

Rapport
sur la mini-comparaison des étalons nationaux
de force électromotrice
(18 octobre - 22 décembre 1976)

par G. LECLERC

Pour participer à la mini-comparaison des étalons nationaux de force électromotrice effectuée par le BIPM durant l'automne 1976, le National Physical Research Laboratory (NPRL), d'Afrique du Sud et Det Norske Justerwesen (NJV), de Norvège, ont envoyé chacun un groupe de 4 piles contenues dans une enceinte à air thermorégulée à 30 °C. L'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN), de l'Italie et le Van Swinden Laboratorium (VSL), des Pays-Bas, ont envoyé chacun deux groupes, l'un constitué de 4 piles conservées à 30 °C dans une enceinte thermorégulée, l'autre composé de 6 piles nues définies à 20 °C.

Deux groupes du BIPM constitués de 4 piles conservées à 30 °C et deux groupes de 5 piles définies à 20 °C appartenant à l'Institut de Métrologie de la Roumanie ont également participé à la comparaison.

Les piles nues ont été immergées dans le bain d'huile de paraffine à $20 \pm 0,05$ °C du BIPM. Pendant les mesures leur température était déterminée au moyen de deux thermomètres à résistance de platine à 0,1 mK près.

On a admis que toutes les piles avaient le même coefficient de température, c'est-à-dire $\alpha_{20} = - 39,78$ $\mu\text{V/K}$ au voisinage de 20 °C et $\alpha_{30} = - 56,70$ $\mu\text{V/K}$ au voisinage de 30 °C.

Les dix groupes de piles (6 groupes à 30 °C et 4 groupes à 20 °C) ont été comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles. Chacun d'eux a, en outre, été comparé à l'un des étalons de référence du BIPM (le premier groupe du BIPM l'a été cinq fois, le second quatre fois et chacun des huit autres groupes une fois). Les comparaisons ont été faites par un seul observateur.

Les étalons de référence du BIPM sont constitués par des piles non saturées, conservées à 30 °C, dont la force électromotrice est régulièrement déterminée par comparaison à une tension Josephson.

Les 62 séries de "mesures aller" ont été effectuées du 18 octobre au 12 novembre 1976 et les 62 séries de "mesures retour" du 15 novembre au 12 décembre 1976.

Les calculs ont été effectués directement avec les résultats obtenus sur chaque pile (sans considération des groupes) en traitant, par la méthode des moindres carrés, les résultats des 518 comparaisons individuelles (moyennes des mesures "aller" et "retour"). A partir des valeurs connues des références, on a exprimé celles de toutes les piles qui ont participé à la comparaison en fonction de V_{76-BI} , représentation du volt réalisée au BIPM à partir d'échelons de potentiel produits par l'effet Josephson en admettant que la fréquence qui correspond à 1 V est 483 594,0 GHz. Les valeurs des piles voyageuses sont données dans la colonne n° 2 du tableau II ; elles sont connues avec un écart-type de 0,013 μ V.

Résultats

Les résultats de la mini-comparaison internationale des étalons nationaux de force électromotrice sont donnés dans le tableau III.

Pour les laboratoires qui ont envoyé au BIPM deux groupes de piles (l'un à 20 °C, l'autre à 30 °C), le résultat retenu est celui qui a été indiqué par le laboratoire national.

Précision

Pour estimer l'ordre de grandeur de la précision avec laquelle la représentation du volt conservée par chaque laboratoire national a été rattaché à V_{76-BI} , nous avons calculé un écart-type sur la valeur moyenne de chaque groupe en tenant compte de la dispersion des résultats fournis par les différentes piles qui le constituaient.

Conclusion

Cette comparaison internationale, la première depuis que la représentation du volt conservée par le BIPM est constituée par une tension Josephson, a été effectuée rapidement et dans d'excellentes conditions ; nous estimons que les résultats auxquels elle a conduit sont exacts à quelques 10^{-7} près. Cette exactitude étant essentiellement limitée par la qualité des étalons de transfert, il sera difficile de l'améliorer tant que ceux-ci seront constitués par des piles.

Février 1979.

TABLEAU I

Valeurs des piles étalons, exprimées en "unités nationale"*
du laboratoire d'origine, à la date du 14 novembre 1976

Les valeurs au 14 novembre 1976, date centrale de la comparaison, ont été calculées par interpolation linéaire entre les valeurs attribuées aux piles par les laboratoires nationaux avant et après les mesures au BIPM.

		<u>NPRL</u>			
		(1) à 30 °C 1 ^{er} septembre 1976	(2) à 30 °C 10 janvier 1977	(3) à 30 °C 14 novembre 1976	
1	31896	1,018 150 3	1,018 150 6	1,018 150 47	V_{NPRL}
2	31946	148 4	148 2	148 29	
3	32039	147 8	147 6	147 69	
4	32041	147 2	146 9	147 03	
		1,018 148 4 ₂₅	1,018 148 3 ₂₅	1,018 148 37	V_{NPRL}
		<u>IEN</u>			
		à 20 °C 30 septembre 1976	à 20 °C 23 février 1977	à 20 °C	
	3180	1,018 602 88	1,018 602 91	1,018 602 89	$V_{\text{IEN-69}}$
	3181	602 03	602 93	602 31	
	3182	605 06	605 61	605 23	
	3183	604 25	605 84	604 74	
	3184	604 31	605 64	604 72	
	3185	601 36	603 54	602 03	
		1,018 603 31 ₅	1,018 604 41 ₂	1,018 603 65	$V_{\text{IEN-69}}$
		à 30 °C 15 septembre 1976	à 30 °C 27 janvier 1977	à 30 °C	
1	37219	1,018 137 62	1,018 138 70	1,018 138 10	$V_{\text{IEN-69}}$
2	37582	143 35	143 55	143 44	
3	38326	143 22	144 37	143 74	
4	38338	140 46	140 99	140 70	
		1,018 141 16	1,018 141 90	1,018 141 49 ₅	$V_{\text{IEN-69}}$

* On entend par "unité nationale" la représentation du volt conservée par chaque laboratoire au moyen de piles. Bien que cette expression soit impropre, elle a l'avantage d'être brève et bien comprise par tous les intéressés.

VSL

	à 20 °C 18 août 1976	à 20 °C 14 juin 1977	à 20 °C au 14 novembre 1976
66087	1,018 610 21	1,018 610 53	1,018 610 30 V_{VSL}
66091	610 68	610 64	610 67
66124	627 42	627 31	627 39
66132	627 06	627 13	627 08
67045	623 62	623 54	623 60
67049	625 95	625 92	625 94
	1,018 620 82 ₃	1,018 620 84 ₅	1,018 620 83 V_{VSL}
	à 30 °C 21 juillet 1976	à 30 °C 18 juin 1977	à 30 °C
1 35403	1,018 152 95	1,018 152 79	1,018 152 89 V_{VSL}
2 35405			
3 35633	151 61	150 94	151 38
4 35668	151 73	151 34	151 59
	1,018 152 10	1,018 151 69	1,018 151 95 ₃ V_{VSL}

La pile n° 35405 a été éliminée par le VSL parce qu'elle était instable.

NJV

	à 30 °C 30 septembre 1976	à 30 °C 12 janvier 1977	à 30 °C au 14 novembre 1976
1	1,018 149 54	1,018 149 64	1,018 149 58 V_{NJV}
2	146 35	146 53	146 43
3	149 78	149 89	149 83
4	148 98	149 08	149 02
	1,018 148 66	1,018 148 78 ₅	1,018 148 71 ₅ V_{NJV}

TABLEAU II

Valeur de la représentation du volt conservée par chaque laboratoire en fonction de V_{76-BI} , représentation conservée par le BIPM, au 14 novembre 1976

		(1)		<u>NPRL</u>		(2)		(3)	
1	31896	1,018	150 47	V_{NPRL}	=	1,018	148 39	V_{76-BI} d'où V_{NPRL}	= $V_{76-BI} - 2,04 \mu V$
2	31946		148 29		=		146 57		= $V_{76-BI} - 1,69$
3	32039		147 69		=		146 04		= $- 1,62$
4	32041		147 03		=		145 25		= $- 1,75$

$$1,018 \ 148 \ 37 \ V_{NPRL} = 1,018 \ 146 \ 56 \ V_{76-BI} \text{ d'où } V_{NPRL} = V_{76-BI} - 1,78 \ \mu V$$

(écart-type de la moyenne : $\epsilon = 0,092$)

				<u>IEN</u>					
3180	1,018	602 89	V_{IEN-69}	=	1,018	603 29	V_{76-BI} d'où V_{IEN-69}	=	$V_{76-BI} + 0,39 \mu V$
3181		602 31		=		602 96		=	$+ 0,64$
3182		605 23		=		605 62		=	$+ 0,38$
3183		604 74		=		605 31		=	$+ 0,56$
3184		604 72		=		605 57		=	$+ 0,83$
3185		602 03		=		602 89		=	$+ 0,84$

$$1,018 \ 603 \ 65 \ V_{IEN-69} = 1,018 \ 604 \ 27 \ V_{76-BI} \text{ d'où } V_{IEN-69} = V_{76-BI} + 0,61 \ \mu V$$

($\epsilon = 0,083$)

1	37219	1,018	138 10	V_{IEN-69}	=	1,018	139 20	V_{76-BI} d'où V_{IEN-69}	=	$V_{76-BI} + 1,08 \mu V$
2	37582		143 44		=		144 20		=	$+ 0,75$
3	38326		143 74		=		144 81		=	$+ 1,05$
4	38338		140 70		=		141 42		=	$+ 0,71$

$$1,018 \ 141 \ 49,5 \ V_{IEN-69} = 1,018 \ 142 \ 41 \ V_{76-BI} \text{ d'où } V_{IEN-69} = V_{76-BI} + 0,90 \ \mu V$$

($\epsilon = 0,097$)

				<u>VSL</u>					
66087	1,018	610 30	V_{VSL}	=	1,018	610 46	V_{76-BI} d'où V_{VSL}	=	$V_{76-BI} + 0,16 \mu V$
66091		610 67		=		610 75		=	$+ 0,08$
66124		627 39		=		627 49		=	$+ 0,10$
66132		627 08		=		627 27		=	$+ 0,19$
67045		623 60		=		623 84 ₅		=	$+ 0,24$
67049		625 94		=		626 19 ₅		=	$+ 0,25$

$$1,018 \ 620 \ 83 \ V_{VSL} = 1,018 \ 621 \ 00 \ V_{76-BI} \text{ d'où } V_{VSL} = V_{76-BI} + 0,17 \ \mu V$$

($\epsilon = 0,029$)

VSL

1	35403	1,018 152 89	V_{VSL}	=	1,018 152 99	V_{76-BI} d'où V_{VSL}	=	$V_{76-BI} + 0,10 \mu V$
3	35633	151 38		=	151 44		=	$+ 0,06$
4	35668	151 59		=	151 68		=	$+ 0,09$
		<hr/>			<hr/>			<hr/>
		1,018 151 95	V_{VSL}	=	1,018 152 04	V_{76-BI} d'où V_{VSL}	=	$V_{76-BI} + 0,08_3 \mu V$
($\epsilon = 0,012$)								

NJV

1		1,018 149 58	V_{NJV}	=	1,018 148 45	V_{76-BI} d'où V_{NJV}	=	$V_{76-BI} - 1,11 \mu V$
2		146 43		=	145 63		=	$- 0,79$
3		149 83		=	148 78		=	$- 1,03$
4		149 02		=	147 86		=	$- 1,14$
		<hr/>			<hr/>			<hr/>
		1,018 148 71 ₅	V_{NJV}	=	1,018 147 68	V_{76-BI} d'où V_{NJV}	=	$V_{76-BI} - 1,02 \mu V$
($\epsilon = 0,079$)								

TABLEAU III

Résultats de la comparaison internationale

(14 novembre 1976)

$$V_{\text{NPRL}} = V_{76\text{-BI}} - 1,78 \mu\text{V}$$

$$V_{\text{IEN}} = + 0,61$$

$$V_{\text{VSL}} = + 0,17$$

$$V_{\text{NJV}} = - 1,02$$