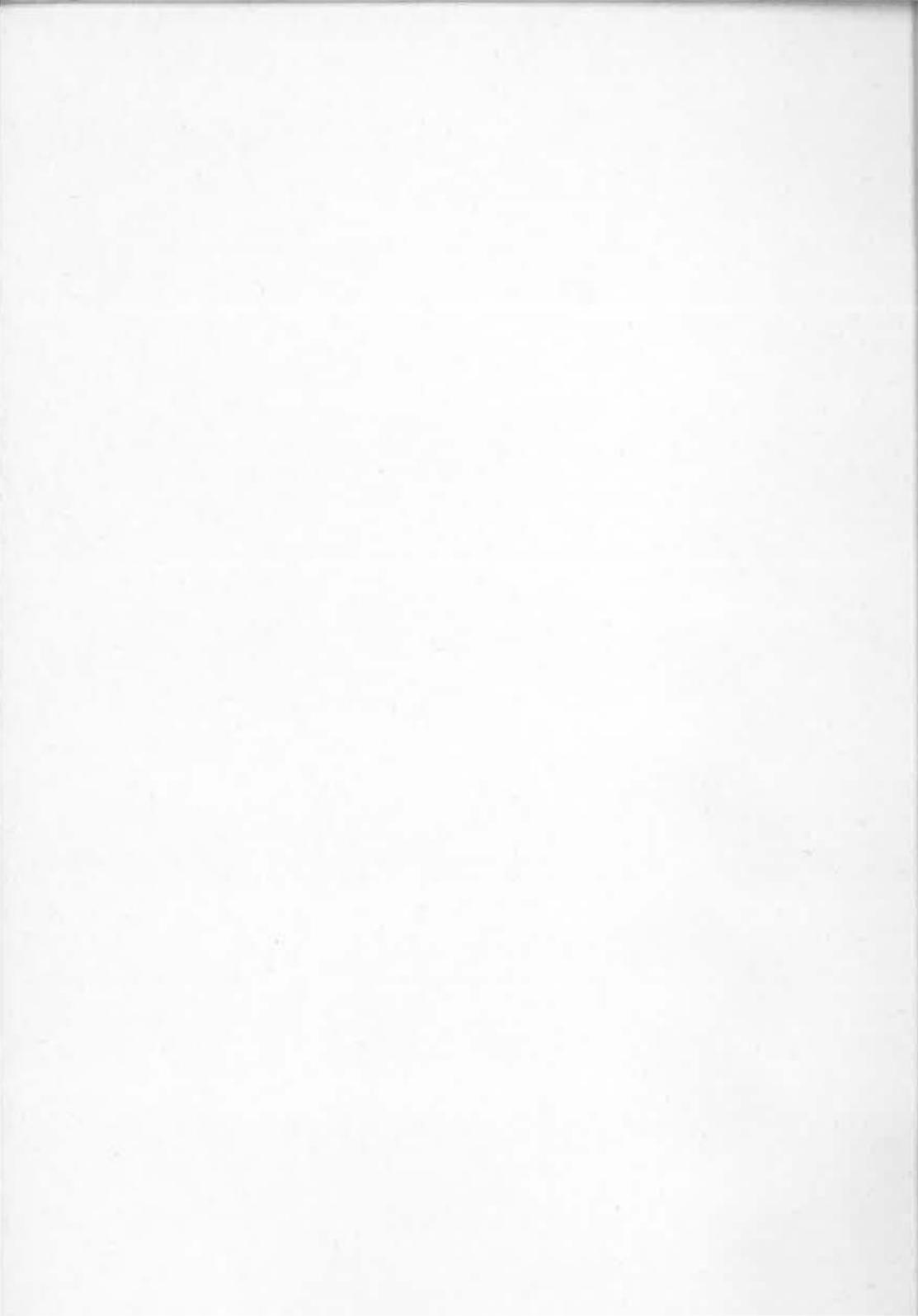


**COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ**

SESSION DE 1968

---



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

COMITÉ CONSULTATIF  
D'ÉLECTRICITÉ

---

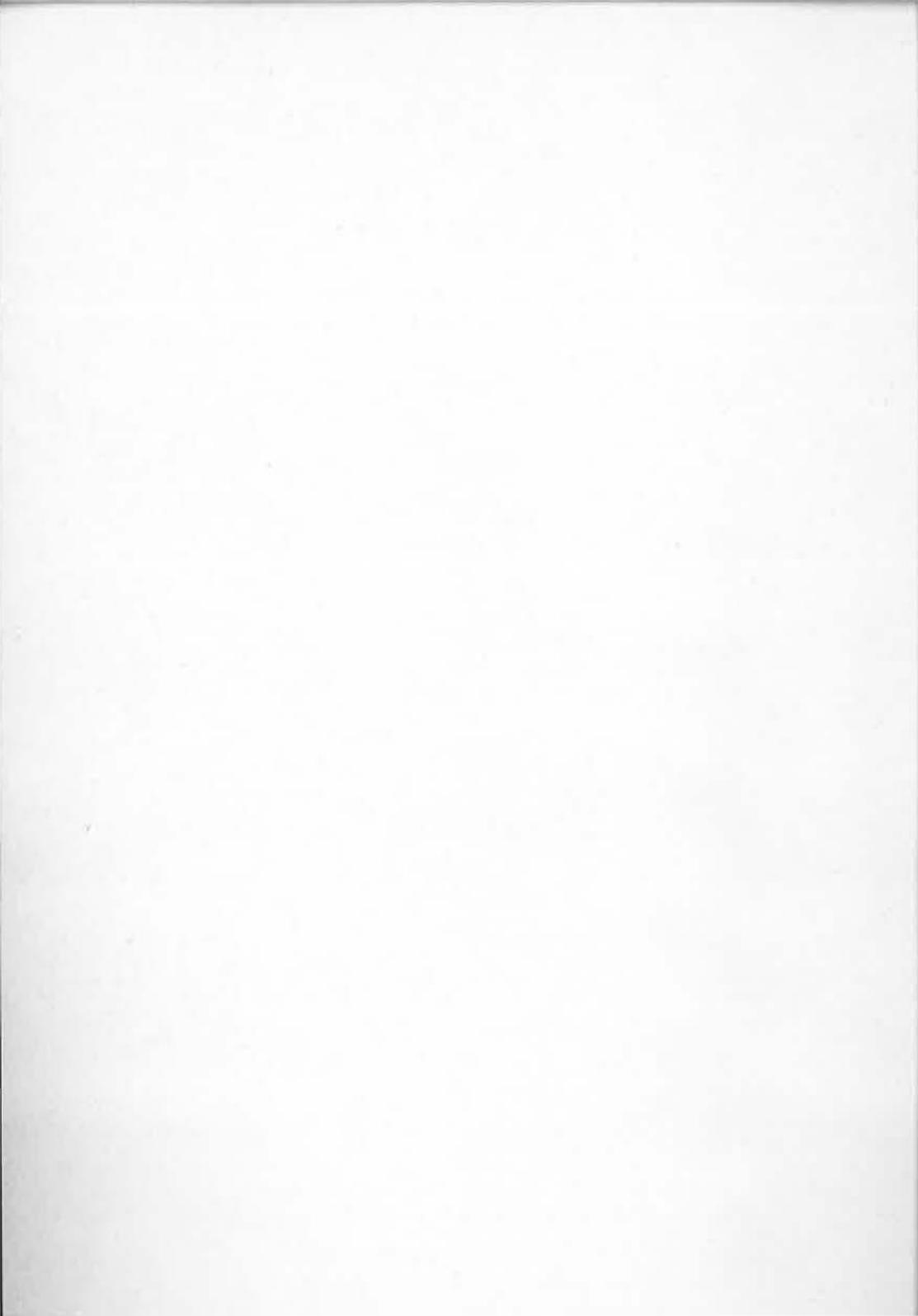
12<sup>e</sup> SESSION — 1968  
(1-3 octobre)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F 92-SÈVRES, France

*Dépositaire* : OFFILIB, 48 rue Gay-Lussac, F 75-Paris 5



---

## AVERTISSEMENT HISTORIQUE

---

Le Bureau International des Poids et Mesures 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 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 <sup>(1)</sup>.

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

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles 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 déterminations relatives aux constantes physiques fondamentales.

Le Bureau International fonctionne sous la surveillance exclusive d'un *Comité International des Poids et Mesures*, placé lui-même sous l'autorité d'une *Conférence Générale des Poids et Mesures*.

La Conférence Générale est formée de délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit au moins une fois tous les six ans. Elle reçoit à chacune de ses sessions le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et a pour mission :

- 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 les diverses résolutions scientifiques de portée internationale;
- d'adopter les décisions importantes concernant l'organisation et le développement du Bureau International.

Le Comité International est composé de dix-huit membres appartenant à des États différents; il se réunit au moins une fois tous les deux 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.

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 (1937) et des radiations ionisantes (1960). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 et deux nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la Section des radiations ionisantes.

---

(1) Au 31 décembre 1969, quarante États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Canada, Chili, Corée, Danemark, Dominicaine (Rép.), Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Arabe Unie, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Vénézuéla, Yougoslavie.

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau International, le Comité International a institué depuis 1927, 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 des recommandations concernant les modifications à apporter aux définitions et aux valeurs des unités, en vue des décisions que le Comité International est amené à prendre directement ou à soumettre à la sanction de la Conférence Générale pour assurer l'unification mondiale des unités de mesure.

Les Comités Consultatifs ont un règlement commun (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 31, 1963, p. 97). Chaque Comité Consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité International, est composé d'un délégué de chacun des grands Laboratoires de métrologie et des Instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité International, ainsi que de membres individuels désignés également par le Comité International. Ces Comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers; ils sont actuellement au nombre de sept :

1. Le *Comité Consultatif d'Électricité*, créé en 1927.
2. Le *Comité Consultatif de Photométrie*, créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le *Comité Consultatif de Thermométrie*, créé en 1937.
4. Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, créé en 1952.
5. Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, créé en 1956.
6. Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes*, créé en 1958.
7. Le *Comité Consultatif des Unités*, créé en 1964.

Les travaux de la Conférence Générale, du Comité International, des Comités Consultatifs et du Bureau International sont publiés par les soins de ce dernier 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*;
- *Sessions des Comités Consultatifs*;
- *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (Ce Recueil rassemble les articles publiés dans des revues et ouvrages scientifiques et techniques, ainsi que certains travaux publiés sous forme de rapports multicopiés).

La collection des *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée en 1966 par décision du Comité International.

Le Bureau International publie de temps en temps, sous le titre *Les récents progrès du Système Métrique*, un rapport sur les développements du Système Métrique dans le monde.

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité International des Poids et Mesures, publie des articles sur les principaux travaux de métrologie scientifique effectués dans le monde, sur l'amélioration des méthodes de mesure et des étalons, sur les unités, etc., ainsi que des rapports concernant les activités, les décisions et les recommandations des divers organismes issus de la Convention du Mètre.

---

---

**Comité International des Poids et Mesures**

<i>Secrétaire</i>	<i>Vice-Président</i>	<i>Président</i>
J. DE BOER	J. M. OTERO	L. E. HOWLETT

---

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

---

*Président*

F. J. LEHANY, Membre du Comité International des Poids et Mesures; Chef de la Division of Applied Physics, National Standards Laboratory, *Chippendale*.

*Membres*

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [P.T.B.], *Braunschweig* (H. J. SCHRADER, Directeur de la Division d'Électricité; H. CAPPTULLER, Directeur, Chef de sous-division).

DEUTSCHES AMT FÜR MESSWESEN UND WARENPRÜFUNG [D.A.M.W.], *Berlin* (W. KEMNITZ, Direktor; W. SCHLESOK, Wiss. Mitarbeiter).

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [N.B.S.], *Washington* (C. H. PAGE, Chief, Electricity Division).

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [N.R.C.], *Ottawa* (A. F. DUNN, Senior Research Officer).

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS, *Paris* (P. OLMER, Directeur du Laboratoire Central des Industries Électriques [L.C.I.E.], *Fontenay-aux-Roses*; J. BLOUET, Chef du Service « Métrologie Haute Fréquence » au L.C.I.E. et N. ELNÉKAVÉ, Chef du Service « Métrologie Fondamentale »).

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [E.T.L.], *Tokyo* (Y. INOUE, Chief, Standard Division).

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [I.M.M.], *Leningrad*  
(Mme T. B. ROJDESTVENSKAIA, Chef de la Section d'Électricité).

ISTITUTO ELETTROTECNICO NAZIONALE GALILEO FERRARIS [I.E.N.],  
*Turin* (G. GIACHINO, Chef de la Section haute fréquence; E. ARRI,  
Chef de la section des étalons électriques).

NATIONAL STANDARDS LABORATORY [N.S.L.], *Chippendale* (A. M. THOMP-  
SON, Chief Research Scientist).

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [N.P.L.], *Teddington* (P. VIGOUREUX,  
Chief, Division of Quantum Electronics; A. E. BAILEY, Superinten-  
dent, Division of Electrical Science et G. H. RAYNER, Principal  
Scientific Officer).

H. KÖNIG, Directeur du Bureau Fédéral des Poids et Mesures, *Berne*.

V. YOVANOVITCH, Professeur à la Faculté Électronique, *Belgrade*.

Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures [B.I.P.M.],  
*Sèvres* (J. TERRIEN).

---



## ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

---

1. Résultats des comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice.
  2. Comparaisons circulaires d'étalons de capacité de 10 pF et de 0,1  $\mu$ F.
  3. Déterminations absolues.
  4. Ajustement des valeurs attribuées aux étalons nationaux et aux étalons du B.I.P.M.
  5. Piles étalons.
  6. Diode de Zener.
  7. Contrôle de la permanence des étalons de référence.
  8. Passage courant continu — courant alternatif.
  9. Rapports des Groupes de travail (grandeurs aux radiofréquences; coefficient gyromagnétique du proton).
  10. Travaux du B.I.P.M.
  11. Questions diverses.
-

12<sup>e</sup> SESSION (1968)

---

RAPPORT

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par P. VIGOUREUX, Rapporteur

---

Le Comité Consultatif d'Électricité (C.C.E.) s'est réuni pour sa douzième session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu cinq séances les 1<sup>er</sup>, 2 et 3 octobre 1968 (1).

Étaient présents : Mr LEHANY, président; MM. ARRI, BAILEY, BLOUET, CAPPTULLER, DUNN, ELNÉKAVÉ, GIACHINO, INOUE, OLMER, PAGE, RAYNER, SCHRADER, TERRIEN, THOMPSON, VIGOUREUX. Mme ROJDESTVENSKAIA, retardée dans son voyage, n'a pu assister qu'aux deux dernières séances.

Assistaient aussi aux séances : MM. LECLERC et SAKUMA (Bureau International), invités.

Excusé : Mr KÖNIG.

Empêchés : MM. KEMNITZ et SCHLESOK.

Absent : Mr YOVANOVITCH.

Après avoir souhaité la bienvenue aux participants le *Président* rappelle la mort de R. Hérou, du L.C.I.E., survenue en 1966 et prie l'assistance d'observer quelques instants de silence pour honorer sa mémoire.

L'ordre du jour est adopté et Mr Vigoureux (assisté de Mr Leclerc comme secrétaire) est nommé rapporteur.

Mr *Terrien* rappelle les principales conclusions du rapport de la 11<sup>e</sup> session (1965), rapport qui fut adopté par le Comité International des Poids et Mesures à sa session d'octobre 1965.

---

(1) La liste des documents de travail et des communications présentés à cette session est donnée à l'Annexe E 1, p. E 25.

### Comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice

Mr Leclerc commente les résultats des onzièmes comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice effectuées au B.I.P.M. en 1966-1967 (Annexes E 2 et E 3). Ces résultats montrent que les comparaisons permettent un rattachement des représentations nationales de l'ohm à  $\Omega_{\text{BIPM}}$  avec une précision de quelques  $10^{-7}$ . Pour le volt la précision n'est guère meilleure que  $10^{-6}$ , les changements que subissent les étalons de force électromotrice pendant leur transport limitant la précision des comparaisons. Les résultats obtenus indiqueraient peut-être une très légère augmentation de  $V_{\text{BIPM}}$ , à peine significative, dans les dix dernières années.

Sur la demande de Mr Page, il est proposé qu'à l'avenir le Bureau International publie aussi les résultats des comparaisons dans *Metrologia* afin que ces résultats soient portés le plus rapidement possible à la connaissance du monde scientifique, par un bref article qui devra expliquer ce que l'on entend par « unités nationales ».

Le C.C.E. confirme que les prochaines comparaisons devront, comme par le passé, être faites trois ans après les précédentes. Le B.I.P.M. prie les laboratoires participants de lui envoyer leurs étalons voyageurs au plus tard le 1<sup>er</sup> décembre 1969.

### Comparaisons circulaires d'étalons de capacité

#### 1<sup>o</sup> *Étalons de 10 pF*

Les deux premiers cycles des comparaisons ont été terminés comme il avait été prévu (Annexe E 4). Mr Leclerc fait remarquer que, bien que plusieurs des laboratoires aient utilisé comme base des condensateurs calculables, les écarts entre les résultats de ces laboratoires dépassent  $10^{-6}$ . Mr Dunn pense que l'écart constaté pour le N.R.C. s'explique sans doute par quelques changements d'un condensateur, qui est actuellement à l'étude dans ce laboratoire.

La discussion porte ensuite sur l'opportunité de divulguer ou non les résultats avant la fin des comparaisons. Le C.C.E. décide que, contrairement à ce qui avait été prévu à l'origine, les résultats seraient désormais communiqués à tous les participants aussitôt qu'ils seraient disponibles.

Mr Terrien soulève ensuite la question de la température à laquelle les comparaisons devraient être faites, et souligne que le Bureau International s'intéresse à cette question puisque dans un proche avenir il pourrait être chargé de comparaisons internationales d'étalons de capacité électrique. Le C.C.E. confirme la conclusion déjà obtenue par correspondance : les

résultats seront donnés à 25 °C et les laboratoires qui préfèrent travailler à 20 °C appliqueront les corrections fournies par le N.B.S. Cette décision du C.C.E. au sujet de la température ne s'applique pas en général aux autres étalons.

Au cours de cette discussion Mr *Olmer* a fait remarquer qu'il faut distinguer deux températures : celle à laquelle on fait la mesure et celle à laquelle on conserve les étalons. Il serait plus coûteux et plus gênant pour bien des laboratoires de changer la seconde plutôt que seulement la première.

## 2° *Étalons de 0,1 μF*

Le C.C.E. a pris connaissance des résultats de la deuxième et dernière partie de la comparaison circulaire commencée en 1959 (Annexe E 5).

Mr *Thompson* fait remarquer que cette deuxième partie a donné des résultats plus homogènes que la première, en particulier à cause de la meilleure stabilité des étalons retenus pour cette deuxième partie. La stabilité de ces étalons reste cependant inférieure à celle des condensateurs de 10 pF; il n'est donc pas utile de continuer à faire circuler des condensateurs au mica de 0,1 μF. Mr *Thompson* remarque encore que l'accord sur les résultats des mesures des angles de pertes est encourageant.

## Déterminations absolues

Le C.C.E. a pris connaissance des travaux en projet ou en cours sur la détermination des unités électriques absolues, en particulier en ce qui concerne l'ampère (N.B.S., L.C.I.E.), le condensateur calculable Thompson-Lampard (P.T.B., N.S.L., L.C.I.E., E.T.L., I.M.M. (Annexe E 6)) et la détermination du volt par une mesure de force électrostatique (N.S.L., L.C.I.E., E.T.L.) et en utilisant l'effet Stark (E.T.L., Annexe E 7).

## Ajustement des valeurs attribuées aux étalons nationaux et aux étalons du B.I.P.M.

Mr *Terrien* remarque que selon les mesures absolues les plus exactes,  $\Omega_{\text{BIPM}}$  semble être égal à l'ohm absolu au millionième près, tandis que  $V_{\text{BIPM}}$  semble supérieur au volt absolu d'environ 11 millionièmes; il prie en conséquence le C.C.E. d'examiner l'opportunité de corriger cet écart. Après discussion le C.C.E. tombe d'accord sur la proposition du B.I.P.M. d'apporter une correction de  $-11 \times 10^{-6}$  à  $V_{\text{BIPM}}$  et de maintenir sans changement  $\Omega_{\text{BIPM}}$ .

La plupart des délégués indiquent que leur laboratoire a l'intention d'ajuster lui aussi ses unités électriques à cette occasion, si possible à la même date que le fera le B.I.P.M. Quelques laboratoires, par exemple le N.S.L., utiliseront les moyens dont ils disposent pour déterminer l'ohm absolu afin d'attribuer la valeur nécessaire à leurs étalons de résistance.

D'autres laboratoires annoncent leur intention d'ajuster leurs étalons sur la base des résultats des comparaisons de 1967, en tenant compte éventuellement de la dérive de leurs étalons depuis la date moyenne de ces comparaisons. L'I.M.M. désire attendre l'achèvement prochain de déterminations en cours.

Le C.C.E. décide de soumettre au Comité International des Poids et Mesures la *Recommandation E 1* (p. E 17).

Les changements prévus par les laboratoires sont les suivants :

Laboratoire	Changements à apporter aux « unités » des laboratoires	
	Résistance	Force électromotrice
D.A.M.W. (Berlin) .....	( <sup>1</sup> )	( <sup>1</sup> )
P.T.B. (Braunschweig) .....	- 5,1 $\mu\Omega$	- 10,4 $\mu V$
N.B.S. (Washington) .....	0	- 8,4
N.S.L. (Chippendale) .....	+ 3,8 ( <sup>2</sup> )	- 16,2
N.R.C. (Ottawa) .....	+ 2,7	- 8,0
L.C.I.E. (Fontenay-aux-Roses) .....	+ 12,2	- 6,1
I.E.N. (Turin) .....	0	- 10,1
E.T.L. (Tokyo) .....	0	- 8,3
N.P.L. (Teddington) .....	+ 3,7	- 13,0
I.M.M. (Leningrad) .....	0	( <sup>3</sup> )

(<sup>1</sup>) La correction, d'après les comparaisons internationales, serait inférieure à 1  $\mu\Omega$  pour la résistance, et de - 4  $\mu V$  pour la force électromotrice.

(<sup>2</sup>) La valeur exacte sera fondée sur l'ohm absolu selon les déterminations faites au N.S.L.

(<sup>3</sup>) *Note ajoutée aux épreuves.* En décembre 1969, l'I.M.M. a fait savoir qu'une correction de - 16  $\mu V$  a été apportée à la valeur de son « unité » de force électromotrice.

### Piles étalons

A sa session de 1965, le C.C.E. avait chargé le L.C.I.E. de faire une synthèse des rapports présentés sur la fabrication des éléments Weston. Le L.C.I.E. a préparé un document où ces renseignements sont rassemblés et Mr *Olmer* souhaite que les laboratoires lui communiquent les quelques informations qui manquent encore. Le C.C.E. remercie Mr *Olmer*; il prend ensuite connaissance des récents travaux présentés par plusieurs laboratoires sur les piles étalons (Annexes E 8, E 9, E 10).

Mr *Page* insiste sur l'intérêt qu'il y aurait à maintenir les piles voyageuses, durant les transports, à la température à laquelle elles sont conservées; il décrit un dispositif commercial construit dans ce but et qu'il vient d'utiliser pour le mettre à l'épreuve pendant un transport N.B.S.-B.I.P.M. et retour. Il pense que la précision du rattachement des unités serait améliorée par l'emploi d'un tel dispositif. Le C.C.E. est d'accord pour que lors de la prochaine comparaison internationale, les laboratoires qui le désireraient envoient leurs piles dans des enceintes thermorégulées, et le B.I.P.M. se déclare disposé à mesurer chaque groupe d'étalons à la température à laquelle ils sont maintenus.

### Diodes de Zener

Le C.C.E. a pris connaissance des études faites par la P.T.B., le N.B.S. et l'I.M.M. D'après des mesures effectuées à la P.T.B. et au N.B.S. sur trois diodes appartenant au N.B.S., il ressort que les valeurs attribuées par ces deux laboratoires à ces trois diodes ont présenté un écart moyen relatif de  $1,3 \times 10^{-6}$ . L'I.M.M. a continué ses travaux sur des diodes fabriquées en U.R.S.S. et a obtenu des résultats qui, comme ceux du N.B.S. et de la P.T.B., sont encourageants.

### Contrôle de la permanence des étalons de référence

Mr *Vigoureux* remarque que l'on dispose de trois appareils qui permettent, ou permettront bientôt, de contrôler la stabilité des étalons qui servent à la conservation des unités électriques. Ce sont :

1° l'appareil pour la mesure du coefficient gyromagnétique du proton qui permet de contrôler l'ampère;

2° l'appareil pour la mesure de  $h/e$  par l'effet Josephson, qui permet de contrôler le volt;

3° le condensateur calculable utilisé pour réaliser le farad et l'ohm, qui peut servir également au contrôle des étalons de capacité et de résistance.

Puisque trois de ces unités sont liées par la loi d'Ohm, deux méthodes suffiraient pour leur contrôle. On dispose par conséquent d'une surabondance de méthodes de contrôle, ce qui permettra de vérifier leur concordance.

### Passage courant continu — courant alternatif

Depuis quelques années plusieurs laboratoires ont étudié des méthodes de mesure en courant alternatif par référence aux étalons qui servent en courant continu. Parmi ces méthodes, celle qui utilise le thermocouple a été mise au point au N.B.S., à l'E.T.L. (Annexe E 11), au N.P.L., à l'I.M.M. (Annexe E 12) et ailleurs.

Mr *Page* annonce que des comparaisons sont envisagées entre le N.B.S. et le N.P.L., et il invite d'autres laboratoires, par exemple l'I.M.M., à s'associer à ce travail.

Après une discussion provoquée par Mr *Schrader* sur l'intérêt de ces comparaisons, le C.C.E. approuve la poursuite des mesures comparatives en cours ou en projet.

### Rapports des Groupes de travail

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

Mr *Blouet* présente le rapport de ce Groupe de travail (p. E 19) qui s'est réuni les 23, 24 et 25 septembre 1968 sous la présidence de Mr *Lehany*.

Le C.C.E. approuve les recommandations présentées par ce Groupe (p. E 20) et le remercie pour le travail qu'il a effectué.

Le C.C.E. estime que les nombreux travaux recommandés par ce Groupe de travail nécessiteront une nouvelle réunion dans quelques années. D'autre part, devant l'intérêt que portent plusieurs laboratoires, autres que les laboratoires nationaux, aux mesures dans le domaine des radiofréquences, le C.C.E. a examiné la question d'une plus large information sur les travaux de ce Groupe.

*Groupe de travail pour les méthodes et les résultats de mesure du coefficient gyromagnétique du proton*

Mr *Vigoureux* présente le rapport de ce Groupe de travail (p. E 23) qui s'est réuni sous sa présidence les 26, 27 et 30 septembre 1968.

Après examen de ce rapport, le C.C.E. approuve la proposition du Groupe concernant la valeur du coefficient gyromagnétique du proton ( $\gamma'_p$ ) et adopte la *Recommandation* E 2 (p. E 18) dans laquelle la valeur attribuée à  $\gamma'_p$  est exprimée en fonction des nouvelles valeurs de référence  $\Omega_{69-BI}$  et  $V_{69-BI}$  qui seront attribuées aux étalons de résistance et de force électromotrice du Bureau International à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1969.

Le C.C.E. décide de laisser à son président le soin de convoquer ce Groupe de travail lorsque l'obtention de nouveaux résultats justifiera une telle réunion.

### **Travaux du Bureau International**

Les membres du C.C.E. ont été invités à visiter le laboratoire d'électricité du Bureau International et à présenter leurs suggestions sur le développement des installations existantes et sur les travaux du Bureau.

Mr *Olmer* demande quel sera le rôle du Bureau International lorsque les déterminations absolues des unités seront aussi précises que les mesures relatives. Les laboratoires nationaux et d'autres disposeront dans un avenir pas trop éloigné d'appareils pour contrôler la stabilité de leurs étalons, par exemple les appareils pour la mesure du coefficient gyromagnétique du proton et celui qui est fondé sur l'effet Josephson. Les travaux expérimentaux du Bureau International seront-ils alors superflus? Que se passe-t-il actuellement par exemple pour le mètre?

Mr *Terrien* répond que la mission principale du Bureau International est de favoriser les progrès et d'assurer l'uniformité dans le domaine des mesures physiques.

Le Comité International des Poids et Mesures est l'organe directeur responsable, qui doit donc en particulier examiner l'état des unités des pays de la Convention du Mètre; mais le Comité International ne se réunit que quelques jour par an, et il est nécessaire d'avoir un organisme permanent pour l'informer, pour préparer ses travaux et prendre soin de leur exécution; c'est là une des fonctions du Bureau International. Par ailleurs, beaucoup de pays n'ont pas les moyens de réaliser eux-mêmes leurs unités, ni même de contrôler l'évolution de leurs étalons; c'est le cas pour le mètre.

Les nouvelles méthodes électriques ne changeront pas la situation pour les unités électriques dans ces pays. Par conséquent les fonctions expérimentales du Bureau International demeureront aussi importantes qu'auparavant. Il lui faudra donc conserver un bon personnel scientifique, et pour cela il est indispensable que le Bureau International fournisse à ce personnel l'occasion de faire des recherches pour l'amélioration de méthodes connues et pour le développement de méthodes nouvelles. Un niveau suffisant du personnel scientifique est encore plus nécessaire dans les cas où le Bureau International doit jouer le rôle d'arbitre scientifique international, soit à cause de sa compétence particulière, soit à cause des susceptibilités nationales.

### Questions diverses

En ce qui concerne les documents présentés à cette session, le *Président* fait approuver par le C.C.E. la liste de ceux qui seront publiés en annexes.

Mr *Dunn* donne une description des nouveaux comparateurs conçus par le N.R.C. et réalisés en collaboration avec l'industrie. Ces appareils, qui comparent les courants continus en annulant les champs qu'ils produisent dans des noyaux magnétiques, permettent d'atteindre une précision supérieure à celle qui est obtenue jusqu'à présent par d'autres méthodes.

\* \* \*

Le *Président* remercie les membres du Comité Consultatif de leur fructueuse collaboration. Au nom de ses collègues, Mr *Page* remercie à son tour le Président pour la façon aussi aimable qu'efficace avec laquelle il a dirigé les travaux de cette douzième session du C.C.E.

(4 octobre 1968)

## Recommandations du Comité Consultatif d'Électricité présentées au Comité International des Poids et Mesures

Valeurs attribuées à  $\Omega_{\text{BIPM}}$  et  $V_{\text{BIPM}}$

### RECOMMANDATION E 1 (a)

*Le Comité Consultatif d'Électricité,*

CONSIDÉRANT

*que les étalons de résistance et de force électromotrice du Bureau International des Poids et Mesures définissent depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1948 les valeurs de*

---

(a) Cette Recommandation a été approuvée sans changement par le Comité International à sa 57<sup>e</sup> session (octobre 1968).

référence  $\Omega_{\text{BIPM}}$  et  $V_{\text{BIPM}}$  auxquelles sont rapportées les valeurs analogues définies par les étalons des laboratoires nationaux;

que le Bureau International estime le moment venu de mettre les valeurs de  $\Omega_{\text{BIPM}}$  et  $V_{\text{BIPM}}$  en accord plus étroit avec l'ohm et le volt sur la base des déterminations absolues;

RECOMMANDE que le Bureau International soit autorisé à mettre en application le 1<sup>er</sup> janvier 1969 les nouvelles valeurs de référence suivantes :

$$\begin{aligned}\Omega_{69\text{-BI}} &= \Omega_{\text{BIPM}}, \\ V_{69\text{-BI}} &= V_{\text{BIPM}} (1 - 11 \times 10^{-6}).\end{aligned}$$

Le Comité Consultatif d'Électricité a pris bonne note que les laboratoires nationaux consultés pendant la session sont disposés à ajuster la valeur attribuée à leurs étalons à la même date ou peu après, et il a constaté que ces changements assureront à la fois une meilleure uniformité des mesures dans le monde et une meilleure concordance avec la définition des unités électriques.

Valeur de  $\gamma'_p$  pour l'usage métrologique international

#### RECOMMANDATION E 2 (a)

Le Comité Consultatif d'Électricité,

CONSIDÉRANT

que le Comité International des Poids et Mesures, à sa session de 1963, a approuvé la Recommandation E 5 du Comité Consultatif d'Électricité proposant l'adoption d'une valeur provisoire du coefficient gyromagnétique du proton;

que le moment est venu de prendre en considération les mesures plus récentes qui donnent des résultats plus exacts et mieux concordants;

RECOMMANDE d'employer à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1969 pour l'usage métrologique international, la valeur suivante du coefficient gyromagnétique du proton dans l'eau, sans correction diamagnétique,

$$\gamma'_p = 2,675\ 12 \times 10^8 \text{ rad s}^{-1} \text{ T}^{-1},$$

qui peut s'exprimer sous la forme équivalente et souvent mieux adaptée à l'usage pratique

$$\gamma'_p = \frac{\gamma'_p}{2\pi} = 42,575\ 857 \dots \text{ MHz T}^{-1}.$$

Cette valeur de  $\gamma'_p$  est fondée sur les valeurs qui seront attribuées à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1969 aux étalons de résistance et de force électromotrice conservés au Bureau International des Poids et Mesures de façon qu'ils soient amenés en concordance aussi exactement qu'il est possible avec les définitions des unités électriques adoptées par la Conférence Générale des Poids et Mesures.

## Appendices

### Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences

Le Groupe de travail s'est réuni au Pavillon de Breteuil à Sèvres, les 23, 24 et 25 septembre 1968.

Étaient présents : MM. F. J. LEHANY, qui a assumé la présidence en l'absence de Mr G. D. BOURDOUN empêché par des raisons de santé, G. ALMASSY (I.R.T., Budapest), H. M. ALTSCHULER (N.B.S.), A. E. BAILEY (N.P.L. et U.R.S.I.), H. BAYER (P.T.B.), J. BLOUET (L.C.I.E. et Commission Électrotechnique Internationale), A. F. DUNN (N.R.C.), G. GIACHINO (I.E.N.), Y. INOUE (E.T.L.), P. O. LUNDBOM (R.I.N.D., Stockholm), A. M. THOMPSON (N.S.L.).

Assistaient aussi à la réunion : MM. J. TERRIEN, directeur du Bureau International des Poids et Mesures, G. LECLERC et A. SAKUMA (B.I.P.M.).

Absents : Les représentants du D.A.M.W. (Berlin), de l'I.M.M. (Leningrad), de l'Institut Radiotechnique de Tchécoslovaquie (Prague), de l'Union Internationale des Télécommunications (Genève) et de la Radio Research Station (Slough).

Au cours de cette réunion, les débats ont porté sur les sujets suivants.

#### 1. Comparaisons en cours

a. *Instruments de mesure des faibles puissances à 3 GHz.* — Cette comparaison, pour laquelle le laboratoire pilote est le N.B.S., est pratiquement terminée et a donné des résultats encourageants.

Après avoir examiné les possibilités d'élargissement de cette comparaison à de nouveaux laboratoires, les problèmes posés par la diffusion des résultats et la stabilité des instruments, le Groupe de travail a émis la *Recommandation* GT-RF 1.

b. *Instruments de mesure des faibles puissances à 10 GHz.* — Le Groupe de travail est informé de l'état d'avancement de la première comparaison pour laquelle l'E.T.L. est le laboratoire pilote; cette comparaison devrait normalement être terminée dans un délai de l'ordre d'une année. Le Groupe de travail regrette la lenteur de la circulation des étalons et souhaite qu'à l'avenir elle puisse être accélérée.

La deuxième comparaison pour laquelle l'I.M.M. est le laboratoire pilote n'a, semble-t-il, pas encore été entreprise et aucune information n'est parvenue à son sujet.

Le Groupe de travail est informé par ailleurs de l'existence de plusieurs comparaisons entreprises par accord mutuel entre les participants :

- comparaison circulaire entre l'I.E.N., le L.C.I.E. et le R.I.N.D. : terminée;
- comparaison entre l'I.E.N. et la P.T.B. : en cours;
- comparaison entre le R.I.N.D. et l'E.T.L. : terminée;
- comparaison entre l'I.M.M. et le L.C.I.E. : en cours;
- comparaison entre le N.R.C., le N.S.L. et l'un des laboratoires précédents : envisagée.

Étant donné d'une part que ces laboratoires étaient, pour la plus grande part, inscrits pour participer à la deuxième comparaison initialement prévue et, d'autre part, que l'E.T.L., laboratoire pilote de la première comparaison, est inclus dans ces échanges, le Groupe de travail estime que les résultats obtenus dans ces opérations peuvent pallier en partie le retard actuel de la deuxième comparaison et adopte en conséquence la *Recommandation* GT-RF 2.

c. *Mesures comparatives des paramètres des diélectriques à 10 GHz.* — A la suite du retrait du N.P.L., le N.B.S. a accepté en janvier 1967 d'être le laboratoire pilote pour cette comparaison.

Les mesures ont été effectuées à l'I.M.M. et au N.B.S.; elles restent à faire au N.R.C., mais certaines difficultés dues aux dimensions des échantillons à étudier retardent les mesures et ne permettent pas de fixer la date de la fin des comparaisons.

#### 2. Comparaisons à entreprendre

Le Groupe de travail, ayant défini le but des comparaisons internationales, examine les modalités générales d'organisation de ces comparaisons et les mesures à prendre

pour en faciliter le déroulement rapide; il discute également les problèmes posés par la diffusion des résultats.

D'autre part, le Groupe de travail établit la liste des nouvelles comparaisons à entreprendre et fixe un ordre d'urgence.

Les résultats de l'ensemble de ces discussions font l'objet des *Recommandations* GT-RF 3 à 7.

### 3. *Liaisons avec l'U.R.S.I.*

Le Groupe de travail confie à Mr Bailey le soin de rapporter à Mr Essen, président de la Commission N° 1 de l'U.R.S.I., les résultats de ses travaux.

*Le Rapporteur,*  
J. BLOUET

*Le Président,*  
F. J. LEHANY

*Recommandations*  
*du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences*  
*présentées*  
*au Comité Consultatif d'Électricité*

Les sept recommandations suivantes ont été approuvées par le Comité Consultatif d'Électricité à sa 12<sup>e</sup> session (octobre 1968) et par le Comité International des Poids et Mesures à sa 57<sup>e</sup> session (octobre 1968).

Mesures de puissance à la fréquence de 3 GHz

#### RECOMMANDATION GT-RF 1

*Le Groupe de travail recommande,*

*que la comparaison sur les mesures de puissance à la fréquence de 3 GHz, décidée en 1965 et actuellement en cours avec le N.B.S. comme laboratoire pilote, soit achevée et qu'une comparaison nouvelle soit entreprise, avec éventuellement un autre laboratoire pilote, si d'autres pays demandent à participer à une telle comparaison;*

*que le rapport du laboratoire pilote sur cette comparaison, après accord des participants, soit diffusé aux membres du Groupe de travail pour commentaires, puis transmis au Comité Consultatif d'Électricité;*

*que les instruments voyageurs qui ont été employés dans cette comparaison soient conservés afin que l'on suive leur évolution et qu'ils puissent être utilisés dans d'autres comparaisons éventuelles.*

Mesures de puissance à la fréquence de 10 GHz

#### RECOMMANDATION GT-RF 2

*En attendant que l'I.M.M., laboratoire pilote d'une des deux comparaisons décidées en 1965 sur les mesures de puissance à la fréquence de 10 GHz, ait la possibilité d'en assurer l'organisation,*

*le Groupe de travail recommande aux laboratoires participants de poursuivre le cycle des comparaisons qu'ils ont déjà entreprises de leur propre initiative, et invite le L.C.I.E. à faire office provisoirement de laboratoire pilote pour le cycle restreint actuellement en cours.*

Considérations générales sur l'organisation des comparaisons

#### RECOMMANDATION GT-RF 3

*I. Les moyens d'action du B.I.P.M. étant limités, il est rappelé que la majeure partie du travail d'organisation des comparaisons doit être exécutée à l'extérieur du B.I.P.M., en particulier dans les laboratoires pilotes, le B.I.P.M. recevant copie des lettres officielles échangées (voir le Rapport du Groupe de travail, mai 1965, Comité Consultatif d'Électricité, 11<sup>e</sup> session, 1965, p. E 16).*

II. Le Groupe de travail recommande que toute liberté soit laissée aux laboratoires pilotes pour organiser au mieux les comparaisons et qu'en particulier ils choisissent le mode de circulation des étalons le mieux approprié.

III. Le Groupe de travail reconnaît que les comparaisons internationales ont deux objectifs :

1° Établir l'état d'avancement dans l'exactitude des diverses mesures effectuées par les laboratoires ayant une position avancée dans ces domaines et faire progresser les techniques correspondantes.

2° Permettre ensuite aux autres laboratoires de contrôler l'exactitude de leurs mesures, en utilisant certains des instruments voyageurs ou en profitant des résultats obtenus avec ces instruments ; ces autres laboratoires et les laboratoires participant à une comparaison sont invités à entrer en rapport afin que ce deuxième objectif soit atteint.

Comparaisons à entreprendre

RECOMMANDATION GT-RF 4 (\*)

I. Le Groupe de travail recommande que soient entreprises en première urgence des comparaisons portant sur les grandeurs suivantes :

a. tension à 1 GHz (laboratoire pilote N.B.S., participants : N.P.L., N.R.C., R.I.N.D. (Stockholm)) ;

b. affaiblissement à 30 MHz (laboratoire pilote N.S.L., participants : E.T.L., N.B.S., N.P.L., N.R.C.) ;

c. affaiblissement à 10 GHz sur guide d'ondes (laboratoire pilote R.I.N.D., participants : E.T.L., I.E.N., L.C.I.E., N.P.L., N.S.L., P.T.B.) ;

d. affaiblissement jusqu'à 8 GHz en coaxial (laboratoire pilote N.P.L., participants : E.T.L., N.B.S., N.R.C., R.I.N.D.) ;

e. affaiblissement jusqu'à 8 GHz sur guide d'ondes (laboratoire pilote N.R.C., participants : I.R.T. (Budapest), N.P.L., P.T.B., R.I.N.D.).

II. Le Groupe de travail adopte la liste des grandeurs ci-après pour des comparaisons à considérer. De telles comparaisons peuvent être entreprises dès que plusieurs laboratoires sont disposés à y participer et que l'un d'eux accepte de jouer le rôle de laboratoire pilote.

Liste des grandeurs pour des comparaisons proposées

	Fréquence	Valeur
Surtension des bobines d'inductance en coaxial .....	1 MHz, 10 MHz	100
Résistance, en coaxial .....	10 MHz	100 Ω
Capacité, en coaxial .....	10 MHz	1 000 pF
	10 MHz	1 pF
Étalon de longueur électrique (impédance) .....	10 MHz, 4 GHz, 9 GHz	Dérivé d'une ligne coaxiale 50 Ω à air
Amplitude du coefficient de réflexion : sur guide d'ondes .....	8,2 à 12,4 GHz	$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma \approx 0,2 \\ \Gamma \approx 0,1 \\ \Gamma \approx 0 \end{array} \right.$
	7 GHz	
	9 et 17 GHz	
sur coaxial 50 Ω .....	8 à 18 GHz	20 et 40 dB
	26,5 à 40 GHz	10 et 30 dB
Affaiblissement { en coaxial 50 Ω ....	8,2 à 12,4 et	0 à 360° ; de
	12,4 à 18 GHz	
Déphasage, sur guide d'ondes .....	100 MHz ou 300 MHz	préférence 0 à 720°
	durée 1-10 μs	0,1-1 V
Amplitude de tension d'une impulsion.	répétition	5 à 1 000 V
	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup> Hz	dans une ligne de 50 Ω

(\*) Par suite de l'absence du membre soviétique à la réunion du Groupe de travail, la participation éventuelle de l'U.R.S.S. aux comparaisons prévues au paragraphe I de cette Recommandation n'a pu être examinée.

Intensité de courant .....	1 MHz, 500 MHz, 1 GHz	0,5-10 A
Intensité de champ magnétique .....	0,1, 1,5, 10, 20 et 30 MHz	correspondant dans l'onde à un champ électrique de 0,1 V/m
Intensité de champ électrique .....	0,05, 0,1, 0,5, 0,9 GHz	0,1 V/m
Gain d'un cornet, sur guide d'ondes ..	8,2-12,4 GHz	gain d'environ 15 dB
Puissance, en coaxial .....	500 ou 300 MHz 10 GHz	20-30 W 10 mW
Puissance, sur guide d'ondes .....	26,5-40 GHz 2,60 à 5,85 et 8,2 à 12,4 GHz 30 MHz 1 GHz	5 à 12 mW — 100 dB (mW) Température de bruit : 79 K et 373 K Température de bruit : 79 K, 373 K et tube à décharge dans l'argon
Bruit (blanc), en coaxial.....	2,2-3,95 GHz	Température effective de bruit : tube à décharge dans l'argon ou le xénon
	2,6-5,8 GHz	Température de bruit : 79 K et 4 K
	2,6-3,95 GHz	Température effective de bruit : tube à décharge dans l'argon ou le xénon
Bruit (blanc), sur guide d'ondes .....	8,2-12,4 GHz	Température effective de bruit : tube à décharge dans l'argon
Puissance laser .....	$\lambda = 632,8 \text{ nm}$	1-50 mW
Énergie laser .....	$\lambda = 694,3 \text{ nm}$	1-10 J

#### Difficultés administratives pour le transport des étalons

##### RECOMMANDATION GT-RF 5

*Dans l'espoir d'éviter le renouvellement des retards qui se sont produits dans le transport des étalons voyageurs d'un pays à un autre, le Groupe de travail recommande :*

1° que le B.I.P.M. établisse une note de caractère général destinée à informer les services administratifs et douaniers du caractère purement scientifique des comparaisons et mettant l'accent sur l'importance d'une circulation rapide des étalons pour le succès scientifique. Cette note demanderait donc d'accélérer dans toute la mesure du possible les formalités au passage des frontières ;

2° que le B.I.P.M. établisse pour chaque comparaison, à partir des indications qui lui seront fournies par le laboratoire pilote, la liste détaillée permettant l'identification précise de tous les instruments faisant l'objet de la comparaison ;

3° que ces deux documents soient envoyés conjointement à chacun des laboratoires participants à qui il appartiendra d'en faire état auprès des autorités compétentes.

#### Information mutuelle sur les résultats

##### RECOMMANDATION GT-RF 6

*Le Groupe de travail recommande que chaque laboratoire communique sans délai à tous les participants, ainsi qu'au B.I.P.M., les résultats des mesures qu'il a effectuées.*

## Publication des résultats des comparaisons

## RECOMMANDATION GT-RF 7

*Le Groupe de travail reconnaît la nécessité d'avoir, en plus de la publication du rapport final dans les comptes rendus des travaux du Comité Consultatif d'Électricité, une publication des résultats des comparaisons dans un journal scientifique permettant une diffusion plus large et des descriptions techniques plus détaillées.*

*Il invite les laboratoires pilotes et les laboratoires participants à prendre les initiatives nécessaires, en observant à l'égard des autres participants les règles de courtoisie qui sont habituelles lorsqu'il s'agit d'un travail collectif.*

**Rapport du Groupe de travail pour les méthodes  
et les résultats de mesure  
du coefficient gyromagnétique du proton**

Le Groupe de travail a tenu sa 2<sup>e</sup> réunion au Pavillon de Breteuil les 26, 27 et 30 septembre 1963, pour examiner les méthodes de mesure du coefficient gyromagnétique du proton ( $\gamma_p'$ ) utilisées par les laboratoires nationaux et pour discuter les résultats obtenus depuis 1963.

Étaient présents : MM. VIGOUREUX (président), CAPPTULLER, DUNN, INOUE, PAGE, membres du Groupe de travail. Mr LEHANY, président du C.C.E., qui a assisté à la 1<sup>re</sup> séance, a témoigné aux membres l'intérêt que le C.C.E. prenait à leurs travaux en raison de l'importance croissante que la connaissance des valeurs des constantes physiques fondamentales a acquise pour le contrôle et le maintien des unités électriques. Mr TERRIEN, directeur du B.I.P.M., a assisté à toutes les séances et a apporté une aide précieuse aux discussions. Mr Capptuller fut désigné comme rapporteur.

Après avoir entendu les exposés sur les travaux nouveaux faits aux États-Unis d'Amérique (N.B.S.), en U.R.S.S. (I.M.I.M.K. et I.M.M.) et au Japon (E.T.L.), le Groupe de travail a constaté que les écarts entre les résultats numériques ont de beaucoup diminué, probablement à la suite de l'amélioration des méthodes et de l'appareillage de mesure.

Mr Page a décrit le laboratoire non magnétique construit récemment dans un endroit isolé de la grande propriété du N.B.S. à Gaithersburg, près de Washington. Les expériences faites dans ce nouveau laboratoire ont démontré que les perturbations magnétiques étaient extrêmement faibles. Les résultats obtenus à Gaithersburg ne diffèrent que de 2 millionièmes au maximum des résultats obtenus antérieurement à Fredericksburg et à Washington.

En l'absence du membre russe, le Groupe de travail a examiné les rapports de l'I.M.I.M.K. et de l'I.M.M. qui décrivent les déterminations de  $\gamma_p'$  faites respectivement en champ fort et en champ faible. Pour les mesures en champ fort, qui dépendent de l'accélération due à la pesanteur, on remarque que les auteurs ont employé une valeur de  $g$  dans le Système de Potsdam diminuée de 11 millionièmes. Étant donné que les déterminations récentes plus précises de  $g$  indiquent une correction de — 14 millionièmes, le Groupe de travail a tenu compte de l'amélioration de la connaissance de  $g$  en appliquant une correction qui augmente le résultat de l'I.M.I.M.K. de 3 millionièmes en valeur relative. Si l'on tient compte de ce changement on peut en déduire que la moyenne géométrique des résultats obtenus en U.R.S.S. en champ faible et en champ fort donne pour  $\gamma_p'$  la valeur  $(2,675\ 120 \pm 0,000\ 015) \times 10^8 \text{ rad s}^{-1} \text{ T}^{-1}$  en fonction de l'ampère absolu.

La discussion a ensuite porté sur les travaux de l'E.T.L. Le rapport déjà présenté au C.C.E. en 1965 a été étudié, et un supplément décrivant les améliorations apportées à l'appareillage et à la méthode de mesure depuis lors a été examiné en détail.

Les représentants du N.P.L., du N.R.C. et de la P.T.B. ont exposé les expériences qui sont en projet dans leur laboratoire en vue de la détermination de  $\gamma_p'$ .

Deux questions de nomenclature furent ensuite discutées. Mr Page a fait remarquer qu'il est le plus souvent utile d'employer pour  $\gamma_p'$  une valeur exprimée en  $\text{Hz T}^{-1}$  qu'on pourrait indiquer par le symbole  $\gamma_p'$ . (Le symbole simplifié  $\gamma$  serait sans doute admissible dans bien des cas.)

Au sujet des mots « rapport » et « coefficient », la discussion a fait apparaître que dans certains pays, par exemple en France, on désire réserver le mot « rapport » exclusivement aux nombres sans dimension et qu'en conséquence c'est par le terme *coefficient gyromagnétique* que l'on doit désigner  $\gamma$ . De semblables considérations s'appliquent en Allemagne. En revanche, il semble que dans les pays de langue anglaise le mot « ratio » paraît acceptable et qu'il serait très difficile d'introduire l'usage d'un terme autre que *gyromagnetic ratio*.

Les emplois métrologiques de  $\gamma'_p$  ont été passés en revue. On a fait remarquer que l'appareillage utilisé pour déterminer ce coefficient peut aussi être employé pour contrôler l'invariabilité des étalons qui servent à la conservation de l'ampère. Il est bien connu aussi que la méthode de résonance nucléaire est précieuse en géophysique et dans les laboratoires pour la mesure précise de l'induction magnétique.

Ayant examiné les résultats des travaux mentionnés ci-dessus, le Groupe de travail peut maintenant donner dans le tableau ci-après des valeurs plus précises que celles qui figurent dans le rapport de sa 1<sup>re</sup> réunion en 1963 (*Comité Consultatif d'Électricité*, 10<sup>e</sup> session, 1963, p. 16).

*Résultats des mesures  
du coefficient gyromagnétique du proton  $\gamma'_p$   
(Unité :  $10^8 \text{ rad s}^{-1} \text{ T}^{-1}$ )*

Laboratoire	Méthode du champ faible		Moyenne champ fort- champ faible
	(en fonction de $A_{\text{BIPM}}$ )	(unités absolues) (c)	
ETL	2,675 146 (a)	2,675 117	
IMIMK-IMM			2,675 120 (d)
NBS	2,675 156	2,675 127	
NPL	2,675 151 (b)	2,675 121	
Moyenne	{ en unités absolues .....	2,675 121	
	{ en fonction de $A_{\text{BIPM}}$ .....	2,675 151	

(a) La valeur donnée par l'E.T.L. en 1968 d'après  $A_{\text{ETL}}$  est 2,675 138.

(b) La valeur donnée par le N.P.L. en 1961 d'après  $A_{\text{NPL}}$  est 2,675 171.

(c) On a admis le facteur de conversion  $A_{\text{abs}} = (1 - 11 \times 10^{-6})A_{\text{BIPM}}$  en 1968.

Lorsque le changement des valeurs assignées aux étalons du volt conservés au Bureau International des Poids et Mesures aura été effectué (1<sup>er</sup> janvier 1969), les nombres des colonnes 3 et 4 exprimeront aussi les valeurs de  $\gamma'_p$  en fonction de  $A_{69\text{-BI}}$ .

(d) La valeur donnée en 1968 par l'I.M.I.M.K. (méthode du champ fort) d'après les étalons représentatifs de l'ampère de l'U.R.S.S. est 2,675 071, qui devient 2,675 079 avec la valeur admise récemment pour  $g$ . La valeur donnée par l'I.M.M. (méthode du champ faible) d'après les mêmes étalons est 2,675 162. On sait que la moyenne des résultats obtenus par les deux méthodes s'exprime en unités absolues; en effet, l'erreur sur les valeurs attribuées aux étalons représentatifs de l'ampère s'élimine dans cette moyenne.

En conclusion, la valeur moyenne du coefficient gyromagnétique du proton dans l'eau, sans correction diamagnétique, ( $\gamma'_p$ ), est la suivante :

$$\left. \begin{aligned} \gamma'_p &= 2,675\ 151 \times 10^8 \text{ rad s}^{-1} \text{ T}^{-1} \\ \text{ou } -\gamma'_p &= \frac{\gamma'_p}{2\pi} = 42,5764 \text{ MHz T}^{-1} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{en fonction} \\ \text{de } A_{\text{BIPM}} \end{array}$$

*Le Rapporteur,*  
H. CAPPTULLER

*Le Président,*  
P. VIGOUREUX

## ANNEXE E 1

---

### Documents présentés à la 12<sup>e</sup> session du C.C.E.

Document  
N<sup>o</sup>

#### Comparaisons internationales

1. B.I.P.M. — Rapport sur la 11<sup>e</sup> comparaison des étalons nationaux de résistance électrique (décembre 1966-avril 1967), par G. Leclerc.  
*Voir Annexe E 2, p. E 30.*
2. B.I.P.M. — Rapport sur la 11<sup>e</sup> comparaison des étalons nationaux de force électromotrice (janvier-avril 1967), par G. Leclerc.  
*Voir Annexe E 3, p. E 38.*
19. B.I.P.M. — Premiers résultats de la comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF.  
*Voir Annexe E 4, p. E 46.*
20. B.I.P.M. — Résultats de la seconde partie de la comparaison circulaire des étalons de capacité voyageurs au mica de 0,1  $\mu$ F.  
*Voir Annexe E 5, p. E 49.*
22. E.T.L. (Japon). — Result of measurement of 0.1  $\mu$ F capacitors for the international comparison, by M. Kanno, Y. Koizumi and T. Igarashi.  
*Voir Annexe E 5, tableaux I et II.*
23. E.T.L. (Japon). — Result of measurement of 10 pF capacitors for the international comparison, by M. Kanno, T. Igarashi and Y. Koizumi.  
*Voir Annexe E 4, tableau p. E 47.*

Document

N°

### Déterminations absolues

7. N.B.S. (États-Unis). — Détermination absolue de l'ampère NBS, par R. L. Driscoll et P. T. Olsen.

Caractéristiques de l'électrodynamomètre du type Pellat utilisé et brève description des améliorations apportées en 1966 afin de réduire la correction due au couple apparent. Résultat:  $A_{\text{NBS}}/A = 1,000\ 010\ 5 \pm 0,000\ 007$ , compte tenu de la récente détermination de  $g$  au N.B.S. D'après les comparaisons des étalons nationaux du volt et de l'ohm effectuées au B.I.P.M. on en déduit:  $A_{\text{BIPM}}/A = 1,000\ 012\ 9 \pm 0,000\ 007$ .

9. N.S.L. (Australie). — Note sur les déterminations absolues de l'ohm et du volt du N.S.L.
12. L.C.I.E. (France). — Note sur les travaux en cours pour les déterminations absolues de l'ampère, de l'ohm et du volt.
15. I.M.M. (U.R.S.S.). — Nouveau mode de variation de la capacité d'un condensateur en croix cylindrique, par I. N. Krotkov et V. V. Victorov.

Voir Annexe E 6, p. E 56.

24. E.T.L. (Japon). — Absolute measurement of voltage by an electrostatic method, by M. Kanno, T. Yamazaki and M. Tsukada.
29. E.T.L. (Japon). — Determination of an absolute capacitance by a horizontal cross-capacitor, by T. Igarashi, Y. Koizumi and M. Kanno.

Publié en anglais dans *I.E.E.E. Trans. on Instrumentation and Measurement*, IM-17, N° 4, Dec. 1968, pp. 226-231.

Le condensateur en croix horizontal construit à l'E.T.L. permet un contrôle facile de l'alignement des armatures horizontales et possède un mécanisme de commande simple pour le déplacement de l'écran. Cet écran mobile reposant sur les armatures horizontales et étant guidé par celles-ci, aucun mécanisme spécial de support n'est donc nécessaire. Le déplacement de l'écran, qui définit la longueur du condensateur, est mesuré par les interférences lumineuses en utilisant une lampe à Hg 198.

La sensibilité obtenue est supérieure à 0,01 aF pour la capacité et à 1/30 de frange pour les mesures de longueur. Les erreurs inhérentes à ce condensateur sont examinées en détail et se trouvent confirmées par les essais expérimentaux. Une capacité de 0,1 pF est déterminée en valeur absolue avec une incertitude qui ne dépasse pas  $1 \times 10^{-6}$ .

33. E.T.L. (Japon). — A survey on a Stark voltmeter, by K. Hara, T. Kobayashi, T. Matsui, T. Nakase, G. Yonezaki and T. Endo.
- Voir le résumé à l'Annexe E 7, p. E 60.

Voir aussi les Documents N°s 3 (N.P.L.) et 8 (P.T.B.).

### Ajustement des valeurs attribuées aux étalons nationaux et du B.I.P.M.

11. N.B.S. (États-Unis). — Lettre de Ch. Page du 3 juillet 1968, approuvant la proposition de corriger  $V_{\text{BIPM}}$  de  $-11 \times 10^{-6}$ .

Document

N°

34. I.M.M. (U.R.S.S.). — Proposition concernant le changement de l'unité de force électromotrice conservée au B.I.P.M.

Commentaires sur le document 11 et confirmation de la correction de  $-11 \times 10^{-6}$ .

8, 9,  
13, 21,  
27, 3.

Communications de la P.T.B., du N.S.L., du N.R.C., du L.C.I.E., de l'I.E.N., de l'E.T.L. et du N.P.L. relatives aux changements prévus pour le 1<sup>er</sup> janvier 1969 des « unités » de résistance et de force électromotrice de ces laboratoires et du B.I.P.M.

**Piles étalons**

14. L.C.I.E. (France). — Résumé des communications présentées à la 11<sup>e</sup> session (1965) du C.C.E. concernant l'amélioration de la stabilité des éléments Weston, par M. Thibault.

Ce document rassemble, sous forme de tableaux comparatifs, les caractéristiques principales de la construction des éléments, en retenant principalement les différences plutôt que les analogies de fabrication. Une note de l'I.M.M. (U.R.S.S.), remise en séance, apporte des observations complémentaires aux conclusions de ce résumé.

5. N.B.S. (États-Unis). — Transfert du volt entre laboratoires, par W. G. Eicke, N. Belecki et J. M. Cameron.

Voir Annexe E 8, p. E 63.

4. N.B.S. (États-Unis). — Élément galvanique à faible coefficient de température de la force électromotrice, par G. N. Roberts et W. J. Hamer.

Voir le résumé à l'Annexe E 9, p. E 68.

26. E. T. L. (Japon). — Récentes recherches sur les éléments Weston, par H. Hirayama, K. Murakami et K. Shimazaki.

Voir Annexe E 10, p. E 69.

Voir aussi les Documents Nos 8 (P.T.B.) et 10 (N.R.C.).

**Diodes de Zener**

6. N.B.S. (États-Unis). — Les diodes de Zener, étalons de tension transportables, par W. G. Eicke et H. H. Ellis.

Résultats de l'étude de trois diodes de Zener du N.B.S. étalonnées au N.B.S. et à la P.T.B.; les valeurs obtenues par ces deux laboratoires diffèrent de  $1,3 \times 10^{-6}$ . Résultats de l'étude au N.B.S. de sept ensembles de diodes présentant une dérive d'environ  $0,13 \times 10^{-6}$  par jour.

Document

N°

17. I.M.M. (U.R.S.S.). — Caractéristiques des stabilitrons au silicium (diodes de Zener) fabriquées en U.R.S.S., et appareils de mesure pour leur détermination, par P. N. Gorunov et V. M. Chichkine.

Voir aussi le Document N° 8 (P.T.B.).

**Passage courant continu — courant alternatif**

18. I.M.M. (U.R.S.S.). — Méthodes appliquées en U.R.S.S. pour l'utilisation en courant alternatif à basse et à haute fréquence des unités électriques définies en courant continu, par A. J. Bezikovitch et T. B. Rojdestvenskaia.

Voir Annexe E 12, p. E 77.

28. E.T.L. (Japon). — Note on a.c.-d.c. transfer methods, by S. Iwamoto, T. Yamazaki and M. Kanno.

Voir Annexe E 11, p. E 75.

**Groupes de travail**

30. Recommandations du « Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences ».

Ce volume, p. E 20.

31. Rapport du « Groupe de travail pour les méthodes et les résultats de mesure de  $\gamma_p$  ».

Ce volume, p. E 23.

**Divers**

3. Rapport sur les travaux du N.P.L.

Déterminations de  $e/m$  pour le proton, de  $h/e$  et de la constante de structure fine. Étalons matériels de résistance. Condensateur calculable.

8. Rapport sur les travaux de la P.T.B.

Diodes de Zener. Influence de la température sur les piles étalons. Étalons de capacité. Détermination de  $\gamma_p$  en champ faible.

10. Primary electrical units at the National Research Council of Canada, by A. F. Dunn.

Publié dans *Metrologia*, 4, N° 4, 1968, pp. 180-184.

16. Travaux de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev sur les mesures et les étalons de résistance, par T. B. Rojdestvenskaia et V. P. Chigorine.

Document

N°

25. E.T.L. (Japon). — Pont de haute précision pour la mesure des étalons de résistance à l'Electrotechnical Laboratory, par H. Hirayama et K. Murakami.
32. I.E.N. (Italie). — Comparaison directe de deux admittances employées pour comparer un étalon de résistance à un étalon de capacité, par E. Arri et F. Cabiati.

*Voir Annexe E 13, p. E 83.*

---

## ANNEXE E 2

---

### **Rapport sur la 11<sup>e</sup> comparaison des étalons nationaux de résistance électrique**

(décembre 1966 — avril 1967)

Par G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

---

Pour participer à la 11<sup>e</sup> comparaison des étalons nationaux de résistance électrique, les dix laboratoires invités ont fait parvenir au Bureau International des Poids et Mesures vingt-neuf étalons de 1  $\Omega$  de premier ordre (tableau I). La date limite pour l'envoi des étalons à Sèvres avait été fixée au 1<sup>er</sup> novembre 1966, mais certains laboratoires n'ayant pas pu respecter cette date, la comparaison ne put finalement commencer que le 12 décembre 1966.

Comme par le passé, les mesures ont été effectuées au moyen d'un pont double (à bras de 1 000  $\Omega$ ), par la méthode de substitution, avec un courant de 0,1 A. Elles ont été faites, par deux observateurs, suivant des schémas de comparaison différents. Chaque observateur a exécuté une comparaison complète comportant une série de mesures « aller » et une série de mesures « retour », effectuées symétriquement dans le temps par rapport à une date centrale commune : le 18 février 1967 ; ces observateurs ont utilisé des « résistances tares » et des « boîtes shunt » différentes. Enfin les bras « tare » et « mesure » du pont ont été inversés entre les mesures « aller » et les mesures « retour ».

TABLEAU I

Liste des étalons nationaux de résistance ayant participé  
à la 11<sup>e</sup> comparaison (1966 - 1967)

<u>Laboratoires</u>	<u>Étalons Nos</u>	<u>Arrivée B.I.F.M.</u>	<u>Départ B.I.F.M.</u>	<u>Mode de transport</u>
D.A.M.W. (Allemagne Zone Est)	1H-8 304/57	23 octobre 1966	26 août 1967	aller et retour par avion, accompagnés
P.T.B. (Allemagne Zone Ouest)	166 266	26 octobre 1966	14 juin 1967	aller et retour par train, accompagnés
N.B.S. (États-Unis d'Amérique)	72 73	28 octobre 1966	26 juin 1967	aller et retour par avion, accompagnés
N.S.L. (Australie)	S.4447 S.4448 S.41695 S.41697	25 octobre 1966	29 mai 1967	aller et retour par avion, non accompagnés
N.R.C. (Canada)	1029331 1336435 1336436 1336437	21 octobre 1966	23 mai 1967	aller et retour par avion, non accompagnés
L.C.I.E. (France)	1645271 1645273 1645274 1645276	18 novembre 1966	12 mai 1967	aller et retour par la route, accompagnés
I.E.N. (Italie)	755518 1527399 1681955	31 octobre 1966	19 mai 1967	aller et retour par avion, accompagnés
E.T.L. (Japon)	5796 5799 31002 34054	27 octobre 1966	30 juin 1967	aller et retour par avion, non accompagnés
N.F.L. (Royaume-Uni)	713 716	25 octobre 1966	26 juin 1967	aller et retour par avion, accompagnés
I.M.M. (U.R.S.S.)	922 2523	12 décembre 1966	9 mars 1968	aller et retour par avion, accompagnés

SCHÉMAS DE COMPARAISON

1<sup>er</sup> observateur : G. Leclerc (Lc). — En ajoutant 3 étalons du Bureau International aux 29 étalons nationaux voyageurs, cet observateur a constitué un groupe de 32 étalons qu'il a disposés conformément au schéma de la figure 1, chaque étalon étant comparé directement aux huit étalons qui l'entourent. Ce schéma de comparaison a fourni 128 équations de condition.

Les séries « aller » ont été effectuées du 12 décembre 1966 au 24 janvier 1967 et les séries « retour » du 16 mars au 26 avril 1967.

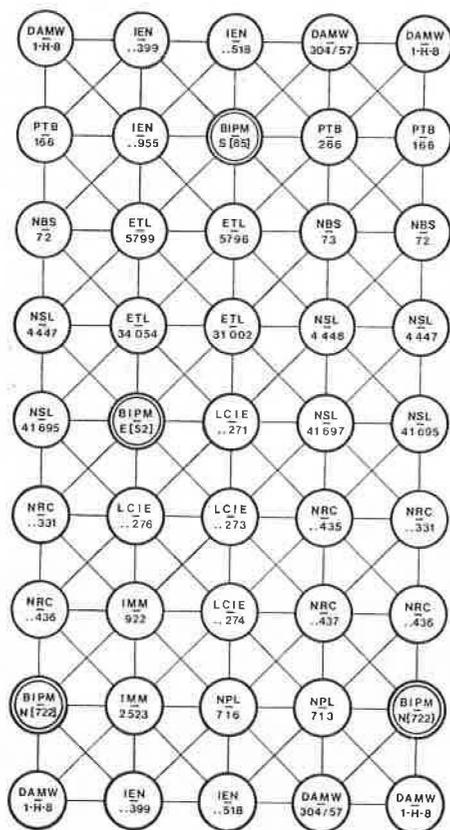


Fig. 1. — Schéma de comparaison utilisé par le 1<sup>er</sup> observateur (Lc).  
Les étalons du B.I.P.M. sont identifiés par un double cercle.

2<sup>e</sup> observateur : J. Milobedzki (Mk). — Cet observateur a utilisé un schéma de comparaison inspiré de ceux employés en 1961 et en 1964 (fig. 2). Les 29 étalons voyageurs et les 5 étalons du B.I.P.M. (tous différents de ceux utilisés par le 1<sup>er</sup> observateur) ont été répartis en 11 groupes (1 groupe principal et 10 groupes secondaires) à l'intérieur desquels ils ont été comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles. Le groupe principal comprenait un étalon représentatif de chaque laboratoire national; il

comportait donc 10 étalons. Chaque groupe secondaire était constitué par l'ensemble des étalons voyageurs appartenant au même laboratoire, y compris l'étalon figurant dans le groupe principal. Pour les cinq laboratoires

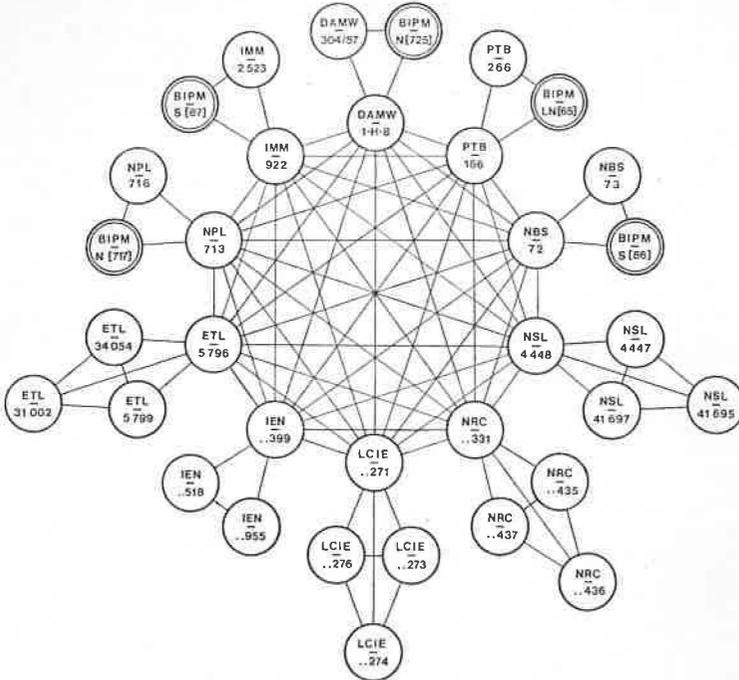


Fig. 2. — Schéma de comparaison utilisé par le 2° observateur (Mk).  
Les étalons du B.I.P.M. sont identifiés par un double cercle.

n'ayant envoyé à Sèvres que deux étalons voyageurs, les groupes secondaires comprenaient un étalon du Bureau International. Ce schéma de comparaison a fourni 87 équations de condition.

Les séries « aller » ont été effectuées du 25 janvier au 17 février 1967 et les séries « retour » du 20 février au 15 mars.

#### RÉDUCTION DES OBSERVATIONS. RÉSULTATS

Les valeurs des étalons voyageurs, exprimées en fonction de  $\Omega_{\text{BIPM}}$  (« unité » de résistance conservée par le Bureau International), ont été déduites de celles des étalons de référence engagés par le B.I.P.M. dans les comparaisons. Pour effectuer ce calcul chaque observateur, appliquant la méthode des moindres carrés, a tiré de ses équations de condition un système de 29 équations normales dont la résolution a été effectuée par un ordinateur. Les résultats obtenus sont contenus dans le tableau II. L'écart-type d'une mesure est de  $0,07 \mu\Omega$  pour Lc et de  $0,06 \mu\Omega$  pour Mk.

Les opérations qui ont permis ensuite de rattacher l'« unité » de résistance conservée par chaque laboratoire national, à celle du Bureau International ( $\Omega_{\text{BIPM}}$ ), sont reproduites dans les tableaux III et IV.

TABLEAU II

Valeurs des étalons à 20 °C, exprimées en  
fonction de l'unité de résistance conservée par le Bureau  
International (C<sub>BIPM</sub>), à la date du 1<sup>er</sup> février 1967

Étalons N <sup>os</sup>	Observateur		Moyenne
	Lc	Mk	
<u>D.A.M.W.</u>			
1H-8 304/57	1,000 066 64	1,000 066 63	1,000 066 64 C <sub>BIPM</sub>
	0,999 995 74	0,999 995 69	0,999 995 71
	<u>1,000 031 19</u>	<u>1,000 031 16</u>	<u>1,000 031 18</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>P.T.B.</u>			
166(1029343) 266(1029335)	0,999 991 79 <sub>5</sub>	0,999 991 78	0,999 991 79 C <sub>BIPM</sub>
	0,999 985 70	0,999 985 70	0,999 985 70
	<u>0,999 988 75</u>	<u>0,999 988 74</u>	<u>0,999 988 74</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>N.B.S.</u>			
72 73	1,000 010 10	1,000 010 06	1,000 010 08 C <sub>BIPM</sub>
	1,000 012 20	1,000 012 17	1,000 012 19
	<u>1,000 011 15</u>	<u>1,000 011 15<sub>5</sub></u>	<u>1,000 011 15</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>N.S.L.</u>			
37922(S-4447) 37923(S-4448) 1217779(S-41695) 1217782(S-41697)	1,000 010 23	1,000 010 20 <sub>5</sub>	1,000 010 22 C <sub>BIPM</sub>
	1,000 006 12	1,000 006 09	1,000 006 11
	0,999 986 56	0,999 986 50	0,999 986 53
	0,999 988 41	0,999 988 45	0,999 988 43
	<u>0,999 997 83</u>	<u>0,999 997 81</u>	<u>0,999 997 82</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>N.R.C.</u>			
1029331 1336435 1336436 1336437	0,999 983 69	0,999 983 67	0,999 983 68 C <sub>BIPM</sub>
	0,999 993 75	0,999 993 77	0,999 993 76
	0,999 991 70	0,999 991 74	0,999 991 72
	0,999 992 90	0,999 992 94	0,999 992 92
	<u>0,999 990 51</u>	<u>0,999 990 53</u>	<u>0,999 990 52</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>L.C.I.E.</u>			
1645271 1645273 1645274 1645276	0,999 974 45	0,999 974 44	0,999 974 45 C <sub>BIPM</sub>
	0,999 975 13	0,999 975 15	0,999 975 14
	0,999 974 46	0,999 974 43 <sub>5</sub>	0,999 974 45
	0,999 975 93	0,999 975 94 <sub>5</sub>	0,999 975 93
	<u>0,999 974 99</u>	<u>0,999 974 99</u>	<u>0,999 974 99</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>I.E.N.</u>			
755518 1527399 1681955	0,999 972 86	0,999 972 82 <sub>5</sub>	0,999 972 84 C <sub>BIPM</sub>
	0,999 963 75	0,999 963 70 <sub>5</sub>	0,999 963 73
	0,999 975 79	0,999 975 80 <sub>5</sub>	0,999 975 79
	<u>0,999 970 80</u>	<u>0,999 970 78</u>	<u>0,999 970 79</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>E.T.L.</u>			
5796 5799 31002 34054	0,999 931 14	0,999 931 10	0,999 931 12 C <sub>BIPM</sub>
	0,999 896 44	0,999 896 47	0,999 896 46
	1,000 438 87	1,000 438 94	1,000 438 90
	1,000 592 65	1,000 592 63	1,000 592 64
	<u>1,000 214 77<sub>5</sub></u>	<u>1,000 214 78<sub>5</sub></u>	<u>1,000 214 78</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>N.P.L.</u>			
713 716	1,000 047 56	1,000 047 54	1,000 047 55 C <sub>BIPM</sub>
	1,000 532 31	1,000 532 32	1,000 532 31
	<u>1,000 289 94</u>	<u>1,000 289 93</u>	<u>1,000 289 93</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>I.M.M.</u>			
922 2523	1,000 014 18	1,000 014 12	1,000 014 15 C <sub>BIPM</sub>
	0,999 992 23	0,999 992 17	0,999 992 20
	<u>1,000 003 20</u>	<u>1,000 003 15</u>	<u>1,000 003 18</u> C <sub>BIPM</sub>
<u>B.I.P.M.</u>			
S(85) N(722) E(52)			1,000 015 67 C <sub>BIPM</sub>
			1,000 031 06 <sub>5</sub>
			1,000 073 62 <sub>5</sub>
S(86) S(87) N(717) N(725) LN(65)			1,000 013 91
			1,000 005 20
			1,000 514 01 <sub>5</sub>
			0,999 999 61 <sub>5</sub>
			1,000 463 58

## TABLEAU III

Valeurs des étalons à 20 °C, en "unité"  
du laboratoire d'origine, à la date du 18 février 1967

Les valeurs au 18 février 1967, date centrale de la comparaison, ont été calculées par interpolation linéaire à partir des valeurs des résistances attribuées aux étalons par les laboratoires nationaux avant et après les mesures au Bureau International.

		<u>D.A.M.W.</u>		
N <sup>os</sup>		12 octobre 1966	12 septembre 1967	18 février 1967
1H-8 304/57		1,000 066 7	1,000 067 3	1,000 066 93 $\Omega$ DAMW
		0,999 996 2	0,999 996 2	0,999 996 20
		1,000 031 45	1,000 031 75	1,000 031 57 $\Omega$ DAMW
		<u>F.T.B.</u>		
		octobre 1966	juillet 1967	
166(1029343) 266(1029335)		0,999 986 6	0,999 987 0	0,999 986 78 $\Omega$ FTB
		0,999 980 4	0,999 980 8	0,999 980 58
		0,999 983 50	0,999 983 90	0,999 983 68 $\Omega$ FTB
		<u>N.B.S.</u>		
		20 septembre 1966	3 juillet 1967	
72 73		1,000 010 1	1,000 010 1	1,000 010 10 $\Omega$ NBS
		1,000 012 5	1,000 012 6	1,000 012 55
		1,000 011 30	1,000 011 35	1,000 011 325 $\Omega$ NBS
Les valeurs à 20°C ont été calculées à partir des observations effectuées au N.B.S. à 25°C.				
		<u>N.S.L.</u>		
		9 juin- 19 octobre 1966	1er-13 juin 1967	
37922(S-4447) 37923(S-4448) 1217779(S-41695) 1217782(S-41697)		1,000 012 4	1,000 013 7	1,000 013 22 $\Omega$ NSL
		1,000 009 8	1,000 009 7	1,000 009 74
		0,999 990 1	0,999 990 2	0,999 990 16
		0,999 992 0	0,999 992 1	0,999 992 06
	1,000 001 075	1,000 001 425	1,000 001 295 $\Omega$ NSL	
		<u>N.R.C.</u>		
		14 octobre 1966	25 septembre 1967	
1029331 1336435 1336436 1336437		0,999 986 4	0,999 986 8	0,999 986 55 $\Omega$ NRC
		0,999 996 5	0,999 996 8	0,999 996 61
		0,999 994 7	0,999 994 8	0,999 994 74
		0,999 995 9	0,999 996 0	0,999 995 94
		0,999 993 375	0,999 993 6	0,999 993 46 $\Omega$ NRC
		<u>L.C.I.E.</u>		
		28 octobre 1966	19 juillet 1967	
1645271 1645273 1645274 1645276		0,999 986 9	0,999 986 9	0,999 986 90 $\Omega$ LCIE
		0,999 987 4	0,999 987 7	0,999 987 53
		0,999 987 0	0,999 986 2	0,999 986 66
		0,999 987 5	0,999 988 1	0,999 987 76
		0,999 987 20	0,999 987 225	0,999 987 21 $\Omega$ LCIE
		<u>I.E.N.</u>		
		24-26 octobre 1966	14-22 juin 1967	
755518 1527399 1681955		0,999 971 8	0,999 972 15	0,999 971 97 $\Omega$ IEN
		0,999 962 75	0,999 963 0	0,999 962 87
		0,999 974 8	0,999 974 9	0,999 974 85
		0,999 969 78	0,999 970 02	0,999 969 90 $\Omega$ IEN
		<u>E.T.L.</u>		
		18 septembre 1966	19 août 1967	
5796 5799 31002 34054		0,999 930 85	0,999 931 52	0,999 931 16 $\Omega$ ETL
		0,999 896 41	0,999 896 47	0,999 896 44
		1,000 438 79	1,000 438 99	1,000 438 88
		1,000 592 34	1,000 592 50	1,000 592 41
	1,000 214 60	1,000 214 87	1,000 214 72 $\Omega$ ETL	
		<u>N.P.L.</u>		
		octobre 1966	juillet 1967	
L-713 L-716		1,000 051 1	1,000 051 1	1,000 051 10 $\Omega$ NPL
		1,000 535 8	1,000 535 7	1,000 535 75
		1,000 293 45	1,000 293 40	1,000 293 43 $\Omega$ NPL
		<u>I.M.M.</u>		
		septembre 1966	avril 1968	
922		1,000 014 9	1,000 014 6	1,000 014 82 $\Omega$ IMM

TABLEAU IV

Valeur de l'"unité" conservée par chaque laboratoire,  
en fonction de  $\Omega_{BIPM}$

Les étalons qui ne figurent pas dans ce tableau ont été éliminés à la demande du laboratoire d'origine parce que leur valeur "retour" montrait qu'ils avaient subi des dommages au cours du transport.

D.A.M.W.

1H-8 304/57	1,000 066 93	$\Omega_{DAMW}$	= 1,000 066 64	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{DAMW} = \Omega_{BIPM} - 0,29$	$\mu\Omega$
	0,999 996 20		= 0,999 995 71			-0,49
	1,000 031 57	$\Omega_{DAMW}$	= 1,000 031 18	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{DAMW} = \Omega_{BIPM} - 0,39$	$\mu\Omega$

F.T.E.

166 266	0,999 986 78	$\Omega_{PTB}$	= 0,999 991 79	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{PTB} = \Omega_{BIPM} + 5,01$	$\mu\Omega$
	0,999 980 58		= 0,999 985 70			+5,12
	0,999 983 68	$\Omega_{PTB}$	= 0,999 988 745	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{PTB} = \Omega_{BIPM} + 5,06$	$\mu\Omega$

N.B.S.

72 73	1,000 010 10	$\Omega_{NBS}$	= 1,000 010 08	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{NBS} = \Omega_{BIPM} - 0,02$	$\mu\Omega$
	1,000 012 55		= 1,000 012 19			-0,36
	1,000 011 325	$\Omega_{NBS}$	= 1,000 011 135	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{NBS} = \Omega_{BIPM} - 0,19$	$\mu\Omega$

N.S.L.

37923 1217779 1217782	1,000 009 74	$\Omega_{NSL}$	= 1,000 006 11	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{NSL} = \Omega_{BIPM} - 3,63$	$\mu\Omega$
	0,999 990 16		= 0,999 986 53			-3,63
	0,999 992 06		= 0,999 988 43			-3,63
	0,999 997 32	$\Omega_{NSL}$	= 0,999 993 69	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{NSL} = \Omega_{BIPM} - 3,63$	$\mu\Omega$

N.R.C.

1029331 1336435 1336436 1336437	0,999 986 55	$\Omega_{NRC}$	= 0,999 983 68	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{NRC} = \Omega_{BIPM} - 2,87$	$\mu\Omega$
	0,999 996 61		= 0,999 993 76			-2,85
	0,999 994 74		= 0,999 991 72			-3,02
	0,999 995 94		= 0,999 992 92			-3,02
	0,999 993 46	$\Omega_{NRC}$	= 0,999 990 52	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{NRC} = \Omega_{BIPM} - 2,94$	$\mu\Omega$

L.C.I.E.

1645271 1645273 1645274 1645276	0,999 986 90	$\Omega_{LCIE}$	= 0,999 974 45	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{LCIE} = \Omega_{BIPM} - 12,45$	$\mu\Omega$
	0,999 987 53		= 0,999 975 14			-12,39
	0,999 986 66		= 0,999 974 45			-12,21
	0,999 987 76		= 0,999 975 93			-11,85
	0,999 987 21	$\Omega_{LCIE}$	= 0,999 974 99	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{LCIE} = \Omega_{BIPM} - 12,22$	$\mu\Omega$

I.E.N.

755518 1527399 1681955	0,999 971 97	$\Omega_{IEN}$	= 0,999 972 84	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{IEN} = \Omega_{BIPM} + 0,87$	$\mu\Omega$
	0,999 962 87		= 0,999 963 73			+ 0,86
	0,999 974 85		= 0,999 975 79			+ 0,94
	0,999 969 90	$\Omega_{IEN}$	= 0,999 970 79	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{IEN} = \Omega_{BIPM} + 0,89$	$\mu\Omega$

E.T.L.

5796 5799 31002 34054	0,999 931 16	$\Omega_{ETL}$	= 0,999 931 12	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{ETL} = \Omega_{BIPM} - 0,04$	$\mu\Omega$
	0,999 896 44		= 0,999 896 46			+ 0,02
	1,000 438 88		= 1,000 438 90			+ 0,02
	1,000 592 41		= 1,000 592 64			+ 0,23
	1,000 214 72	$\Omega_{ETL}$	= 1,000 214 78	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{ETL} = \Omega_{BIPM} + 0,06$	$\mu\Omega$

N.F.L.

713 716	1,000 051 10	$\Omega_{NPL}$	= 1,000 047 55	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{NPL} = \Omega_{BIPM} - 3,55$	$\mu\Omega$
	1,000 535 75		= 1,000 532 31			-3,44
	1,000 293 43	$\Omega_{NPL}$	= 1,000 289 93	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{NPL} = \Omega_{BIPM} - 3,50$	$\mu\Omega$

I.M.M.

922 2523	1,000 014 82	$\Omega_{IMM}$	= 1,000 014 15	$\Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_{IMM} = \Omega_{BIPM} - 0,67$	$\mu\Omega$
	0,999 992 55		= 0,999 992 20			-0,35
	1,000 003 69	$\Omega_{IMM}$	= 1,000 003 175	$\Omega_{BIPM}$	$\Omega_{IMM} = \Omega_{BIPM} - 0,51$	$\mu\Omega$

Le tableau V contient les résultats finaux de cette 11<sup>e</sup> comparaison.

TABLEAU V

Résultats de la 11<sup>e</sup> comparaison <sup>(1)</sup>  
(au 18 février 1967)

Allemagne { [D.A.M.W.] .....	$\Omega_{DAMW} = \Omega_{BIPM} - 0,4 \mu\Omega$
{ [P.T.B.] .....	$\Omega_{PTB} = + 5,1$
Amérique (États-Unis d') [N.B.S.] .....	$\Omega_{NBS} = - 0,2$
Australie [N.S.L.] .....	$\Omega_{NSL} = - 3,6$
Canada [N.R.C.] .....	$\Omega_{NRC} = - 2,9$
France [L.C.I.E.] .....	$\Omega_{LGIE} = - 12,2$
Italie [I.E.N.] .....	$\Omega_{IEN} = + 0,9$
Japon [E.T.L.] .....	$\Omega_{ETL} = + 0,1$
Royaume-Uni [N.P.L.] .....	$\Omega_{NPL} = - 3,5$
U.R.S.S. [I.M.M.] .....	$\Omega_{IMM} = - 0,5$

CONCLUSION

Le nombre et la qualité des étalons voyageurs qui participent maintenant aux comparaisons, permettent probablement de rattacher les « unités » de résistance utilisées par les divers laboratoires nationaux à celle qui est conservée par le Bureau International ( $\Omega_{BIPM}$ ) à quelques  $10^{-7}$  près. Cette précision sera difficile à améliorer dans un proche avenir, car elle est surtout limitée par les variations aléatoires des étalons dues à leur transport.

Compte tenu de cette précision, les résultats de la 11<sup>e</sup> comparaison des étalons nationaux de résistance électrique confirment en général les évolutions relatives des « unités nationales » mises en évidence par les comparaisons précédentes (*Comité Consultatif d'Électricité*, 11<sup>e</sup> session, 1965, p. E 26, tableau VI).

(Avril 1968)

<sup>(1)</sup> Voir page E 14 les changements que les laboratoires nationaux ont prévu d'apporter à leur « unité » de résistance à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1969 ou peu après.

ANNEXE E 3

---

**Rapport**  
**sur la 11<sup>e</sup> comparaison des étalons nationaux**  
**de force électromotrice**

(janvier — avril 1967)

Par G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

---

Cette comparaison des étalons nationaux de force électromotrice a eu lieu au début de l'année 1967, en même temps que celle des étalons de résistance. Les piles sont parvenues au Bureau International et en sont reparties dans les mêmes conditions et aux mêmes dates que les étalons de résistance <sup>(1)</sup>, sauf celles de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev qui ont été reprises le 24 février 1968, un peu plus tôt que les résistances. Chaque laboratoire national a envoyé cinq ou six piles et cette précaution s'est révélée fort heureuse car le nombre des étalons qui ont eu à souffrir du transport a été cette fois plus élevé qu'à l'ordinaire.

Comme à l'accoutumée, les étalons (piles au sulfate de cadmium saturées) ont été conservés pendant plusieurs semaines dans un bain d'huile, à l'abri de la lumière et à  $20 \pm 0,2$  °C, avant d'être comparés.

Tous les étalons appartenant à un même laboratoire ont constitué un groupe.

Les mesures ont été effectuées par deux observateurs, G. Leclerc (Lc) et J. Milobedzki (Mk), opérant indépendamment l'un de l'autre; chaque observateur a comparé deux à deux, dans toutes les combinaisons possibles, les dix groupes nationaux et un groupe du Bureau International (groupe S<sub>2</sub> pour Lc, groupe M<sub>1</sub> pour Mk).

Les cinquante-cinq séries « aller » et les cinquante-cinq séries « retour » de chaque observateur ont été faites symétriquement dans le temps par rapport à une date centrale commune, le 18 février 1967, suivant nos méthodes de mesure habituelles (*Travaux et Mémoires B.I.P.M.*, 21, 1952, pp. 43-65).

---

<sup>(1)</sup> Voir Annexe 2, p. E 31, tableau I.

Les résultats des mesures, traités par la méthode des moindres carrés, ont permis à chaque observateur d'exprimer d'abord la valeur de chaque groupe en fonction de la moyenne des 11 groupes comparés (écart-type d'une mesure : 0,12  $\mu$ V pour Lc et 0,20  $\mu$ V pour Mk) puis, par l'intermédiaire

TABLEAU I

Valeurs des piles étalons, exprimées en  
"unité" du laboratoire d'origine, à la date du 18 février 1967

Pour chaque élément, cette valeur est la moyenne des valeurs attribuées par le laboratoire d'origine avant et après les mesures au Bureau International.

Nos des piles	<u>D.A.M.W.</u>		Valeurs moyennes admises au 18 février 1967
	12 octobre 1966	10 octobre 1967	
60/485	1,018 653 5	1,018 653 2	1,018 653 35 $V_{DAMW}$
60/487	656 0	654 8	655 40
60/507	656 8	628 6	642 70
60/508	658 6	659 1	658 85
5422	656 7	664 0	660 35
11/64	626 5	631 6	629 05
<u>P.T.B.</u>			
	octobre 1966	juin 1967	
661	1,018 636 6	1,018 636 4	1,018 636 50 $V_{PTB}$
662	636 9	636 7	636 80
663	638 4	639 4	638 90
664	635 6	635 3	635 45
665	636 1	636 0	636 05
<u>N.B.S.</u>			
	1 <sup>er</sup> au 19 juillet 1966	21 septembre 6 octobre 1967	
959	1,018 626 0	1,018 626 0	1,018 626 0 $V_{NBS}$
960	632 5	632 5	632 5
964	627 7	628 7	628 2
965	621 0	621 4	621 2
1173	654 9	655 5	655 2
1174	650 3	650 8	650 5 <sub>5</sub>
<u>N.S.L.</u>			
	29 août - 20 octobre 66	6-15 juin 67	
H-4350	1,018 552 6	1,018 549 4	1,018 551 0 $V_{NSL}$
H-4596	552 4	551 8	552 1
G-9521	562 0	561 1	561 5 <sub>5</sub>
G-9668	562 1	561 2	561 6 <sub>5</sub>
10403	607 9	608 0	607 9 <sub>5</sub>
10412	599 3	599 4	599 3 <sub>5</sub>
<u>N.R.C.</u>			
	19 septembre - 4 octobre 1966	26 juin-22 septembre 1967	
5914	1,018 625 2	1,018 625 1	1,018 625 15 $V_{NRC}$
5916	624 6	624 2	624 4
5917	625 5	625 9	625 7
5918	623 5	623 6	623 55
1904	517 7		
405424	596 0		
<u>L.C.I.E.</u>			
	24 octobre 1966	29 mai 1967	
7353	1,018 632 0	1,018 630 6	1,018 631 3 $V_{LCIE}$
7356	631 2	629 6	630 4
7357	632 1	630 0	631 0 <sub>5</sub>
7358	626 6	624 4	625 5 <sub>5</sub>
7359	629 5	628 0	628 75

TABLEAU I (Suite)

	<u>I.E.N.</u>		Valeurs moyennes admisses au 16 février 1967
	10 - 28 octobre 1966	19 juillet 67	
1957	1,018 599 6	1,018 598 15	1,018 598 87 <sup>5</sup> V <sub>IE</sub>
1958	598 3	598 8	598 55 <sup>5</sup>
1959	599 2 <sup>5</sup>	598 15	598 70
1960	600 1 <sup>5</sup>	600 9	600 50
1961	599 7	598 95	599 32 <sup>5</sup>
1962	597 9	598 1	598 00 <sup>5</sup>
	<u>E.T.I.</u>		
	29 septembre 1966	24 août 1967	
A.71	1,018 613 07	1,018 612 96	1,018 613 01 <sup>5</sup> V <sub>ETL</sub>
A.78	615 80	615 97	615 88 <sup>5</sup>
A.82	614 42	614 39	614 40 <sup>5</sup>
A.1579	603 96	605 01	604 48 <sup>5</sup>
456	655 80	658 45	657 12 <sup>5</sup>
579	645 29	646 03	645 66 <sup>5</sup>
	<u>N.P.L.</u>		
	septembre 1966	septembre 1967	
5821	1,018 587 0	1,018 587 0	1,018 587 00 V <sub>NPL</sub>
5822	586 2	585 5	585 85
5823	587 5	586 9	587 20
5824	608 3	608 2	608 25
5825	606 9	606 9	606 90
5826	612 1	611 8	611 95
	<u>I.M.M.</u>		
	octobre 1966	avril 1968	
5641	1,018 620 8	1,018 619 7	1,018 620 25 V <sub>IMM</sub>
5648	620 1	619 2	619 65
5649	619 3	618 0	618 65
5651	617 4	617 0	617 20
5661	619 4	620 0	619 70
	<u>B.I.P.M. (S<sub>2</sub>)</u>		
	décembre 1966	22 mai - 3 juin 1967	
820	1,018 625 58	1,018 624 78	1,018 625 18 V <sub>BIPM</sub>
822	625 72	625 34	625 53
823	625 44	625 04	625 24
824	620 87	621 06	620 96 <sup>5</sup>
826	626 08	625 92	626 00 <sup>5</sup>
827	624 08	623 81	623 94 <sup>5</sup>
	<u>B.I.P.M. (M<sub>4</sub>)</u>		
	décembre 1966	avril 1967	
2295	1,018 614 54	1,018 614 35	1,018 614 44 <sup>5</sup> V <sub>BIPM</sub>
2297	591 11	592 17	591 64 <sup>5</sup>
2298	597 28	596 42	596 85
2300	604 46	603 70	604 08
2316	603 46	602 70	603 08
2318	596 11	595 65	595 88

du groupe de référence du Bureau International (S<sub>2</sub> pour Lc, M<sub>1</sub> pour Mk), en fonction de « l'unité » de force électromotrice, V<sub>BIPM</sub>, conservée par celui-ci.

La force électromotrice de chaque pile a été calculée ensuite en tenant compte de la différence qu'elle présentait par rapport à la force électromotrice moyenne du groupe dont elle faisait partie.

Les calculs successivement effectués sont rassemblés dans les tableaux I à V.

TABLEAU II

Valeurs des groupes, exprimées en fonction de  
l'unité conservée par le Bureau International (V<sub>BIPM</sub>)

$$m_1 = \frac{1}{11} \left[ \text{DAMW} + \text{PTB} + \text{NBS} + \text{NSL} + \text{NRC} + \text{LCIE} + \text{IEN} + \text{ETL} + \text{NPL} \right. \\ \left. + \text{IMM} + S_2 \right]$$

$$m_2 = \frac{1}{11} \left[ \text{DAMW} + \text{PTB} + \text{NBS} + \text{NSL} + \text{NRC} + \text{LCIE} + \text{IEN} + \text{ETL} + \text{NPL} \right. \\ \left. + \text{IMM} + M_4 \right]$$

Observateur	Lc	Mk
D.A.M.W. =	$m_1 + 25,00 \mu\text{V}$	$m_2 + 26,87 \mu\text{V}$
P.T.B. =	+ 17,87	+ 20,14
N.B.S. =	+ 14,86	+ 16,93
N.S.L. =	- 40,94	- 38,73
N.R.C. =	- 4,89	- 2,74
L.C.I.E. =	+ 6,29	+ 8,31
I.E.N. =	- 20,11	- 18,02
E.T.L. =	+ 3,91	+ 6,14
N.P.L. =	- 17,73	- 15,55
I.M.M. =	+ 9,50	+ 11,59
$S_2$ =	+ 6,25	
$M_4$ =		- 14,94

Mais  $S_2 = 1,018\ 624\ 48\ V_{\text{BIPM}}$   
d'où  $m_1 = 1,018\ 618\ 23\ V_{\text{BIPM}}$

et  $M_4 = 1,018\ 601\ 00\ V_{\text{BIPM}}$   
d'où  $m_2 = 1,018\ 615\ 94\ V_{\text{BIPM}}$

On en déduit :

	Lc	Mk	Moyenne
D.A.M.W. =	1,018 643 23	1,018 642 81	1,018 643 02 $V_{\text{BIPM}}$
P.T.B. =	636 10	636 08	636 09
N.B.S. =	633 09	632 87	632 98
N.S.L. =	577 29	577 21	577 25
N.R.C. =	613 34	613 20	613 27
L.C.I.E. =	624 52	624 25	624 38 <sub>5</sub>
I.E.N. =	598 12	597 92	598 02
E.T.L. =	622 14	622 08	622 11
N.P.L. =	600 50	600 39	600 44 <sub>5</sub>
I.M.M. =	627 73	627 53	627 63 <sub>5</sub>

TABLEAU III

Écart observé entre la force électromotrice de chaque pile étalon  
et la moyenne du groupe dont elle fait partie

Nos	Observateur	
	Lo	Mk
<u>D.A.M.W.</u>		
11/64	- 19,91 $\mu$ V	- 19,62 $\mu$ V
485	+ 3,64	+ 3,43
487	+ 5,57	+ 5,47
507	+ 4,96	+ 5,69
508	+ 8,66	+ 8,76
5422	+ 7,00	+ 7,65
<u>P.T.B.</u>		
661	- 0,16	- 0,17
662	+ 0,12	+ 0,16
663	+ 1,68	+ 1,64
664	- 1,06	- 1,06
665	- 0,58	- 0,57
<u>N.B.S.</u>		
959	- 9,51	- 9,66
960	- 3,11	- 3,07
964	- 7,56	- 7,63
965	- 14,15	- 14,18
1173	+ 19,49	+ 19,60
1174	+ 14,84	+ 14,94
<u>N.S.L.</u>		
H.4350	- 22,64	- 22,64
H.4596	- 20,19	- 20,21
G.9521	- 10,49	- 10,55
G.9668	- 10,24	- 10,35
10403	+ 35,90	+ 35,97
10412	+ 27,66	+ 27,78
<u>N.R.C.</u>		
5914	+ 8,75	+ 8,71
5916	+ 8,12	+ 8,11
5917	+ 9,56	+ 9,53
5918	+ 7,18	+ 7,19
1904	+ 6,81	+ 6,82
405424	- 40,42	- 40,36
<u>L.C.T.E.</u>		
7353	+ 1,16	+ 1,38
7356	+ 1,01	+ 0,94
7357	+ 2,63	+ 2,52
7358	- 4,58	- 4,68
7359	- 0,22	- 0,16
<u>I.E.N.</u>		
1957	- 0,10	- 0,04
1958	- 0,88	- 0,88
1959	- 0,05	- 0,11
1960	+ 1,65	+ 1,63
1961	+ 0,40	+ 0,39
1962	- 1,02	- 0,99
<u>E.T.L.</u>		
456	+ 30,64	+ 30,70
579	+ 20,15	+ 20,14
A.71	- 11,62	- 11,67
A.78	- 8,78	- 8,83
A.82	- 10,07	- 10,13
A.1579	- 20,31	- 20,21
<u>N.P.L.</u>		
5821	- 11,26	- 11,30
5822	- 11,80	- 11,84
5823	- 10,45	- 10,41
5824	+ 10,58	+ 10,55
5825	+ 9,04	+ 9,02
5826	+ 13,89	+ 13,99
<u>I.M.M.</u>		
5641	- 0,59	- 0,96
5648	- 0,38	- 0,30
5649	+ 0,15	+ 0,26
5651	- 0,44	- 0,35
5661	+ 1,26	+ 1,34

TABLEAU IV

Valeurs des piles étalons de chaque groupe, exprimées  
en fonction de  $V_{BIPM}$

Nos	Observateur		Moyenne
	Lo	Mk	
		<u>D.A.M.W.</u>	
11/64	1,018 623 32	1,018 623 19	1,018 623 26 $V_{BIPM}$
485	646 87	646 24	646 56
487	648 80	648 28	648 54
507	638 27	637 12	637 70
508	651 89	651 57	651 73
5422	650 23	650 47	650 35
		<u>P.T.B.</u>	
661	1,018 635 94	1,018 635 91	1,018 635 92,5 $V_{BIPM}$
662	636 22	636 24	636 23
663	637 78	637 72	637 75
664	635 04	635 02	635 03
665	635 52	635 51	635 51,5
		<u>N.B.S.</u>	
959	1,018 623 58	1,018 623 21	1,018 623 39,5 $V_{BIPM}$
960	629 98	629 80	629 89,5
964	625 57	625 24	625 38,5
965	618 94	618 69	618 81,5
1173	652 58	652 47	652 52,5
1174	647 93	647 81	647 87
		<u>N.S.L.</u>	
H-4350	1,018 554 65	1,018 554 57	1,018 554 61 $V_{BIPM}$
H-4596	557 10	557 00	557 05
0-9521	566 80	566 66	566 73
0-9668	567 04,5	566 86	566 95
10403	613 19,5	613 18	613 18,5
10412	604 95,5	604 99	604 97,5
		<u>N.R.C.</u>	
5914	1,018 622 09	1,018 621 91,5	1,018 622 00 $V_{BIPM}$
5916	621 46	621 31,5	621 38,5
5917	622 90	622 73	622 81,5
5918	620 52	620 39	620 45,5
1904	620 15	620 02	620 08,5
405424	572 92	572 84	572 88,5
		<u>L.C.I.E.</u>	
7353	1,018 625 68	1,018 625 63	1,018 625 65,5 $V_{BIPM}$
7356	625 53	625 19	625 36
7357	627 15	626 77	626 96
7358	619 94	619 57	619 75,5
7359	624 30	624 09	624 19,5
		<u>I.E.N.</u>	
1957	1,018 598 02	1,018 597 88	1,018 597 95 $V_{BIPM}$
1958	597 24	597 04	597 14
1959	598 07	597 81,5	597 94
1960	599 77	599 55	599 66
1961	598 52	598 31	598 41,5
1962	597 10	596 93	597 01,5
		<u>E.T.L.</u>	
456	1,018 652 78	1,018 652 78	1,018 652 78 $V_{BIPM}$
579	642 29	642 22	642 25,5
A.71	610 52	610 41	610 46,5
A.78	613 36	613 25	613 30,5
A.82	612 07	611 95	612 01,5
A.1579	601 83	601 87	601 85
		<u>N.P.L.</u>	
5821	1,018 589 24	1,018 589 09	1,018 589 16,5 $V_{BIPM}$
5822	588 70	588 55	588 62,5
5823	590 06	589 98	590 02,5
5824	611 08	610 94	611 01
5825	609 54	609 41	609 47,5
5826	614 39	614 38	614 38,5
		<u>I.M.M.</u>	
5641	1,018 627 14	1,018 626 57	1,018 626 85,5 $V_{BIPM}$
5648	627 35,5	627 23	627 29,5
5649	627 88,5	627 79	627 85,5
5651	627 29	627 18	627 23,5
5661	628 98,5	628 87	628 93,5

Valeur de l'unité conservée sur chaque laboratoire  
en fonction de  $V_{BIPM}$

Les piles qui ne figurent pas dans ce tableau ont été éliminées à la demande du laboratoire d'origine, parce que leur valeur "retour" montrait qu'elles avaient subi des dommages en cours de transport.

D.A.M.W.

60/485	1,018	653 35	$V_{DAMW} =$	1,018	646 56	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{DAMW} = V_{BIPM} - 6,67 \mu V$
60/487		655 40	$=$		648 54			$= - 6,73$
60/508		658 85	$=$		651 73			$= - 6,99$
	1,018	655 87	$V_{DAMW} =$	1,018	648 94	$V_{BIPM}$		$V_{DAMW} = V_{BIPM} - 6,80 \mu V$

P.T.B.

661	1,018	636 5	$V_{PTB} =$	1,018	635 92	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{PTB} = V_{BIPM} - 0,57 \mu V$
662		636 8	$=$		636 23			$= - 0,56$
663		638 9	$=$		637 75			$= - 1,13$
654		635 45	$=$		635 03			$= - 0,41$
665		636 05	$=$		635 52			$= - 0,52$
	1,018	636 74	$V_{PTB} =$	1,018	636 09	$V_{BIPM}$		$V_{PTB} = V_{BIPM} - 0,64 \mu V$

N.B.S.

959	1,018	626 0	$V_{NBS} =$	1,018	623 40	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{NBS} = V_{BIPM} - 2,55 \mu V$
960		632 5	$=$		629 89			$= - 2,56$
964		628 2	$=$		625 38			$= - 2,77$
965		621 2	$=$		618 82			$= - 2,34$
1173		655 2	$=$		652 52			$= - 2,65$
1174		650 5 <sub>5</sub>	$=$		647 87			$= - 2,63$
	1,018	635 61	$V_{NBS} =$	1,018	632 98	$V_{BIPM}$		$V_{NBS} = V_{BIPM} - 2,58 \mu V$

N.S.L.

H-4596	1,018	552 1	$V_{NSL} =$	1,018	557 05	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{NSL} = V_{BIPM} + 4,86 \mu V$
G-9521		561 55	$=$		566 73			$= + 5,09$
G-9668		561 65	$=$		566 95			$= + 5,20$
10403		607 95	$=$		613 19			$= + 5,14$
10412		599 35	$=$		604 97			$= + 5,52$
	1,018	576 52	$V_{NSL} =$	1,018	581 78	$V_{BIPM}$		$V_{NSL} = V_{BIPM} + 5,16 \mu V$

N.R.C.

5914	1,018	625 15	$V_{NRC} =$	1,018	622 00	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{NRC} = V_{BIPM} - 3,09 \mu V$
5916		624 4	$=$		621 38			$= - 2,96$
5917		625 7	$=$		622 82			$= - 2,83$
5918		623 55	$=$		620 46			$= - 3,03$
	1,018	624 7	$V_{NRC} =$	1,018	621 66	$V_{BIPM}$		$V_{NRC} = V_{BIPM} - 2,98 \mu V$

L.C.I.E.

7353	1,018	631 3	$V_{LCIE} =$	1,018	625 65	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{LCIE} = V_{BIPM} - 5,54 \mu V$
7356		630 4	$=$		625 35			$= - 4,95$
7357		631 0 <sub>5</sub>	$=$		626 96			$= - 4,02$
7358		625 5 <sub>5</sub>	$=$		619 75			$= - 5,64$
7359		628 7 <sub>5</sub>	$=$		624 19 <sub>5</sub>			$= - 4,47$
	1,018	629 40	$V_{LCIE} =$	1,018	624 38 <sub>5</sub>	$V_{BIPM}$		$V_{LCIE} = V_{BIPM} - 4,92 \mu V$

I.E.N.

1957	1,018	598 88	$V_{IEN} =$	1,018	597 95	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{IEN} = V_{BIPM} - 0,91 \mu V$
1959		600 70	$=$		597 94			$= - 0,75$
1960		600 50	$=$		599 66			$= - 0,82$
1961		599 32	$=$		598 41			$= - 0,89$
1962		598 00	$=$		597 02			$= - 0,96$
	1,018	599 08	$V_{IEN} =$	1,018	598 20	$V_{BIPM}$		$V_{IEN} = V_{BIPM} - 0,86 \mu V$

E.T.L.

A.71	1,018	613 02	$V_{ETL} =$	1,018	610 46	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{ETL} = V_{BIPM} - 2,51 \mu V$
A.78		615 88	$=$		613 30			$= - 2,53$
A.82		614 40	$=$		612 01			$= - 2,35$
A.1579		604 49	$=$		601 85			$= - 2,59$
579		645 66	$=$		642 26			$= - 3,34$
	1,018	618 69	$V_{ETL} =$	1,018	615 98	$V_{BIPM}$		$V_{ETL} = V_{BIPM} - 2,66 \mu V$

N.P.L.

5822	1,018	585 85	$V_{NPL} =$	1,018	588 62 <sub>5</sub>	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{NPL} = V_{BIPM} + 2,72 \mu V$
5823		587 20	$=$		590 02			$= + 2,77$
5824		608 25	$=$		611 01			$= + 2,71$
5825		606 90	$=$		609 47 <sub>5</sub>			$= + 2,53$
5826		611 95	$=$		614 38 <sub>5</sub>			$= + 2,39$
	1,018	600 03	$V_{NPL} =$	1,018	602 70	$V_{BIPM}$		$V_{NPL} = V_{BIPM} + 2,62 \mu V$

I.M.M.

5641	1,018	620 25	$V_{IMM} =$	1,018	626 85	$V_{BIPM}$	d'où	$V_{IMM} = V_{BIPM} + 6,48 \mu V$
5648		619 65	$=$		627 29			$= + 7,50$
5649		618 65	$=$		627 84			$= + 9,02$
5651		617 20	$=$		627 23			$= + 9,85$
5661		619 70	$=$		628 93			$= + 9,06$
	1,018	619 09	$V_{IMM} =$	1,018	627 63	$V_{BIPM}$		$V_{IMM} = V_{BIPM} + 8,38 \mu V$

RÉSULTATS

Les résultats de la 11<sup>e</sup> comparaison des étalons nationaux de force électromotrice sont contenus dans le tableau VI, qui donne les écarts entre les « unités » des laboratoires nationaux, telles qu'elles sont représentées par leurs étalons, et l'« unité » conservée par le Bureau International des Poids et Mesures ( $V_{\text{BIPM}}$ ).

TABLEAU VI  
*Résultats de la 11<sup>e</sup> comparaison (1)*  
 (au 18 février 1967)

Allemagne { [D.A.M.W.] .....	$V_{\text{DAMW}} = V_{\text{BIPM}} - 6,8 \mu\text{V}$
{ [P.T.B.] .....	$V_{\text{PTB}} = \quad \quad - 0,6$
Amérique (États-Unis d') [N.B.S.] .....	$V_{\text{NBS}} = \quad \quad - 2,6$
Australie [N.S.L.] .....	$V_{\text{NSL}} = \quad \quad + 5,2$
Canada [N.R.C.] .....	$V_{\text{NRC}} = \quad \quad - 3,0$
France [L.C.I.E.] .....	$V_{\text{LGIE}} = \quad \quad - 4,9$
Italie [I.E.N.] .....	$V_{\text{IEN}} = \quad \quad - 0,9$
Japon [E.T.L.] .....	$V_{\text{ETL}} = \quad \quad - 2,7$
Royaume-Uni [N.P.L.] .....	$V_{\text{NPL}} = \quad \quad + 2,6$
U.R.S.S. [I.M.M.] .....	$V_{\text{IMM}} = \quad \quad + 8,4$

CONCLUSION

En dépit de la fragilité des piles et de leur peu d'aptitude aux transports, le nombre important des étalons engagés par chaque laboratoire dans la 11<sup>e</sup> comparaison autorise à penser que les résultats du tableau VI sont connus à  $0,5 \mu\text{V}$  près.

Depuis plusieurs années presque toutes les « unités nationales » montrent une légère diminution par rapport à l'unité conservée par le B.I.P.M. On peut donc suspecter celle-ci d'augmenter avec le temps.

On constate aussi que  $V_{\text{BIPM}}$  est supérieur à la plupart des « unités » nationales; rappelons d'ailleurs qu'en 1965 le Comité Consultatif d'Électricité avait déjà admis que l'« unité » de force électromotrice conservée par le Bureau International semblait trop élevée de  $11 \times 10^{-6}$ .

Nous croyons donc le moment venu de corriger  $V_{\text{BIPM}}$  pour le rapprocher de sa valeur théorique, quitte à le corriger de nouveau dans quelques années lorsque les résultats des déterminations absolues du volt actuellement en cours seront connus. Nous pensons que cet ajustement complémentaire serait peu important eu égard à l'écart qui existe actuellement entre  $V_{\text{BIPM}}$  et le volt absolu, et par conséquent peu gênant.

(Avril 1968)

(1) Suivant la Recommandation E 1 du C.C.E. (voir p. E 17), le Comité International des Poids et Mesures a approuvé en octobre 1968 la correction de  $-11 \times 10^{-6}$  à apporter à  $V_{\text{BIPM}}$  à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1969. Les laboratoires nationaux ont également décidé d'ajuster leur « unité » de force électromotrice à la même date ou peu après (voir p. E 14).

## ANNEXE E 4

---

### Premiers résultats de la comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF

Bureau International des Poids et Mesures

---

Cette comparaison a été organisée par le Bureau International des Poids et Mesures conformément à la Recommandation E 4 du Comité Consultatif d'Électricité (1963).

Les laboratoires nationaux qui se sont engagés dans cette comparaison doivent, à tour de rôle, déterminer la capacité de trois condensateurs étalons de 10 pF à diélectrique de silice fondue construits par le N.B.S. (1), à la fréquence de 1 592 Hz ( $10^4$  rad/s) et à la température de 20 ou de 25 °C.

Les laboratoires participants ont été répartis en quatre groupes, mais le N.B.S. figure dans chacun de ces groupes; il peut ainsi contrôler périodiquement, à intervalles assez rapprochés, le comportement des étalons voyageurs au cours du temps (évolution naturelle ou variation accidentelle due aux manipulations et aux transports).

Les laboratoires des deux premiers groupes ont terminé leurs mesures; les résultats obtenus sont donnés dans le tableau I.

Pour rendre ces résultats comparables ils sont tous donnés à 25 °C; nous avons donc dû appliquer à ceux du N.R.C. et de l'E.T.L., déterminés à 20 °C, les corrections de passage de 20 à 25 °C communiquées par le N.B.S. Il peut y avoir là une petite cause d'incertitude, aussi a-t-on prévu de redéterminer la valeur des corrections de passage à la fin de la comparaison.

On constate que les étalons voyageurs ont bien supporté jusqu'à présent les déplacements et que leur stabilité paraît être de l'ordre de quelques  $10^{-7}$  par an, c'est-à-dire comparable à celle des étalons de résistance de 1  $\Omega$ .

La précision des mesures étant de quelques  $10^{-7}$  (ou mieux) dans tous les

---

(1) Ces condensateurs font partie du groupe d'étalons décrits par R. D. Cutkosky et L. H. Lee dans *J. Research N.B.S.*, 69-C, n° 3, 1965, p. 173. Voir aussi *Comité Consultatif d'Électricité*, 10<sup>e</sup> session, 1963, p. 44 et 11<sup>e</sup> session, 1965, p. 65.

TABLEAU I

*Résultats des deux premiers cycles de la  
comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF*

$C = 10 (1 + \Delta \times 10^{-6})$  pF  
Valeur de  $\Delta$  à 25 °C, à la fréquence de 1 592 Hz

Étalon N°	N.B.S. 1 <sup>er</sup> sept. 66 (100 V)		N.R.C. (1) 23/30 sept. 66 (10 V)		N.P.L. oct.-déc. 66		N.B.S. 1 <sup>er</sup> janv. 67 (100 V)		N.S.L. 1 <sup>er</sup> avril 67		E.T.L. (1) 19 déc. 67 (10 V)		N.B.S. 1 <sup>er</sup> fév. 68 (100 V)	
156 775 (108) . . . .	—	16,5 <sub>4</sub>	—	15,0*	—	22	—	16,4 <sub>9</sub>	—	15,1 <sub>8</sub>	—	14,1 <sub>9</sub>	—	16,3 <sub>7</sub>
159 852 (119) . . . .	—	3,6 <sub>6</sub>	—	0,8*	—	9	—	3,5 <sub>0</sub>	—	2,2 <sub>8</sub>	—	+ 0,1 <sub>9</sub>	—	3,3 <sub>6</sub>
159 853 (120) . . . .	—	3,3 <sub>2</sub>	—	1,6*	—	9	—	3,3 <sub>0</sub>	—	2,0 <sub>0</sub>	—	—	—	3,0 <sub>8</sub>
Moyenne . . . . .	—	7,8 <sub>4</sub>	—	5,8*	—	13,3	—	7,7 <sub>6</sub>	—	6,5 <sub>1</sub>	—	4,8 <sub>7</sub>	—	7,6 <sub>9</sub>

(1) Le N.R.C. et l'E.T.L. ont déterminé les valeurs des étalons de capacité à 20 °C; les valeurs à 25 °C données dans ce tableau ont été calculées en tenant compte des écarts mesurés entre 20 et 25 °C par le N.B.S.

(\*) Ces résultats tiennent compte d'une correction de  $-4,0 \times 10^{-6}$  appliquée par le N.R.C. aux valeurs qu'il avait communiquées en 1966; cette correction résulte d'améliorations apportées au condensateur primaire et à la technique de mesure (lettre du N.R.C. du 14 juillet 1969).

laboratoires, les résultats des comparaisons permettent de chiffrer les écarts qui séparent les unités de capacité conservées par chacun d'eux. On peut ainsi remarquer qu'il existe encore des différences supérieures au millionième entre les unités de capacité des laboratoires (N.B.S., N.S.L., N.R.C. et E.T.L.) utilisant comme étalon primaire un condensateur calculable du type Thompson-Lampard. L'écart observé entre l'unité du N.P.L. et celle du N.B.S. :  $-5,5 \times 10^{-6}$  confirme de façon excellente la différence déterminée antérieurement :  $(-5,4 \pm 0,2) \times 10^{-6}$ .

Le troisième cycle de comparaisons est en cours depuis mars 1968. Les condensateurs ont déjà été mesurés par le National Physical Research Laboratory (Pretoria); ils le seront prochainement par le Laboratoire Central des Industries Électriques (Fontenay-aux-Roses), puis par l'Istituto Elettrotecnico Nazionale (Turin) avant de retourner au N.B.S.

Au cours du quatrième et dernier cycle les étalons circuleront entre la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Braunschweig), le Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung (Berlin) et l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléév (Leningrad), puis ils retourneront définitivement au N.B.S.

Grâce à l'appui généreux du N.B.S., le Bureau International dispose depuis mai 1967 d'un pont pour la comparaison d'étalons de capacité de faibles valeurs. Ce pont peut travailler à 400, 1 000 et 1 592 Hz et sa sensibilité atteint  $10^{-8}$ . A titre expérimental nous avons, en mai et juin 1967, comparé entre eux à l'aide de ce pont les trois condensateurs voyageurs. Nous en avons déduit les valeurs des étalons, rapportées à leur moyenne  $m$  (tableau II, colonne 1); ces résultats sont en bon accord avec la moyenne de ceux obtenus par le N.B.S. au 1<sup>er</sup> janvier 1967 et au 1<sup>er</sup> février 1968 (tableau II, colonne 2).

TABLEAU II

	B.I.P.M. (1)	N.B.S. (2)	
A 25 °C	{	N° 156 775(108) = $m(1 - 8,77 \times 10^{-6})$	$m(1 - 8,75 \times 10^{-6})$
		N° 159 852(119) = $m(1 + 4,27 \times 10^{-6})$	$m(1 + 4,25 \times 10^{-6})$
		N° 159 853(120) = $m(1 + 4,50 \times 10^{-6})$	$m(1 + 4,49 \times 10^{-6})$

Lorsque le B.I.P.M. disposera d'un bain d'huile thermorégulé au millième de degré, il sera prêt à effectuer des comparaisons internationales d'étalons de capacité de faible valeur avec la plus haute précision ( $10^{-8}$ ).

(Septembre 1968; révisé en juillet 1969)

## ANNEXE E 5

---

### Résultats de la seconde partie de la comparaison circulaire des étalons de capacité voyageurs au mica de 0,1 $\mu\text{F}$

Bureau International des Poids et Mesures

---

Conformément à la décision du Comité Consultatif d'Électricité (1965), quatre condensateurs seulement (sur les sept engagés primitivement), jugés suffisamment stables, ont été conservés dans la seconde et dernière partie de la comparaison.

Au cours de cette seconde partie les quatre condensateurs ont été mesurés successivement au National Research Council (novembre-décembre 1965), au National Bureau of Standards (février-mars 1966), de nouveau au National Research Council (avril-septembre 1966), au National Standards Laboratory (novembre 1966-janvier 1967), à l'Electrotechnical Laboratory (février-juin 1967), à l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (juillet 1967-avril 1968), enfin à l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (à partir de mai 1968).

En mars 1966, au cours du transport du N.B.S. au N.R.C., l'emballage métallique qui contenait l'étalon japonais N° 580 409 a été endommagé (paroi latérale enfoncée). Comme on pouvait craindre que le condensateur ait également souffert, le N.R.C. a conservé les étalons pendant plusieurs mois afin d'étudier leur comportement au cours du temps. Il semble que, durant cette période, la valeur du N° 580 409 ait diminué de quelques millionièmes; cependant la variation observée est faible et peu significative.

Dans le tableau I sont reproduites les valeurs des capacités déterminées par les divers laboratoires; le tableau II donne les valeurs des tangentes des angles de pertes.

Au N.B.S. les déterminations ont été effectuées entre 22,9 et 23 °C; les valeurs contenues dans le tableau I, colonne 4, ont été ramenées à 20 °C

TABLEAU I

Étalons de capacité voyageurs au mica de 0,1 µF  
(2<sup>e</sup> partie de la comparaison circulaire)  
Valeurs à 20 °C (unité : pF)

Condensateur N° (1)	Fréquence de mesure (Hz) (2)	I.M.M. (2) 1964 (1963/64/65) (3)	N.B.S. fév.-mars 1966 (4)	N.R.C. (4) mai 1966 (5)	N.S.L. nov. 1966 (6)	E.T.L. fév.-juin 1967 (7)	I.E.N. oct.-nov. 1967 (8)	I.M.M. (5) sept. 1968 (9)
4 482	50	100 026		100 092,1			100 093	
	100		100 084,5					
	500		100 075,3(3)			100 077		
	1 000	100 067	100 069,6	100 070,0	100 071,1	100 073	100 071	100 072,8
	5 000	100 061		100 064,4		100 066		
580 407	50	100 060		100 064,8			100 061,5	
	100		100 057,0					
	500		100 043,9(3)			100 042		
	1 000	100 035	100 036,3	100 036,2	100 035,5	100 037	100 034,75	100 036,2
	5 000	100 027		100 033,4		100 030		
580 409(1)	50	100 061		100 064,8			100 061,5	
	100		100 057,4					
	500		100 044,5(3)			100 042		
	1 000	100 036	100 037,5	100 036,4	100 036,0	100 037	100 035	100 036,4
	5 000	100 028		100 034,4		100 030		
14	50	100 023		100 026,6			100 025,5	
	100		100 019,5					
	500		100 008,4(3)			100 007		
	1 000	100 003	100 003,9	100 003,0	100 002,4	100 004	100 001,5	100 003,4
	5 000	99 996		100 003,2		99 999		
incertitude à 1000 Hz (en 10 <sup>-5</sup> )		± 2	± 6	± 1	± 0,1	± 2	± 2	

- (1) L'emballage de cet étalon a été endommagé lors du transport du N.B.S. au N.R.C. (Washington-Ottawa). La valeur de l'étalon pourrait avoir diminué légèrement à la suite du choc.
- (2) Les résultats de cette colonne sont exprimés en fonction de l'"unité" de capacité déduite des "unités" de résistance et de fréquence de l'I.M.M. (C.C.E., 11<sup>e</sup> session, 1965, p. E 46).
- (3) Au N.B.S. les mesures ont été faites à la fréquence de 400 Hz (au lieu de 500).
- (4) Les résultats donnés pour mai 1966 sont la moyenne de trois séries de mesures faites en novembre-décembre 1965, avril-mai 1966 et septembre-octobre 1966.
- (5) Les résultats de cette colonne sont exprimés en fonction de l'"unité" de capacité de l'I.M.M. déterminée au moyen d'un condensateur calculable.

en appliquant les coefficients de température suivants:

Condensateur N°	α <sup>(1)</sup>
4482	+ 20 × 10 <sup>-6</sup> /°C
580407	+ 10
580409	+ 13
14	+ 32

(1) Une détermination faite par l'E.T.L. en 1967 confirme les coefficients admis pour les condensateurs N°s 580407 et 580409, mais conduit à attribuer aux deux autres les coefficients suivants: α = + 15 × 10<sup>-6</sup>/°C pour le N° 4482 et α = + 28 × 10<sup>-6</sup>/°C pour le N° 14.

TABLEAU II

Étalons de capacité voyageurs au mica de 0,1  $\mu$ F  
(2<sup>e</sup> partie de la comparaison circulaire)  
Valeurs des tangentes des angles de pertes ( $\times 10^4$ )

Condensateur N°	Fréquence de mesure (Hz)	I.M.M. 1964 (1963/64/65)	N.B.S. fév.-mars 1966	N.R.C. mai 1966	N.S.L. nov. 1966	E.T.L. fév.-juin 1967	I.E.N. oct.-nov. 1967	I.M.M. sept. 1968
4 482	50	3,0 $\pm$ 0,3		3,2 $\pm$ 0,2			3,05 $\pm$ 0,3	
	100		2,37 $\pm$ 0,47			1,2 $\pm$ 0,2		
	500 (1)		1,32 $\pm$ 0,26	1,3 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,2		1,21
	1 000	1,1 $\pm$ 0,3	1,17 $\pm$ 0,23	1,4 $\pm$ 0,17		1,6 $\pm$ 0,2		
580 407	50	2,8 $\pm$ 0,3		3,1 $\pm$ 0,2			2,95 $\pm$ 0,3	
	100		2,45 $\pm$ 0,49			1,4 $\pm$ 0,2		
	500 (1)		1,61 $\pm$ 0,32	1,5 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,1	1,4 $\pm$ 0,2		1,45
	1 000	1,4 $\pm$ 0,3	1,43 $\pm$ 0,29	1,6 $\pm$ 0,17		1,8 $\pm$ 0,2		
580 409	50	2,8 $\pm$ 0,3		3,0 $\pm$ 0,2			2,9 $\pm$ 0,3	
	100		2,42 $\pm$ 0,48					
	500 (1)		1,60 $\pm$ 0,32	1,5 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,2		1,40
	1 000	1,35 $\pm$ 0,3	1,40 $\pm$ 0,28	1,5 $\pm$ 0,17		1,8 $\pm$ 0,2		
14	50	4,75 $\pm$ 0,3		5,2 $\pm$ 0,2			4,65 $\pm$ 0,3	
	100		3,50 $\pm$ 0,70			1,3 $\pm$ 0,2		
	500 (1)		1,56 $\pm$ 0,31	1,2 $\pm$ 0,1	1,0 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,2		1,20
	1 000	1,0 $\pm$ 0,3	1,08 $\pm$ 0,22	1,2 $\pm$ 0,17		1,3 $\pm$ 0,2		
	5 000	1,1 $\pm$ 0,3						

(1) 400 Hz pour le N.B.S.

TABLEAU III

*Étalons de capacité voyageurs au mica de 0,1 µF*  
 (2<sup>e</sup> partie de la comparaison circulaire)  
*Capacités, mesurées à 1 000 Hz, admises en 1966*  
 (unité: pF)

Condensateur N°	I.M.M. (1)	N.B.S.	N.R.C.	N.S.L.	E.T.L.	I.E.N.
4482.....	100 069,9	100 069,6	100 070,0	100 071,1	100 073,0	100 071,0
580407.....	100 035,9	100 036,3	100 036,2	100 035,5	100 037,0	100 034,8
580409.....	100 036,2	100 037,5	100 036,4	100 036,0	100 037,0	100 035,0
14.....	100 003,2	100 003,9	100 003,0	100 002,4	100 004,0	100 001,5
	100 036,3 ± 2,0	100 036,8 ± 6,0	100 036,4 ± 1,0	100 036,2 <sub>s</sub> ± 0,1	100 037,7 <sub>s</sub> ± 2,0	100 035,6 ± 2,0

(1) Moyenne arithmétique des valeurs obtenues en 1964 et en 1968.

Les résultats de la détermination absolue de l'unité de capacité effectuée à l'I.M.M. en 1964 (en fonction des unités de résistance et de fréquence) et en 1968 (au moyen d'un condensateur en croix calculable) étant en bon accord, les valeurs attribuées par l'I.M.M. aux étalons de capacité voyageurs en septembre 1968 (Tableau I, colonne 9) sont directement comparables aux valeurs attribuées en 1964 (colonne 3).

Si l'on admettait que les écarts entre les valeurs attribuées par l'I.M.M. aux étalons voyageurs en 1964 et en 1968 étaient uniquement dus à des dérives, celles-ci seraient de l'ordre de :

N° 4482	+ 1,4 <sub>5</sub> pF par an
N° 580407	+ 0,4 <sub>5</sub>
N° 580409	+ 0,1
N° 14	+ 0,1

or, entre 1959 et 1964 on avait admis que ces dérives étaient :

N° 4482	+ 1,0 pF par an
N° 580407	— 0,6
N° 580409	— 0,6
N° 14	+ 0,6

Ces résultats assez différents semblent indiquer que les variations des étalons voyageurs sont plus aléatoires que régulières. Dans ces conditions, nous n'avons appliqué aucune correction de dérive aux valeurs communiquées par les divers laboratoires et nous avons admis qu'en 1966 les capacités des étalons voyageurs avaient les valeurs données dans le tableau III.

Compte tenu des incertitudes admises par les laboratoires, les résultats de cette seconde partie de la comparaison sont concordants. Les écarts entre les valeurs moyennes calculées pour chaque laboratoire dépassent rarement  $1 \times 10^{-5}$ ; le progrès réalisé sur la première partie de la comparaison <sup>(2)</sup> est par conséquent appréciable.

(Septembre 1968, révisé en octobre 1968)

## Appendice

*(ajouté aux épreuves)*

Après la préparation du rapport ci-dessus, l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléév a effectué des mesures supplémentaires sur les quatre condensateurs. Les résultats de ces mesures, reçus au Bureau International le 14 avril 1970, sont donnés dans les tableaux IV à VII. Ces derniers résultats marquent l'achèvement de la comparaison internationale des étalons de capacité de 0,1  $\mu$ F qui avait débuté en 1959.

<sup>(2)</sup> Comité Consultatif d'Électricité, 11<sup>e</sup> session, 1965, p. E 56.

TABLEAU IV

*Capacités et tangentes des angles de pertes  
des condensateurs de 0,1  $\mu$ F, mesurées à l'I.M.M.  
Valeurs à 20 °C*

Condensateur N°	Fréquence de mesure (Hz)	Octobre 1968		Février 1970 Capacités (pF)
		Capacités (pF)	tg angles de pertes ( $\times 10^4$ )	
4482	50	100 089,5	2,9	—
	1 000	100 072,8	1,26	100 072,4 $\pm$ 0,2
	5 000	100 064,0	1,4	—
580407	50	100 058,6	2,9	—
	1 000	100 036,9	1,50	100 036,6 $\pm$ 0,2
	5 000	100 028,0	1,6	—
580409	50	100 057,9	2,8	—
	1 000	100 036,4	1,45	100 036,9 $\pm$ 0,2
	5 000	100 028,0	1,5	—
14	50	100 021,5	4,6	—
	1 000	100 003,4	1,24	100 003,1
	5 000	99 997,0	1,7	—

Tension du condensateur : 5 V.

Température de l'air ambiant : 21,0 °C (octobre 1968); 20,8 °C (février 1970).

TABLEAU V

*Inertie de la capacité des condensateurs*

Condensateur N°	Inertie <sup>(1)</sup> (heures)	Instabilité à court terme (pendant une année)
4482	16-24	$\pm 2 \times 10^{-6}$
580407	< 1	< $\pm 1 \times 10^{-6}$
580409	< 1	< $\pm 1 \times 10^{-6}$
14	8-10	$\pm 2 \times 10^{-6}$

<sup>(1)</sup> Temps nécessaire pour obtenir une valeur stable de la capacité dans les limites de  $\pm 2 \times 10^{-6}$ .

TABLEAU VI

*Évolution dans le temps des condensateurs*

Condensateur N°	Valeur moyenne de l'évolution au cours d'une année	
	Capacité	Tangente de l'angle de pertes
4482	+ 1,0 pF	} < $\pm 1 \times 10^{-6}$
580407	— 0,35	
580409	— 0,40	
14	+ 0,50	

TABLEAU VII

Résultats à 20 °C et à la fréquence de 1 000 Hz, à la date du 1<sup>er</sup> janvier 1970, de la comparaison circulaire des étalons de capacité voyageurs au mica de 0,1 µF  
(en tenant compte de l'évolution et des coefficients de température des condensateurs)

Unité : pF

Condensateur N°	D.A.M.W.	P.T.B.	L.C.I.E.	N.P.L.	N.B.S.	N.R.C.	N.S.L.	E.T.L.	I.E.N.	I.M.M.	Moyennes (*)
4482	100 055,0	100 071,5	100 068,0	100 071,5	100 073,5	100 074,0	100 074,1	100 075,5	100 073,0	100 072,4	100 072,6
580407	100 017,8	100 035,0	100 029,2	100 032,4	100 034,8	100 034,8	100 034,5	100 036,1	100 034,3	100 036,6	100 034,2
580409	100 019,4	100 035,6	100 029,8	100 033,0	100 035,8	100 034,8	100 034,8	100 036,0	100 034,2	100 036,9	100 034,5
14	99 990,5	100 008,3	100 001,0	100 004,5	100 005,7	100 005,0	100 003,9	100 005,3	100 002,5	100 003,1	100 004,3
	100 020,7	100 037,6	100 032,0	100 035,4	100 037,4	100 037,2	100 036,8	100 038,2	100 036,0	100 037,2	100 036,4

(\*) Les résultats du D.A.M.W., qui présentent une erreur systématique de l'ordre de  $20 \times 10^{-5}$  dans la reproduction de l'unité de capacité, ne sont pas pris en considération pour le calcul de la valeur moyenne internationale.

## Nouveau mode de variation de la capacité d'un condensateur en croix cylindrique

Par I. N. KROTKOV et V. V. VICTOROV

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (U.R.S.S.)

En se basant sur le théorème de Lampard [1], les Instituts métrologiques de divers pays ont conçu des condensateurs « en croix » à armatures cylindriques dont on peut calculer avec précision les variations de capacité en fonction des variations de longueur des armatures [2, 3, 4, 5].

On emploie ces condensateurs pour reproduire physiquement la valeur du farad, qui permet de déduire ensuite celle de l'ohm, ainsi que dans toutes les études qui exigent une détermination très précise de la capacité.

Chaque type de condensateur « en croix » est caractérisé par le dispositif mécanique qui permet de faire varier la longueur active de ses armatures.

Dans un premier type (*fig. 1*) cette variation de longueur est réalisée

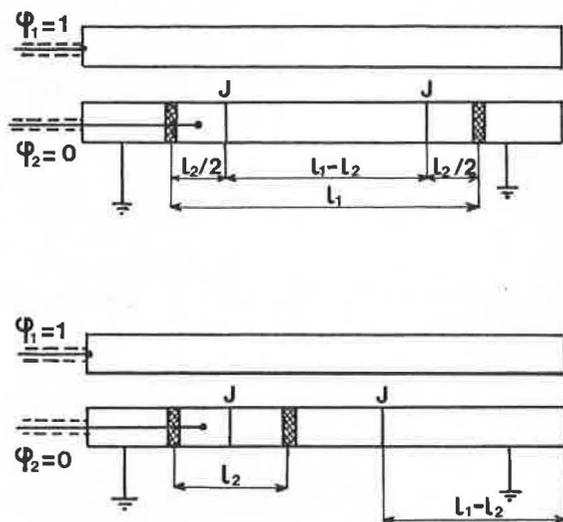


Fig. 1. — Condensateur à armatures démontables.  
J, Jonction des éléments de l'armature.

par adjonction ou par enlèvement d'éléments cylindriques de même diamètre que l'on peut visser bout à bout.

Dans un autre type (fig. 2) on modifie la position d'un écran cylindrique placé entre les armatures. Dans ce dernier type de condensateur les tolérances sur les dimensions géométriques des armatures et de l'écran sont très faibles. De plus, l'usinage et l'assemblage de ces éléments nécessitent la mise en œuvre de procédés compliqués.

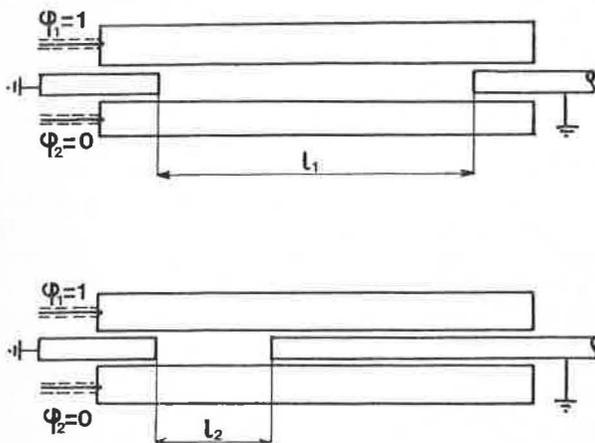


Fig. 2. — Condensateur à écran mobile.

L'inobservation de ces exigences de fabrication risque de perturber la répartition plan-parallèle nécessaire du champ électrique et d'entraîner par suite une erreur systématique dans le calcul de la capacité.

Pour éviter ces inconvénients, nous avons construit à l'Institut de Métrologie un type de condensateur exempt de pièce mobile [8].

Les figures 3 et 4 représentent schématiquement deux variantes de ce type de condensateur dont on fait varier la capacité en connectant succes-

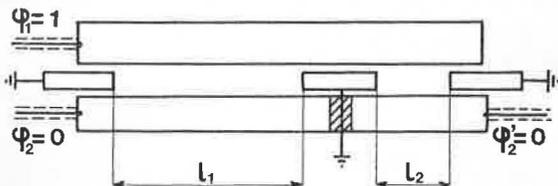


Fig. 3. — Condensateur à commutation électrique des sections des armatures, à écran fixe.

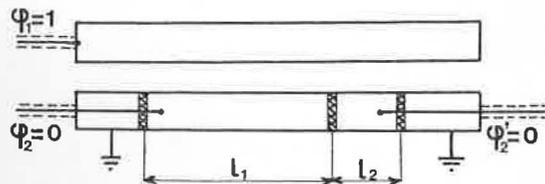


Fig. 4. — Condensateur à commutation électrique des sections des armatures, sans écran.

sivement aux dispositifs de mesure les différents éléments cylindriques, montés bout à bout mais isolés l'un de l'autre, qui constituent chaque armature. Ces éléments dont les longueurs  $l_1$  et  $l_2$  sont ajustées sur les valeurs calculées, sont portés au potentiel  $\varphi_2 = 0$ .

Les couches isolantes étant toutes identiques, la géométrie du champ électrique aux extrémités des éléments  $l_1$  et  $l_2$  est la même et reste invariable. On peut donc considérer que la différence calculée entre les capacités correspondant aux longueurs  $l_1$  et  $l_2$  des armatures est indépendante de la déformation du champ électrique aux extrémités.

Un autre type d'armature étudié à l'I.M.M. est constitué par un cylindre en silice fondue dont la surface est métallisée. On délimite les divers éléments de l'armature en interrompant la couche métallique par des rainures circulaires.

Un blindage protège le condensateur des champs électriques extérieurs et des champs créés par les armatures elles-mêmes; tout l'ensemble est placé dans une enceinte étanche.

On détermine les longueurs actives  $l_1$  et  $l_2$  des armatures par les procédés bien connus utilisés pour la mesure précise des étalons de longueur à bouts et à traits. Comme l'ont fait d'autres expérimentateurs [3], nous employons la méthode interférentielle pour déterminer  $l_1$  et  $l_2$ . Dans ce but, nous avons réalisé à l'I.M.M. plusieurs variantes d'un interféromètre incorporé dans l'enceinte du condensateur. La variation moyenne de la capacité d'un condensateur « en croix » est donnée par la relation [5]:

$$\Delta C_p = C_p(l_1) - C_p(l_2) = \frac{\varepsilon_r}{v_e^2 \mu_0 \pi} \Delta l \ln 2 [1 + f(\tau)],$$

où  $\Delta l$  = différence des longueurs actives  $l_1$  et  $l_2$  des armatures;

$v_e$  = vitesse de la lumière;

$\varepsilon_r$  = perméabilité diélectrique relative du milieu;

$$f(\tau) = \frac{\ln 2}{8} \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 - \left(\frac{\ln 2}{192}\right)^3 \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^4 + \dots;$$

$\Delta C$  = différence des capacités entre les armatures en croix.

On peut donc classer les types de condensateurs « en croix » calculables d'après le moyen utilisé pour faire varier leur capacité. La classification que nous proposons est la suivante :

Condensateurs calculables			
à variation mécanique de la longueur active des armatures		à commutation électrique des sections de la longueur active des armatures	
A	B	C	D
à armatures démontables (fig. 1)	à écran mobile (fig. 2)	à écran fixe (fig. 3)	sans écran (fig. 4)

Les condensateurs à variation de capacité par commutation électrique peuvent servir aussi bien à la réalisation d'étalons primaires de haute précision qu'à celle d'étalons de référence de précision limitée.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] LAMPARD (D. G.), *Proc. Inst. Electr. Eng.*, London, **140-C**, 1957, p. 271.
  - [2] THOMPSON (A. M.), *I.R.E. Trans. Instr.*, **1-7**, 1958, p. 245.
  - [3] CLOTHIER (W. K.), *Metrologia*, **1**, 1965, p. 36.
  - [4] CUTKOSKY (R. D.), *J. Research N.B.S.*, **65-A**, 1961, p. 147.
  - [5] KROTKOV (I. N.), « Mesures précises des capacités électriques et de l'inductance », Éditions Standardgiz, Moscou, 1966.
  - [6] ELNÉKAVÉ (N.), *Bull. Inform. Lab. Central Industries Électriques*, N° 33, 1962.
  - [7] THOMPSON (A. M.), *Metrologia*, **4**, 1968, p. 1.
  - [8] KROTKOV (I. N.) et VICTOROV (V. V.), Droit d'auteur N° 209 550 (1110937/26-9), Classe 21g, 10/2, MPK N 01g IDK 621.319.42 1966. « Inventions, Échantillons industriels, Marques de fabrique », Bulletin N° 5, 1968.
-

## Sur un voltmètre utilisant l'effet Stark

Par K. HARA, T. KOBAYASHI, T. MATSUI  
T. NAKASE, G. YONEZAKI et T. ENDO

Electrotechnical Laboratory (Japon)

### Résumé

On a étudié à l'E.T.L. la possibilité d'utiliser l'effet Stark du spectre de rotation moléculaire dans le domaine des micro-ondes comme une référence pour la force électromotrice dans la région du millier de volts. Une cellule de Stark à résonateur du type Perot-Fabry a été construite dans ce but.

La cellule de Stark (*fig. 1*) est constituée d'une paire de plans optiques (A et B) en quartz fondu de 30 cm de diamètre, et d'un plan métallique (C) de 18 cm de diamètre percé d'une petite ouverture pour le couplage avec la source des micro-ondes. Ces trois plans sont alignés perpendiculairement à un même axe horizontal; ils sont contenus dans une chambre à vide dans laquelle un gaz (s-trioxane,  $C_3H_6O_3$ ) peut être introduit sous une pression appropriée (environ  $1,33 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

Les plans A et C constituent un interféromètre de Perot-Fabry à micro-ondes du type à réflexion, et les plans A et B constituent la paire d'électrodes de Stark. Le plan A est recouvert par évaporation d'une argentine épaisse de façon à constituer un réflecteur parfait pour le rayonnement des micro-ondes; le plan B est recouvert par évaporation d'une couche de tellure, de résistivité superficielle élevée, transparente aux micro-ondes. L'écartement et le parallélisme entre A et B sont assurés au moyen de trois cales identiques d'environ 3 cm d'épaisseur. On observe le spectre de la transition  $J = 1 \rightarrow 2$  et  $\Delta M = \pm 1$  dont la fréquence est d'environ 21 GHz. La fréquence de la source des micro-ondes, variable de façon continue, est asservie à celle qui est fournie par un synthétiseur de fréquences.

La haute tension continue appliquée aux électrodes est fournie par une alimentation stabilisée commerciale dont la stabilité à court terme est de l'ordre de  $1 \times 10^{-6}$ . La valeur absolue de la tension appliquée est étalonnée

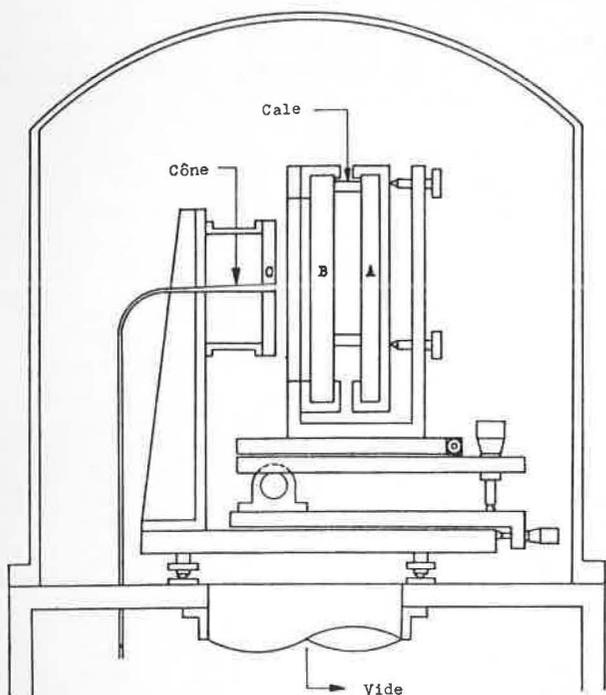


Fig. 1. — Schéma de la cellule de Stark.

au moyen d'un diviseur de tension à résistances par comparaison à une pile étalon.

Les exactitudes sont d'environ 0,5 kHz pour la fréquence du synthétiseur, d'environ 1  $\mu\text{m}$  pour l'écartement des électrodes et de  $10 \times 10^{-6}$  pour l'étalonnage en tension.

Le déplacement de fréquence dû à l'effet Stark est linéaire en fonction de la tension appliquée, puisque le s-trioxane est une molécule toupie symétrique; ce déplacement est de l'ordre de 200 kHz/(V/cm). La résolution et la reproductibilité de la mesure de la fréquence centrale du spectre sont infé-

TABLEAU I

Constante de rotation et constante d'effet Stark du  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$

Tension appliquée (V)	Constante de rotation B (kHz)	Constante d'effet Stark $\mu/h$ (en u.é.s.)
1 000	5 273 250,0 $\pm$ 0,5	(3,115 5 $\pm$ 0,000 1) $\times 10^8$
900	5 273 251,0 $\pm$ 0,8	3,115 3 $\pm$ 0,000 2
800	5 273 250 $\pm$ 1	3,115 5 $\pm$ 0,000 1
700	5 273 252 $\pm$ 3	3,114 8 $\pm$ 0,000 3
Moyenne	5 273 250,3 $\pm$ 0,4	3,115 45 $\pm$ 0,000 07

rieures à 2 kHz, et le champ électrique maximal appliqué est d'environ 300 V/cm. La résolution et la reproductibilité d'une mesure de tension sont donc d'environ  $30 \times 10^{-6}$ . Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau I.

L'étude résumée ci-dessus est préliminaire; nous allons construire une nouvelle cellule dans laquelle l'écartement des électrodes pourra être mesuré par les interférences lumineuses. Nous recherchons aussi d'autres gaz mieux appropriés à cet usage.

(Octobre 1968)

---

## Transfert du volt entre laboratoires

Par W. G. EICKE, N. BELECKI et J. M. CAMERON

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique)

---

*Abstract.* — The National Bureau of Standards and the United States Air Force have undertaken a joint program to study interlaboratory transfer of the unit of voltage. The two major objectives of the program are the reduction of the uncertainty of the assignment of a local unit of voltage and the reduction of the time required to make such an assignment. To achieve these objectives, studies were conducted of (1) methods for maintaining local surveillance over a reference group of saturated standard cells, (2) various possible transport standards, (3) methods of transportation other than hand carrying of standards and (4) data handling and processing techniques. This paper presents a brief summary of the findings of the above study.

Le National Bureau of Standards et l'United States Air Force ont entrepris en commun l'étude du transfert entre laboratoires de l'unité de tension. Les deux objectifs principaux de cette étude sont d'une part la diminution de l'incertitude dans l'attribution d'une valeur à une tension de référence locale, d'autre part la réduction du temps nécessaire pour une telle attribution.

Pour atteindre ces objectifs, les études ont été poursuivies sur les sujets suivants :

- 1° Méthodes de surveillance locale d'un groupe de référence de piles étalons saturées.
- 2° Étalons de tension transportables.
- 3° Méthodes de transport des étalons autres que le transport à la main.
- 4° Traitement des résultats.

Les deux participants étaient le Standard Cell Laboratory du N.B.S. et l'Electrical Standards Laboratory de la Newark Air Force Station (N.A.F.S.).

Afin de maintenir le travail dans des limites raisonnables, chaque laboratoire a utilisé un groupe de neuf piles étalons saturées comme groupe de

référence. Les piles du N.B.S. faisaient partie du groupe de référence secondaire maintenu à 28 °C dans un bain d'huile en mouvement et thermorégulé. Le groupe de référence de la N.A.F.S. comprenait neuf piles stables, d'origine commerciale, maintenues à 35 °C dans un bain d'huile en mouvement et thermorégulé. Outre leur différence de température, les bains d'huile et leur dispositif de thermorégulation étaient de construction sensiblement différente. Les mesures effectuées ont montré que la précision des comparaisons dépendait en grande partie du type de thermorégulation utilisé.

Dans un premier temps, des procédés expérimentaux pour la comparaison des deux groupes de référence dans les deux laboratoires ont été sélectionnés sur la base de l'efficacité statistique (de façon que le maximum d'informations utiles puisse être obtenu de chaque mesure [1]). Ces méthodes fournissent une estimation de :

- 1° l'effet de position (position dans le circuit de mesure);
- 2° la variance d'une observation;
- 3° l'écart entre la f.é.m. de chaque pile étalon et la tension moyenne du groupe.

Pour des groupes de plus de sept piles étalons ( $N > 7$ ), un ensemble de  $2N$  mesures (chaque pile étalon intervenant quatre fois) fournit une redondance suffisante pour l'estimation des grandeurs cherchées et de l'écart-type des résultats. Des méthodes pour des groupes de 3 à 36 piles étalons ont été mises au point. Pour de petits groupes, l'analyse des résultats peut se faire manuellement, mais pour des groupes de plus de six piles étalons, l'usage d'un ordinateur est préférable.

Trois types d'étalons voyageurs ont été considérés :

- a) des piles étalons saturées transportables dans une enceinte thermorégulée;
- b) des étalons de tension à diode de Zener (alimentés en courant alternatif) [2];
- c) des piles étalons non saturées dans une enceinte thermorégulée.

On a commencé par étudier le type *a* pour lequel on disposait déjà de données. Afin de disposer d'une base de référence, deux groupes comprenant chacun trois piles étalons saturées, maintenues à 35 °C dans des enceintes thermorégulées, ont été transportés à la main entre les deux laboratoires. Durant trois mois, ces groupes ont effectué plusieurs allers et retours de façon à permettre l'évaluation du « Volt NAFS ». L'écart relatif entre le « volt NAFS » et le « volt national (NBS) » a été estimé inférieur à  $0,5 \times 10^{-6}$ . On a constaté en outre qu'il suffisait de deux semaines au maximum pour effectuer un rattachement (transport aller-retour à la main d'un des groupes), ce qui est très inférieur aux six à treize semaines normalement requises. En aucun cas la f.é.m. des piles voyageuses n'a différé de plus de 2 à 3  $\mu\text{V}$  de sa valeur attendue dans les premières heures qui suivent le transport; après un ou deux jours la différence ne dépassait pas quelques dixièmes de microvolts. Par contre, des piles étalons identiques non maintenues en permanence à une température régulée, ont mis jusqu'à dix semaines pour retrouver leur stabilité, le temps nécessaire pour la stabilisation semblant être fonction du temps pendant lequel les piles n'avaient pas été maintenues à température constante.

Étant donné que le seul moyen raisonnable pour transporter rapidement des piles est l'avion, un programme a été mis au point avec une compagnie aérienne en vue du transport des piles entre Washington, D. C. et d'autres localités desservies par cette compagnie. La compagnie aérienne réservait tout simplement une place climatisée sur un vol particulier et notifiait aux aéroports de départ, de transit et d'arrivée la présence à bord des piles étalons. Les laboratoires se chargeaient d'amener les piles à l'aéroport de départ et de les reprendre à l'aéroport d'arrivée. Il suffisait que les piles soient à l'aéroport une ou deux heures avant le départ de l'avion; elles étaient réceptionnées dans l'heure suivant leur arrivée.

De nombreux voyages avec changement d'avion ont été effectués avec succès. Les résultats des mesures montrent que ce moyen de transport est équivalent à un transport avec accompagnateur.

La comparaison du groupe de piles transportées au groupe de piles de référence a été faite en comparant les piles d'un groupe aux piles de l'autre groupe. Cette méthode est du même type que celle qui est utilisée pour la surveillance du groupe de référence. Dans tous les cas, la valeur de la f.é.m. des piles étalons transportées était déterminée par rapport à celle du groupe local de référence, chaque laboratoire utilisant la même méthode. De cette manière, les différences entre les laboratoires étaient aussitôt détectées. Tous les résultats relatifs aux groupes transportés étaient traités au N.B.S. et analysés par la méthode des moindres carrés. Ces analyses donnaient :

- 1° une estimation des f.é.m. des piles étalons transportées par rapport au groupe de référence;
- 2° une estimation de la f.é.m. de chaque pile étalon de référence par rapport à la valeur moyenne attribuée au groupe;
- 3° une estimation de l'effet de position dans le circuit de mesure;
- 4° une estimation de l'écart-type d'une seule observation;
- 5° l'écart (écart observé moins écart prévu) de chaque observation.

L'utilisation des piles non saturées et des étalons de tension à diode de Zener ont fait l'objet d'études préliminaires. On a ainsi constaté que la mesure du taux de dérive de piles non saturées dans un laboratoire permettait de prédire leur f.é.m. dans un autre laboratoire. Une enceinte thermorégulée d'un type particulier, contenant quatre piles transportables du type saturé et quatre piles transportables non saturées, est actuellement étudiée. Plusieurs étalons de tension à diode de Zener sont en cours d'étude et présentent, dans les conditions les plus défavorables, un taux relatif de dérive de  $2 \times 10^{-6}$  par semaine. Des résultats concernant le caractère transportable de tels étalons ne sont pas encore disponibles, mais des mesures faites au N.B.S. montrent qu'ils se comportent presque aussi bien, dans un intervalle de temps réduit, que les piles étalons.

Le N.B.S. (Gaithersburg, Maryland), la N.A.F.S. (Newark, Ohio) et I.B.M. (San Jose, Californie) ont procédé à une expérience de grand intérêt. Le N.B.S. a envoyé à la N.A.F.S. et à I.B.M., en frêt aérien, une enceinte thermorégulée à 30 °C, contenant quatre piles étalons saturées. Chaque laboratoire étalonnait les piles et les envoyait à l'autre laboratoire suivant un plan préétabli. Finalement, les deux enceintes revenaient au N.B.S. Il était prévu que chaque laboratoire garderait chaque enceinte pendant deux semaines, mais il fut nécessaire de prolonger cette durée par suite de

difficultés avec l'enceinte 1200 au deuxième laboratoire (I.B.M.). Chaque laboratoire a utilisé la même méthode d'étalonnage des piles. Le tableau I résume les résultats de cette expérience. Il est à remarquer que le transport entre les arrêts 2 et 3 a provoqué un changement dans les deux groupes de piles. Dans le tableau II, la liste des écarts entre les valeurs attribuées au « Volt » de chaque laboratoire a été établie en excluant les effets du transport entre les arrêts 2 et 3, mais en tenant compte des effets des autres déplacements et des différences entre les groupes de référence des deux laboratoires

TABLEAU I

*Forces électromotrices (V), corrigées pour la température, attribuées aux piles étalons des deux enceintes*

Pile N°	Enceinte 1100			
	Arrêt N°			
	1 NBS (1) du 12.12.1967 au 22.12.1967	2 IBM*	3 NAFS	4 NBS (2)
1101	1,018 129 0	1,018 128 6	1,018 131 6	1,018 130 8
1102	29 2	28 8	31 0	30 8
1103	29 1	28 9	30 7	30 1
1104	28 4	28 1	29 8	28 8
Moyenne	1,018 128 92	1,018 128 60	1,018 130 78	1,018 130 12

Pile N°	Enceinte 1200			
	NBS (1) du 7.11.1967 au 22.12.1967	NAFS	IBM*	NBS (2)*
1201	1,018 129 8	1,018 129 8	1,018 127 8	1,018 126 7
1202	32 3	32 3	31 2	28 5
1203	29 5	29 9	29 0	28 8
1204	30 3	31 0	30 4	30 7
Moyenne	1,018 130 47	1,018 130 75	1,018 129 60	1,018 128 67

\* La régulation en température de l'enceinte a été arrêtée pendant une partie du transfert entre les laboratoires.

TABLEAU II

*Écarts entre les « unités » des laboratoires*

Enceinte	Écart ( $\mu V$ )
1100	$\left\{ \begin{array}{l} V_{NBS(1)} - V_{IBM} = -0,3 \\ V_{NBS(2)} - V_{NAFS} = +0,7 \end{array} \right.$
1200	$\left\{ \begin{array}{l} V_{NBS(2)} - V_{IBM} = +0,9 \\ V_{NBS(1)} - V_{NAFS} = +0,3 \end{array} \right.$
Écart moyen	+ 0,4

(N.A.F.S. et I.B.M.) et le groupe de référence utilisé au N.B.S. pour cette expérience. Ces résultats, tout en concordant de manière très satisfaisante, soulignent notre manque d'informations sur l'influence du transport des piles étalons saturées sur leur comportement. L'écart-type des différences du tableau II, estimé à partir des résultats expérimentaux, a été trouvé égal à  $0,23 \mu\text{V}$  (l'effet de transport étant exclu).

Le transport accompagné des piles étalons a permis de réduire l'incertitude relative dans la connaissance du « Volt NAFS » de plus de  $10^{-6}$  à  $0,5 \times 10^{-6}$ . D'autre part, les résultats de cette étude montrent que l'unité de force électromotrice peut être transférée rapidement et avec précision d'un endroit à un autre par le transport en fret aérien de piles étalons placées dans des enceintes thermorégulées.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] EICKE (W. G.) and CAMERON (J. M.), Designs for the surveillance of the Volt maintained by a small group of saturated standard cells, *N.B.S. Tech. Note* 430, Oct. 1967.
  - [2] EICKE (W. G.) and ELLIS (H. H.), Zener diodes as a transport standard, *Comité Consultatif d'Électricité*, 12<sup>e</sup> session, 1968 (cf. Annexe 1, p. E 27, document N° 6).
-

**Élément galvanique à faible coefficient  
de température de la force électromotrice**

Par G. N. ROBERTS et W. J. HAMER

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique)

Résumé de l'article publié en anglais dans *J. Research N.B.S.*, **72-A**, N° 4, 1968, pp. 351-354 :

Description et étude d'un élément étalon au sulfate de cadmium modifié, du type Vosburgh, dans lequel un amalgame ternaire contenant 11,2 % de bismuth et 8,4 % de cadmium est utilisé comme anode, un sel double de  $\text{CdSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  étant ajouté à l'électrolyte habituel ( $\text{CdSO}_4$ ) en quantité plus que suffisante pour saturer la solution avec ce sel double. Les cristaux de  $\text{CdSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  sont disposés à la surface des deux électrodes. La f.é.m.  $E$  (en volt) de l'élément est donnée en fonction de la température  $t$  par la formule

$$E = 1,018\ 243 + 3,095\ 6 \times 10^{-5} t - 8,559 \times 10^{-7} t^2 + 1,353\ 4 \times 10^{-8} t^3.$$

A 25 °C le coefficient de température de la force électromotrice de l'élément ( $dE/dt$ ) est de + 13,5  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , alors qu'il est de - 49,4  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  pour l'élément habituel à sulfate de cadmium saturé. Des données numériques concernant l'hystérésis de la f.é.m. de l'élément au cours de refroidissements et d'échauffements sont présentées sous forme de graphiques. Des données concernant les changements d'énergie de Gibbs, l'enthalpie, l'entropie et la capacité thermique de la réaction de l'élément sont aussi indiquées pour le domaine de température de 5 à 40 °C.

## ANNEXE E 10

---

### Récentes recherches sur les éléments Weston (\*)

Par H. HIRAYAMA, K. MURAKAMI et K. SHIMAZAKI

Electrotechnical Laboratory (Japon)

---

L'Electrotechnical Laboratory a présenté à la 11<sup>e</sup> session (1965) du C.C.E. un rapport (Document N° 10) sur les normes pour sélectionner les éléments Weston de haute qualité. Le présent rapport concerne l'application de ces normes et les recherches de l'influence de divers facteurs sur les propriétés de l'élément. L'amélioration des propriétés de l'élément et les différents problèmes sur leur fabrication et sur leur utilisation sont exposés.

#### I. APPLICATION DES NORMES DE SÉLECTION

Ces normes ont été appliquées avec succès pour des éléments fabriqués par Shimazu Seisakusho sous la direction de l'E.T.L. Dix échantillons, sélectionnés arbitrairement parmi un groupe de 50 à 100 éléments fabriqués dans les mêmes conditions et à la même date, ont été étudiés suivant les normes. Avec le progrès de la technique de fabrication, la proportion admise à ces études a été dernièrement élevée à 100 % pour l'élément acide; pour l'élément neutre cette proportion est beaucoup plus faible. De plus il a été admis que de telles études ne produisaient aucun effet sur la stabilité. En ce moment ces études sont appliquées chez le fabricant pour tous les éléments de haute précision. A l'avenir ces normes et les procédés d'étude seront adoptés dans la J.I.S. (Japanese Industrial Standard) pour l'élément Weston. Le tableau I donne les normes pour l'élément de haute qualité; elles ont été modifiées seulement en ce qui concerne le coefficient de température suivant les recherches récentes.

---

(\*) Le rapport détaillé sera publié dans *Researches of the Electrotechnical Laboratory*.

TABEAU I  
Normes des éléments de haute qualité

1. * Valeur de la force électromotrice de l'élément	Neutre..... 1,018 640 V ± 30 μV Acide { 0,03 N..... 1,018 620 V ± 30 μV { 0,05 N..... 1,018 610 V ± 30 μV
2. Stabilité de la force électromotrice	*Variation annuelle : ± 1 μV par an. Hystérésis saisonnière (différence entre les valeurs maximale et minimale observées au cours d'une année) : ± 2 μV. Variation au moment de la mesure : < 1 μV.
3. Coefficient de température	*Valeur du coefficient α(20) : — 37,9 à — 43,8 μV/K. Écart par rapport à la formule du 2 <sup>e</sup> degré (obtenu par la méthode des moindres carrés), c'est-à-dire la différence entre les valeurs mesurées et calculées : ± 10 μV.
4. Étude thermique	Hystérésis résiduelle après élévation ou abaissement de la température : $E_1(20) - E(20) \dots\dots \pm 5 \mu V$ $E_2(25) - E(25) \dots\dots \pm 10 \mu V$
5. Étude de la décharge	*Rétablissement de la f.é.m. après l'étude thermique : $E_3(20) - E(20) \dots\dots \pm 5 \mu V$ en une semaine.
6. Résistance interne	*Rétablissement de la f.é.m. après la décharge : ± 5 μV après 3 min de débit suivi de 2 min de repos. *En courant continu ( $R_{c.c.}$ ) : < 1 000 Ω. * $R_{c.c.}/R_{c.s.}$ : < 1,30. Sensibilité au moment de la mesure : > 0,5 μV.
7. Autres études	Variation de la f.é.m. due à un simple déplacement ou à de légères vibrations de courte durée : ± 5 μV. Aspect (introduction d'huile, changement de couleur, gaz, bulles d'air, substance organique, fil de connexion, etc.) : en état normal.

\* Facteur le plus important.

## II. PROPRIÉTÉS DE L'ÉLÉMENT WESTON

1. *Coefficients de température.* — Les coefficients de température ont été de nouveau examinés entre 15 et 35 °C. Seuls les éléments admis aux études suivant les normes ont été utilisés pour la détermination des coefficients de la formule du 2<sup>e</sup> degré. Les résultats de mesure sont indiqués au tableau II. Ces coefficients ont été obtenus à l'état d'équilibre suffisant de la température suivant les procédés d'étude. On a constaté qu'il y avait une différence marquée entre les coefficients  $\alpha$  des éléments acides et neutres, mais il n'y avait pas de différence entre ceux des éléments acides à 0,03 et 0,05 N. La formule du 2<sup>e</sup> degré suffit pour exprimer la variation de la force électromotrice de l'élément en fonction de la température, parce que le coefficient de 3<sup>e</sup> degré,  $\gamma$ , est très faible. On propose donc la formule suivante pour l'élément acide à 0,03-0,05 N avec un amalgame de cadmium à 10 %

$$E(t) = E(20) - 39,9 \times 10^{-6} (t - 20) - 0,84 \times 10^{-6} (t - 20)^2.$$

TABLEAU II

*Coefficients de température des éléments acides et neutres*

Élément	Nombre d'échantillons	Coefficients de température ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )			
		$\alpha(20)$	écart-type	$\beta(20)$	écart-type
Acide . . . . .	31	- 39,93	0,63	- 0,840	0,05
Neutre . . . . .	7	- 40,91	0,81	- 0,757	0,03

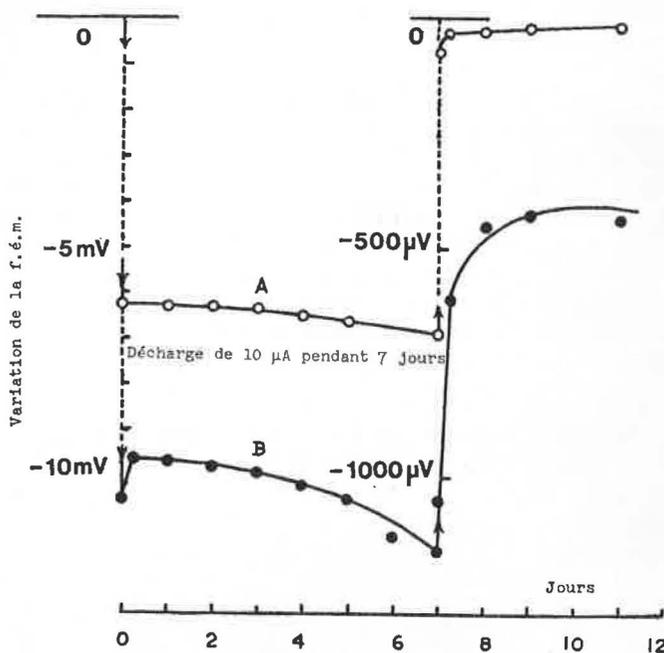


Fig. 1. — Variation de la force électromotrice en fonction de la durée de la décharge ( $I = 10 \mu\text{A}$ ).

2. *Charge, décharge et résistances internes.* — La résistance interne en courant alternatif a été mesurée en fonction de la fréquence et de la tension. On a constaté que la résistance interne était à peu près constante dans le domaine des fréquences de 30 à 1 000 Hz et à une tension inférieure à 5 V.

Lorsque l'élément est monté en récepteur, la résistance interne mesurée en courant continu avec une intensité de  $0,1 \mu\text{A}$  est 5 à 10 % supérieure à celle de l'élément monté en générateur. On pense que le fait d'utiliser un élément comme récepteur avec un courant de  $0,1 \mu\text{A}$  n'a qu'une influence très faible sur ses propriétés.

On a étudié d'autre part l'influence d'un débit de courant de  $10 \mu\text{A}$  pendant une semaine. Comme le montre la figure 1, la force électromotrice de l'élément répondant aux normes (A) retrouve sa valeur à  $\pm 10 \mu\text{V}$  après trois jours de repos, tandis que l'élément qui s'écarte des normes (B) subit des dommages permanents et ne retrouve pas sa force électromotrice initiale.

### III. INFLUENCE D' ACTIONS EXTÉRIEURES SUR LES PROPRIÉTÉS DES ÉLÉMENTS

1. *Influence des vibrations ultrasoniques.* — En utilisant une machine à laver ultrasonique, des vibrations d'ultrasons à 28 kHz ont été transmises pendant 10 à 15 minutes à des éléments Weston plongés dans l'huile. Les différentes propriétés ont été mesurées suivant les normes. Les tendances générales des variations des propriétés avec le temps après l'application de vibrations sont indiquées à la figure 2. La force électromotrice et la résistance interne en courant continu, ainsi que le rapport des résistances internes c.c./c.a. sont fortement influencés. On observe en général une augmentation de la force électromotrice, et une diminution de la résistance interne en courant continu et du rapport  $R_{c.c.}/R_{c.a.}$ .

Ces variations des propriétés sont dues à différentes causes : dispersion des particules, disparition de la distorsion existante, émission de gaz et de bulles d'air, activation des surfaces des électrodes et du dépolarisant, etc., qui sont provoquées par les vibrations mécaniques et l'action thermique des ultrasons. Pour les éléments ayant de bonnes propriétés ces effets sont faibles, mais les éléments refusés aux normes se trouvent améliorés temporairement. En conséquence, on pense que l'application de légères vibrations d'ultrasons pendant 5 à 10 minutes est utile à la stabilisation des éléments immédiatement après leur fabrication.

2. *Influence de l'application d'une tension alternative.* — Les propriétés des éléments sont influencées par l'application d'une tension alternative supérieure à 20 V. On a observé que la température de l'élément augmentait de 3 à 7 °C par l'application durant une minute d'une tension de 50 V à 50 Hz; la résistance interne en courant continu et le rapport  $R_{c.c.}/R_{c.a.}$  diminuaient, ainsi que l'influence du courant débité. Cet effet est principalement dû à l'augmentation rapide de la température par chauffage propre et ressemble à celui des ultrasons. En conséquence, cette méthode est également utile comme méthode d'amélioration temporaire. Mais pour les étalons admis aux normes cet effet est faible. De plus cette méthode serait utilisable pour juger le degré d'hystérésis.

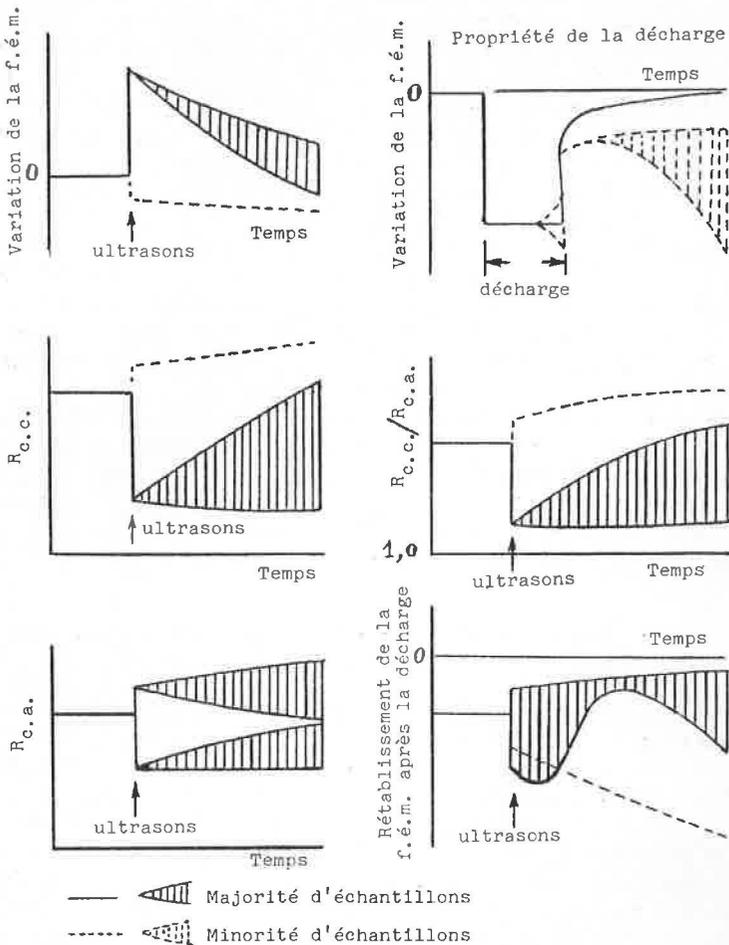


Fig. 2. — Influence de la décharge et des vibrations ultrasoniques.

3. *Influence de l'élévation de la température sur l'instabilité de la force électromotrice.* — Parmi les éléments fabriqués, l'instabilité de leur force électromotrice à des températures supérieures à 25 °C est observée quelquefois à la première période. De tels éléments ont un coefficient de température  $\alpha$  assez élevé et leur force électromotrice s'écarte fortement de la formule du 2<sup>e</sup> degré. Pour diminuer l'instabilité de tels éléments il est utile de les conserver à la température de 70-80 °C pendant plusieurs heures. On estime que la cause principale de ce phénomène est due à une inhomogénéité de l'amalgame, et l'uniformisation est accélérée par l'élévation de température.

#### IV. FABRICATION DES ÉLÉMENTS

Des mesures ont été faites pour évaluer l'influence des matériaux des récipients sur les propriétés des éléments. D'après les résultats obtenus sur des éléments fabriqués dans les mêmes conditions et à la même date avec

des récipients de cinq sortes de verres durs et mous, les effets de la différence des sortes de verre sur la force électromotrice et sur les propriétés des éléments étaient très faibles. On a constaté que celles-ci étaient plutôt influencées par les légères différences des méthodes de fabrication du dépolarisant et de l'amalgame de cadmium, et aussi de lavage des récipients.

On a également fabriqué des éléments avec des récipients en matières plastiques diverses au lieu de verre. Pour les éléments neutres leurs propriétés étaient inférieures à celles des éléments en verre. Pour des éléments acides fabriqués dans les mêmes conditions, on a observé des différences marquées sur la force électromotrice et sur les propriétés suivant les sortes de matières plastiques, et entre les éléments en verre et en matières plastiques. Parmi les matières plastiques utilisées, la résine dure de chlorure de vinyle était bonne et ressemblait au verre, mais la supériorité des matières plastiques sur le verre n'est pas encore vérifiée.

Il est difficile de fixer pour chaque point délicat des spécifications détaillées et de les appliquer lors de la fabrication. Les points à noter spécialement lors de la fabrication sont les suivants : lavage du récipient, fabrication du sulfate mercurieux et de la pâte et fabrication de l'amalgame de cadmium. Finalement, l'application des normes de sélection serait nécessaire pour obtenir des éléments de haute qualité.

#### V. ÉLÉMENTS POUR LES COMPARAISONS INTERNATIONALES ET LEUR TRANSPORT

Lors des comparaisons internationales l'Electrotechnical Laboratory a adopté la méthode de transport non accompagné par avion et, jusqu'ici, aucun incident ne s'est produit. Notre boîte de transport est composée d'une triple caisse en bois avec des coussins doubles, un dispositif de suspension à la cardan, un enregistreur d'oscillations, un thermomètre à maxima et à minima et des accéléromètres. D'après les enregistrements de ces appareils et leurs indications avant et après le transport, l'inclinaison relative des éléments par rapport à la caisse extérieure était inférieure à 60° et la variation de température de 12 à 29 °C. Avec le dispositif de suspension à la cardan et les coussins il n'y a pas à craindre le renversement des éléments, et les chocs qu'ils subissent sont réduits au 1/10 (maximum quelques *g*) de ceux de la caisse extérieure.

D'autre part, lors du transfert de l'unité de force électromotrice entre les laboratoires au Japon nous utilisons une boîte transportée par porteur, maintenue à température constante en utilisant un dispositif à effet Peltier fonctionnant sur piles sèches; la température est ainsi aisément maintenue à  $(20 \pm 0,2)^\circ\text{C}$  pour une variation maximale de 10 °C de la température extérieure. Par ce moyen la précision du transfert du volt se trouve assurée à un degré élevé. Nous envisageons donc, pour les prochaines comparaisons internationales, d'ajouter un dispositif à effet Peltier dans la boîte de transport des éléments.

On a enfin constaté que l'élément neutre nécessitait une assez longue période pour stabiliser sa force électromotrice après le transport. En conséquence, il est souhaitable que seuls les éléments acides soient utilisés pour les comparaisons internationales.

(Septembre 1968)

## Note sur les méthodes de passage courant continu — courant alternatif

Par S. IWAMOTO, T. YAMAZAKI et M. KANNO

Electrotechnical Laboratory (Japon)

L'Electrotechnical Laboratory a étudié les instruments de transfert thermique et électrostatique pour le passage courant continu — courant alternatif; les erreurs de passage propres à chaque instrument ont été examinées et comparées entre elles.

L'instrument de transfert thermique est constitué par un thermocouple dans le vide et une résistance en série. Pour le thermocouple, on a expérimenté plusieurs fils de chauffage de faible f.é.m. thermique par rapport au cuivre et de résistance élevée, afin de réduire l'erreur produite par l'effet Thomson. La résistance en série était constituée par des éléments de couches minces métalliques immergées dans l'huile; ses caractéristiques ont été aussi examinées.

Dans l'instrument électrostatique on emploie un électromètre à quadrants. La tension alternative à mesurer, ou la tension continue de référé-

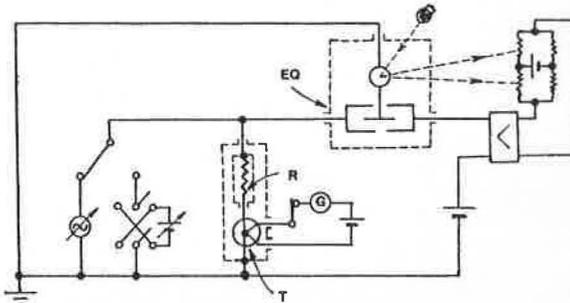


Fig. 1. — Principe de la comparaison des méthodes du convertisseur thermique et du convertisseur électrostatique pour le passage courant continu — courant alternatif.

EQ, Électromètre à quadrants; R, Résistance en série; T, Thermocouple; G, Galvanomètre.

rence, est appliquée entre une paire des électrodes de l'électromètre à quadrants et l'équipage mobile, tandis qu'une tension d'équilibrage est appliquée entre l'autre paire d'électrodes et l'équipage. La tension d'équilibrage se compose d'une tension de base élevée et d'une petite tension de contre-réaction provenant d'un détecteur photosensible de déviations, afin d'obtenir un équilibrage automatique avec une sensibilité très élevée et une réponse rapide.

La différence entre les résultats de la mesure d'une même tension alternative (100 V) par les deux méthodes a été déterminée à l'aide du circuit représenté à la figure 1; le courant de chauffage du thermocouple était de 10 mA. La différence mesurée a été trouvée inférieure à  $50 \times 10^{-6}$  dans le domaine de fréquence de 50 Hz à 5 kHz.

(Septembre 1968)

**Méthodes appliquées en U.R.S.S.  
pour l'utilisation en courant alternatif  
à basse et à haute fréquence  
des unités électriques définies en courant continu**

Par A. J. BEZIKOVITCH et T. B. ROJDESTVENSKAIA

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (U.R.S.S.)

---

Lors de sa 11<sup>e</sup> session (1965) le Comité Consultatif d'Électricité a encouragé unanimement la proposition du National Bureau of Standards concernant l'échange, entre les laboratoires intéressés, d'instruments de transfert courant alternatif — courant continu utilisés pour la mesure des grandeurs électriques (intensité et tension) en courant alternatif.

Pour faciliter ces échanges, il est nécessaire de normaliser les caractéristiques des instruments à comparer et d'harmoniser les méthodes de comparaison dans le monde entier. L'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev désire donc informer le Comité Consultatif des travaux qu'il a effectués dans ce domaine et formuler des propositions en vue d'une comparaison internationale.

L'examen des procédés utilisables pour effectuer le transfert des unités d'intensité et de tension [1, 6], nous a conduits à adopter une méthode de zéro dans laquelle on constate l'égalité des effets produits par un courant alternatif et par un courant continu sur un appareil capable de réagir de la même façon aux deux types de courant. En procédant par substitution on réduit considérablement l'importance de la stabilité sur une longue durée du dispositif de comparaison et des sources de courant [1, 6].

Il est d'usage de désigner sous le nom de « comparateur » les dispositifs utilisés pour de telles comparaisons, dispositifs dont l'organe principal, le transducteur, doit naturellement être insensible, au moins dans un certain intervalle, à la fréquence du courant alternatif.

Le choix du type de transducteur dépend de la valeur caractéristique (efficace, moyenne, de crête ou instantanée) du courant alternatif que l'on

veut comparer au courant continu. On cherche actuellement à accroître la précision des mesures, spécialement des valeurs efficaces dont dépendent les quantités d'énergie dissipée en courant alternatif. Il est évident que pour comparer l'intensité efficace d'un courant alternatif à l'intensité d'un courant continu il faut utiliser un transducteur à caractéristique quadratique, c'est-à-dire dont la réponse est une fonction du carré de la grandeur à mesurer.

Des deux types de transducteurs à caractéristique quadratique les plus précis : le transducteur électromécanique fondé sur la comparaison des moments mécaniques créés par le passage des différents courants et le transducteur (ou convertisseur) thermique fondé sur l'effet Joule, il est préférable, à notre avis, d'utiliser le second pour les comparaisons internationales à cause de son universalité, de ses petites dimensions, de son faible poids et de sa facilité de transport. La précision de ces transducteurs est comprise entre  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$ , suivant l'intervalle de fréquence utilisé et la valeur de la grandeur mesurée [1].

A l'I.M.M. on a construit deux modèles de convertisseurs thermiques à éléments multiples (TTP-3 et TTP-5) pour la détermination de la valeur efficace de l'intensité et de la tension des courants alternatifs et pour le transfert de ces valeurs aux appareils de mesure de puissance dans le domaine des fréquences acoustiques [3].

Le convertisseur TTP-3, employé pour la détermination de l'intensité et de la tension, est constitué par un élément chauffant (fil de constantan de moins de 13 mm de longueur) sur lequel sont fixées, sans contact électrique, les soudures « chaudes » d'une quarantaine de thermocouples en chromel-copel; les soudures « froides » sont fixées sur le boîtier dont elles sont isolées par une feuille de mica. Le boîtier massif en cuivre rouge est étanche à l'huile dans laquelle le convertisseur est plongé pendant son utilisation, et assure l'indispensable stabilité du régime thermique.

Le convertisseur TTP-5 qu'on utilise conjointement avec le précédent pour la détermination de la puissance n'en diffère que par la présence de deux éléments chauffants dont l'utilité sera expliquée plus loin.

La figure 1 montre l'aspect extérieur des deux modèles de convertisseurs dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

Valeur nominale du courant de chauffage de l'élément principal de chaque convertisseur et de l'élément auxiliaire du convertisseur TTP-5 : 30 mA; force thermoélectrique : 14 à 15 mV.

La relation entre la valeur de la force thermoélectrique et celle du courant de chauffage ne s'écarte jamais de la fonction caractéristique du second degré de plus de  $3 \times 10^{-4}$ .

L'inversion du sens du courant de chauffage ne provoque pas de variation de la force thermoélectrique supérieure à  $3 \times 10^{-5}$ .

La résistance de l'élément chauffant principal est de 11,5 à 12  $\Omega$ ; celle de l'élément chauffant auxiliaire (dans le convertisseur TTP-5) est de 12  $\Omega$ .

La résistance des thermocouples montés en série est comprise entre 105 et 115  $\Omega$ .

Le coefficient de température de l'élément chauffant est de  $5 \times 10^{-4}/K$ .

Entre les thermocouples et les éléments chauffants la résistance d'isolement est de  $10^9 \Omega$  et la capacité inférieure à 10 pF.

La capacité entre les deux éléments chauffants est de 1 à 2 pF.



Fig. 1.

La constante de temps du phénomène d'établissement de la force thermo-électrique est comprise entre 0,17 et 0,20 s.

Les dimensions extérieures des convertisseurs sont les suivantes : diamètre, 32 mm ; hauteur, 40 mm.

Pour déterminer la valeur efficace de courants alternatifs dont les intensités sont comprises entre 10 et 30 mA on utilise un convertisseur TTP-3 dans le circuit représenté à la figure 2. Pour des intensités de courant plus

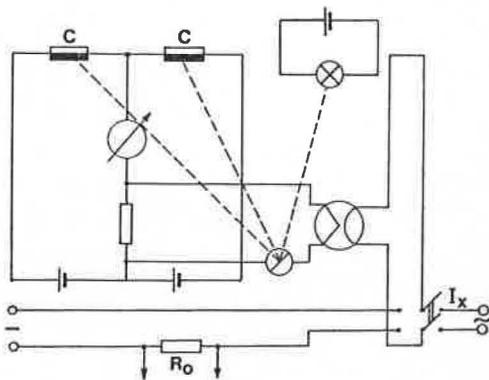


Fig. 2.

faibles ( $10 \mu\text{A}$  à  $10 \text{ mA}$ ), on emploie [2] des convertisseurs spécialement sélectionnés dans lesquels le filament chauffant et la soudure « chaude » du thermocouple sont placés dans le vide sans être en contact [6]. La force électromotrice du thermocouple est équilibrée par la différence de potentiel

créée aux bornes d'une résistance par le passage d'un courant de compensation par l'indicateur d'équilibre est un amplificateur galvanométrique qui commande l'ajustage automatique de ce courant.

Pour comparer des courants d'intensité supérieure à 30 mA on shunte l'élément chauffant d'un convertisseur TTP-3 par une résistance non réactive  $r_{sh}$ . On détermine, en fonction de la fréquence, les corrections du convertisseur ainsi shunté en le comparant à un convertisseur spécialement construit pour supporter directement de fortes intensités de courant [1]. La comparaison des courants dépassant 25 A est effectuée à l'aide d'un transformateur de courant de référence  $T_r$  [5] à fréquence plus élevée (jusqu'à 10 kHz), suivant le schéma de la figure 3. C'est le courant secondaire du transformateur que l'on compare effectivement au courant continu; on en déduit la valeur efficace du courant primaire en tenant compte du rapport de transformation.

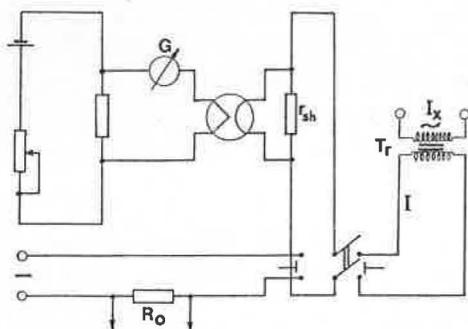


Fig. 3.

Pour mesurer une tension, on connecte une résistance supplémentaire non réactive  $r_s$  en série avec l'élément chauffant du convertisseur (fig. 4).

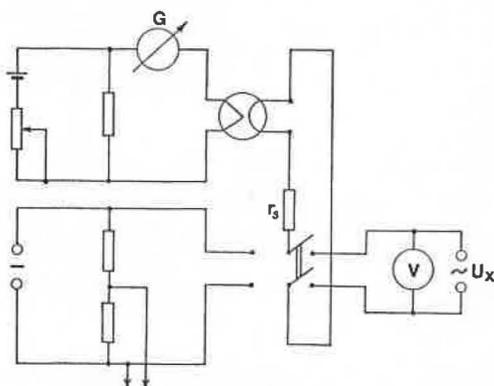


Fig. 4.

Jusqu'à 600 V et pour des fréquences ne dépassant pas 20 kHz on utilise un convertisseur du type TTP-3 avec des résistances supplémentaires à fil. Pour les fréquences supérieures et jusqu'à 10 MHz on utilise un compara-

teur de construction spéciale comportant un convertisseur thermique dans le vide et une résistance supplémentaire en série [6], montés à demeure dans un boîtier cylindrique muni de fiches coaxiales.

Pour les courants alternatifs dont la fréquence ne dépasse pas 20 kHz, on mesure la puissance en employant le circuit de la figure 5 [4].

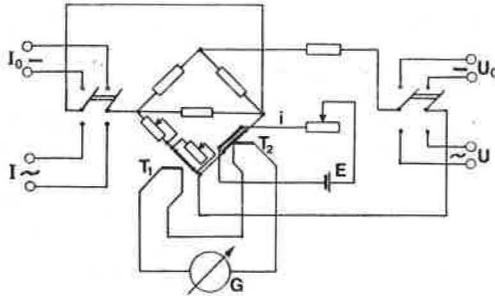


Fig. 5.

L'un des deux éléments chauffants d'un convertisseur TTP-5 et l'élément chauffant d'un convertisseur TTP-3 constituent deux des bras adjacents d'un pont de Wheatstone dont les deux autres bras sont constitués par des résistances non réactives. Deux des sommets opposés du pont sont connectés aux bornes de courant alternatif, soit de l'appareil en courant continu. Si les caractéristiques volt-ampère des convertisseurs sont quadratiques et identiques et si les résistances des bras du pont sont égales, la théorie montre [3, 6] qu'en courant continu la différence entre les forces thermoélectriques des convertisseurs est proportionnelle au produit  $U_0 I_0$ , tandis qu'en courant alternatif elle est proportionnelle au produit  $UI \cos \varphi$ . Si cette différence reste constante lorsqu'on passe du courant continu au courant alternatif, on a alors  $UI \cos \varphi = U_0 I_0$ . Lorsque  $\cos \varphi$  est voisin de l'unité on utilise la méthode dite des « températures égales ». On alimente dans ce cas le second élément chauffant du convertisseur TTP-5 avec un courant continu auxiliaire pour que la puissance totale fournie à ce convertisseur soit égale à celle qui est dissipée dans le convertisseur TTP-3; les forces thermoélectriques des deux thermocouples sont alors égales et il ne passe aucun courant dans le galvanomètre G. On montre aisément que la valeur du courant auxiliaire peut servir à déterminer celle de la puissance à mesurer [4].

Pratiquement on opère comme suit : on alimente d'abord le pont en courant continu ( $I_0$  et  $U_0$  étant parfaitement connus) et l'on ajuste le courant  $i$  dans l'élément chauffant auxiliaire du convertisseur TTP-5 pour annuler la déviation du galvanomètre G. On substitue ensuite le courant alternatif au courant continu. La valeur efficace  $U$  appliquée entre deux des sommets du pont étant choisie égale à  $U_0$ , on agit sur l'intensité  $I$  du courant alternatif pour annuler de nouveau la déviation du galvanomètre G; à l'équilibre  $U_0 I_0 = UI \cos \varphi$ .

Les méthodes décrites ci-dessus pour le passage courant continu — courant alternatif sont très précises et peuvent être proposées en vue de comparaisons internationales. Dans une première étape, il est possible

cependant qu'il soit seulement utile de comparer des convertisseurs destinés à la mesure des intensités et des tensions.

En ce qui concerne les convertisseurs TTP-3 de l'I.M.M., leur meilleur régime de fonctionnement est le suivant :

intensité de courant : 10 à 30 mA  
tension : de l'ordre de 100 V  
fréquence : 40 Hz à 20 kHz

Dans ces conditions de fonctionnement, la comparaison des courants ne nécessite pas l'emploi de shunt qui risque toujours d'introduire une erreur supplémentaire, tandis que la résistance qu'il faut ajouter en série pour comparer les tensions a toujours une réactance très faible.

(Octobre 1968)

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHIROKOV (G. P.), Installation pour la vérification des ampèremètres et voltmètres à fréquence élevée en courant alternatif, *Troudy V.N.I.I.M.*, N° 24(84), 1954.
  - [2] ROJDESTVENSKAIA (T. B.) et TEPLINSKI (A. M.), Comparateur pour le mesurage des courants alternatifs faibles, *Izmeritelnaia Tekhnika*, N° 11, 1960, p. 41.
  - [3] BEZIKOVITCH (A. J.), Méthode thermoélectrique de vérification des wattmètres en courant alternatif à fréquences normale et élevée, *Troudy V.N.I.I.M.*, N° 24(84), 1954.
  - [4] BEZIKOVITCH (A. J.) et POPOV (V. S.), Méthode et appareillage pour la vérification des wattmètres dans la région des fréquences acoustiques, *Troudy Institutov Komiteta*, N° 39(99), 1960, pp. 130-141.
  - [5] KAIANDER (M. S.), Transformateur de mesure de référence de courant pour le domaine des fréquences de 50 à 10 000 Hz, *Troudy V.N.I.I.M.*, N° 28(88), 1956.
  - [6] ROJDESTVENSKAIA (T. B.), Comparateurs électriques pour les mesurages précis du courant, de la tension et de la puissance, \* Édition du Comité des Normes, des Mesures et Instruments de Mesure de l'U.R.S.S. \*, 1964.
-

**Comparaison directe de deux admittances  
employées pour comparer un étalon de résistance  
à un étalon de capacité**

Par E. ARRI et F. CABIATI

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (Italie)

*Riassunto.* — Si descrive un metodo di precisione elevata, tendente a stabilire direttamente l'uguaglianza dei moduli di due ammettenze generiche, senza l'intervento di altri parametri circuitali.

Le tensioni ai terminali delle due ammettenze, in serie tra loro, sono campionate alternativamente da un unico sistema di rivelazione, di elevatissima impedenza, commutato in modo periodico ed automatico. Il sistema fornisce in uscita un'indicazione della differenza tra i moduli delle tensioni, sotto forma di oscillazioni riprodotte la modulazione di tipo rettangolare impressa dalla commutazione.

Il limite dell'errore dovuto alla struttura del circuito, compresi i parametri secondari e di schermo, appare secondo i calcoli riducibile a livelli di qualche parte in  $10^{-9}$ .

Il metodo è adatto per il confronto fra campioni della stessa grandezza o di grandezze diverse, tipicamente fra resistenze e capacità.

Un prototipo del dispositivo di rivelazione si è dimostrato di sensibilità maggiore di quella consentita dalla stabilità in ampiezza del generatore adoperato ( $2 \times 10^{-6}$ ).

On a étudié la possibilité de comparer deux admittances quelconques de modules à peu près égaux, par une méthode directe de précision élevée [1], dérivée de la méthode potentiométrique employée en courant continu pour la comparaison de deux résistances d'égale valeur nominale. Cette méthode directe se distingue du classique potentiomètre pour courant alternatif à coordonnées polaires par l'emploi d'un détecteur qui permet la mesure du module de la tension en négligeant l'argument. On peut ainsi comparer des admittances soit du même type, soit avec des arguments différents, pourvu que leur différence ne soit pas voisine de  $\pi$  rad.

Deux modifications notables ont été apportées à la méthode potentiométrique :

— le double équilibrage qu'implique la méthode d'opposition est effectué automatiquement, ainsi que la commutation du dispositif de mesure de

l'une à l'autre admittance; cette commutation s'effectue périodiquement avec une fréquence de l'ordre de 1 Hz par exemple;

— la différence entre les modules des deux tensions n'est pas évaluée quantitativement, mais détectée et utilisée pour commander une opération d'équilibrage consistant à modifier les admittances à comparer, jusqu'à ce qu'elles soient égales.

Cet automatisme a surtout pour but d'obtenir des mesures pouvant être répétées régulièrement à courte période: en effet, de cette façon le signal utile à la sortie du système de détection peut être plus efficacement séparé du bruit, au profit de la sensibilité, en employant la corrélation du signal de sortie lui-même avec le signal qui commande la commutation.

Dans le circuit de comparaison des deux admittances  $\bar{Y}_1 \approx Ye^{j\varphi_1}$  et  $\bar{Y}_2 \approx Ye^{j\varphi_2}$  (fig. 1), complété par le système d'écran constitué par les dipôles  $W_1, W_2$  et le détecteur  $D_w$ , le système de détection de la différence entre les modules des tensions est représenté par le dipôle  $D$ .

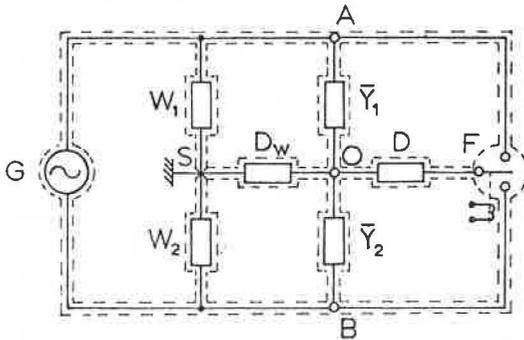


Fig. 1. — Circuit de comparaison des admittances  $\bar{Y}_1$  et  $\bar{Y}_2$  avec système d'écran et de mise à la terre selon Wagner.

Sur la base du schéma équivalent (fig. 2), où l'on tient compte aussi de toutes les admittances par rapport à l'écran, convenablement groupées, on peut établir une expression de la limite de l'erreur due à la structure du réseau, y compris le commutateur, et aux paramètres secondaires explicités dans la figure. En effet, en supposant égaux les modules des tensions aux bornes du détecteur  $D$  dans les deux positions du commutateur, et la condition d'équilibre du système d'écran vérifiée à mieux que

$$\frac{\Delta m}{m} = \left| 2 \frac{\bar{m}_2 - \bar{m}_1}{\bar{m}_1 + \bar{m}_2} \right|$$

les modules des admittances sont égaux, avec une erreur relative approximativement égale à

$$(1) \quad \varepsilon \leq z(y + y_F) \tan \frac{1}{2} |\varphi_2 - \varphi_1| + \\ + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta y}{Y} + \frac{y_s}{Y} \frac{\Delta m}{m} \right) \sec \frac{1}{2} |\varphi_2 - \varphi_1| + \frac{1}{4} \frac{\Delta y_F y_s}{m Y} \sec^2 \frac{1}{2} |\varphi_2 - \varphi_1|,$$

où  $\Delta y$  représente le module de la composante de la dérive de l'admittance d'entrée  $\bar{y}$  du détecteur, en relation avec le signal de commande du commutateur, et  $\Delta y_F$  le module de la variation de l'admittance  $\bar{y}_F$  due à l'inévitable asymétrie du commutateur. L'approximation de la formule (1) résulte de la suppression de plusieurs termes d'erreur sur la base d'hypothèses raisonnables sur les ordres de grandeur des paramètres secondaires.

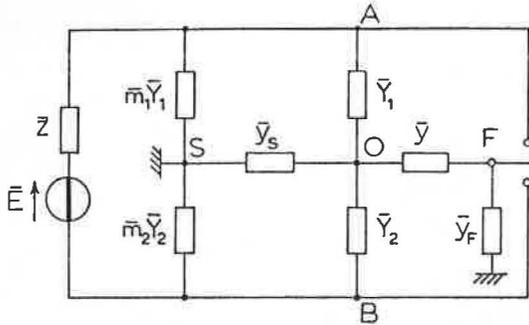


Fig. 2. — Schéma équivalent du circuit adopté.

La recherche expérimentale actuellement en cours se propose de ramener au même ordre de grandeur que les termes d'erreur de (1) l'influence des autres causes d'erreur et d'insensibilité : distorsion et instabilité à court terme de l'amplitude et de la fréquence de la tension d'alimentation, limite propre des dispositifs employés, et dérive des paramètres de transfert du détecteur que le système idéal suppose être constants.

Si les admittances à comparer sont de simples étalons, la seule considération de leurs modules permet non seulement d'obtenir l'équilibre en changeant un seul paramètre, bien qu'il s'agisse d'un système en courant alternatif, mais aussi de négliger, comme il est facile de le vérifier, l'effet des paramètres parasites si leurs valeurs sont comprises dans les limites habituellement admises pour des éléments étalons non inductifs.

À cet égard, comme alternative aux différents systèmes à pont, il est particulièrement intéressant d'employer cette méthode pour la comparaison d'un étalon de résistance à un étalon de capacité, comme étape intermédiaire pour la mesure absolue d'une résistance à partir d'un condensateur calculable. Dans ce cas, le procédé de réduction à zéro de la différence entre les modules des deux admittances se révèle particulièrement convenable : en effet, le zéro peut être atteint en modifiant et en mesurant seulement la fréquence. La comparaison s'effectue ainsi de la façon la plus directe, en faisant abstraction de tout étalonnage préliminaire du système, et en réduisant à des niveaux négligeables l'influence de tout paramètre qui ne se trouve pas impliqué dans la relation théorique  $\frac{1}{R} = \omega C$ .

Dans le cas de la comparaison d'une résistance étalon de 10 k $\Omega$  et d'un condensateur étalon de 10 nF à la pulsation de  $1 \times 10^4$  rad/s, on a :

$$Y \approx 1 \times 10^{-4} \text{ S}, \quad |\varphi_2 - \varphi_1| \approx \pi/2 \text{ rad};$$

si l'on a en outre, par l'emploi de dispositifs électroniques convenables :

$$\begin{aligned} z &\approx 1 \times 10^{-2} & \Delta y &< 1 \times 10^{-13} \text{ S} \\ y + y_F &\approx 1 \times 10^{-7} \text{ S} & \Delta y_F &< 1 \times 10^{-10} \text{ S} \\ y_S &\approx 1 \times 10^{-6} \text{ S} & m &\approx 10 \\ \frac{\Delta m}{m} &\approx 1 \times 10^{-7}, \end{aligned}$$

la relation (1) donne  $\varepsilon \leq 3 \times 10^{-9}$ .

Dans un premier montage expérimental, entièrement réalisé à l'aide de composants à l'état solide, le dispositif de détection a été conçu selon le schéma de la figure 3.

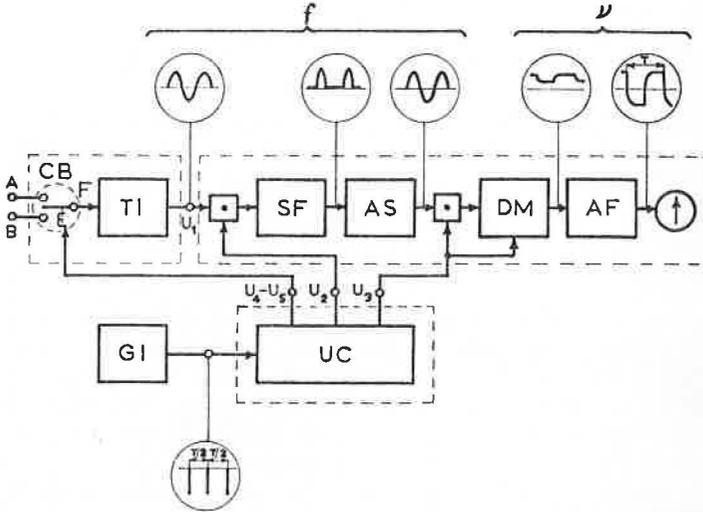


Fig. 3. — Schéma de la première version du dispositif de détection.

Le commutateur CB est du type bistable à contacts à mercure, de résistance négligeable en comparaison de la très haute impédance d'entrée du détecteur.

Le bloc d'entrée TI consiste en un amplificateur à transistors à effet de champ, connecté de façon telle qu'il fournisse un gain stable presque unitaire et reproduise le signal d'entrée à un bas niveau d'impédance. On obtient de cette façon pour une tension alternative, et automatiquement, les avantages caractéristiques de la méthode d'opposition.

Le signal sinusoïdal ainsi transformé présente, si le système n'est pas encore équilibré, une modulation d'amplitude de type rectangulaire due à la commutation; ce signal est alors écrêté à un niveau proche de la valeur maximale par le bloc SF, qui en reproduit la région de crête amplifiée comme une succession d'impulsions ayant la forme d'arcs de sinusoïde.

L'amplificateur sélectif AS renforce la composante fondamentale de ces impulsions à la fréquence  $f$ , en donnant un signal sinusoïdal dont l'amplitude moyenne est comparable à celle d'entrée, mais avec une modulation remarquablement accentuée.

Le bloc DM a essentiellement pour fonction de convertir le signal alter-

natif en un signal continu d'amplitude proportionnelle. Il travaille en effet comme démodulateur et fournit à la sortie un signal rectangulaire qui reproduit amplifiée l'enveloppe de la tension sinusoïdale modulée par la commutation à la fréquence  $\nu$ .

Les circuits déclencheurs à l'entrée des blocs SF et DM permettent d'échantillonner le signal dans des intervalles de temps où les phénomènes transitoires, dus à la commutation et à la rotation de phase correspondante  $\varphi_2 - \varphi_1$ , ont pratiquement disparu. Le bloc DM comprend en outre un circuit intégrateur spécial, à constante de temps commandée, qui fixe le niveau du signal de sortie continu à la fin de chaque intervalle d'échantillonnage et l'ajuste rapidement au niveau correspondant au commencement de l'intervalle suivant. Ce circuit, les circuits déclencheurs et le commutateur sont contrôlés par l'unité UC, commandée à son tour par le générateur d'impulsions GI.

L'amplificateur final AF, pour fréquences très basses à l'exclusion de la composante continue, commande enfin, dans des conditions de résonance mécanique, un galvanomètre pour courant continu; ce galvanomètre a donc la double fonction d'indicateur et de filtre résonnant à bande très étroite, avec une élimination efficace du bruit.

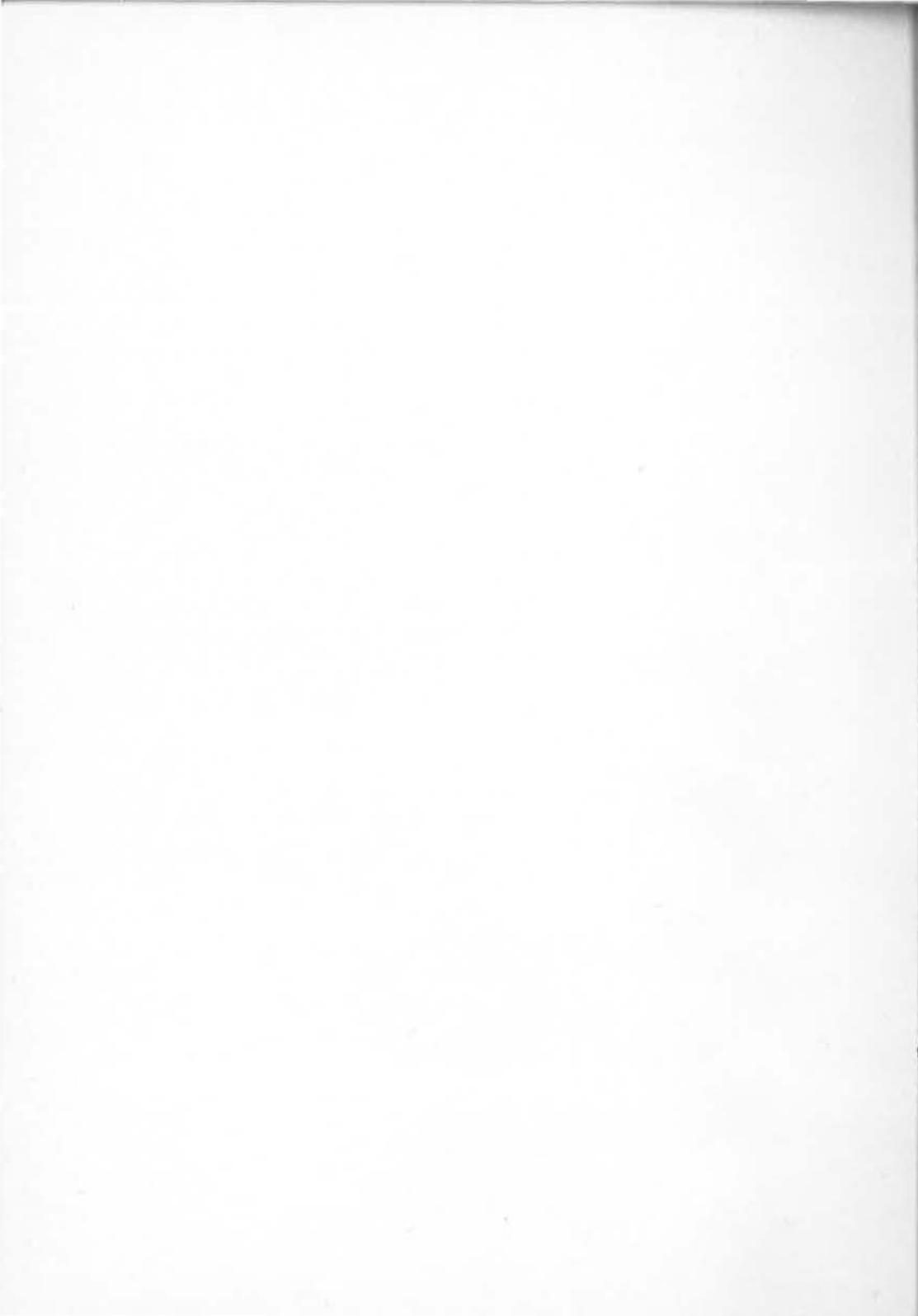
On étudie maintenant un générateur de tension sinusoïdale, à fréquence finement réglable, possédant des caractéristiques suffisantes de stabilité à court terme en amplitude et en fréquence, et de très faibles distorsion et impédance interne; le manque d'un tel appareil n'a pas permis, jusqu'à présent, d'essayer le dispositif de détection avec une sensibilité relative supérieure à  $2 \times 10^{-5}$  environ. Cette sensibilité a été atteinte, avec un générateur du commerce, dans la comparaison des modules des tensions fournies par un diviseur inductif à rapport variable, avec différence de phase à la commutation de  $\pi$  rad, c'est-à-dire dans les conditions les plus difficiles quant aux phénomènes transitoires.

Notre programme comprend aussi l'amélioration du système de détection au moyen d'amplificateurs opérationnels particuliers et de dispositifs non linéaires commercialisés depuis peu de temps, et le remplacement du galvanomètre par un circuit électronique de démodulation synchrone.

(Octobre 1968)

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] LOMBARDI (P.), *Attività dell'I.E.N.G.F. dal ventottesimo al trentunesimo anno di vita (1961-62 — 1964-65)*, parte II, *L'Elettricità nell'Industria*, **22**, 1968, p. 75.
- LOMBARDI (P.), *Attività dell'I.E.N.G.F. nel trentaduesimo e trentatreesimo anno di vita (1966 — 1967)*, (à paraître).
-



---

# TABLE DES MATIÈRES

---

## COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ 12<sup>e</sup> Session (1968)

	Pages
Avertissement historique .....	E 5
Liste des membres .....	7
Ordre du jour .....	10
<b>Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par P. Vigoureux.</b>	
Ouverture de la session; hommage à la mémoire de R. Hérou décédé en 1966 ...	11
Comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice (Résultats; nécessité de leur diffusion rapide. Confirmation de la périodicité triennale des comparaisons) .....	12
Comparaisons circulaires d'étalons de capacité (Premiers résultats de la comparaison des étalons de 10 pF; température à laquelle doivent être faites les comparaisons. Résultats de la dernière partie de la comparaison des étalons de 0,1 $\mu$ F) .....	12
Déterminations absolues (Informations sur les travaux des laboratoires nationaux) .....	13
Ajustement des valeurs attribuées aux étalons nationaux et aux étalons du B.I.P.M. (Maintien de la valeur de $\Omega_{\text{BIPM}}$ ; correction de $-11 \times 10^{-6}$ à $V_{\text{BIPM}}$ . Changements prévus aux « unités nationales ». Adoption de la Recommandation E 1) .....	13
Piles étalons (Travaux des laboratoires nationaux; transport des piles dans des enceintes thermorégulées) .....	14
Diodes de Zener (Travaux des laboratoires nationaux) .....	15
Moyens de contrôle de la permanence des étalons de référence .....	15
Passage courant alternatif — courant continu (Travaux des laboratoires nationaux; comparaisons envisagées) .....	15
Rapports des Groupes de travail: Grandeurs aux radiofréquences (Approbation des comparaisons recommandées). Coefficient gyromagnétique du proton (Approbation de la Recommandation E 2 fixant la valeur de $\gamma'_p$ ) .....	15
Travaux et rôle du Bureau International .....	16
Questions diverses (Nouveaux comparateurs de courants continus conçus au N.R.C.) .....	17

Recommandations présentées au Comité International des Poids et Mesures :	
<i>Recommandation E 1 (valeurs attribuées à <math>\Omega_{\text{BIPM}}</math> et <math>V_{\text{BIPM}}</math>)</i> .....	17
<i>Recommandation E 2 (valeur de <math>\gamma'_p</math> pour l'usage métrologique)</i> .....	18
Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences et Recommandations présentées au C.C.E. ....	19
Rapport du Groupe de travail pour les méthodes et les résultats de mesure du coefficient gyromagnétique du proton .....	23

Annexes

E 1. Documents présentés à la 12 <sup>e</sup> session du C.C.E. ....	25
E 2. B.I.P.M. — <i>Rapport sur la 11<sup>e</sup> comparaison des étalons nationaux de résistance électrique (décembre 1966 — avril 1967)</i> , par G. Leclerc .....	30
E 3. B.I.P.M. — <i>Rapport sur la 11<sup>e</sup> comparaison des étalons nationaux de force électromotrice (janvier — avril 1967)</i> , par G. Leclerc .....	38
E 4. B.I.P.M. — <i>Premiers résultats de la comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF</i> .....	46
E 5. B.I.P.M. — <i>Résultats de la seconde partie de la comparaison circulaire des étalons de capacité voyageurs au mica de 0,1 <math>\mu\text{F}</math></i> .....	49
E 6. I.M.M. (U.R.S.S.). — <i>Nouveau mode de variation de la capacité d'un condensateur en croix cylindrique</i> , par I. N. Krotkov et V. V. Victorov ..	56
E 7. E.T.L. (Japon). — <i>Sur un voltmètre utilisant l'effet Stark (Résumé)</i> , par K. Hara, T. Kobayashi, T. Matsui, T. Nakase, G. Yonezaki et T. Endo .....	60
E 8. N.B.S. (États-Unis d'Amérique). — <i>Transfert du volt entre laboratoires</i> , par W. G. Eicke, N. Belecki et J. M. Cameron .....	63
E 9. N.B.S. (États-Unis d'Amérique). — <i>Élément galvanique à faible coefficient de température de la force électromotrice (Résumé)</i> , par G. N. Roberts et W. J. Hamer .....	68
E 10. E.T.L. (Japon). — <i>Récents recherches sur les éléments Weston</i> , par H. Hirayama, K. Murakami et K. Shimazaki .....	69
E 11. E.T.L. (Japon). — <i>Note sur les méthodes de passage courant continu — courant alternatif</i> , par S. Iwamoto, T. Yamazaki et M. Kanno .....	75
E 12. I.M.M. (U.R.S.S.). — <i>Méthodes appliquées en U.R.S.S. pour l'utilisation en courant alternatif à basse et à haute fréquence des unités électriques définies en courant continu</i> , par A. J. Bezikovitch et T. B. Rojdestvenskaia .....	77
E 13. I.E.N. (Italie). — <i>Comparaison directe de deux admittances employées pour comparer un étalon de résistance à un étalon de capacité</i> , par E. Arri et F. Cabiati .....	83

**IMPRIMERIE DURAND**

**28-LUISANT (FRANCE)**

---

**Dépôt légal, Imprimeur, 1970, n° 980**

**Dépôt légal, Éditeur, 1970, n° 8**

**ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 10-6-1970**

**Imprimé en France**