'accumuler une masse d'or qui puisse être mesurée avec exactitude. Le faible niveau de courant, 0,1 mA, limite à présent l'exactitude. Il faudra augmenter le courant d'environ un facteur dix pour obtenir une incertitude relative inférieure à 1×10^{-6} .

M. Kibble décrit ensuite l'état d'avancement des différentes expériences de balance du watt. Il signale que l'incertitude relative sur l'expérience de mesure du watt au NIST à l'aide d'une bobine mobile (CCE/97-5d) est d'environ $1,5 \times 10^{-7}$ au cours des six derniers mois. Les résultats sont en accord avec ceux obtenus en 1988 au NPL. Cependant, pour des raisons non identifiées, la dispersion des résultats du NIST ne semble pas entièrement aléatoire. Les évaluations systématiques du profil de champ, des pertes électriques, des interférences

électromagnétiques, de la tension de référence en courant continu et des erreurs d'alignement sont terminées et l'on pense que tous ces paramètres sont maintenant correctement évalués. L'évaluation systématique qui reste à faire porte sur les effets liés à l'indice de réfraction de l'air : pour l'instant elle donne des résultats inattendus. Quand cette dernière évaluation sera terminée, les résultats seront publiés et l'expérience sera modifiée pour fonctionner dans le vide.

M. Kibble rend ensuite compte de l'expérience de balance du watt au NPL. L'équipement fonctionne maintenant dans le vide. Les mesures obtenues au cours d'une même journée sont comparées entre elles et ajustées à l'aide d'un polynôme du cinquième ordre : la dispersion des résultats est alors inférieure à 1×10^{-8} . Toutefois, la détermination électrique d'une masse donnée diffère de celle obtenue en utilisant les étalons de masse du NPL d'environ 1×10^{-6} en valeur relative. MM. Kibble et Robinson recherchent activement la cause de cet écart.

M. Kibble décrit brièvement plusieurs expériences nouvelles. L'OFMET construit un nouveau type de balance du watt (CCE/97-4) qui utilise une masse d'essai de 100 g. Dans cette expérience, la partie mobile est séparée de la partie servant à la pesée. L'aimant permanent est suspendu à la balance, qui est un instrument du commerce modifié. La bobine bouge dans le champ magnétique à l'aide d'un mécanisme indépendant. L'instrument devrait être assemblé en l'an 2000.

Une autre approche nouvelle mentionnée par M. Kibble est une méthode fondée sur une suggestion de M. Cabiati, dans laquelle la relation entre les énergies mécaniques et électriques est obtenue à partir des forces électriques qui s'appliquent à une électrode mobile plutôt qu'à partir des forces magnétiques qui s'appliquent à une bobine. (Des détails sont donnés dans les deux premières publications citées dans le document CCE/97-34.) M. Cabiati étudie actuellement un montage expérimental dans lequel l'électrode se déplacerait dans un plan horizontal si bien qu'il ne serait pas nécessaire de mesurer g .

M. Kibble termine sa présentation en disant qu'il s'attend à ce que l'incertitude relative sur les expériences de balance du watt aussi bien au NPL qu'au NIST atteigne quelques 10^{-8} à la mi-1998.

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

M. Taylor commente l'ajustement des valeurs des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés qui sera effectué prochainement par

CODATA. Il note que CODATA espère terminer cet ajustement au début de 1998. Il présente les valeurs de K_J (CCE/97-40) qui tiennent compte des résultats des mesures directes obtenues avec des électromètres au CSIRO-NML (1988) et avec la balance du volt à la PTB (1990), les valeurs corrigées de K_J résultant de nouveaux calculs de la constante de structure fine par Kinoshita (1996) associés à diverses déterminations des constantes disponibles en 1988, les nouvelles déterminations de la constante d'Avogadro à l'IMMR et au NRLM, à l'IMGC et à la PTB, et les mesures du coefficient gyromagnétique au NIM (1995). Les valeurs de K_J qui en résultent montrent que la valeur adoptée pour K_{J-90} est en excellent accord avec les valeurs expérimentales actuelles et que l'incertitude assignée est toujours en accord avec la série de valeurs.

M. Taylor présente ensuite les valeurs les plus récentes obtenues pour R_K : celles qui tiennent compte de la valeur révisée de la constante de structure fine mentionnée ci-dessus, celles qui ont été nouvellement déterminées au NIST (1996) et au CSIRO-NML (1996) au moyen de condensateurs calculables, et celles que l'on peut déduire d'une nouvelle détermination du coefficient gyromagnétique du proton dans un champ faible au KRISS (1997) combinée à d'autres constantes fondamentales. La valeur de R_{K-90} adoptée est toujours en excellent accord avec les valeurs expérimentales. M. Taylor remarque que l'incertitude attribuée à R_{K-90} lui paraît, peut-être, un peu trop élevée, mais il admet que rien ne contraint à réduire cette incertitude.

2.3 Progrès effectués dans la réalisation des unités électriques du SI et amélioration de notre connaissance de K_J et R_K ; possibilités d'utiliser en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique

Après la présentation des améliorations apportées aux valeurs attribuées à K_J et R_K par M. Taylor (Section 2.2), la discussion passe à d'autres aspects des réalisations des unités SI et à l'utilisation en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique.

M. Jeckelmann résume les travaux communs à l'OFMET et au NRC (CCE/97-4) sur l'étude de la reproductibilité de la résistance de Hall quantifiée en fonction de la nature du semiconducteur employé, du numéro du plateau de la résistance de Hall, et de la géométrie de l'échantillon. Cette étude montre que la résistance de Hall quantifiée est indépendante de ces paramètres à un niveau de précision relative de $3,5 \times 10^{-10}$. M. Jeckelmann décrit aussi des études sur la résistance de contact et recommande que, pour un travail de la plus haute exactitude, la résistance de contact soit inférieure à 10Ω

pour le plateau $i = 2$ et à 2Ω pour $i = 4$. Il conclut en disant que les directives du CCE sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée restent valables aux plus hauts niveaux d'exactitude.

M. Williams décrit des études conduites au NIST (CCE/97-5g) sur la dégradation en fonction du temps de la résistance de contact des échantillons du LEP utilisés pour les mesures de résistance de Hall quantifiée.

M. Williams décrit ensuite les expériences du NIST sur les dispositifs à pompe fondés sur l'effet tunnel monoélectronique (CCE/97-5e) et leur utilisation pour charger des condensateurs cryogéniques. Il signale des difficultés dans la mesure des capacités dues au bruit et à la capacité élevée (de l'ordre de 1 pF) du blindage.

M. Kibble mentionne les expériences récentes de M. Pepper dans lesquelles une onde acoustique de surface à 2 GHz transporte un seul électron par cycle dans le dispositif. Cette fréquence de 2 GHz est 1000 fois supérieure à celle des dispositifs à effet tunnel classiques, et le dispositif à ondes acoustiques de surface délivre donc un courant supérieur d'autant. Des courants plus forts permettraient d'améliorer la résolution et la précision des mesures effectuées avec un comparateur cryogénique de courants.

M. Bachmair décrit les mesures à effet tunnel monoélectronique (CCE/97-24) effectuées à la PTB. Ces études concernent surtout la caractérisation du bruit des dispositifs à effet tunnel. Les analyses spectrales montrent que tous les dispositifs ont un bruit en $1/f$ caractérisé par une fréquence de coupure de 100 Hz à 1000 Hz et une densité spectrale (à 10 Hz) de $10^{-3} e/\sqrt{\text{Hz}}$ à $10^{-4} e/\sqrt{\text{Hz}}$; ce bruit est supérieur d'un à deux ordres de grandeur au niveau de bruit intrinsèque estimé. Le bruit des transistors à effet tunnel monoélectronique est aussi étudié en fonction de la température (dépendance élevée) et du courant. Il a été constaté que le bruit est indépendant du support. L'observation des corrélations entre les spectres de bruit de dispositifs contigus permet de conclure qu'une fraction seulement du bruit observé provient de la charge excédentaire du diélectrique environnant. On soupçonne les fluctuations de cette charge aux barrières isolantes d'être la source la plus importante de bruit.

M. Wood décrit les mesures à effet tunnel monoélectronique (CCE/97-35) effectuées au NRC. Un certain nombre de dispositifs, pour la plupart des électromètres, ont été fabriqués et vérifiés à 0,3 K. Un blocage de Coulomb et un effet tunnel monoélectronique ont été clairement observés. Les charges excédentaires posent problème (observation de fluctuations bistables). Les mesures

de bruit de ces dispositifs ont donné des valeurs aussi faibles que $3,5 \times 10^{-3} e/\sqrt{\text{Hz}}$, soit environ un électron en plusieurs heures.

M. Lee signale que des études sur l'effet tunnel monoélectronique ont commencé au KRISS (CCE/97-8).

M. Endo décrit le projet en cours à l'ETL (CCE/97-10). Des pompes à électrons ont été fabriquées et le blocage de Coulomb a été observé avec une pompe à trois portes.

M. Énard décrit brièvement le projet du BNM-LCIE (CCE/97-9) qui consiste à utiliser un réseau de Josephson pour mesurer la tension de Hall d'un dispositif à résistance de Hall quantifiée alimenté par un courant venant d'un dispositif à effet tunnel monoélectronique après passage dans un comparateur cryogénique de courants de rapport 10 000. Les dispositifs à effet tunnel utilisés sont fabriqués au Commissariat à l'énergie atomique, à Saclay (France).

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

M. Anderson décrit les calculs théoriques effectués au NIST (CCE/97-5f) de la capacité intrinsèque et de l'inductance associée à la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif. La conclusion de cette étude est que l'on n'a observé aucune dépendance intrinsèque de la résistance de Hall quantifiée en fonction de la fréquence aux niveaux de précision actuels.

M. Marullo Reedtz de l'IEN décrit des mesures de la résistance longitudinale R_{xx} en fonction de la fréquence (CCE/97-32) et met en évidence la distortion du minimum de R_{xx} en fonction de la fréquence. Puisque la distortion se manifeste aux basses fréquences, un mécanisme à basse énergie, la conduction par sauts à portée variable, pourrait limiter l'exactitude des mesures de résistance de Hall quantifiée en courant alternatif.

M. Delahaye décrit le pont à résistance de Hall quantifiée en courant alternatif mis au point au BIPM (CCE/97-2). Des mesures de rapport 1 et 1/2, à une fréquence de 1541 Hz, ont été effectuées sur cinq échantillons aux plateaux $i = 2$ et $i = 4$. Les deux polarités de l'induction magnétique ont été utilisées. Les résultats ont été extrapolés à un courant nul pour compenser une faible dépendance en fonction du courant. À proximité de 1,6 kHz, des différences relatives de 1 ou 2×10^{-7} ont été observées pour différents échantillons et différents plateaux. La forme des plateaux varie en fonction de la fréquence, mais les plateaux en courant alternatif ne sont pas aussi plats que les plateaux en courant continu. M. Delahaye a aussi montré les résultats des mesures sur un échantillon spécial avec une fenêtre gravée au centre pour former une garde interne. En courant alternatif les plateaux de cet échantillon sont moins déformés que ceux des autres échantillons, mais pas encore aussi plats que ceux que l'on obtient en courant continu.

M. Braun rend compte au Comité de la réunion d'experts d'EUROMET sur la résistance de Hall quantifiée qui a eu lieu à Lisbonne (Portugal), au cours de

laquelle il a proposé que les laboratoires coopèrent dans leurs recherches sur la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif.

M. Kibble présente brièvement les travaux au NPL sur la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif. Une dépendance linéaire en fonction de la fréquence d'une valeur relative de $1 \times 10^{-7}/\text{kHz}$ peut être observée dans les résultats de mesures de la résistance de Hall quantifiée. Il ajoute que les caractéristiques de certaines résistances, en courant continu et en courant alternatif, ont été recalculées, en particulier celles des résistances de type Gibbings.

M. Wood commente les résultats de mesures de résistance de Hall quantifiée en courant alternatif au NRC (CCE/97-35), qui résultent des études sur la dépendance de plusieurs échantillons de résistance de Hall quantifiée en fonction du courant, de la fréquence et de la polarité de l'induction magnétique. Les résultats des mesures en courant alternatif de la résistance de Hall quantifiée diffèrent, en valeur relative, d'environ 1×10^{-7} de celles effectuées en courant continu. Toutefois, en courant alternatif, la forme du plateau de résistance en fonction de l'induction est nettement différente. Il décrit aussi un nouveau porte-échantillon à câblage coaxial prévu pour fonctionner à 0,3 K et qui peut être utilisé avec différents échantillons interchangeables.

M. Jeckelmann signale que des mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif ont aussi commencé à l'OFMET.

M. Quinn suggère que le CCE crée un Groupe de travail sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif pour encourager la coopération entre chercheurs et afin, le cas échéant, de proposer une série de directives pour des mesures exactes de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif. Cette proposition est approuvée et M. Braun est choisi comme président du groupe de travail. Les laboratoires suivants ont exprimé le souhait d'en être membres : BIPM, BNM-LCIE, CSIRO, IEN, NIST, NPL, NRC, OFMET, PTB, VNIIM et VTT. Ce groupe de travail a tenu une brève réunion qui a abouti aux trois conclusions suivantes :

- Il est prématuré de recommander des directives pour les mesures absolues de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif.
- L'objectif le plus urgent du groupe de travail est d'établir un programme d'échange d'échantillons de résistance de Hall quantifiée pour les mesures en courant alternatif. (Pour ce faire, MM. Kibble et Wood ont proposé de recommander un système à échantillons interchangeables approprié.)
- Un site Internet devra être créé pour diffuser les informations au groupe de travail et pour faciliter la communication entre ses membres. Son adresse est : <http://barry.m36sci.nrc.ca:80/acqhr/>.

Note : M. Wood a proposé de créer ce site, qui est maintenant ouvert.

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

M. Genevès décrit les progrès réalisés dans la fabrication d'une nouvelle série d'échantillons pour résistance de Hall quantifiée (CCE/97-8) par le LEP (France). Dans le cadre de ce projet, le LEP a déjà fabriqué trois lots de galettes semiconductrices pour réaliser des résistances de Hall quantifiée et un quatrième est en cours de fabrication. Le premier lot présente des résistances de contact élevées, le deuxième des valeurs de R_{xx} élevées et le troisième une mobilité inférieure à celle requise (19 T^{-1}). Le quatrième lot devrait être distribué en 1997.

M. Braun commente la production d'échantillons pour résistance de Hall quantifiée à la PTB (CCE/97-21). Des échantillons ont été fabriqués avec un plateau $i = 2$ à une induction variant de 6 T à 12 T. Des mesures précises montrent un bon accord avec les résultats obtenus avec les échantillons du LEP à 2,2 K. Les échantillons sont disponibles à la PTB pour des études en collaboration avec d'autres instituts.

M. Wood déclare que le NRC a maintenant réussi à fabriquer des échantillons pour résistance de Hall quantifiée (CCE/97-35). Ces échantillons présentent des concentrations modérées de porteurs, peuvent tolérer des courants élevés et ont des résistances de contact faibles. Au moment de la réunion, toutefois, seuls quelques échantillons avaient été essayés.

M. Lee décrit les travaux en cours au KRISS sur les réseaux de jonctions de Josephson. Un nouveau type de galette a été conçu pour la fabrication de quatre réseaux de 10 V et deux réseaux de 1 V sur une seule galette. Il mentionne aussi qu'un réseau de Josephson supraconducteur/normal/supraconducteur avec oscillateur intégré est en cours de fabrication (CCE/97-15).

M. Bachmair commente les progrès effectués dans la conception et l'optimisation des dispositifs de Josephson (CCE/97-22) à la PTB. Le problème du

piégeage de flux a été résolu. Les réseaux de la PTB fonctionnent à des fréquences situées entre 70 GHz et 75 GHz et à des puissances de 10 mW à 10 V et de 1 mW à 1 V. On a commencé à transférer cette technologie à une société allemande. Un projet visant à mettre au point un dispositif de Josephson monté en dérivation et programmable a aussi débuté.

M. Endo signale que, alors que les réseaux de 1 V sont toujours disponibles, l'ETL éprouve des difficultés à produire des réseaux de Josephson de 10 V (CCE/97-10), c'est pourquoi ce laboratoire encourage une société commerciale à en produire.

M. Hebner déclare que le NIST a transféré la technologie de production des réseaux de Josephson à la société Hypres, avec laquelle il ne souhaite pas entrer en concurrence, bien qu'il soit encore en mesure de les produire.

5 COMPARAISONS CLÉS DE GRANDEURS ÉLECTRIQUES

M. Quinn rend compte du document CCE/97-1 et résume les opinions exprimées lors de la réunion des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie en février 1997. Il mentionne, en particulier, les progrès réalisés pour faire approuver l'accord sur l'équivalence entre les laboratoires membres de la Convention du Mètre. Il note que dans ce contexte « équivalence » ne signifie pas identité, mais a le sens usuel du dictionnaire d'égalité de valeur ou de sens. Il souligne les points suivants :

- Il est nécessaire de disposer d'une documentation facile d'accès sur l'équivalence entre les laboratoires nationaux.
- L'Organisation mondiale du commerce ne peut pas accepter qu'il soit nécessaire de faire de multiples étalonnages des instruments de mesure, car c'est un frein au commerce. Les comparaisons clés sont donc un instrument nécessaire pour vérifier les principales techniques de mesure et réaliser cette équivalence.
- Nous avons besoin de liens métrologiques entre les membres du CCE, les autres laboratoires et les organisations régionales de métrologie.
- Dans l'idéal, au moins deux laboratoires appartenant à chaque organisation régionale de métrologie devraient participer à chaque comparaison clé organisée par le CCE.
- Dans l'idéal, les comparaisons clés doivent porter sur des réalisations indépendantes des grandeurs, mais, si ce n'est pas le cas, il faut prendre en compte les corrélations. Des comparaisons bilatérales restent nécessaires.
- Les résultats des comparaisons clés sont mieux évalués s'ils le sont par les Comités consultatifs concernés. Ainsi, le CCE peut avoir besoin d'un groupe de travail pour déterminer au départ les principales composantes à prendre en compte dans chaque comparaison clé.

- Pour que l'équivalence soit définitivement reconnue, il peut être demandé que chaque laboratoire dispose d'un système d'assurance de qualité, tel que celui du *Guide 25* de l'ISO.
- L'objectif final de cet accord est d'établir l'équivalence de tous les services d'étalonnage, c'est-à-dire de disposer d'un système international de reconnaissance de la validité des certificats d'étalonnage.

Une discussion animée s'ensuit, et la plupart des participants expriment des opinions fermes. À la fin de la réunion, le Comité approuve trois déclarations de principe.

- Les membres du CCE confirment la liste des comparaisons clés servant de base à l'établissement de l'équivalence des étalons et des mesures électriques au niveau national.
- Les comparaisons clés figurant sur cette liste sont celles utilisées pour établir l'équivalence des étalons nationaux de mesure. Cependant, les comparaisons clés et leur périodicité peuvent ne pas suffire à assurer la traçabilité, aussi il faudra, de temps en temps, effectuer d'autres comparaisons.
- Dans le cadre de cet accord, l'équivalence métrologique des étalons de mesure correspond au degré d'accord entre ces étalons et les valeurs de référence déterminées à partir des résultats des comparaisons clés. Dans ce contexte, une telle valeur de référence est appelée « valeur de référence de la comparaison clé » et peut être considérée comme représentant l'unité du SI dont elle est une bonne approximation, mais pas nécessairement la meilleure. Le degré d'équivalence métrologique des étalons nationaux de mesure s'exprime de manière quantitative par une incertitude de mesure définie comme l'incertitude de l'étalon déclarée par le laboratoire participant (avec un facteur $k = 2$) augmentée si nécessaire pour que sa valeur soit en accord avec la valeur de référence de la comparaison clé.

Le Comité exprime l'espoir que cette dernière déclaration, en particulier, donnera les moyens de quantifier le degré d'équivalence entre les laboratoires nationaux. M. Hebner dit qu'il demandera à des statisticiens du NIST d'étudier la question et d'exprimer leurs commentaires sur ce dernier point pour être sûr qu'il est correct du point de vue statistique.

Note ajoutée au moment de préparer le rapport final de la réunion : La situation relative à l'équivalence et à la reconnaissance mutuelle des étalons a évolué rapidement depuis la réunion du CCE. L'accord actuel sur « La reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et les certificats d'étalonnage

délivrés par les laboratoires nationaux de métrologie » a été paraphé par 38 directeurs de laboratoires nationaux de métrologie appartenant aux États membres de la Convention du Mètre lors de la réunion qui s'est tenue à Sèvres du 23 au 25 février 1998.

5.1 Rapport du Groupe de travail sur les comparaisons internationales

M. Hebner commente les rapports du Groupe de travail sur les comparaisons internationales (CCE/97-16 et 17) et rend compte des rapports préliminaires (CCE/97-18 et 19) et finaux sur les comparaisons internationales en courant continu et aux basses fréquences organisées par le CCE. (Chacune des comparaisons est détaillée à la Section 5.3.)

M. Quinn, au nom du Comité consultatif, demande au groupe de travail de poursuivre ses activités et de superviser le choix et la périodicité des comparaisons clés sous un nouvel intitulé : Groupe de travail sur les comparaisons clés. M. Hebner approuve ce changement au nom du groupe de travail et accepte l'invitation qui lui est faite de continuer à en être le président.

5.2 Discussion sur les comparaisons clés proposées

Bien qu'aucune comparaison clé nouvelle n'ait été proposée, plusieurs participants suggèrent d'éventuels sujets de comparaisons au Comité.

M. Kibble présente les résultats préliminaires d'une comparaison d'étalons de capacité à 10 pF et à 100 pF d'EUROMET. Les résultats suggèrent que le rapport 10 entre les mesures de capacité réalisé dans certains laboratoires présente des écarts relatifs pouvant atteindre 1×10^{-6} . La comparaison de rapport de tension en courant alternatif, proposée dans le document CCE/97-31, pourrait vérifier en partie l'existence de ces écarts. Il pense que si ce problème n'est pas résolu, le CCE doit étudier l'opportunité d'une comparaison à 10 pF et à 100 pF. Cette comparaison est approuvée et devient la comparaison 97-1 (Section 5.4.1).

M. Ploshinsky examine le document CCE/97-39, qui est une proposition de comparaison d'étalons de capacité dans le domaine situé entre 1 nF et 100 nF avec des condensateurs en céramique comme étalons voyageurs.

M. Ploshinsky présente aussi les résultats (CCE/97-38) d'une étude sur les caractéristiques de résistances fabriquées par « Krasnodar plant ZIP » destinées à servir d'étalons de résistance à conserver ou à utiliser comme étalons voyageurs.

Il est décidé de transmettre toutes ces propositions au Groupe de travail sur les comparaisons clés.

M. Nilsson signale que le document CCE/97-29 donne la liste des comparaisons en cours ou proposées dans le domaine de l'électricité.

5.3 Rapports préliminaires ou finaux sur les comparaisons internationales en cours (en courant continu ou en courant alternatif à basse fréquence) organisées par le CCE

5.3.1 Comparaison 92-1 de condensateurs de 10 pF (laboratoire pilote : NIST)

M. Anderson décrit l'état d'avancement de la comparaison 92-1 de condensateurs de 10 pF (CCE/97-5a). Cette comparaison a débuté en février 1996 et quatre laboratoires ont effectué des mesures d'étalons voyageurs. La comparaison pourrait durer plus longtemps que prévu parce que la mise en service des étalons voyageurs, après leur transfert, demande un long délai.

Une comparaison d'étalons de capacité de 10 pF à 1 kHz a été organisée par l'organisation régionale de métrologie COOMET: neuf laboratoires y ont participé. Les résultats reflètent les corrélations entre les laboratoires qui fondent leurs étalons de capacité sur des comparaisons effectuées antérieurement au VNIIM. Une description plus détaillée en est donnée dans le document CCE/97-42.

M. Kibble décrit une comparaison d'EUROMET en cours d'étalons de capacité de 10 pF et de 100 pF qui a déjà été reliée à la comparaison du CCE. Il dit que l'on a observé des écarts assez importants, jusqu'à 1×10^{-6} , sur les rapports 10 attribués aux étalons voyageurs de 10 pF et 100 pF.

5.3.2 Comparaison 92-2 de puissance et d'énergie en courant alternatif, entre 50 Hz et 60 Hz (laboratoire pilote : NIST)

La comparaison 92-2 de puissance et d'énergie en courant alternatif dans le domaine situé entre 50 Hz et 60 Hz a commencé en juin 1996 (CCE/97-5c). Six laboratoires ont effectué des mesures avec les étalons voyageurs et la comparaison est à moitié terminée. Un bon lien a été établi avec une comparaison de puissance d'EUROMET dont le laboratoire pilote est la PTB.

5.3.3 Comparaison 92-3 de dispositifs de transfert courant alternatif/courant continu à soudures multiples (laboratoire pilote : PTB)

La comparaison 92-3 de dispositifs de transfert courant alternatif/courant continu est achevée (CCE/97-25) et montre que l'accord entre les participants

est excellent. Un résumé de la comparaison a été publié dans *Metrologia* (1997, **34**, 3).

- 5.3.4 Comparaison 92-4 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 50 kHz et 100 kHz (laboratoire pilote : BNM-LCIE)

La comparaison 92-4 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 50 kHz et 100 kHz, est liée à une comparaison d'EUROMET dont les mesures ont été achevées en avril 1997 (CCE/97-7). Les mesures pour la boucle non européenne de la comparaison du CCE ont débuté en juillet 1997.

- 5.3.5 Comparaison 92-5 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 1 MHz et 50 MHz (laboratoire pilote : NMI-VSL)

La comparaison 92-5 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, dans le domaine de fréquence situé entre 1 MHz et 50 MHz, est liée à une comparaison d'EUROMET dont les dernières mesures de la boucle européenne ont été effectuées en janvier 1997 (CCE/97-12). Les mesures de la boucle non européenne ont commencé en mars 1997 et devraient s'achever à la fin de 1997.

- 5.3.6 Comparaison 95-1 de résistances en courant continu de 10 M Ω et 1 G Ω (laboratoire pilote : NIST)

La comparaison 95-1 de résistances en courant continu de 10 M Ω et 1 G Ω a commencé en septembre 1996 (CCE/97-5b). Elle compte quatorze participants et la comparaison s'effectue en cinq boucles. Elle devrait s'achever en octobre 1999.

- 5.3.7 Extension de la comparaison 88-1 d'inductances de 10 mH (laboratoire pilote : PTB)

M. Bachmair décrit la comparaison d'inductances de 10mH à 1 kHz (CCE/97-41), dont la PTB est le laboratoire pilote. Il s'agit d'une extension à la comparaison 88-1. Les participants sont la PTB et trois autres laboratoires de l'organisation régionale de métrologie COOMET.

- 5.3.8 Directives pour les comparaisons

M. Quinn présente le document CCE/97-20, qui est un projet de directives d'EUROMET sur l'organisation des comparaisons. Une discussion a lieu sur

les critères à retenir pour la suppression de certaines mesures une fois que les résultats ont été communiqués aux participants. Le Comité estime qu'un tel document est utile, mais que sous cette forme il n'est pas approprié au CCE. Le Groupe de travail sur les comparaisons clés a été chargé d'étudier ce document à sa prochaine session. M. Quinn remarque qu'il existe un besoin réel de diffuser un document donnant des directives pour les comparaisons clés des Comités consultatifs et il a l'intention d'en préparer un.

M. Witt présente le document CCE/97-26, qui résume les procédures à suivre pour le transport et le passage en douane lorsque l'on effectue des comparaisons internationales d'étalons. Il recommande que tous les laboratoires pilotes lisent ce document avant de commencer une nouvelle comparaison internationale, document qui plaide en faveur de l'usage d'un carnet ATA quand c'est possible. Il propose aussi, lorsqu'il y a des problèmes avec les douanes ou le transport, que les laboratoires pilotes demandent assistance au Comité consultatif pour trouver une solution acceptable.

5.4 Progrès dans l'organisation des nouvelles comparaisons

Deux propositions de comparaisons du CCE avaient été discutées lors de la réunion du CCE de 1995. Les progrès réalisés dans l'organisation de ces comparaisons sont présentés à la réunion.

5.4.1 Comparaison 97-1 de rapports de tensions en courant alternatif (laboratoire pilote : NPL)

Le NPL présente une proposition détaillée (CCE 97-31) de comparaison de rapports de tensions en courant alternatif à une tension de valeur efficace 10 V et une fréquence de 1000 Hz. Les participants peuvent aussi effectuer les mesures à cinq autres fréquences situées entre 40 Hz et 5000 Hz. Le NPL a proposé d'en être le laboratoire pilote, de fournir un diviseur inductif de tension à 8 décades et de recenser les principales sources d'incertitude. Les laboratoires qui souhaitent y participer sont priés de contacter le NPL. Les laboratoires suivants se sont déclarés intéressés : BNM-LCIE, CSIRO, ETL, IEN, KRIS, NIM, NIST, NPL, NPLI, NRC, PTB, SP, NMi-VSL et VNIIM.

5.4.2 Comparaison 97-2 de rapports de tensions en courant continu (laboratoire pilote : IEN)

En réponse à la discussion qui a eu lieu lors de la session de 1995 du CCE, M. de Vreede a préparé et diffusé un questionnaire pour savoir quels sont les

laboratoires intéressés par une comparaison du CCE de rapports de tensions en courant continu de 1000 V/10 V et de 100 V/1 V et susceptibles de fournir un étalon voyageur approprié. Il dit que cinq laboratoires seulement ont répondu au questionnaire (CCE/97-14). De plus, il n'existe aucun étalon voyageur convenable.

M. Marullo Reedtz décrit l'expérience de l'IEN avec un diviseur Datron 4902S (CCE/97-33). Ce diviseur a les caractéristiques qui conviennent pour un système de transfert à haute tension, mais l'IEN n'en possède qu'un ; de plus, il n'est plus fabriqué. Dans ces circonstances, au moment de la réunion du CCE, M. Marullo Reedtz n'a pas pu recommander d'entreprendre une comparaison avec ce dispositif.

M. Hebner dit ensuite qu'il discutera de ce problème avec des collègues du NIST et qu'il leur demandera de tenter de trouver un étalon voyageur convenable.

Note : l'IEN a ensuite mené à bien une évaluation de son diviseur 4909S et l'a utilisé pour une comparaison en Italie. Sur la base de cette étude, l'IEN a conclu que l'instrument pourrait convenir à une comparaison du CCE. De plus, le SP a offert un deuxième instrument de ce type pour servir d'instrument de transfert. Après la réunion du CCE, il a été décidé par courrier que la comparaison pourrait débuter en 1998 sous la référence CCE 97-2.

5.4.3 Liste de comparaisons clés de grandeurs électriques en courant continu et en courant alternatif à basse fréquence

M. Taylor suggère que le CCE dresse une liste de ses comparaisons clés de grandeurs électriques en courant continu et en courant alternatif à basse fréquence : cette liste figure au tableau 1. Il suggère aussi que ce tableau intègre les comparaisons de tensions en courant continu fondées sur des diodes de Zener.

Note : Après la réunion, M. de Vreede a déclaré qu'il faudrait effectuer les comparaisons de transfert courant alternatif/courant continu à une périodicité de dix ans dans les trois domaines figurant au tableau 1. Une comparaison dans l'un de ceux-ci devrait donc débuter tous les trois ans, en moyenne.

Tableau 1. Comparaisons clés de grandeurs en courant continu et en courant alternatif à basse fréquence, périodicité proposée pour les comparaisons et état d'avancement des comparaisons du BIPM et du CCE

Grandeur	Années entre les comparaisons	Dates de début et de fin	Identification
Tension en courant continu : comparaison d'étalons de Josephson	10	continue	BIPM
Tension en courant continu : comparaison d'étalons à diodes de Zener	10	continue	BIPM
Résistance : comparaison d'étalons à résistance de Hall quantifiée	10	continue	BIPM
Résistance : comparaison d'étalons de résistance de 1 Ω et 10 k Ω	10	continue	BIPM
Résistance : de 10 M Ω et 1 G Ω	5	sept.1996–oct. 1999	CCE 95-1
Capacité : 10 pF et 100 pF	10	févr. 1996-début 1999	CCE 92-1
Inductance : de 10 mH à 1000 Hz	12	1989-1994	CCE 88-1
Rapport de tensions en courant continu: 1000 V/10 V et 100V/1 V	10	début 1998	CCE 97-2
Rapport de tensions en courant alternatif (tension maximale : 100V)	10	nov. 1997-nov. 2000	CCE 97-1
Transfert courant alternatif/courant continu aux tensions et fréquences : 3 V à 1kHz et à 3 fréquences au choix, 500 V et 1000 V, de 1 kHz à 100 kHz, 3 V et 4 V, au-dessus de 1 MHz	10	janv. 1994-mai 1996 avr. 1995-déc. 1997 août1995-juin 1998	CCE 92-3 CCE 92-4 CCE 92-5
Puissance en courant alternatif de 50 Hz à 60 Hz	10	juin 1996-juin 1999	CCE 92-2

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

M. Énard, président du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF), présente un résumé de la réunion du groupe de travail qui s'est tenue au Bureau international le 23 juin 1997. Le texte du rapport de ce groupe figure à la fin du présent rapport (page 43). Les comparaisons clés dans le domaine des grandeurs aux radiofréquences ont été examinées.

7 ACTIVITÉS DE LA SECTION D'ÉLECTRICITÉ DU BIPM

M. Witt rend compte des travaux récents de la section d'électricité du BIPM (CCE/97-2). M. Reymann décrit les comparaisons effectuées sur place d'étalons de tension à réseaux de Josephson avec le CSIRO-NML, l'IEN, le KRISS, le MSL, le NIM et le SP. M. Delahaye signale que des comparaisons de systèmes pour résistance de Hall quantifiée ont aussi été effectuées par le BIPM à l'OFMET et à la PTB. Comme pour les comparaisons précédentes, l'accord est bon et les incertitudes extrêmement faibles.

M. Witt décrit des études sur l'effet de l'humidité et sur le bruit dans le cas d'étalons de référence à diodes de Zener et sur l'analyse spectrale de la réponse de nanovoltmètres. Il mentionne aussi des études des coefficients de température et de pression pour des étalons à diodes de Zener et pour des résistances.

Il est rappelé que M. Delahaye a déjà décrit les études du BIPM sur les étalons à résistance de Hall quantifiée en courant alternatif (Section 3). M. Melcher souligne les progrès effectués pour relier les étalons de capacité à la résistance de Hall quantifiée.

Pour terminer, M. Witt décrit les comparaisons bilatérales et les étalonnages de routine effectués au BIPM. Il note que, depuis la réunion du CCE de 1995, le BIPM a mesuré les caractéristiques de six étalons à diodes de Zener (732B). Ces étalons sont maintenant à la disposition de tous les laboratoires nationaux de métrologie intéressés par des comparaisons bilatérales. Dans le cadre du même programme, six étalons de résistance de 10 k Ω (SR104) ont été achetés et leurs caractéristiques sont maintenant en cours d'étude. Il est aussi envisagé d'acquérir six étalons de un ohm de tout premier ordre.

8 FUTURES ACTIVITÉS DU CCE

Le nom du groupe de travail sur les comparaisons internationales a été changé en Groupe de travail sur les comparaisons clés, pour se conformer à l'usage des autres Comités consultatifs. Il est décidé que le Groupe de travail sur les comparaisons clés doit continuer à suivre l'état d'avancement des comparaisons internationales effectuées pour rendre compte de l'équivalence des étalons nationaux et des systèmes d'étalonnage.

M. Hebner note que ce groupe se réunira lors de la CPEM'98 pour préciser la liste des comparaisons clés et essayer de clarifier le problème de l'interprétation des résultats des comparaisons.

M. Érard signale que le GT-RF envisage aussi de se réunir lors de la CPEM'98.

9 QUESTIONS DIVERSES

M. Feller présente le document CCE/97-3 dans lequel il aborde la question de la construction du Système international d'unités (SI). Il souligne l'interdépendance fonctionnelle des unités de base du SI et leur dépendance intrinsèque, même si celle-ci n'est pas explicitement exprimée, vis à vis de certaines constantes fondamentales. Il critique certains termes comme « unités de base » et « unités dérivées » qui peuvent prêter à confusion. Il montre aussi que lorsqu'une dépendance fonctionnelle existe entre des grandeurs, cette dépendance existe aussi bien dans le Système international, le système MKSA ou le système CGS.

10 DATE DE LA PROCHAINE SESSION

Il est proposé que la prochaine session du CCE ait lieu en juin 1999.

Pour clore la session, le président remercie les participants et les membres du personnel du BIPM pour leur participation. Il exprime aussi ses remerciements à tous pour leur attitude coopérative qui a fait de cette réunion, qu'il présidait pour la première fois, une expérience enrichissante. Il déclare la session close et souhaite à tous un plein succès dans leurs travaux.

B.M. Wood, rapporteur
août 1997
révisé avril 1998

RAPPORT
DU GROUPE DE TRAVAIL
POUR LES GRANDEURS
AUX RADIOFRÉQUENCES

(23 juin 1997)

AU COMITÉ CONSULTATIF
D'ÉLECTRICITÉ

Ordre du jour

- 1 Ouverture de la réunion ; nomination d'un rapporteur.
- 2 Comparaisons internationales achevées depuis la dernière réunion du groupe de travail (juin 1995).
- 3 Comparaisons presque achevées.
- 4 État d'avancement des autres comparaisons en cours.
- 5 Nouvelles comparaisons.
- 6 Informations sur les comparaisons d'EUROMET.
- 7 Rapport du sous-groupe sur les comparaisons clés.
- 8 Comparaisons futures.
- 9 Directives pour l'organisation de comparaisons.
- 10 Travaux récents dans les différents laboratoires du GT-RF.
- 11 Date de la prochaine réunion.

1 OUVERTURE DE LA RÉUNION ; NOMINATION D'UN RAPPORTEUR

Le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF) s'est réuni au Bureau international des poids et mesures (BIPM), à Sèvres, le 23 juin 1997.

Étaient présents : J. Achkar (BNM-LCIE), L. Brunetti (IEN), J.P.M. de Vreede (NMI-VSL), L. Énard (président), R.M. Judish (NIST), R.D. Lee (KRISS), A. Ploshinsky (VNIIM), T.J. Quinn (directeur du BIPM), G.W. Small (CSIRO), U. Stumper (PTB), B.M. Wood (NRC), H. Yajima (ETL), R.W. Yell (NPL).

Assistaient à la réunion : P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM), T.J. Witt (BIPM).

Le président, L. Énard, accueille les participants et déclare ouverte la réunion.

Le directeur du BIPM, T.J. Quinn, accueille les participants et leur souhaite une réunion fructueuse.

L'ordre du jour est examiné et adopté.

J. Achkar est désigné comme rapporteur.

2 COMPARAISONS INTERNATIONALES ACHEVÉES DEPUIS LA DERNIÈRE RÉUNION DU GROUPE DE TRAVAIL (JUIN 1995)

Les résultats des quatre comparaisons achevées depuis la précédente réunion sont examinés : ils sont détaillés au tableau 1.

3 COMPARAISONS PRESQUE ACHEVÉES

Les participants examinent l'état d'avancement des trois comparaisons qui sont achevées, mais dont le rapport final n'est pas encore rédigé (tableau 2). MM. Yell et Judish, les représentants des laboratoires pilotes de ces comparaisons, confirment que les rapports finaux parviendront au président et au BIPM avant la fin de 1997.

4 ÉTAT D'AVANCEMENT DES AUTRES COMPARAISONS EN COURS

Le tableau 3 présente l'état d'avancement des comparaisons décidées en 1986, 1992 et 1995, qui se poursuivent. Certaines d'entre elles devraient se terminer avant fin 1997 et les résultats pourraient être présentés lors de la CPEM'98.

5 NOUVELLES COMPARAISONS

Lors de la discussion sur les nouvelles comparaisons proposées, le groupe de travail examine les comparaisons en cours ou récemment terminées. Une comparaison de puissance à 94 GHz est proposée, mais M. Énard rappelle aux membres du groupe de travail qu'une comparaison à 94 GHz (GT-RF/83-3) a déjà été effectuée et a fait l'objet d'une publication dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.* (1989, **38**, 927-929). MM. Yell et Judish déclarent que, depuis l'achèvement de la comparaison GT-RF/83-3, les équipements utilisés dans leurs laboratoires ont été nettement améliorés. M. Achkar ajoute que le BNM-LCIE envisage de renouveler son microcalorimètre ; il serait donc intéressé par une nouvelle comparaison.

Après discussion, trois nouvelles comparaisons sont approuvées. Elles concernent les paramètres S avec des connecteurs en 3,5 mm et la puissance à 45 GHz et 94 GHz. Le tableau 4 en donne le détail.

6 INFORMATIONS SUR LES COMPARAISONS D'EUROMET

M. Érard informe le groupe qu'un résumé du rapport final de la comparaison EUROMET n° 341 a été soumis pour publication à *Metrologia* (1997, **34**, 443-444). Il s'agit de mesures de puissance sur ligne coaxiale 50 Ω entre 50 MHz et 18 GHz. Le BNM-LCIE et le NMi-VSL y ont participé.

7 RAPPORT DU SOUS-GROUPE SUR LES COMPARAISONS CLÉS

M. Érard présente le rapport du sous-groupe formé lors de la précédente réunion du GT-RF en juin 1995. Ce sous-groupe a été chargé de proposer une liste de comparaisons clés sur les grandeurs aux radiofréquences. Il s'est réuni durant la CPEM'96 à Braunschweig.

La discussion a ensuite porté sur les comparaisons clés. La liste des comparaisons clés pour les grandeurs aux radiofréquences est donnée au tableau 5a pour celles que l'on mesure en guide d'ondes et au tableau 5b pour celles que l'on mesure en ligne coaxiale. La question de savoir si toutes les grandeurs aux radiofréquences en métrologie devaient faire l'objet de comparaisons clés a été examinée. M. Giacomo a déclaré que ce n'est pas nécessaire ; les comparaisons clés doivent démontrer les compétences dans le domaine de la métrologie des hyperfréquences (micro-ondes).

8 COMPARAISONS FUTURES

Le groupe propose des sujets éventuels de comparaisons futures avec des niveaux de priorité différents. Le détail est présenté au tableau 6.

9 DIRECTIVES POUR L'ORGANISATION DE COMPARAISONS

M. Énard présente le projet de directives d'EUROMET pour l'organisation des comparaisons internationales. Ce guide est discuté par le groupe. Il est à noter que le BIPM a aussi préparé des directives pour les comparaisons organisées par les Comités consultatifs.

10 TRAVAUX RÉCENTS DANS LES DIFFÉRENTS LABORATOIRES DU GT-RF

Les participants sont invités à présenter les travaux récents dans leurs laboratoires.

M. Achkar mentionne des travaux au BNM-LCIE dans les domaines du bruit, de la puissance, des paramètres S , des antennes boucles et cornets. M. Small présente des travaux récents au CSIRO dans le domaine de la radiophysique et des antennes. M. Wood décrit le renouvellement des lignes à air au NRC. M. Brunetti présente des activités à l'IEN sur des supraconducteurs à des fréquences comprises entre 35 MHz et 50 GHz. M. Ploshinsky décrit des problèmes de compatibilité entre les connecteurs du VNIIM et ceux d'autres laboratoires. M. de Vreede dit que le NMI-VSL a étendu ses compétences à la métrologie des grandeurs aux radiofréquences jusqu'à 40 GHz dans tous les domaines excepté les mesures de bruit. M. Jewish informe les participants que le NIST a créé un site Internet sur la métrologie des hautes fréquences. Il mentionne aussi des travaux récents sur des analyseurs de réseaux non-linéaires. M. Yell décrit les travaux au NPL sur une sonde spéciale pour étudier les champs très proches et les travaux de laboratoire sur des mesures diélectriques. Il mentionne la création d'un Club de métrologie diélectrique au Royaume-Uni, club qui compte déjà une cinquantaine de membres. M. Stumper mentionne une nouvelle salle thermorégulée à la PTB et il décrit les travaux à venir sur les connecteurs à 3,5 mm et les connecteurs du type K, sur les mesures *in situ* sur les circuits sur galettes, sur des circuits coplanaires et sur des mesures diverses à des fréquences comprises entre 75 GHz et 110 GHz.

11 DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION

Il est convenu que M. Érard essayera d'organiser une réunion non officielle du GT-RF durant la CPEM'98 à Washington DC en juillet 1998. La prochaine réunion plénière du GT-RF aura lieu juste avant la prochaine session du CCE.

J. Achkar, rapporteur
juin 1997

Tableau 1. Comparaisons achevées depuis la dernière réunion du groupe de travail (juin 1995)

78-5 Gain d'un cornet et taux de polarisation transversale entre 8 GHz et 12 GHz.

(Laboratoire pilote : NIST ; participants : CNET, CSIRO, FTZ, NMi-VSL, NPL, TUD).

Les résultats ont été publiés dans *IEEE Trans. Ant. Prop.*, 1996, **44**, 1367-1374.

78-13 Puissance de bruit sur guide d'ondes R 100.

(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIRO, NIM, NIST, PTB).

Le rapport est terminé et a été distribué aux participants qui doivent envoyer leurs commentaires au NPL, le laboratoire pilote, avant octobre 1997. Le NPL rédigera une communication pour la CPEM'98, un article pour *IEEE Trans. Instrum. Meas.* et un résumé pour *Metrologia*.

86-2 Facteur de surtension jusqu'à 30 MHz.

(Laboratoire pilote : NIST ; participants : BNM-LCIE, PTB, SESC).

Le rapport final est terminé et a été distribué aux participants. Les résultats ont été analysés et le groupe de travail a décidé de ne pas les publier.

86-3 Facteur de réflexion (en module et phase) sur guide d'ondes R 320 à 27 GHz, 35 GHz et 40 GHz.

(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIRO, NIM, NIST, PTB).

Le rapport final est terminé et a été distribué aux participants. Le BNM-LCIE doit vérifier ses résultats et envoyer d'éventuelles corrections au NPL, le laboratoire pilote, avant octobre 1997. Le NPL rédigera une communication pour la CPEM'98, un article pour *IEEE Trans. Instrum. Meas.* et un résumé pour *Metrologia*.

Tableau 2. Comparaisons presque terminées

83-4 Mesure des coefficients de dispersion (paramètres *S*) à l'aide de systèmes « large bande » dans la bande de fréquence 2 GHz-18 GHz.

(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIRO, FFV, NIST, NMi-VSL, PTB, SPTT).

Le BNM-LCIE communiquera ses incertitudes au NPL, le laboratoire pilote, avant fin juillet 1997. Le NPL doit envoyer le rapport aux participants avant fin août 1997. Les commentaires des participants doivent être envoyés au NPL avant fin octobre 1997. Le NPL rédigera une communication pour la CPEM'98, un article pour *IEEE Trans. Instrum. Meas.* et un résumé pour *Metrologia*.

- 92-2 Puissance de bruit sur ligne coaxiale 50 Ω (connecteur type N) à 30 MHz et 4 GHz.

(Laboratoire pilote : NIST; participants : BNM-LCIE, NPL, PTB ; le KRISS a rejoint la comparaison).

Le NIST, laboratoire pilote, doit envoyer le rapport aux participants fin juillet 1997. Les commentaires doivent être envoyés au NIST avant fin septembre 1997. Le rapport final sera disponible en décembre 1997. Afin de ne pas retarder la comparaison, le NIST et le KRISS ont décidé, après la réunion du GT-RF, d'effectuer une comparaison bilatérale à une date ultérieure.

- 92-4 Puissance sur guide d'ondes R 320 : efficacité des montures bolométriques à 33 GHz.

(Laboratoire pilote : BNM-LCIE ; participants : CSIRO, KRISS, NIST, NMi-VSL, NPL, NRC, PTB ; l'IEN s'est retiré).

Le BNM-LCIE, laboratoire pilote, doit envoyer les résultats aux participants avant fin juillet 1997. Il rédigera aussi le rapport et l'enverra aux participants avant fin septembre 1997. Les commentaires sur ce rapport devront être envoyés au BNM-LCIE avant fin novembre 1997. Le BNM-LCIE rédigera une communication pour la CPEM'98, un article pour *IEEE Trans. Instrum. Meas.* et un résumé pour *Metrologia*.

Tableau 3. Comparaisons en cours

- 86-1 Puissance surfacique à 2,45 GHz et 10 GHz.

Champ électrique entre 300 MHz et 1000 MHz.

(Laboratoire pilote : NIST ; participants : ARCS, BNM-LCIE, CRL, ETL, IEN, JQA, KEC, KRISS, NMi-VSL, NPL, PTB).

Les étalons voyageurs sont actuellement en Pologne et seront envoyés prochainement à la PTB qui est le dernier laboratoire à participer à la comparaison. Les résultats des mesures de la PTB seront envoyés au NIST, laboratoire pilote, avant fin septembre 1997. La comparaison

sera terminée à la fin de 1997. Le NIST rédigera le rapport avant juin 1998, rapport qui sera distribué aux participants durant la CPEM'98.

- 92-1 Gain d'antennes cornet sur guide d'ondes CEI R 320 à 26,5 GHz, 33 GHz et 40 GHz.

(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIRO*, KRISS, NIST, NMi-VSL).

La comparaison commencera à la fin de 1997. Le NPL enverra un protocole aux participants.

- 92-3 Mesure du coefficient de dispersion (paramètres *S*) à l'aide de systèmes « large bande » dans la bande de fréquence 2 GHz–18 GHz (connecteur type N).

(Laboratoire pilote : NPL ; participants à la comparaison d'EUROMET : BNM-LCIE, IEN*, NMi-VSL, NML, PTB, SPTT ; participants à la comparaison du GT-RF : BNM-LCIE, CSIRO*, KRISS*, NIST, NRC*, PTB).

La comparaison débutera en novembre 1997 par la boucle d'EUROMET et se terminera par celle du GT-RF.

- 92-6 Tension (1 V) sur ligne coaxiale 50 Ω à des fréquences comprises entre 1 MHz et 300 MHz (option jusqu'à 1000 MHz).

(Laboratoire pilote : NMi-VSL; participants : AREPA*, BNM-LCIE, CEM ou INTA, CMI, CSIRO, IEN, KRISS, NIST, NRC, PTB, SMU, SPTT, VNIIM).

Une comparaison d'essai a été organisée en 1996 entre la PTB et le NRC. Les résultats préliminaires sont disponibles auprès du NMi-VSL, laboratoire pilote. La comparaison débutera en octobre 1997. Chaque laboratoire doit effectuer ses mesures dans un délai d'un mois.

- 92-7 Facteur d'antenne à des fréquences de 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz et 30 MHz.

(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIRO*, ETL*, IEN, KRISS, NIST*, NMi-VSL, PTB).

Le NPL doit envoyer une proposition aux participants en novembre 1997. La comparaison débutera en avril 1998. Deux antennes circuleront : l'une active (EMCO) et l'autre passive (NPL).

* à confirmer.

92-8 Facteur d'antenne à des fréquences comprises entre 30 MHz et 1000 MHz.

(Laboratoire pilote : NPL ; participants : CSIRO*, ETL*, IEN*, KRISS, NIST*, NMi-VSL*, PTB*).

Le président propose d'annuler la comparaison, aucun laboratoire n'ayant décidé d'y participer. Aucune décision n'est prise quant à la poursuite ou l'arrêt de cette comparaison.

95-1 Puissance sur guide d'ondes R 620 : efficacité de montures bolométriques à 62 GHz.

(Laboratoire pilote : BNM-LCIE ; participants : NIST, NPL, SSIA).

Le NPL a achevé ses mesures. L'étalon voyageur est actuellement au BNM-LCIE. Il sera envoyé au SSIA fin juin 1997 et au NIST à l'automne 1997. Le BNM-LCIE rédigera le rapport au printemps 1998 ; ce dernier fera l'objet d'une discussion durant la CPEM'98. Par ailleurs, la comparaison à 45 GHz, mentionnée dans le protocole d'origine, aura lieu sous une nouvelle référence : GT-RF/97-2.

Tableau 4. Nouvelles comparaisons

97-1 Paramètres de dispersion S en PC-3,5 entre 50 MHz et 26,5 GHz.

(Laboratoire pilote : BNM-LCIE ; participants à la comparaison du GT-RF : CSIRO*, KRISS*, NIST, NPL, NRC* ; participants à la comparaison d'EUROMET : CMI, FFV, GUM*, IEN, INTA, NMi-VSL, NML, NPL, PTB, SPTT, TF).

La comparaison commencera par la boucle du GT-RF et se terminera par celle d'EUROMET. Le BNM-LCIE doit envoyer une proposition aux participants avant fin octobre 1997. Les fréquences à prendre en compte dans le rapport final sont : 50 MHz, 500 MHz, 3 GHz, 15 GHz et 25 GHz.

97-2 Puissance sur guide d'ondes R 400 : efficacité de montures bolométriques à 45 GHz.

(Laboratoire pilote : NIST ; participants : BNM-LCIE*, ETL*, IEN, KRISS*, NPL, NRC*, VNIIM).

Le NIST doit envoyer une proposition aux participants avant la fin de 1997.

97-3 Puissance sur guide d'ondes R 900 : efficacité de montures bolométriques à 94 GHz.

(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, ETL*, IEN*, KRISS*, NIST, NRC*, PTB, VNIIM*).

Le NPL fera une proposition aux participants au printemps 1998. La proposition sera discutée durant la CPEM'98.

Tableau 5. Comparaisons clés du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (radiofréquences et hyperfréquences : 1 MHz à 100 GHz)

a) Étalons sur guide d'ondes

Grandeur	Années entre les comparaisons	Dates de début et de fin	Identification
Puissance selon dimensions du guide	3	avril 1994-fin 1997	GT-RF 92-4
		1996-1998	GT-RF 95-1
		1997-1999	GT-RF 97-2
		1998-2000	GT-RF 97-3
Affaiblissement selon valeurs appropriées (3 dB, 50 dB)	3		
Puissance de bruit	10	sept. 1985-déc. 1997	GT-RF 78-13
Puissance surfacique	10		
Gain d'antenne	10	fin 1997-fin 1999	GT-RF 92-1

b) Étalons sur ligne coaxiale

Grandeur	Années entre les comparaisons	Dates de début et de fin	Identification
Puissance selon le type du connecteur	5		
Affaiblissement selon valeurs appropriées (100 dB, pas de 10 dB)	10		
Tension selon valeurs et fréquences appropriées	10	Oct. 1997-1999	GT-RF 92-6
Facteur de réflexion/paramètres S (selon le type de connecteur)	10	Mai 1991-Oct. 1997	GT-RF 83-4
		Nov. 1997-1999	GT-RF 92-3
		1997-1999	GT-RF 97-1
Puissance de bruit	10	Janv. 1996-fin 1997	GT-RF 92-2
Impédance	à définir		
Champ électromagnétique/antenne	10	1991-1997	GT-RF 86-1
		Nov. 1997-1999	GT-RF 92-7

Tableau 6. Sujets éventuels de comparaisons futures**Priorité 1**

- T1 Impédance dans la bande de fréquence 1 MHz-100 MHz.
Le NPL peut être laboratoire pilote.
- T2 Puissance sur ligne coaxiale 50Ω : efficacité de montures bolométriques (connecteur type N).
Le NMI-VSL peut être laboratoire pilote.
- T3 Bruit sur guide d'ondes aux fréquences supérieures à 18 GHz.
Le BNM-LCIE peut être laboratoire pilote.
- T4 Bruit sur ligne coaxiale 50Ω aux fréquences inférieures à 100 MHz.
Le NPL peut être laboratoire pilote.

Priorité 2

- T5 Puissance sur ligne coaxiale 50Ω : efficacité de bolomètres (connecteur 3,5 mm).
- T6 Facteur de réflexion sur ligne coaxiale 75Ω .

ANNEXE E 1.

Documents de travail présentés à la 21^e session du CCE

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

Document

CCE/

- 97-1 BIPM. — Note on equivalence of national measurement standards together with an enclosed document, T.J. Quinn, 8 p.
- 97-2 BIPM. — Work of the electricity section of the BIPM for the period June 1995-June 1997, 20 p.
- 97-3 OFMET (Suisse). — A constructional approach to the International System of Units (SI), U. Feller, 17 p.
- 97-4 OFMET (Suisse). — Progress in the representation of the electrical quantities at OFMET, U. Feller, M. Flüeli, B. Jeanret, B. Jeckelmann, 6 p.
- 97-5 NIST (États-Unis). — Reports to the CCE from NIST:
- a. Report on international comparison of 10 pF capacitors, 1 p.
 - b. Report on the international comparison 95-1 of DC resistance of 10 M Ω and 1 G Ω , 1 p.
 - c. Report on international comparison of 50/60 Hz power, 1 p.
 - d. Report on the NIST SI watt determination, 2 p.
 - e. Report on prospects for the metrological use of single electron tunneling (SET) devices, 1 p.
 - f. Report on corrections to the AC quantized Hall resistance, 1p.
 - g. Report on quantized Hall resistance devices, 1 p.

Document

CCE/

- 97-6 BNM-LCIE (France). — Liste de documents présentés à la 21^e session du CCE, 1 p.
- 97-7 BNM-LCIE (France). — Status of the CCE 92-4 comparison: AC/DC transfer difference at 500 V and 1000 V (1 kHz-50 kHz and 100 kHz), A. Poletaeff, 2 p.
- 97-8 BNM-LCIE (France). — Production of QHE samples LEP and BNM-LCIE, M. Chambon, J. Blanchet, F. Piquemal, G. Genevès, 3 p.
- 97-9 BNM-LCIE (France). — Progress in fundamental and applied low frequency and DC electrical metrology at BNM-LCIE, G. Genevès, G. Trapon, F. Piquemal, J. Blanchet, J.P. Lo-Hive, A. Poletaeff, P. Gournay, M. Bellon, 14 p.
- 97-10 ETL (Japon). — Progress in DC/LF electrical standards during the period June 1995-June 1997 at ETL, T. Endo, 8 p.
- 97-11 NMi-VSL(Pays-Bas). — General progress report of VSL during 1995-1997, J.P.M. de Vreede, 3 p.
- 97-12 NMi-VSL (Pays-Bas). — Status report on CCE comparison 92-5, C.J. van Mullem, J.P.M. de Vreede, 1 p.
- 97-13 NMi-VSL (Pays-Bas). — Status report on GT-RF comparison 92-6, J.P.M. de Vreede, 1 p.
- 97-14 NMi-VSL (Pays-Bas). — Status report on CCE comparison 95-3, J.P.M. de Vreede, 1 p.
- 97-15 KRISS (Rép. de Corée). — List of working documents submitted to the CCE by the KRISS, 1 p:
1. KRISS (Rép. de Corée), VNIIM (Féd. de Russie). — A traceability of loss angle standards at KRISS, R.D. Lee, H.J. Kim, Yu.P. Semyonov, 7 p.
 2. KRISS (Rép. de Corée), VNIIM (Féd. de Russie). — Fabrication of main electrodes of a calculable capacitor, R.D. Lee, H.J. Kim, G.Y. Kim, Yu.P. Semyonov, 8 p.
 3. KRISS (Rép. de Corée), NML-CSIRO (Australie). — Recognition of the equivalence of the national standards of Korea and Australia, R.D. Lee, 3 p.

4. KRISS (Rép. de Corée). — Absolute-ratio Hamon divider with superconducting contact, K.-T. Kim, 4 p.
 5. KRISS (Rép. de Corée). — Annual changes of Zener voltage standards in Korean industries, K.-T. Kim, 5 p.
 6. KRISS (Rép. de Corée). — Fabrication of planar multi-junction thermal converters, S.W. Kwon, S.I. Park, 1 p.
 7. KRISS (Rép. de Corée), VNIIM (Féd. de Russie). — A new low-field determination of the proton gyromagnetic ratio in water, V.Ya. Shifrin, P.G. Park, V.N. Khorev, C.H. Choi, C.S. Kim, 12 p.
 8. KRISS (Rép. de Corée). — Other activities at KRISS, K.-H. Yoo, K.-T. Kim, K.W. Yeom, 2 p.
- 97-16 Report of the CCE working group on international comparisons, 1st Meeting (1995), T.J. Witt, 4 p.
- 97-17 Report of the CCE working group on international comparisons, 2nd Meeting (1996), T.J. Witt, 5 p.
- 97-18 NIST (États-Unis). — Contribution of Alan Cookson, 2 p.
- 97-19 Report on international comparisons (at DC or low frequency AC) organized by the CCE, 3 p.
- 97-20 EUROMET. — Guidelines for the organization of comparisons. EUROMET guidance document n° 3, 6 p.
- 97-21 PTB (Allemagne). — Precision quantum Hall effect devices with tailor-made electron densities, K. Pierz, B. Schumacher, 4 p.
- 97-22 PTB (Allemagne). — Availability of 10-V arrays of Josephson junctions, F. Müller, J. Niemeyer, 2 p.
- 97-23 PTB (Allemagne). — Progress toward monitoring the international prototype of the kilogram – State in 1996, M. Gläser, 13 p.
(also submitted as document CCM/96-14).
- 97-24 PTB (Allemagne), Université de Moscou (Féd. de Russie). — Noise measurements in metallic single electron tunneling devices, H. Wolf, H. Scherer, T. Weimann, A.B. Zorin, V.A. Krupenin, S.V. Lotkhov, J. Niemeyer, 7 p.

Document

CCE/

- 97-25 PTB (Allemagne). — CCE comparison of AC-DC voltage transfer standards at the lowest attainable level of uncertainty, M. Klonz, 9 p.
- 97-26 BIPM. — A note on customs and shipping procedures used in Consultative Committee comparisons, T.J. Witt, 7 p.
- 97-27 BIPM. — Key comparisons in electricity carried out by the BIPM on a continuous basis, 1 p.
- 97-28 VNIIM (Féd. de Russie). — Systems of electrical units and the fundamental constants, V.S. Tuninsky, 8 p.
- 97-29 EUROMET, SP (Suède). — Report on EUROMET comparison measurements in the field of electricity, H. Nilsson, 2 p.
- 97-30 SP (Suède). — Progress report from the Swedish National Testing and Research Institute, SP, within electrical metrology, H. Nilsson, 4 p.
- 97-31 NPL (Royaume-Uni). — Proposed international comparison of AC voltage ratio using an inductive voltage divider draft, I. Robinson, 2 p.
- 97-32 IEN (Italie). — Effect of the frequency on the longitudinal resistance of a GaAs-AlGaAs heterostructure, F. Cabiati, L. Callegaro, C. Cassiogo, V. D'Elia, G. Marullo Reedtz, 5 p.
- 97-33 IEN (Italie). — Experience on the calibration and use of a 4902S voltage divider, R. Cerri, V. Lacquaniti, G. Marullo Reedtz, G. La Paglia, A. Sosso, 2 p.
- 97-34 IEN (Italie). — List of publications submitted to the CCE by IEN (Turin, Italy), 2 p.
- 97-35 NRC (Canada). — Progress in electrical standards during the period June 1995-June 1997, B. Wood, 3 p.
- 97-36 VNIIM (Féd. de Russie). — Adjusted values of the fundamental constants in the modified systems of units, V.S. Tuninsky, 2 p.

Document
CCE/

- 97-37 VNIIM (Féd. de Russie). — Basic design of the quantum standard of AC voltage, A.S. Katkov, E.D. Koltik, V.I. Krzhimovsky, G.P. Telitchenko, 2 p.
- 97-38 VNIIM (Féd. de Russie). — Development and investigation of “base” and transportable resistance standards, B. Litvinov, A. Ploshinsky, Yu. Semyonov, 3 p.
- 97-39 VNIIM (Féd. de Russie). — About international comparison of capacitance standards, Yu. Semyonov, 1 p.
- 97-40 NIST (États-Unis). — Present status of SI values of K_J and R_K , B.N. Taylor, P.J. Mohr, 4 p.
- 97-41 PTB (Allemagne). — International comparison of 10 mH inductance standards – The COOMET loop, H. Eckardt, 3 p.
- 97-42 PTB (Allemagne). — 10 pF capacitance comparison within the scope of the COOMET metrology organization, H. Eckardt, 5 p.
- 97-43 NIM (Chine). — The modified Maxwell-wien bridge at NIM, Lu Wenfuz, Din Cheng, Shao Fang, He Xiaobing, 2 p.
- 97-44 NIM (Chine). — General progress report in DC and low frequency electrical and magnetic standards of NIM during 1995-1997, Liu Ruimin, 6 p.
- 97-45 IRL (Nouvelle-Zélande). — The MSLNZ mains frequency power bridge, A.C. Corney, 4 p.

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences*

AREPA	AREPA Test and Kalibrering A/S, Silkeborg (Danemark)
ARCS	Austrian Research Centre, Seibersdorf (Autriche)
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
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CEI	Commission électrotechnique internationale
CEM	Centro Español de Metrologia, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague et Brno (Rép. tchèque)
CNET	Centre national d'études des télécommunications, Issy-les-Moulineaux (France)
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-DPT	(ex NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, Division of Production Technology, Pretoria (Afrique du Sud)

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

CSIRO	(ex NML) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
*CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava et Prague (ex Tchécoslovaquie), <i>voir</i> SMU
*DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande), <i>voir</i> MSL
EMCO	Electro-Mechanics Company InterTest Inc., Flanders NJ (États-Unis)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
FFV	Maintenance Division, National Industries Corporation, Arboga (Suède)
FTZ	Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt (Allemagne)
GT-RF	Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences
GUM	Główny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
IMMR	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, Madrid (Espagne)
IRL	Industrial Research Limited, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
ISO	Organisation internationale de normalisation
JQA	Japan Quality Assurance Organization (Japon)
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)
MSL/MSLNZ	(ex DSIR) Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Chine)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Boulder et 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)
*NPRL	National Physical Research Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud), <i>voir</i> CSIR
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin et Braunschweig (Allemagne)
SESC	Service Electrical Standards Centre, Bromley (Royaume-Uni)
SMU	(ex CSMU) Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SP	(ex Statens Provningsanstalt) Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SPTT	Direction générale des PTT de Suisse, Centre technique recherches et développement, Berne (Suisse)
SSIA	State Scientific Industrial Association « Metrology », Khar'kov (Ukraine)
TF	Telecom Finland, Helsinki (Finlande)
TUD	Technical University of Denmark, Lyngby (Danemark)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), <i>voir</i> NMi
VTT	Centre for Metrology and Accreditation, Technical Research Centre of Finland, Espoo (Finlande)

2 Sigles des termes scientifiques

CGS	Système d'unités mécaniques à trois unités de base : centimètre, gramme, seconde
MKSA	Système d'unités à quatre unités de base : mètre, kilogramme, seconde, ampère
SET	Effet tunnel monoélectronique
SI	Système international d'unités

STEDI

1, boulevard Ney, 75018 Paris

Dépôt légal, n°5964

ISBN 92-822-2163-6

ISSN 0069-6455

Achévé d'imprimer : janvier 1999

Imprimé en France