

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



Rapport
sur la comparaison des étalons nationaux
de résistance électrique de 1Ω
(novembre 1979 - février 1980)
par G. Leclerc

PAVILLON DE BRETEUIL
92 - SÈVRES
France

Rapport
sur la comparaison des étalons nationaux
de résistance électrique de 1 Ω
(novembre 1979 - février 1980)
par G. Leclerc

Dix laboratoires ont participé à la comparaison des étalons nationaux de résistance électrique que le BIPM a effectuée de novembre 1979 à février 1980 ; ce sont : Le Conseil National de Recherches (NRC), du Canada ; le Laboratoire Central des Industries Electriques (LCIE), de France ; l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN), de l'Italie ; l'Electrotechnical Laboratory (ETL), du Japon ; le Van Swinden Laboratorium (VSL), des Pays-Bas ; le National Physical Laboratory (NPL), du Royaume-Uni ; le Comité d'Etat de Normalisation (CEN), de Bulgarie ; le Laboratoire de Métrologie Fondamentale (LMF), du Danemark ; Det Norske Justerwesen (NJV), de la Norvège et le Comité Polonais de Normalisation, des Mesures et de Contrôle (CPN).

Ces laboratoires ont fait parvenir au BIPM trente deux étalons de 1 Ω de premier ordre, à quatre bornes, étanches, dont le coefficient de température est bien connu.

Les trente deux étalons voyageurs et les six étalons primaires du BIPM dont la résistance moyenne matérialise Ω_{69-BI} (représentation conservée par le BIPM de l'unité SI de résistance), ont été comparés deux à deux conformément au schéma de la figure 1. (Les étalons d'un même laboratoire ont été comparés entre eux dans toutes les combinaisons possibles.) Les 109 mesures "aller" ont été faites du 12 novembre au 26 décembre 1979 et les 109 mesures "retour" du 3 janvier au 15 février 1980. Par ailleurs les six étalons primaires du BIPM ont été comparés entre eux deux à deux dans toutes les combinaisons possibles avant (22-26 octobre 1979) et après (25-29 février 1980) la comparaison internationale.

Les comparaisons ont été effectuées par un seul observateur (D. Bournaud), au moyen d'un pont double de Thomson à bras de 100 Ω et en procédant par substitution (les deux étalons comparés au cours d'une série de mesures étant opposés à tour de rôle à une résistance tare ajustable). Au milieu de chaque série les bras "mesure" et "tare" du pont étaient inversés. Pendant les observations les étalons étaient parcourus par un courant de 0,1 A et leur température déterminée au moyen d'un thermomètre à résistance de platine.

Les cent vingt quatre équations de condition (moyennes des résultats, ramenés à 20 °C, des mesures "aller" et des mesures "retour") que l'on a obtenues ont été traitées par la méthode des moindres carrés ; elles ont fourni, à partir de la somme connue des six étalons de référence du BIPM, la valeur de chaque étalon voyageur en fonction de Ω_{69-BI} (tableau I).

Dans le tableau II nous avons calculé la valeur de chaque étalon voyageur en fonction de la représentation de l'ohm conservée par son laboratoire d'origine, à la date du 29 décembre 1979 (date centrale des comparaisons effectuées au BIPM). Les résultats de la comparaison internationale sont calculés dans le tableau III et résumés dans le tableau IV.

Précision

Comme lors de la comparaison internationale précédente, nous avons calculé l'ordre de grandeur de la précision des résultats du tableau III en considérant la dispersion des résultats fournis par les différents étalons voyageurs d'un même laboratoire.

Supposant que tous les étalons étaient de même qualité métrologique, qu'ils avaient été étalonnés avec la même précision dans leur laboratoire d'origine respectif, qu'aucun n'avait subi de variation anormale du fait de son transport, nous avons calculé, pour chaque laboratoire, la valeur de l'expression

$$\sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{(n-p)q}}$$

dans laquelle

ϵ = écart entre ($\Omega_{lab} - \Omega_{69-BI}$) fourni par un étalon et la valeur moyenne admise pour le laboratoire ;

n = 21 = nombre des étalons voyageurs figurant dans le tableau III ;

p = 6 = nombre des laboratoires figurant dans le tableau III ;

q = nombre d'étalons voyageurs du laboratoire considéré.

Ce calcul nous a conduit aux résultats suivants :

1 σ = 0,016 $\mu\Omega$ pour le NRC, le LCIE, l'ETL et le VSL représenté chacun par 4 étalons voyageurs ;

1 σ = 0,018 $\mu\Omega$ pour l'IEN, représenté par 3 étalons voyageurs ;

1 σ = 0,022 $\mu\Omega$ pour le NPL, représenté par 2 étalons voyageurs.

Conclusion

La comparaison a été faite rapidement et dans d'excellentes conditions. Nous estimons que les résultats contenus dans le tableau IV sont exacts à 1×10^{-7} près.

Nous regrettons que faute d'avoir communiqué au BIPM la valeur de leurs étalons voyageurs après retour dans leur laboratoire, quatre des participants ne puissent figurer dans le tableau final.

avril 1981
révisé en août 1981

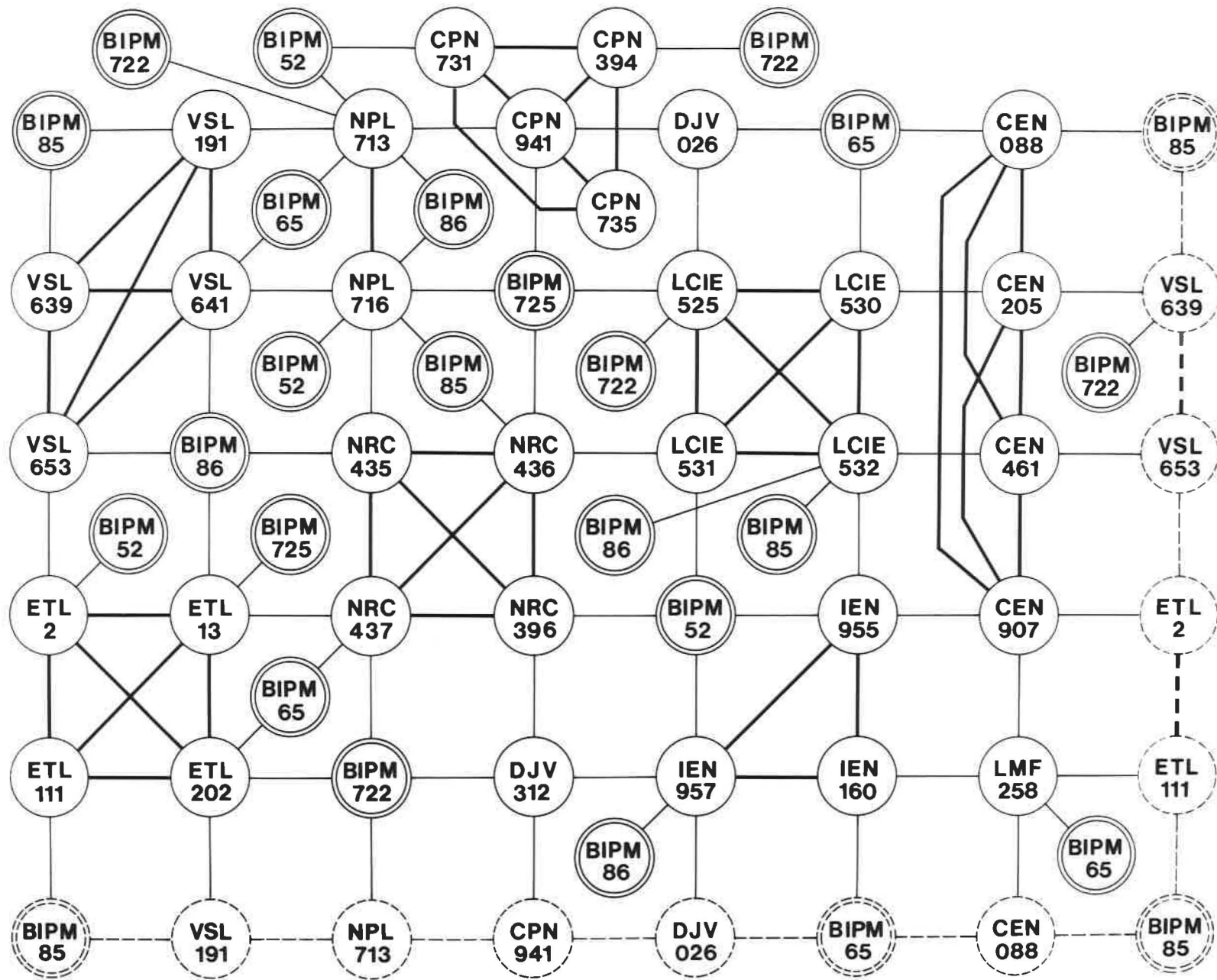


Fig. 1.- Schéma de comparaison des étalons de résistance. Les six étalons primaires du BIPM sont identifiés par un double cercle. Les étalons d'un même laboratoire ont été comparés entre eux dans toutes les combinaisons possibles (comparaisons indiquées par un trait gras).

Tableau I

Résistance à 20 °C, des étalons voyageurs, exprimée en fonction de Ω_{69-BI} (représentation de l'ohm conservée par le BIPM), à la date du 29 décembre 1979.

| Laboratoire | Etalon | Résistance | Incertitude (1 σ) |
|---------------------------|-----------|---|---------------------------|
| <u>NRC</u> : (Canada) | 1336435 = | 0,999 994 85 Ω_{69-BI} | 0,019 $\mu\Omega$ |
| | 1336436 = | 992 82 | 0,017 |
| | 1336437 = | 993 95 | 0,017 |
| | 20396 = | 951 64 | 0,019 |
| | | <hr/> 0,999 983 31 Ω_{69-BI} <hr/> | 0,012 $\mu\Omega$ |
| <u>LCIE</u> : (France) | 1732525 = | 0,999 978 06 Ω_{69-BI} | 0,017 $\mu\Omega$ |
| | 1732530 = | 977 87 | 0,019 |
| | 1732531 = | 981 58 | 0,019 |
| | 1732532 = | 978 32 | 0,016 |
| | | <hr/> 0,999 978 96 Ω_{69-BI} <hr/> | 0,012 $\mu\Omega$ |
| <u>IEN</u> : (Italie) | 1681955 = | 0,999 976 67 Ω_{69-BI} | 0,019 $\mu\Omega$ |
| | 1681957 = | 974 61 | 0,017 |
| | 1723160 = | 979 21 | 0,021 |
| | | <hr/> 0,999 976 83 Ω_{69-BI} <hr/> | 0,014 $\mu\Omega$ |
| <u>ETL</u> : (Japon) | 6905C2 = | 1,000 068 46 Ω_{69-BI} | 0,017 $\mu\Omega$ |
| | 8C13 = | 0,999 993 46 | 0,017 |
| | 70C111 = | 1,000 001 72 | 0,019 |
| | 70C202 = | 0,999 999 44 | 0,017 |
| | | <hr/> 1,000 015 77 Ω_{69-BI} <hr/> | 0,012 $\mu\Omega$ |
| VSL : (Pays-Bas) | 1753639 = | 0,999 977 36 Ω_{69-BI} | 0,017 $\mu\Omega$ |
| | 1753641 = | 977 30 | 0,017 |
| | 1756653 = | 978 84 | 0,017 |
| | 1773191 = | 976 18 | 0,017 |
| | | <hr/> 0,999 977 42 Ω_{69-BI} <hr/> | 0,012 $\mu\Omega$ |
| NPL : (Royaume-Uni) | 713 = | 1,000 049 05 Ω_{69-BI} | |
| | 716 = | 533 57 | 0,014 |
| | | <hr/> 1,000 291 31 Ω_{69-BI} <hr/> | 0,012 $\mu\Omega$ |

| Laboratoire | Etalon | Résistance | Incertitude (1 σ) |
|----------------------------|----------|---|---------------------------|
| <u>CEN</u> : (Bulgarie) | 76088 = | 0,999 995 60 Ω_{69-BI} | 0,017 $\mu\Omega$ |
| | 224907 = | 996 16 | 0,018 |
| | 470205 = | 994 00 | 0,020 |
| | 470461 = | 1,000 003 90 | 0,020 |
| | | <u>0,999 997 42 Ω_{69-BI}</u> | 0,014 $\mu\Omega$ |
| <u>LMF</u> : (Danemark) | 726258 = | 0,999 968 92 Ω_{69-BI} | 0,019 $\mu\Omega$ |
| <u>NJV</u> : (Norvège) | 225312 = | 0,999 997 38 Ω_{69-BI} | 0,021 $\mu\Omega$ |
| | 230026 = | 1,000 000 36 | 0,020 |
| | | <u>0,999 998 87 Ω_{69-BI}</u> | 0,015 $\mu\Omega$ |
| <u>CPN</u> : (Pologne) | 74941 = | 0,999 995 01 Ω_{69-BI} | 0,020 $\mu\Omega$ |
| | 75735 = | 990 92 | 0,028 |
| | 40731 = | 1,000 008 82 | 0,024 |
| | 41394 = | 005 79 | 0,024 |
| | | <u>1,000 000 14 Ω_{69-BI}</u> | 0,019 $\mu\Omega$ |

Tableau II

Résistance à 20 °C, des étalons voyageurs, exprimée en fonction de la représentation de l'ohm conservée par leur laboratoire d'origine, à la date du 29 décembre 1979.

La résistance au 29 décembre 1979, date centrale de la comparaison, a été calculée par interpolation linéaire entre les résistances attribuées aux étalons par les laboratoires nationaux avant et après les mesures au BIPM.

| Etalon n° | <u>NRC</u> | | |
|-----------|---------------------------|--------------|-------------------------------------|
| | 20 octobre 1979 | 7 mai 1980 | 29 décembre 1979 |
| 1336435 : | 0,999 996 17 | 0,999 996 23 | 0,999 996 19 Ω_{NRC} |
| 1336436 : | 994 12 | 994 19 | 994 14 |
| 1336437 : | 995 35 | 995 28 | 995 33 |
| 20396 : | 952 89 | 952 94 | 952 91 |
| | <hr/> | <hr/> | <hr/> |
| | 0,999 984 63 | 0,999 984 66 | 0,999 984 64 Ω_{NRC} |
| | <u>LCIE</u> | | |
| | 10 octobre 1979 | 11 mars 1980 | |
| 1732525 : | 0,999 977 39 | 0,999 977 36 | 0,999 977 37 Ω_{LCIE} |
| 1732530 : | 977 22 | 977 20 | 977 21 |
| 1732531 : | 980 93 | 980 87 | 980 90 |
| 1732532 : | 977 64 | 977 60 | 977 62 |
| | <hr/> | <hr/> | <hr/> |
| | 0,999 978 29 ₅ | 0,999 978 26 | 0,999 978 28 Ω_{LCIE} |
| | <u>IEN</u> | | |
| | 17 octobre 1979 | 5 mai 1980 | |
| 1681955 : | 0,999 975 33 | 0,999 975 33 | 0,999 975 33 Ω_{IEN} |
| 1681957 : | 973 28 | 973 33 | 973 30 |
| 1723160 : | 977 87 | 977 89 | 977 88 |
| | <hr/> | <hr/> | <hr/> |
| | 0,999 975 49 | 0,999 975 52 | 0,999 975 50 Ω_{IEN} |
| | <u>ETL</u> | | |
| | 8 octobre 1979 | 11 mai 1980 | |
| 6905C2 : | 1,000 067 07 | 1,000 067 17 | 1,000 067 11 Ω_{ETL} |
| 8C13 : | 0,999 992 13 | 0,999 992 33 | 0,999 992 21 |
| 70C111 : | 1,000 000 35 | 1,000 000 58 | 1,000 000 44 |
| 70C202 : | 0,999 998 14 | 0,999 998 08 | 0,999 998 12 |
| | <hr/> | <hr/> | <hr/> |
| | 1,000 014 42 | 1,000 014 54 | 1,000 014 47 Ω_{ETL} |

VSL

| Etalon n° | 27 octobre 1979 | 30 août 1980 | 29 décembre 1979 |
|-----------|---------------------------|--------------|-----------------------------|
| 1753639 : | 0,999 976 90 | 0,999 976 83 | 0,999 976 89 Ω_{VSL} |
| 1753641 : | 976 87 | 976 79 | 976 85 |
| 1756653 : | 978 36 | 978 27 | 978 34 |
| 1773191 : | 975 73 | 975 67 | 975 72 |
| | <hr/> | <hr/> | <hr/> |
| | 0,999 976 96 ₅ | 0,999 976 89 | 0,999 976 95 Ω_{VSL} |

NPL

| | 24 septembre 1979 | 27 février 1980 | |
|-------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 713 : | 1,000 048 73 | 1,000 048 75 | 1,000 048 74 Ω_{NPL} |
| 716 : | 533 21 | 533 27 | 533 25 |
| | <hr/> | <hr/> | <hr/> |
| | 1,000 290 97 | 1,000 291 01 | 1 000 290 99 Ω_{NPL} |

Tableau III

Valeur de la représentation de l'ohm conservée par chaque laboratoire en fonction de Ω_{69-BI} , représentation conservée par le BIPM, à la date du 29 décembre 1979

NRC

Etalon N°

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|--------------|----------------|--------------|--------------|------------------|------|----------------|------------------|------------------|----------------|------|------------------|---|------|-------------|
| 1336435 | : | 0,999 996 19 | Ω_{NRC} | = | 0,999 994 85 | Ω_{69-BI} | d'où | Ω_{NRC} | = | Ω_{69-BI} | - | 1,34 | $\mu\Omega$ | | | |
| 1336436 | : | 994 14 | | = | 992 82 | | | = | | - | 1,32 | | | | | |
| 1336437 | : | 995 33 | | = | 993 95 | | | = | | - | 1,38 | | | | | |
| 20396 | : | 952 91 | | = | 951 64 | | | = | | - | 1,27 | | | | | |
| | | <hr/> | | 0,999 984 64 | | Ω_{NRC} | = | 0,999 983 31 | Ω_{69-BI} | d'où | Ω_{NRC} | = | Ω_{69-BI} | - | 1,33 | $\mu\Omega$ |

LCIE

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|--------------|-----------------|--------------|--------------|------------------|------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------|------------------|---|------|-------------|
| 1732525 | : | 0,999 977 37 | Ω_{LCIE} | = | 0,999 978 06 | Ω_{69-BI} | d'où | Ω_{LCIE} | = | Ω_{69-BI} | + | 0,69 | $\mu\Omega$ | | | |
| 1732530 | : | 977 21 | | = | 977 87 | | | = | | + | 0,66 | | | | | |
| 1732531 | : | 980 90 | | = | 981 58 | | | = | | + | 0,68 | | | | | |
| 1732532 | : | 977 62 | | = | 978 32 | | | = | | + | 0,70 | | | | | |
| | | <hr/> | | 0,999 978 28 | | Ω_{LCIE} | = | 0,999 978 96 | Ω_{69-BI} | d'où | Ω_{LCIE} | = | Ω_{69-BI} | + | 0,68 | $\mu\Omega$ |

IEN

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|--------------|----------------|--------------|--------------|------------------|------|----------------|------------------|------------------|----------------|------|------------------|---|------|-------------|
| 1681955 | : | 0,999 975 33 | Ω_{IEN} | = | 0,999 976 67 | Ω_{69-BI} | d'où | Ω_{IEN} | = | Ω_{69-BI} | + | 1,34 | $\mu\Omega$ | | | |
| 1681957 | : | 973 30 | | = | 974 61 | | | = | | + | 1,31 | | | | | |
| 1723160 | : | 977 88 | | = | 979 21 | | | = | | + | 1,33 | | | | | |
| | | <hr/> | | 0,999 975 50 | | Ω_{IEN} | = | 0,999 976 83 | Ω_{69-BI} | d'où | Ω_{IEN} | = | Ω_{69-BI} | + | 1,33 | $\mu\Omega$ |

ETL

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|---|--------------|----------------|--------------|--------------|------------------|------|----------------|------------------|------------------|----------------|------|------------------|---|------|-------------|
| 6905C2 | : | 1,000 067 11 | Ω_{ETL} | = | 1,000 068 46 | Ω_{69-BI} | d'où | Ω_{ETL} | = | Ω_{69-BI} | + | 1,35 | $\mu\Omega$ | | | |
| 8C13 | : | 0,999 992 21 | | = | 0,999 993 46 | | | = | | + | 1,25 | | | | | |
| 70C111 | : | 1,000 000 44 | | = | 1,000 001 72 | | | = | | + | 1,28 | | | | | |
| 70C202 | : | 0,999 998 12 | | = | 0,999 999 44 | | | = | | + | 1,32 | | | | | |
| | | <hr/> | | 1,000 014 47 | | Ω_{ETL} | = | 1,000 015 77 | Ω_{69-BI} | d'où | Ω_{ETL} | = | Ω_{69-BI} | + | 1,30 | $\mu\Omega$ |

VSL

Etalon N°

| | | | | | | | | |
|---------|---|-----------------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|------------------|--------------------|
| 1753639 | : | 0,999 976 89 Ω_{VSL} | = | 0,999 977 36 Ω_{69-BI} | d'où Ω_{VSL} | = | Ω_{69-BI} | + 0,47 $\mu\Omega$ |
| 1753641 | : | 976 85 | = | 977 30 | | = | | + 0,45 |
| 1756653 | : | 978 34 | = | 978 84 | | = | | + 0,50 |
| 1773191 | : | 975 72 | = | 976 18 | | = | | + 0,46 |
| | | <hr/> | | <hr/> | | | | |
| | | 0,999 976 95 Ω_{VSL} | = | 0,999 977 42 Ω_{69-BI} | d'où Ω_{VSL} | = | Ω_{69-BI} | + 0,47 $\mu\Omega$ |

NPL

| | | | | | | | | |
|-----|---|-----------------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|------------------|--------------------|
| 713 | : | 1,000 048 74 Ω_{NPL} | = | 1,000 049 05 Ω_{69-BI} | d'où Ω_{NPL} | = | Ω_{69-BI} | + 0,31 $\mu\Omega$ |
| 716 | : | 533 25 | = | 533 57 | | = | | + 0,32 |
| | | <hr/> | | <hr/> | | | | |
| | | 1,000 290 99 Ω_{NPL} | = | 1,000 291 31 Ω_{69-BI} | d'où Ω_{NPL} | = | Ω_{69-BI} | + 0,32 $\mu\Omega$ |

Tableau IV

Résultats de la comparaison internationale
(au 29 décembre 1979)

$$\Omega_{\text{NRC}} = \Omega_{69\text{-BI}} - 1,33 \mu\Omega$$

$$\Omega_{\text{LCIE}} = + 0,68$$

$$\Omega_{\text{IEN}} = + 1,33$$

$$\Omega_{\text{ETL}} = + 1,30$$

$$\Omega_{\text{VSL}} = + 0,47$$

$$\Omega_{\text{NPL}} = + 0,32$$