

Section Laboratoires

ATTESTATION D'ACCREDITATION**ACCREDITATION CERTIFICATE****N° 2-03 rév. 9**

Le Comité Français d'Accréditation (Cofrac) atteste que :
The French Committee for Accreditation (Cofrac) certifies that :

LABORATOIRE NATIONAL DE METROLOGIE ET D'ESSAIS
N° SIREN : 313320244

Satisfait aux exigences de la norme **NF EN ISO/IEC 17025 : 2017**
Fulfils the requirements of the standard

et aux règles d'application du Cofrac pour les activités en :
and Cofrac rules of application for the activities of in :

MAGNETISME /
MAGNETISM

ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE /
HIGH FREQUENCY ELECTRICITY

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / COURANT CONTINU - COURANT ALTERNATIF
DIRECT CURRENT AND LOW FREQUENCY ELECTRICITY / DIRECT CURRENT - ALTERNATIVE CURRENT

réalisées par / *performed by :*

LNE - Laboratoires de Trappes
29, rue Roger Hennequin
78197 TRAPPES Cedex

et précisément décrites dans l'annexe technique jointe
and precisely described in the attached technical appendix

L'accréditation suivant la norme internationale homologuée NF EN ISO/IEC 17025 est la preuve de la compétence technique du laboratoire dans un domaine d'activités clairement défini et du bon fonctionnement dans ce laboratoire d'un système de management adapté (cf. communiqué conjoint ISO-ILAC-IAF en vigueur disponible sur le site internet du Cofrac www.cofrac.fr)

Accreditation in accordance with the recognised international standard NF EN ISO/IEC 17025 demonstrates the technical competence of the laboratory for a defined scope and the proper operation in this laboratory of an appropriate management system (see current Joint ISO-ILAC-IAF Communiqué available on Cofrac web site www.cofrac.fr).

Le Cofrac est signataire de l'accord multilatéral d'EA pour l'accréditation, pour les activités objets de la présente attestation.

Cofrac is signatory of the European co-operation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement for accreditation for the activities covered by this certificate.

Date de prise d'effet / *granting date* : **19/06/2020**
Date de fin de validité / *expiry date* : **31/08/2022**

Pour le Directeur Général et par délégation
On behalf of the General Director

Le Responsable du Pôle Bâtiment-Electricité,
Pole manager - Building-Electricity,

Kerno MOUTARD

La présente attestation n'est valide qu'accompagnée de l'annexe technique.
This certificate is only valid if associated with the technical appendix.

L'accréditation peut être suspendue, modifiée ou retirée à tout moment. Pour une utilisation appropriée, la portée de l'accréditation et sa validité doivent être vérifiées sur le site internet du Cofrac (www.cofrac.fr).

The accreditation can be suspended, modified or withdrawn at any time. For a proper use, the scope of accreditation and its validity should be checked on the Cofrac website (www.cofrac.fr).

Cette attestation annule et remplace l'attestation N° 2-03 Rév 8.
This certificate cancels and replaces the certificate N° 2-03 [Rév 8](#).

Seul le texte en français peut engager la responsabilité du Cofrac.
The Cofrac's liability applies only to the french text.

Comité Français d'Accréditation - 52, rue Jacques Hillairet 75012 PARIS Tél. : +33 (0)1 44 68 82 20 – Fax : 33 (0)1 44 68 82 21 Siret : 397 879 487 00031 www.cofrac.fr
--



Section Laboratoires

ANNEXE TECHNIQUE

à l'attestation N° 2-03 rév. 9

L'accréditation concerne les prestations réalisées par :

LNE - Laboratoires de Trappes
29, rue Roger Hennequin
78197 TRAPPES Cedex

Dans son unité :

- Pôle Métrologie Electrique

Elle porte sur : voir pages suivantes

Unité technique : Pôle Métrologie Electrique

Portée flexible FLEX3 : Le laboratoire peut employer, adapter ou développer d'autres méthodes dès lors que les compétences qu'elles impliquent sont présentes dans sa portée d'accréditation et ce pour la même grandeur sans toutefois que les incertitudes mentionnées ne soient inférieures aux possibilités en matière de mesures et d'étalonnages ("CMCs") répertoriées dans la base de données du BIPM ("KCDB", base de données des comparaisons clés), liées à la mise en place de l'accord de reconnaissance du CIPM.

La portée détaillée mentionnée dans les tableaux ci-après est tenue à jour par le laboratoire.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Courant continu / Différence de potentiel							
Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Piles Références à diodes zéners	Différence de potentiel	/	■ 1,018 V	80 nV	Méthode d'opposition	Réseau de jonctions Josephson	98M0519
			■ 1,018 V ■ 1 V ■ 10 V	150 nV 500 nV 1,5 µV		Etalon de référence	PQ/96-EM-1
Multimètres Calibrateurs Voltmètres Nanovoltmètres	Différence de potentiel	/	$U \leq 1$ V	$7 \cdot 10^{-8} \cdot U + 10$ nV	Méthode d'opposition	Réseau de jonctions Josephson	98M0519
			1 V à 2 V 2 V à 20 V 20 V à 1,5 kV	$4 \cdot 10^{-7} \cdot U + 65$ nV $6,5 \cdot 10^{-7} \cdot U + 650$ nV $1,2 \cdot 10^{-6} \cdot U$		Potentiomètre à comparateur de courant et diviseurs résistifs	PQ/96-EM-1
Kilovoltmètres Sondes haute tension	Différence de potentiel	/	1 kV à 50 kV 50 kV à 250 kV	$7 \cdot 10^{-6} \cdot U$ $4 \cdot 10^{-5} \cdot U$	Mesure directe d'une tension réduite	Diviseur haute tension	PQ/96-EM-1

■ : valeurs ponctuelles

U est la valeur de la différence de potentiel exprimée en volts.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant continu** / Rapport de tensions

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Diviseurs Réducteurs	Rapport de tension	/	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0,1 ■ 0,2 ■ 0,3 ■ 0,4 ■ 0,5 ■ 0,6 ■ 0,7 ■ 0,8 ■ 0,9 	$1,1 \cdot 10^{-8}$ $1,6 \cdot 10^{-8}$ $2,3 \cdot 10^{-8}$ $2,9 \cdot 10^{-8}$ $3,6 \cdot 10^{-8}$ $4,2 \cdot 10^{-8}$ $4,9 \cdot 10^{-8}$ $5,6 \cdot 10^{-8}$ $6,3 \cdot 10^{-8}$	Comparaison à un diviseur de référence	Boîte de résistances fixes	PQ/96-EM-2
Diviseurs Réducteurs	Rapport de tension	/	10^{-7} à 10^{-2} 10^{-2} à $4 \cdot 10^{-2}$ $4 \cdot 10^{-2}$ à 10^{-1} 10^{-1} à 1	$6 \cdot 10^{-9}$ $1,2 \cdot 10^{-7} \cdot K + 4,8 \cdot 10^{-9}$ $2,2 \cdot 10^{-7} \cdot K$ $1,7 \cdot 10^{-7} \cdot K$	Comparaison à un diviseur de référence	Diviseur de type Kelvin Varley comparé à une boîte de résistances fixes	PQ/96-EM-2

■ : valeurs ponctuelles

K est la valeur du rapport ($K \leq 1$)

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Rapport de tensions

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Diviseurs	Rapport de tension Terme en phase a et terme en quadrature b	40 Hz à 400 Hz	■ 0,1 ■ 0,01 ■ 0,001 ■ 0,9 ■ 0,09 ■ 0,009	4,2.10 ⁻⁸	Comparaison à un diviseur de référence	Diviseur de référence	PQ/96-EM-7
			■ 0,2 ■ 0,02 ■ 0,002 ■ 0,8 ■ 0,08 ■ 0,008	7,4.10 ⁻⁸			
			■ 0,3 ■ 0,03 ■ 0,003 ■ 0,7 ■ 0,07 ■ 0,007	9,6.10 ⁻⁸			
			■ 0,4 ■ 0,04 ■ 0,004 ■ 0,6 ■ 0,06 ■ 0,006 ■ 0,5 ■ 0,05 ■ 0,005	1,2.10 ⁻⁷			
		400 Hz à 2 kHz	■ 0,01 ■ 0,001 ■ 0,09 ■ 0,009	2,2.10 ⁻⁸			
			■ 0,02 ■ 0,002 ■ 0,08 ■ 0,008	3,8.10 ⁻⁸			
			■ 0,03 ■ 0,003 ■ 0,07 ■ 0,007	5,0.10 ⁻⁸			
			■ 0,04 ■ 0,004 ■ 0,06 ■ 0,006	5,6.10 ⁻⁸			
			■ 0,05 ■ 0,005	5,8.10 ⁻⁸			
		400 Hz à 1 kHz	■ 0,1 ■ 0,9	2,2.10 ⁻⁸			
			■ 0,2 ■ 0,8	3,8.10 ⁻⁸			
			■ 0,3 ■ 0,7	5,0.10 ⁻⁸			
			■ 0,4 ■ 0,6	5,6.10 ⁻⁸			
			■ 0,5	5,8.10 ⁻⁸			
		1 kHz à 2 kHz	■ 0,1 ■ 0,9	2,8.10 ⁻⁸			
			■ 0,2 ■ 0,8	4,2.10 ⁻⁸			
			■ 0,3 ■ 0,7	5,2.10 ⁻⁸			
			■ 0,4 ■ 0,6	5,8.10 ⁻⁸			
■ 0,5	6,0.10 ⁻⁸						

■ : valeurs ponctuelles

N = a + j.b, N est la valeur du rapport des tensions (N ≤ 1)

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Rapport de tensions (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Diviseurs	Rapport de tension Terme en phase a	2 kHz à 10 kHz	■ 0,01 ■ 0,001 ■ 0,09 ■ 0,009	6,6.10 ⁻⁸	Comparaison à un diviseur de référence	Diviseur de référence	PQ/96-EM-7
			■ 0,02 ■ 0,002 ■ 0,08 ■ 0,008	9,0.10 ⁻⁸			
			■ 0,03 ■ 0,003 ■ 0,07 ■ 0,007	1,1.10 ⁻⁷			
			■ 0,04 ■ 0,004 ■ 0,06 ■ 0,006 ■ 0,05 ■ 0,005	1,3.10 ⁻⁷			
			■ 0,1 ■ 0,9	2,0.10 ⁻⁷			
			■ 0,2 ■ 0,8 ■ 0,3 ■ 0,7 ■ 0,4 ■ 0,6	2,2.10 ⁻⁷			
			■ 0,5	2,4.10 ⁻⁷			
Diviseurs	Rapport de tension Terme en quadrature b	2 kHz à 10 kHz	■ 0,01 ■ 0,001 ■ 0,09 ■ 0,009	8,4.10 ⁻⁸	Comparaison à un diviseur de référence	Diviseur de référence	PQ/96-EM-7
			■ 0,02 ■ 0,002 ■ 0,08 ■ 0,008	1,1.10 ⁻⁷			
			■ 0,03 ■ 0,003 ■ 0,07 ■ 0,007	1,2.10 ⁻⁷			
			■ 0,04 ■ 0,004 ■ 0,06 ■ 0,006 ■ 0,05 ■ 0,005	1,4.10 ⁻⁷			
			■ 0,1 ■ 0,9 ■ 0,2 ■ 0,8 ■ 0,3 ■ 0,7	2,2.10 ⁻⁷			
			■ 0,4 ■ 0,6 ■ 0,5	2,4.10 ⁻⁷			

■ : valeurs ponctuelles

N = a + j.b, N est la valeur du rapport des tensions (N ≤ 1)

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Rapport de tensions (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Diviseurs	Rapport de tension Terme en phase a	40 Hz à 100 Hz 100 Hz à 1 kHz 1 kHz à 10 kHz	10^{-1} à 1	$1,5 \cdot 10^{-7}$ $1,2 \cdot 10^{-7}$ $1,9 \cdot 10^{-6}$	Comparaison à un diviseur de référence	Diviseur de référence	PQ/96-EM-7
		40 Hz à 100 Hz 100 Hz à 1 kHz 1 kHz à 2 kHz 2 kHz à 10 kHz	10^{-2} à 10^{-1}	$1,2 \cdot 10^{-7}$ $6,0 \cdot 10^{-8}$ $1,4 \cdot 10^{-7}$ $2,3 \cdot 10^{-7}$			
		40 Hz à 100 Hz 100 Hz à 2 kHz 2 kHz à 10 kHz	10^{-6} à 10^{-2}	$1,2 \cdot 10^{-7}$ $6,0 \cdot 10^{-8}$ $1,3 \cdot 10^{-7}$			
Diviseurs	Rapport de tension Terme en quadrature b	40 Hz à 100 Hz 100 Hz à 1 kHz 1 kHz à 10 kHz	10^{-1} à 1	$2,3 \cdot 10^{-7}$ $4,2 \cdot 10^{-7}$ $4,3 \cdot 10^{-6}$	Comparaison à un diviseur de référence	Diviseur de référence	PQ/96-EM-7
		40 Hz à 100 Hz 100 Hz à 1 kHz 1 kHz à 10 kHz	10^{-2} à 10^{-1}	$1,2 \cdot 10^{-7}$ $7,1 \cdot 10^{-8}$ $4,5 \cdot 10^{-7}$			
		40 Hz à 100 Hz 100 Hz à 2 kHz 2 kHz à 10 kHz	10^{-6} à 10^{-2}	$1,2 \cdot 10^{-7}$ $7,1 \cdot 10^{-8}$ $1,5 \cdot 10^{-7}$			

N = a + j.b, N est la valeur du rapport des tensions ($N \leq 1$)

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant continu** / Intensité de courant électrique

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Picoampèremètres Générateurs de faible courant	Intensité de courant électrique	/	1 fA à 100 pA	$4,7 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0,3 \text{ fA}$	Mesure par intégration	Pont à intégration	PQ/96-EM-3
			100 pA à 1 mA	$1,3 \cdot 10^{-5} \cdot I + 30 \text{ fA}$	Mesure de la différence de potentiel aux bornes d'une résistance	Voltmètre, résistances étalons et amplificateur opérationnel	PQ/96-EM-3
Ampèremètres Calibrateurs Multimètres Comparateurs de courant	Intensité de courant électrique	/	1 µA à 10 µA 10 µA à 100 µA 100 µA à 1 mA 1 mA à 10 mA 10 mA à 100 mA 100 mA à 1 A 1 A à 20 A 20 A à 1 kA	$1,3 \cdot 10^{-6} \cdot I$ $1,3 \cdot 10^{-6} \cdot I$ $1,3 \cdot 10^{-6} \cdot I$ $1,3 \cdot 10^{-6} \cdot I$ $2,4 \cdot 10^{-5} \cdot I$ $4 \cdot 10^{-6} \cdot I$ $8 \cdot 10^{-6} \cdot I$ $2,1 \cdot 10^{-5} \cdot I$	Mesure de la différence de potentiel aux bornes d'une résistance	Comparateur de courant	PQ/96-EM-3
Shunts - Pincés ampèremétriques Comparateurs de courant	Intensité de courant électrique	/	1 kA à 10 kA	$5,0 \cdot 10^{-4} \cdot I$	Réduction de courant et mesure de tension aux bornes d'une résistance	Comparateur de courant	PQ/96-EM-3

I est la valeur de l'intensité de courant électrique exprimée en ampères.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Courant alternatif / Intensité de courant électrique							
Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Ampèremètres Calibrateurs Multimètres Sources de courant	Intensité de courant électrique	10 Hz à 40 Hz	2,5 mA à 500 mA 500 mA à 10 A 10 A à 20 A	$8,0 \cdot 10^{-5} \cdot I$ $1,7 \cdot 10^{-4} \cdot I$ $2,0 \cdot 10^{-4} \cdot I$	Méthode par transposition thermique	Shunts associés à un transfert thermique	PQ/96-EM-9
		40 Hz à 20 kHz	2,5 mA à 30 mA 30 mA à 100 mA 100 mA à 500 mA 500 mA à 3 A 3 A à 10 A	$5,0 \cdot 10^{-5} \cdot I$ $5,4 \cdot 10^{-5} \cdot I$ $7,2 \cdot 10^{-5} \cdot I$ $1,0 \cdot 10^{-4} \cdot I$ $1,1 \cdot 10^{-4} \cdot I$			
		40 Hz à 10 kHz	10 A à 20 A	$1,7 \cdot 10^{-4} \cdot I$			
		10 kHz à 20 kHz	10 A à 20 A	$2,0 \cdot 10^{-4} \cdot I$			
		20 Hz à 2 kHz	1 µA à 10 µA 10 µA à 5 mA	$1,0 \cdot 10^{-4} \cdot I$ $7,0 \cdot 10^{-5} \cdot I$	Mesure de la différence de potentiel aux bornes d'une résistance	Voltmètre + résistance	
		2 kHz à 10 kHz	100 µA à 2,5 mA	$5,5 \cdot 10^{-5} \cdot I$			
		10 kHz à 20 kHz	100 µA à 2,5 mA	$8,5 \cdot 10^{-5} \cdot I$			
Shunts Pincés ampèremétriques Transformateurs d'intensité Sources de courant	Intensité de courant électrique	40 Hz à 70 Hz	10 A à 4 kA	$8,0 \cdot 10^{-5} \cdot I$	Réduction de courant et mesure de tension aux bornes d'une résistance	Transformateur de courant	PQ/96-EM-9
Transducteurs, tores, capteurs de courant	Module du rapport de transformation	100 kHz à 150 kHz	■ 1 A	$1,3 \cdot 10^{-2} \cdot K$	Mesure de la différence de potentiel à la sortie du tore (transducteur) pour une intensité de courant étalonnée	Résistance, amplificateur, voltmètre.	BF-1-09-60-04
		900 kHz à 1 MHz	■ 1 A	$2 \cdot 10^{-2} \cdot K$			

■ : valeurs ponctuelles

I est la valeur de l'intensité de courant électrique exprimée en ampères.

K est la valeur du rapport de transformation du transducteur.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Différence de potentiel

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Calibrateurs Voltmètres Multimètres Voltmètres à transfert thermique	Différence de potentiel	<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz ■ 10 kHz ■ 20 kHz ■ 50 kHz ■ 100 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0,5 V ■ 1 V ■ 3 V ■ 10 V ■ 30 V ■ 100 V 	2,5.10 ⁻⁵ .U	Transposition thermique	Transfert thermique	PQ/96-EM-6/B
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz ■ 100 kHz 	■ 0,2 V	3,0.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz ■ 10 kHz ■ 20 kHz ■ 50 kHz 	■ 0,2 V	2,0.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz ■ 10 kHz ■ 20 kHz 	■ 200 V	2,5.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 50 kHz ■ 100 kHz 	■ 200 V	3,0.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz 	■ 300 V	3,5.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 kHz ■ 20 kHz ■ 50 kHz ■ 100 kHz 	■ 300 V	6,0.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz 	■ 500 V	3,0.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 kHz ■ 20 kHz 	■ 500 V	6,0.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 50 kHz ■ 100 kHz 	■ 500 V	7,0.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 Hz ■ 20 Hz 	■ 1000 V	5,0.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz 	■ 1000 V	3,0.10 ⁻⁵ .U			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 kHz ■ 20 kHz 	■ 1000 V	7,0.10 ⁻⁵ .U			
<ul style="list-style-type: none"> ■ 50 kHz ■ 100 kHz 	■ 1000 V	8,2.10 ⁻⁵ .U					

■ : valeurs ponctuelles

ÉLECTRICITÉ COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Différence de potentiel (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Voltmètres Multimètres	Différence de potentiel	≤ 5 Hz	1 mV à 100 mV 100 mV à 700 V	$1 \cdot 10^{-5} \cdot U + 1,6 \mu\text{V}$ $1,6 \cdot 10^{-5} \cdot U$	Echantillonnage numérique	Voltmètre à échantillonnage et algorithme de calcul	PQ/96-EM-6/B
		5 Hz à 20 Hz	1 mV à 100 mV 100 mV à 700 V	$4 \cdot 10^{-5} \cdot U + 1,2 \mu\text{V}$ $4 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		20 Hz à 100 Hz	1 mV à 100 mV 100 mV à 700 V	$7 \cdot 10^{-5} \cdot U + 1,2 \mu\text{V}$ $7 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
Calibrateurs Voltmètres Multimètres Voltmètres à transfert thermique	Différence de potentiel	10 Hz à 20 Hz	0,2 V à 500 V 500 V à 1000 V	$1,1 \cdot 10^{-4} \cdot U$ $1,2 \cdot 10^{-4} \cdot U$	Transposition thermique	Transfert thermique	PQ/96-EM-6/B
		20 Hz à 40 Hz	0,2 V à 220 V 220 V à 500 V 500 V à 1000 V	$4,5 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $5,0 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $6,0 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		40 Hz à 400 Hz	0,2 V à 0,7V 0,7 V à 220 V 220 V à 1000 V	$3,0 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $2,6 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $3,5 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		400 Hz à 50 kHz	0,2 V à 22 V 22 V à 220 V	$2,5 \cdot 10^{-5} \cdot U$ $3,0 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		50 kHz à 100 kHz	0,2 V à 220 V	$3,5 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		400 Hz à 4 kHz	220 V à 500V	$3,6 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		4 kHz à 20 kHz	220 V à 500V	$5,5 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		20 kHz à 100 kHz	220 V à 500V	$7,0 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		400 Hz à 4 kHz	500 V à 1000 V	$3,0 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		4 kHz à 20 kHz	500 V à 1000 V	$6,7 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		20 kHz à 100 kHz	500 V à 1000 V	$8,5 \cdot 10^{-5} \cdot U$			
		10 Hz à 40 Hz	10 μV à 200 mV	$3,2 \cdot 10^{-5} \cdot U + 3,5 \mu\text{V}$	Transposition thermique	Transfert thermique et diviseur inductif	PQ/96-EM-6/B
		40 Hz à 60 Hz	10 μV à 200 mV	$2,4 \cdot 10^{-5} \cdot U + 0,6 \mu\text{V}$			
		60 Hz à 1 kHz	10 μV à 200 mV	$2,4 \cdot 10^{-5} \cdot U + 0,6 \mu\text{V}$			
				1 kHz à 10 kHz	10 μV à 200 mV	$2,3 \cdot 10^{-5} \cdot U + 2,1 \mu\text{V}$	Transposition thermique
		10 kHz à 100 kHz	1 mV à 200 mV	$1,4 \cdot 10^{-4} \cdot U + 2,1 \mu\text{V}$			

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Différence de potentiel (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Kilovoltmètres Transformateurs de tension Voltmètres crête Diviseurs	Différence de potentiel	40 Hz à 60 Hz	1 kV à 100 kV 100 kV à 250 kV	$1,0 \cdot 10^{-4} \cdot U$ $2,0 \cdot 10^{-4} \cdot U$	Mesure directe d'une tension réduite	Transformateurs de tension	PQ/96-EM-6/B
Kilovoltmètres Transformateurs de tension Diviseurs	Différence de potentiel	■ 16,7 Hz	1 kV à 30 kV	$1,5 \cdot 10^{-3} \cdot U$	Mesure directe d'une tension réduite	Transformateur de tension	BF-1-06-60-05

U est la valeur de la différence de potentiel exprimée en volts.

■ : valeurs ponctuelles

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Courant alternatif / Ecart de transposition en tension

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Transferts thermiques Convertisseurs thermiques	Ecart de transposition en tension Domaine de mesure : $0 \leq e \leq 0,01$	■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz ■ 100 kHz	■ 200 mV	$3,0 \cdot 10^{-5}$	Transposition thermique	Transfert thermique	PQ/96-EM-10/A
		■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz ■ 10 kHz ■ 20 kHz ■ 50kHz	■ 200 mV	$2,0 \cdot 10^{-5}$			
		■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz ■ 10 kHz ■ 20 kHz ■ 50 kHz ■ 100 kHz	■ 500 mV ■ 30 V ■ 50 V ■ 100 V	$2,0 \cdot 10^{-5}$			
		■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz	■ 1 V ■ 2 V ■ 3 V ■ 5 V ■ 10 V ■ 20 V	$1,5 \cdot 10^{-5}$			
		■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz	■ 1 V ■ 2 V ■ 3 V ■ 5 V	$1,0 \cdot 10^{-5}$			
		■ 10 kHz ■ 20 kHz ■ 50 kHz ■ 100 kHz	■ 1 V ■ 2 V ■ 3 V ■ 5 V	$1,5 \cdot 10^{-5}$			
		■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz ■ 10 kHz ■ 20 kHz ■ 50 kHz ■ 100 kHz	■ 10 V ■ 20 V	$1,5 \cdot 10^{-5}$			
		■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz	■ 200 V ■ 300 V ■ 500 V	$2,5 \cdot 10^{-5}$			
		■ 10 kHz ■ 20 kHz ■ 50 kHz ■ 100 kHz	■ 200 V	$2,5 \cdot 10^{-5}$			
		■ 10 kHz ■ 20 kHz ■ 50 kHz ■ 100 kHz	■ 300 V	$5,5 \cdot 10^{-5}$			
		■ 10 kHz ■ 20 kHz	■ 500 V	$5,5 \cdot 10^{-5}$			
		■ 50 kHz ■ 100 kHz	■ 500 V	$7,0 \cdot 10^{-5}$			
		■ 10 Hz ■ 20 Hz	■ 1000 V	$5,0 \cdot 10^{-5}$			
		■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz	■ 1000 V	$3,0 \cdot 10^{-5}$			
		■ 10 kHz ■ 20 kHz	■ 1000 V	$7,0 \cdot 10^{-5}$			
■ 50 kHz ■ 100 kHz	■ 1000 V	$8,5 \cdot 10^{-5}$					

■ : valeurs ponctuelles

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Courant alternatif / Ecart de transposition en tension (suite)							
Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Transferts thermiques Convertisseurs thermiques	Ecart de transposition en tension	10 Hz à 10 kHz	1 mV à 22 mV	$3,6 \cdot 10^{-5} + \frac{1,1 \cdot 10^{-5}}{U}$	Transposition thermique	Générateur de tensions continue et alternative Diviseur inductif	PQ/96-EM-10/A
		10 kHz à 100 kHz	1 mV à 200 mV	$3 \cdot 10^{-4} + \frac{2,6 \cdot 10^{-5}}{U}$			
	Domaine de mesure : $0 \leq e \leq 0,01$	10 Hz à 20 Hz	22 mV à 200 mV	$3,2 \cdot 10^{-4} + \frac{4 \cdot 10^{-5}}{U}$			
		20 Hz à 40 Hz		$1,7 \cdot 10^{-4} + \frac{3,2 \cdot 10^{-5}}{U}$			
		40 Hz à 10 kHz		$4,4 \cdot 10^{-5} + \frac{9,6 \cdot 10^{-6}}{U}$			

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Ecart de transposition en tension (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Transferts thermiques Convertisseurs thermiques	Ecart de transposition en tension Domaine de mesure : $0 \leq e \leq 0,01$	10 Hz à 20 Hz	0,2 V à 500 V 500 V à 1000 V	$1,1 \cdot 10^{-4}$ $1,2 \cdot 10^{-4}$	Transposition thermique	Transfert thermique	PQ/96-EM-10/A
		20 Hz à 40 Hz	0,2 V à 0,7 V 0,7 V à 70 V 70 V à 500 V 500 V à 1000 V	$4,5 \cdot 10^{-5}$ $4,0 \cdot 10^{-5}$ $4,5 \cdot 10^{-5}$ $6,0 \cdot 10^{-5}$			
		40 Hz à 400 Hz	0,2 V à 0,7 V 0,7 V à 70 V 70 V à 1000 V	$3,0 \cdot 10^{-5}$ $2,0 \cdot 10^{-5}$ $3,0 \cdot 10^{-5}$			
		400 Hz à 4 kHz	0,2 V à 0,7 V 0,7 V à 70 V 70 V à 500 V 500 V à 1000 V	$2,0 \cdot 10^{-5}$ $1,5 \cdot 10^{-5}$ $2,5 \cdot 10^{-5}$ $3,0 \cdot 10^{-5}$			
		4 kHz à 20 kHz	0,2 V à 0,7 V 0,7 V à 22 V 22 V à 70 V 70 V à 220 V 220 V à 500 V 500 V à 1000 V	$2,0 \cdot 10^{-5}$ $1,5 \cdot 10^{-5}$ $2,0 \cdot 10^{-5}$ $2,5 \cdot 10^{-5}$ $5,5 \cdot 10^{-5}$ $7,0 \cdot 10^{-5}$			
		20 kHz à 50 kHz	0,2 V à 0,7 V 0,7 V à 22 V 22 V à 70 V 70 V à 220 V 220 V à 500 V 500 V à 1000 V	$2,5 \cdot 10^{-5}$ $2,0 \cdot 10^{-5}$ $2,5 \cdot 10^{-5}$ $3,0 \cdot 10^{-5}$ $7,0 \cdot 10^{-5}$ $8,5 \cdot 10^{-5}$			
		50 kHz à 100 kHz	0,2 V à 0,7 V 0,7 V à 70 V 70 V à 220 V 220 V à 500 V 500 V à 1000 V	$3,5 \cdot 10^{-5}$ $3,0 \cdot 10^{-5}$ $3,5 \cdot 10^{-5}$ $7,0 \cdot 10^{-5}$ $8,5 \cdot 10^{-5}$			

$$(U\sim) = (U=) \cdot (1 + e)$$

$U\sim$ et $U=$ sont respectivement les valeurs des tensions alternatives et continues.

e est la valeur de l'écart de transposition

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Ecart de transposition en courant

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Transferts thermiques en mode courant Shunts associés à transfert thermique	Ecart de transposition en courant Domaine de mesure : $0 \leq e \leq 0,01$	■ 10 Hz ■ 20 Hz	■ 2,5 mA ■ 5 mA ■ 10 mA ■ 20 mA	$4,8 \cdot 10^{-5}$	Transposition thermique	Transfert thermique et shunt	PQ/96-EM-11/A
			■ 30 mA ■ 50 mA ■ 100 mA ■ 200 mA ■ 300 mA ■ 500 mA	$6,6 \cdot 10^{-5}$			
			■ 1 A ■ 2 A ■ 3 A ■ 5 A	$1,5 \cdot 10^{-4}$			
			■ 10 A ■ 20 A	$1,7 \cdot 10^{-4}$			
		■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz	■ 2,5 mA ■ 5 mA ■ 10 mA	$3,5 \cdot 10^{-5}$			
			■ 20 mA ■ 30 mA ■ 50 mA ■ 100 mA	$4,3 \cdot 10^{-5}$ $5,0 \cdot 10^{-5}$			
			■ 200 mA ■ 300 mA ■ 500 mA	$6,2 \cdot 10^{-5}$			
		■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz ■ 10 kHz ■ 20 kHz	■ 1 A ■ 2 A	$9,1 \cdot 10^{-5}$			
			■ 3 A ■ 5 A	$1,0 \cdot 10^{-4}$			
		■ 10 Hz ■ 20 Hz ■ 40 Hz ■ 400 Hz ■ 1 kHz ■ 4 kHz ■ 10 kHz ■ 20 kHz	■ 10 A	$1,1 \cdot 10^{-4}$			
			■ 20 A	$1,2 \cdot 10^{-4}$			
		■ 10 kHz ■ 20 kHz	■ 2,5 mA ■ 5 mA ■ 10 mA	$4,5 \cdot 10^{-5}$			
			■ 20 mA ■ 30 mA ■ 50 mA ■ 100 mA	$5,4 \cdot 10^{-5}$			
			■ 200 mA ■ 300 mA ■ 500 mA	$7,0 \cdot 10^{-5}$			

■ : valeurs ponctuelles

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Courant alternatif / Ecart de transposition en courant (suite)							
Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Transferts thermiques en mode courant Shunts associés à transfert thermique	Ecart de transposition en courant Domaine de mesure : $0 \leq e \leq 0,01$	10 Hz à 20 Hz	2,5 mA à 500 mA	$1,2 \cdot 10^{-4}$	Transposition thermique	Transfert thermique et shunt	PQ/96-EM-11/A
			500 mA à 5 A	$1,8 \cdot 10^{-4}$			
			5 A à 20 A	$1,9 \cdot 10^{-4}$			
		20 Hz à 40 Hz	2,5 mA à 20 mA	$6,0 \cdot 10^{-5}$			
			20 mA à 500 mA	$7,5 \cdot 10^{-5}$			
			500 mA à 5 A	$1,5 \cdot 10^{-4}$			
		40 Hz à 4 kHz	5 A à 20 A	$1,7 \cdot 10^{-4}$			
			2,5 mA à 20 mA	$4,0 \cdot 10^{-5}$			
			20 mA à 100 mA	$5,0 \cdot 10^{-5}$			
		4 kHz à 20 kHz	100 mA à 500 mA	$6,5 \cdot 10^{-5}$			
			500 mA à 2 A	$9,0 \cdot 10^{-5}$			
			2,5 mA à 20 mA	$5,0 \cdot 10^{-5}$			
			20 mA à 100 mA	$5,5 \cdot 10^{-5}$			
		40 Hz à 20 kHz	100 mA à 500 mA	$7,0 \cdot 10^{-5}$			
			500 mA à 2 A	$9,5 \cdot 10^{-5}$			
			2 A à 5 A	$1,0 \cdot 10^{-4}$			
40 Hz à 20 kHz	5 A à 10 A	$1,2 \cdot 10^{-4}$					
	10 A à 20 A	$1,3 \cdot 10^{-4}$					

$$(\tilde{I}) = (I) \cdot (1 + e)$$

I et \tilde{I} sont respectivement les valeurs des courants alternatifs et continus.

e est la valeur de l'écart de transposition

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant continu** / Résistance électrique

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Résistances Ohmmètres Calibrateurs Ponts de résistance Boîtes de résistances Jauges de contrainte Simulateurs de résistance	Résistance électrique	/	1 nΩ à 100 μΩ 100 μΩ à 10 mΩ 10 mΩ à 100 mΩ 100 mΩ à 1 Ω 1 Ω à 10 Ω 10 Ω à 100 Ω 100 Ω à 1 kΩ 1 kΩ à 10 kΩ	0,2 nΩ $1,7 \cdot 10^{-6} \cdot R$ $5,4 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $3,9 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $1,9 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $3,1 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $4,6 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $6,0 \cdot 10^{-7} \cdot R$	Mesure au moyen d'un pont	Pont à comparateur de courant	PQ/96-EM-4/A
			■ 1 Ω ■ 10 Ω ■ 100 Ω ■ 1 kΩ	$1,2 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $1,9 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $3,1 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $4,5 \cdot 10^{-7} \cdot R$			
			10 kΩ à 100 kΩ 100 kΩ à 1 MΩ 1 MΩ à 10 MΩ 10 MΩ à 100 MΩ	$3,6 \cdot 10^{-7} \cdot R + 1,3 \cdot 10^{-11} \cdot R^2$ $3,9 \cdot 10^{-7} \cdot R + 1,3 \cdot 10^{-12} \cdot R^2$ $4,9 \cdot 10^{-6} \cdot R + 1,2 \cdot 10^{-13} \cdot R^2$ $6,6 \cdot 10^{-6} \cdot R + 1,1 \cdot 10^{-14} \cdot R^2$		Pont à diviseur	PQ/96-EM-4/A
			■ 10 kΩ ■ 100 kΩ ■ 1 MΩ ■ 10 MΩ ■ 100 MΩ	$1,5 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $2,0 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $3,9 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $6,3 \cdot 10^{-7} \cdot R$ $8,5 \cdot 10^{-7} \cdot R$			

■ : valeurs ponctuelles

R est la valeur de la résistance électrique exprimée en ohms.

Note : Pour les résistances étalonnées, la température peut être connue à $\pm 0,2$ °C dans l'air et $\pm 0,03$ °C dans l'huile.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant continu** / Résistance électrique (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Résistances de haute valeur Téraohmmètres Mégohmmètres Boîtes de résistances	Résistance électrique de haute valeur	/	1 MΩ à 10 GΩ	$\sqrt{81 + \frac{9 \cdot 10^4}{U}} \cdot 10^{-6} \cdot R$	Mesure au moyen d'un pont	Pont de Wheatstone gardé	PQ/96-EM-4/A
			10 GΩ à 100 GΩ	$\sqrt{81 + \frac{9 \cdot 10^5}{U}} \cdot 10^{-6} \cdot R$			
			100 GΩ à 1 TΩ 1 TΩ à 10 TΩ 10 TΩ à 100 TΩ 100 TΩ à 1 PΩ	$(1 \cdot 10^3 + 11 \cdot 10^{-20}/I^2)^{1/2} \cdot 10^{-6} \cdot R$ $(4 \cdot 10^3 + 11 \cdot 10^{-20}/I^2)^{1/2} \cdot 10^{-6} \cdot R$ $(2 \cdot 10^5 + 11 \cdot 10^{-20}/I^2)^{1/2} \cdot 10^{-6} \cdot R$ $(2 \cdot 10^7 + 11 \cdot 10^{-20}/I^2)^{1/2} \cdot 10^{-6} \cdot R$		Pont à intégration	

R est la valeur de la résistance électrique exprimée en ohms.

I est la valeur de l'intensité de courant électrique exprimée en ampères.

U est la valeur de la tension de mesure exprimée en volts (entre 10 V et 1000 V).

Note : Pour les résistances étalonnées, la température peut être connue à ± 0,2 °C dans l'air.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Résistance électrique (Valeurs ponctuelles)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Résistances Shunts	Résistance électrique Incertitude sur le terme a	20 Hz à 1 kHz	■ 0,01 Ω	2,5.10 ⁻⁵	Comparaison à un étalon au banc de mesureur de signaux déphasés	MSD	390B0108
		1 kHz à 5 kHz	■ 0,03 Ω	4.10 ⁻⁵			
		5 kHz à 10 kHz	■ 0,06 Ω	6.10 ⁻⁵			
		10 kHz à 20 kHz	■ 0,1 Ω	1,1.10 ⁻⁴			
		20 Hz à 1 kHz	■ 1 Ω ■ 10 Ω	2,5.10 ⁻⁵			
		1 kHz à 5 kHz		3,5.10 ⁻⁵			
		5 kHz à 10 kHz		4,5.10 ⁻⁵			
		10 kHz à 20 kHz		7,5.10 ⁻⁵			
		20 Hz à 20 kHz	■ 100 Ω à 1 kΩ <i>pas de 100 Ω</i> ■ 1 kΩ à 10 kΩ <i>pas de 1 kΩ</i> ■ 10 kΩ à 100 kΩ <i>pas de 10 kΩ</i> ■ 200 kΩ	2,5.10 ⁻⁵			
		20 Hz à 10 kHz	■ 300 kΩ	3,0.10 ⁻⁵			
		10 kHz à 20 kHz	■ 500 kΩ	4,0.10 ⁻⁵			
		20 Hz à 1 kHz	■ 1 MΩ	3,0.10 ⁻⁵			
		1 kHz à 5 kHz		3,5.10 ⁻⁵			
		5 kHz à 10 kHz		5,0.10 ⁻⁵			

■ valeurs ponctuelles

Ces valeurs d'incertitudes sont considérées pour un étalon dont le comportement en courant alternatif est identique au comportement en courant continu. La tension aux bornes de la résistance est d'environ 1 V.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Résistance électrique (Valeurs continues)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Résistances Shunts	Résistance électrique Incertitude sur le terme a	20 Hz à 1 kHz	0,01 Ω à 10 Ω 10 Ω à 100 Ω 100 Ω à 100 kΩ 100 kΩ à 500 kΩ 500 kΩ à 1 MΩ 1 MΩ à 5 MΩ	4,5.10 ⁻⁵ 5,5.10 ⁻⁵ 4.0.10 ⁻⁵ 4,5.10 ⁻⁵ 6,5.10 ⁻⁵ 2,1.10 ⁻⁴	Comparaison à un étalon au banc de mesureur de signaux déphasés	MSD	390B0108
		1 kHz à 5 kHz	0,01 Ω à 10 Ω 10 Ω à 100 Ω 100 Ω à 100 kΩ 100 kΩ à 500 kΩ 500 kΩ à 1 MΩ 1 MΩ à 5 MΩ	5,5.10 ⁻⁵ 6,0.10 ⁻⁵ 4,0.10 ⁻⁵ 4,5.10 ⁻⁵ 6,5.10 ⁻⁵ 2,2.10 ⁻⁴			
		5 kHz à 10 kHz	0,01 Ω à 10 Ω 10 Ω à 100 Ω 100 Ω à 100 kΩ 100 kΩ à 500 kΩ 500 kΩ à 1 MΩ 1 MΩ à 5 MΩ	7,0.10 ⁻⁵ 6,5.10 ⁻⁵ 4,5.10 ⁻⁵ 4,5.10 ⁻⁵ 6,5.10 ⁻⁵ 2,5.10 ⁻⁴			
		10 kHz à 20 kHz	0,01 Ω à 10 Ω 10 Ω à 100 Ω 100 Ω à 100 kΩ 100 kΩ à 500 kΩ 500 kΩ à 1 MΩ	1,1.10 ⁻⁴ 9,0.10 ⁻⁵ 4,5.10 ⁻⁵ 4,5.10 ⁻⁵ 6,6.10 ⁻⁵			

Ces valeurs d'incertitudes sont considérées pour un étalon dont le comportement en courant alternatif est identique au comportement en courant continu. La tension aux bornes de la résistance est d'environ 1 V.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Courant alternatif / Résistance électrique (Valeurs ponctuelles)							
Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Résistances Shunts	Résistance électrique Incertitude sur le terme b	20 Hz à 100 Hz	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0,01 Ω ■ 0,03 Ω ■ 0,06 Ω ■ 0,1 Ω 	3,5.10 ⁻⁵	Comparaison à un étalon au banc de générateur de signaux déphasés	MSD	PQ/96-EM-8
		100 Hz à 1 kHz		1,0.10 ⁻⁴			
		1 kHz à 5 kHz		3,2.10 ⁻⁴			
		5 kHz à 10 kHz		5,8.10 ⁻⁴			
		10 kHz à 20 kHz		1,1.10 ⁻³			
		20 Hz à 100 Hz	■ 1 Ω	3,0.10 ⁻⁵			
		100 Hz à 1kHz		7,5.10 ⁻⁵			
		1 kHz à 5 kHz		1,6.10 ⁻⁵			
		5 kHz à 10 kHz		2,3.10 ⁻⁴			
		10 kHz à 20 kHz		3,7.10 ⁻⁵			
		20 Hz à 100 Hz	■ 10 Ω	3,0.10 ⁻⁵			
		100 Hz à 1 kHz		7,5.10 ⁻⁵			
		1 kHz à 5 kHz		1,4.10 ⁻⁴			
		5 kHz à 10 kHz		2,0.10 ⁻⁴			
		10 kHz à 20 kHz		3,0.10 ⁻⁵			
		20 Hz à 100 Hz	<ul style="list-style-type: none"> ■ 100 Ω à 1 kΩ <i>pas de 100 Ω</i> ■ 1 kΩ à 10 kΩ <i>pas de 1 kΩ</i> ■ 10 kΩ à 100 kΩ <i>pas de 10 kΩ</i> ■ 100 kΩ à 500 kΩ <i>par pas de 100 kΩ</i> 	3,0.10 ⁻⁵			
		100 Hz à 1 kHz		7,0.10 ⁻⁵			
		1 kHz à 5 kHz		1,3.10 ⁻⁴			
		5 kHz à 10 kHz		1,8.10 ⁻⁴			
		10 kHz à 20 kHz		2,6.10 ⁻⁴			

■ valeurs ponctuelles

Ces valeurs d'incertitudes sont considérées pour un étalon dont le comportement en courant alternatif est identique au comportement en courant continu. La tension aux bornes de la résistance est d'environ 1 V.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Résistance électrique (Valeurs continues)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Résistances Shunts	Résistance électrique Incertitude sur le terme b	20 Hz à 100 Hz	0,01 Ω à 0,1 Ω	$4,5 \cdot 10^{-5}$	Comparaison à un étalon au banc de mesureur de signaux déphasés	MSD	390B0108
			0,1 Ω à 10 Ω	$3,5 \cdot 10^{-5}$			
			10 Ω à 1 MΩ	$3,0 \cdot 10^{-5}$			
			1 MΩ à 5 MΩ	$6,0 \cdot 10^{-5}$			
		100 Hz à 1 kHz	0,01 Ω à 0,1 Ω	$2,7 \cdot 10^{-4}$			
			0,1 Ω à 1 Ω	$1,2 \cdot 10^{-4}$			
			1 Ω à 100 Ω	$7,5 \cdot 10^{-5}$			
			100 Ω à 1 MΩ	$7,0 \cdot 10^{-5}$			
		1 kHz à 5 kHz	1 MΩ à 5 MΩ	$1,5 \cdot 10^{-4}$			
			0,01 Ω à 0,1 Ω	$1,3 \cdot 10^{-3}$			
			0,1 Ω à 1 Ω	$4,4 \cdot 10^{-4}$			
			1 Ω à 10 Ω	$1,6 \cdot 10^{-4}$			
		5 kHz à 10 kHz	10 Ω à 100 Ω	$1,4 \cdot 10^{-4}$			
			100 Ω à 1 MΩ	$1,3 \cdot 10^{-4}$			
			1 MΩ à 5 MΩ	$2,7 \cdot 10^{-4}$			
			0,01 Ω à 0,1 Ω	$2,5 \cdot 10^{-3}$			
			0,1 Ω à 1 Ω	$8,4 \cdot 10^{-4}$			
		10 kHz à 20 kHz	1 Ω à 10 Ω	$2,4 \cdot 10^{-4}$			
			10 Ω à 100 Ω	$2,0 \cdot 10^{-4}$			
			100 Ω à 1 MΩ	$1,8 \cdot 10^{-4}$			
1 MΩ à 5 MΩ	$3,7 \cdot 10^{-4}$						
0,01 Ω à 0,1 Ω	$5,1 \cdot 10^{-3}$						
10 kHz à 20 kHz	0,1 Ω à 1 Ω	$1,7 \cdot 10^{-3}$					
	1 Ω à 10 Ω	$4,0 \cdot 10^{-4}$					
	10 Ω à 100 Ω	$3,0 \cdot 10^{-4}$					
	100 Ω à 1 MΩ	$2,5 \cdot 10^{-4}$					

Ces valeurs d'incertitudes sont considérées pour un étalon dont le comportement en courant alternatif est identique au comportement en courant continu. La tension aux bornes de la résistance est d'environ 1 V

R est la valeur de la résistance électrique exprimée en ohms.

En adoptant la représentation :

$$R_{\sim} = R_c \cdot (1 + a + jb)$$

Avec, R_{\sim} : résistance en courant alternatif

R_c : résistance en courant continu

a : écart, en valeur relative entre le module de l'impédance et la valeur de la résistance en courant continu

b : valeur de l'argument de l'impédance exprimé en radians

Les incertitudes en valeurs ponctuelles sont les mêmes que sur les domaines de valeurs en continu.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Capacité électrique

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Capacités Ponts de capacités Ponts d'impédances	Capacité électrique	■ 1 kHz	<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 pF ■ 100 pF ■ 1 nF 	$2,0 \cdot 10^{-6} \cdot C$	Méthode par substitution Mesure au moyen d'un pont	Capacité de référence Pont à transformateur	PQ/96-EM-12/B
		20 Hz à 100 Hz	<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 pF ■ 100 pF 	$6,3 \cdot 10^{-6} \cdot C$			
			<ul style="list-style-type: none"> ■ 1 nF 	$2 \cdot 10^{-5} \cdot C$			
		100 Hz à 3 kHz	<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 pF ■ 100 pF 	$4,1 \cdot 10^{-6} \cdot C$			
			<ul style="list-style-type: none"> ■ 1 nF 	$1,2 \cdot 10^{-5} \cdot C$			
		3 kHz à 5 kHz	<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 pF ■ 100 pF 	$5,2 \cdot 10^{-6} \cdot C$			
			<ul style="list-style-type: none"> ■ 1 nF 	$9,3 \cdot 10^{-6} \cdot C$			
		5 kHz à 7 kHz	<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 pF ■ 100 pF 	$8,8 \cdot 10^{-6} \cdot C$			
			<ul style="list-style-type: none"> ■ 1 nF 	$1,3 \cdot 10^{-5} \cdot C$			
		7 kHz à 10 kHz	<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 pF ■ 100 pF 	$1,7 \cdot 10^{-5} \cdot C$			
<ul style="list-style-type: none"> ■ 1 nF 	$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot C$						
Capacités Boîtes de capacité Ponts de capacités Ponts d'impédances	Capacité électrique	■ 1 kHz	<ul style="list-style-type: none"> C < 1 nF 1 nF à 10 nF 10 nF à 100 nF 100 nF à 1 µF 1 µF à 10 µF 10 µF à 100 µF 100 µF à 1 mF 1 mF à 1 F 	<ul style="list-style-type: none"> $1,3 \cdot 10^{-5} \cdot C + 0,1 \text{ fF}$ $2,9 \cdot 10^{-6} \cdot C$ $1,2 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $1,7 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $2,2 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $2,4 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $7,8 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $1,0 \cdot 10^{-4} \cdot C$ 	Mesure au moyen d'un pont	Capacités de référence Pont à transformateur Pont à diviseur inductif	PQ/96-EM-12/B
		20 Hz à 100 Hz	<ul style="list-style-type: none"> C < 1 nF 1 nF à 10 nF 10 nF à 100 nF 100 nF à 1 µF 1 µF à 10 µF 10 µF à 100 µF 100 µF à 1 mF 	<ul style="list-style-type: none"> $2,4 \cdot 10^{-5} \cdot C + 1,5 \text{ fF}$ $2,0 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $2,5 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $2,9 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $3,2 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $3,5 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $8,6 \cdot 10^{-5} \cdot C$ 			

■ valeurs ponctuelles

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Capacité électrique (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Capacités Boîtes de capacité Ponts de capacités Ponts d'impédances	Capacité électrique	100 Hz à 3 kHz	C < 1 nF 1 nF à 10 nF 10 nF à 100 nF 100 nF à 1 µF 1 µF à 10 µF 10 µF à 100 µF 100 µF à 1 mF	$1,8 \cdot 10^{-5} \cdot C + 0,1 \text{ fF}$ $1,2 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $1,8 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $2,6 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $3,4 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $4,1 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $1,4 \cdot 10^{-4} \cdot C$	Mesure au moyen d'un pont	Capacités de référence Pont à transformateur Pont à diviseur inductif	PQ/96-EM-12/B
		3 kHz à 5 kHz	C < 1 nF 1 nF à 10 nF 10 nF à 100 nF 100 nF à 1 µF 1 µF à 10 µF 10 µF à 100 µF 100 µF à 1 mF	$3,3 \cdot 10^{-5} \cdot C + 0,1 \text{ fF}$ $1,4 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $2,6 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $3,9 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $5,1 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $6,2 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $2,1 \cdot 10^{-4} \cdot C$			
		5 kHz à 7 kHz	C < 1 nF 1 nF à 10 nF 10 nF à 100 nF 100 nF à 1 µF 1 µF à 10 µF 10 µF à 100 µF 100 µF à 1 mF	$6 \cdot 10^{-5} \cdot C + 0,1 \text{ fF}$ $1,8 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $3,3 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $5,4 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $7,2 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $8,6 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $2,8 \cdot 10^{-4} \cdot C$			
		7 kHz à 10 kHz	C < 1 nF 1 nF à 10 nF 10 nF à 100 nF 100 nF à 1 µF 1 µF à 10 µF 10 µF à 100 µF 100 µF à 1 mF	$1,2 \cdot 10^{-4} \cdot C + 0,1 \text{ fF}$ $2,4 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $4,5 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $8,1 \cdot 10^{-5} \cdot C$ $1,2 \cdot 10^{-4} \cdot C$ $1,3 \cdot 10^{-4} \cdot C$ $4,0 \cdot 10^{-4} \cdot C$			

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Capacité électrique (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Capacités Boîtes de capacité Ponts de capacités Ponts d'impédances	Capacité électrique	20 Hz à 1 kHz	1 mF à 1 F	$1,0 \cdot 10^{-4} \cdot C$	Méthode par résonance	Impédance et circuit de quadrature	PQ/96-EM-12/B
		1 MHz	$1 \text{ pF} \leq C < 10 \text{ pF}$ $10 \text{ pF} \leq C \leq 100 \text{ pF}$ $100 \text{ pF} < C \leq 1000 \text{ pF}$	$1,2 \cdot 10^{-4} \cdot C$ $1,1 \cdot 10^{-4} \cdot C$ $1,6 \cdot 10^{-3} \cdot C$	Comparaison à une résistance via un réseau de quadrature	Capacité de référence Oudemètre	PQ/96-EM-12/B
Capacités Boîtes de capacité Ponts de capacités Ponts d'impédances Etalons de tangente d'angle de pertes	Facteur de dissipation ($C \leq 1 \mu\text{F}$)	20 Hz à 1 kHz	$\tan \delta \leq 0,01$ $0,01 < \tan \delta \leq 0,1$ $0,1 < \tan \delta \leq 1$	$5,3 \cdot 10^{-5}$ $(5 \cdot \tan \delta + 0,8) \cdot 10^{-4}$ $(5 \cdot \tan \delta + 2,5) \cdot 10^{-4}$	Mesure au moyen d'un pont	Pont à transformateur Pont d'impédance	PQ/96-EM-12/B
	Argument de la capacité électrique ($1 \mu\text{F} \leq C \leq 1 \text{ F}$)	20 Hz à 1 kHz	$-\pi/2 \pm 20 \text{ mrad}$	0,08 mrad	Comparaison à une résistance via un réseau de quadrature	Impédance et circuit de quadrature	PQ/96-EM-12/B

C est la valeur de la capacité exprimée en farads, δ est la valeur de l'angle de pertes et $\tan \delta$ est le facteur de dissipation.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Puissance

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Wattmètres Compteurs d'énergie électrique Analyseurs de réseau Générateurs de puissance fictive Calibrateurs	Puissance active	45 à 65 Hz	120 V à 240 V ■ 1 A ■ 2 A ■ 5 A $0,001 \leq \cos \varphi \leq 1$	$40 \cdot 10^{-6} \cdot S$	Mesure par comparaison	Etalon de puissance	39MØ518 rev.E1
			60 V à 600 V 20 mA à 10 A $0,001 \leq \cos \varphi \leq 1$	$50 \cdot 10^{-6} \cdot S$			
			60 V à 600 V 10 A à 100 A $0,001 \leq \cos \varphi \leq 1$	$70 \cdot 10^{-6} \cdot S$			
			60 V à 600 V 1 mA à 20 mA $0,001 \leq \cos \varphi \leq 1$	$50 \cdot 10^{-5} \cdot S$			
	Puissance apparente	45 à 65 Hz	120 V à 240 V ■ 1 A ■ 2 A ■ 5 A	$40 \cdot 10^{-6} \cdot S$	Mesure par comparaison	Etalon de puissance	39MØ518 rev.E1
			60 V à 600 V 20 mA à 10 A	$50 \cdot 10^{-6} \cdot S$			
			60 V à 600 V 10 A à 100 A	$70 \cdot 10^{-6} \cdot S$			
			60 V à 600 V 1 mA à 20 mA	$50 \cdot 10^{-5} \cdot S$			

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Puissance (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Wattmètres Compteurs d'énergie électrique Analyseurs de réseau Générateurs de puissance fictive Calibrateurs	Puissance réactive	45 à 65 Hz	120 V à 240 V ■ 1 A ■ 2 A ■ 5 A $0,001 \leq \sin \varphi \leq 1$	$40 \cdot 10^{-6} \cdot S$	Mesure par comparaison	Etalon de puissance	39MØ518 rev.E1
			60 V à 600 V 20 mA à 10 A $0,001 \leq \sin \varphi \leq 1$	$50 \cdot 10^{-6} \cdot S$			
			60 V à 600 V 10 A à 100 A $0,001 \leq \sin \varphi \leq 1$	$70 \cdot 10^{-6} \cdot S$			
			60 V à 600 V 1 mA à 20 mA $0,001 \leq \sin \varphi \leq 1$	$50 \cdot 10^{-5} \cdot S$			

■ : valeurs ponctuelles

S et φ sont respectivement les valeurs de la puissance apparente et du déphasage exprimées en unités légales.

Les incertitudes d'étalonnage en énergie sont dégradées des incertitudes en mesure de puissance compte-tenu de la stabilité de la source sur la durée de comptage.

Courant continu

$P = U \cdot I$: voir différence de potentiel et intensité en courant continu

ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE / Affaiblissement

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie		Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
				Ligne dissymétrique	Ligne symétrique			
Lignes artificielle dissymétrique et symétrique, 75 Ω et 600 Ω	Affaiblissement d'une ligne artificielle	■ 1 kHz	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0 dB ■ 3 dB ■ 6 dB ■ 10 dB ■ 20 dB ■ 30 dB ■ 40 dB ■ 50 dB ■ 60 dB ■ 70 dB ■ 80 dB ■ 90 dB ■ 100 dB 	<ul style="list-style-type: none"> 5.10⁻⁶ dB 5,8.10⁻⁶ dB 7,2.10⁻⁶ dB 1.10⁻⁵ dB 2,7.10⁻⁵ dB 7,9.10⁻⁵ dB 1,3.10⁻⁴ dB 7,6.10⁻⁴ dB 2,4.10⁻³ dB 7,6.10⁻³ dB 2,4.10⁻² dB 7,6.10⁻² dB 2,4.10⁻¹ dB 	<ul style="list-style-type: none"> 1.10⁻⁵ dB 1,2.10⁻⁵ dB 1,5.10⁻⁵ dB 2.10⁻⁵ dB 5,4.10⁻⁵ dB 1,6.10⁻⁴ dB 2,6.10⁻⁴ dB 1,6.10⁻³ dB 4,8.10⁻³ dB 1,6.10⁻² dB 4,8.10⁻² dB 1,6.10⁻¹ dB 4,8.10⁻¹ dB 	Comparaison à un diviseur de référence	Diviseur de référence	BF-1-07-60-02

■ : valeurs ponctuelles

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Inductance

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Inductances	Inductance	40 Hz à 100 Hz	■ 1 mH	$7,3 \cdot 10^{-5} \cdot L$	Comparaison à une capacité au pont de Maxwell	Pont de Maxwell	PQ/96-EM-13/B
			■ 2 mH ■ 5 mH ■ 10 mH ■ 20 mH	$4,4 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 50 mH ■ 100 mH ■ 200 mH ■ 500 mH ■ 1 H ■ 2 H ■ 5 H ■ 10 H	$4,7 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		100 Hz à 400 Hz	■ 1 mH	$7,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		400 Hz à 1 kHz	■ 1 mH	$4,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		100 Hz à 1 kHz	■ 2 mH ■ 5 mH ■ 10 mH ■ 20 mH	$4,0 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 50 mH ■ 100 mH ■ 200 mH ■ 500 mH ■ 1 H ■ 2 H ■ 5 H ■ 10 H	$4,2 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 1 mH	$3,9 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		1 kHz	■ 2 mH ■ 5 mH ■ 10 mH ■ 20 mH	$3,8 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 50 mH ■ 100 mH ■ 200 mH ■ 500 mH ■ 1 H ■ 2 H ■ 5 H ■ 10 H	$4,0 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 1 mH	$4,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		1 kHz à 2 kHz	■ 2 mH ■ 5 mH ■ 10 mH ■ 20 mH	$3,9 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 50 mH ■ 100 mH ■ 200 mH ■ 500 mH ■ 1 H ■ 2 H ■ 5 H	$4,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 1 mH	$4,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		2 kHz à 5 kHz	■ 2 mH ■ 5 mH ■ 10 mH ■ 20 mH	$4,0 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 50 mH ■ 100 mH ■ 200 mH ■ 500 mH	$4,2 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 1 H	$4,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 1 mH	$4,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		5 kHz à 7 kHz	■ 2 mH ■ 5 mH ■ 10 mH ■ 20 mH	$4,2 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 50 mH ■ 100 mH	$4,3 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 1 mH	$4,3 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		7 kHz à 10 kHz	■ 2 mH ■ 5 mH ■ 10 mH ■ 20 mH	$4,5 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 50 mH ■ 100 mH	$4,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
			■ 1 mH	$4,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$			

■ : valeurs ponctuelles

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Inductance (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Inductances	Inductance	1 kHz	■ 50 µH	$3,2 \cdot 10^{-4} \cdot L$	Comparaison à une capacité au pont de Maxwell	Pont de capacité et transformation étoile-triangle	PQ/96-EM-13/B
			■ 100 µH	$2,0 \cdot 10^{-4} \cdot L$			
			■ 200 µH	$1,4 \cdot 10^{-4} \cdot L$			
			■ 500 µH	$1,1 \cdot 10^{-4} \cdot L$			
			■ 1 mH	$9,2 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
Inductances	Inductance	40 Hz à 100 Hz	1 mH à 2 mH 2 mH à 20 mH 20 mH à 5 H 5 H à 10 H	$11 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,7 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,8 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,9 \cdot 10^{-5} \cdot L$	Mesure au moyen d'un pont	Pont d'impédance	PQ/96-EM-13/B
		100 Hz à 400 Hz	1 mH à 2 mH 2 mH à 20 mH 20 mH à 2 H 2 H à 5 H 5 H à 10 H	$11 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,5 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,8 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $9,3 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		400 Hz à 1 kHz	1 mH à 2 mH 2 mH à 20 mH 20 mH à 200 mH 200 mH à 500 mH 500 mH à 1 H 1 H à 2 H 2 H à 5 H 5 H à 10 H	$8,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,5 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,7 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,9 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $9,7 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $25 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		1 kHz	1 mH à 2 mH 2 mH à 20 mH 20 mH à 200 mH 200 mH à 500 mH 500 mH à 1 H 1 H à 2 H 2 H à 5 H 5 H à 10 H	$8,5 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,4 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,5 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,8 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $10 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $25 \cdot 10^{-5} \cdot L$			

■ : valeurs ponctuelles

L est la valeur de l'inductance électrique exprimée en henrys.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Inductance (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Inductances	Inductance	1 kHz à 3 kHz	1 mH à 2 mH 2 mH à 20 mH 20 mH à 50 mH 50 mH à 100 mH 100 mH à 500 mH 500 mH à 1 H 1 H à 2 H 2 H à 5 H 5 H à 10 H	$8,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,5 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,8 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $9,5 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $14 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $23 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $42 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $11 \cdot 10^{-4} \cdot L$	Mesure au moyen d'un pont	Pont d'impédance	PQ/96-EM-13/B
		3 kHz à 5 kHz	1 mH à 10 mH 10 mH à 20 mH 20 mH à 50 mH 50 mH à 100 mH 100 mH à 200 mH 200 mH à 500 mH 500 mH à 1 H	$8,5 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $9,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $11 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $30 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $58 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		5 kHz à 7 kHz	1 mH à 5 mH 5 mH à 10 mH 10 mH à 20 mH 20 mH à 50 mH 50 mH à 100 mH	$8,6 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,7 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,9 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $11 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $15 \cdot 10^{-5} \cdot L$			
		7 kHz à 10 kHz	1 mH à 2 mH 2 mH à 5 mH 5 mH à 10 mH 10 mH à 20 mH 20 mH à 50 mH 50 mH à 100 mH	$8,7 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $8,8 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $9,0 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $9,9 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ $25 \cdot 10^{-5} \cdot L$			

L est la valeur de l'inductance électrique exprimée en henry.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Inductance (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Inductances	Inductance	40 Hz à 400 Hz	10 µH à 1 mH	$3,6 \cdot 10^{-4} \cdot L + 12 \text{ nH}$	Méthode de transformation étoile - triangle	Pont de capacité et transformation étoile-triangle	PQ/96-EM-13/B
		400 Hz à 5 kHz		$9 \cdot 10^{-5} \cdot L + 12 \text{ nH}$			
		5 kHz à 10 kHz		$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot L + 12 \text{ nH}$			
		40 Hz à 120 Hz	1 µH à 10 µH	$1,6 \cdot 10^{-3} \cdot L + 12 \text{ nH}$			
		120 Hz à 5 kHz		$1,7 \cdot 10^{-4} \cdot L + 12 \text{ nH}$			
		5 kHz à 10 kHz		$2,3 \cdot 10^{-4} \cdot L + 12 \text{ nH}$			
		40 Hz à 120 Hz	0,1 µH à 1µH	$1,5 \cdot 10^{-2} \cdot L + 12 \text{ nH}$			
		120 Hz à 10 kHz		$1,1 \cdot 10^{-3} \cdot L + 12 \text{ nH}$			
		40 Hz à 120 Hz	L < 100 nH	$1,5 \cdot 10^{-1} \cdot L + 12 \text{ nH}$			
		120 Hz à 10 kHz		$1,0 \cdot 10^{-2} \cdot L + 12 \text{ nH}$			

L est la valeur de l'inductance électrique exprimée en henry.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Phase

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Phasemètres Générateurs de signaux déphasés Réseaux déphaseurs Analyseurs de réseau	Déphasage Rapport de tension unité	10 mV à 1000 V	20 Hz à 20 kHz	$\sqrt{0,32 + \frac{f}{200}}$	Comparaison à un mesureur de phase étalon	Echantillonnage et conversion analogique-numérique	PQ/96-EM-15 C970 B04
Phasemètres Générateurs de signaux déphasés Réseaux déphaseurs Analyseurs de réseau	Déphasage Rapport de tension différent de l'unité	10 mV à 8,5 V	20 Hz à 1 kHz	$2 \cdot 10^{-3} \cdot f + 0,9$	Comparaison à un mesureur de phase étalon	Echantillonnage et conversion analogique-numérique	PQ/96-EM-15 C970 B04
		10 mV à 850 mV	1 kHz à 10 kHz	$\sqrt{3,4 + \frac{f}{200}}$			
		10 mV à 400 mV	10 kHz à 20 kHz	$\sqrt{3,4 + \frac{f}{200}}$			
		400 mV à 500 mV	10 kHz à 20 kHz	$\sqrt{92 + 0,36 \cdot \left[\left(\frac{1}{U_{Ref}} \right)^2 + \left(\frac{1}{U_{Var}} \right)^2 \right]}$			
		500 mV à 850 mV	10 kHz à 20 kHz	$\sqrt{17 + 0,36 \cdot \left[\left(\frac{1}{U_{Ref}} \right)^2 + \left(\frac{1}{U_{Var}} \right)^2 \right]}$			
		850 mV à 5 V	1 kHz à 20 kHz	$\sqrt{17 + 36 \cdot \left[\left(\frac{1}{U_{Ref}} \right)^2 + \left(\frac{1}{U_{Var}} \right)^2 \right]}$			
		5 V à 8,5 V	1 kHz à 20 kHz	$\sqrt{7,2 + 36 \cdot \left[\left(\frac{1}{U_{Ref}} \right)^2 + \left(\frac{1}{U_{Var}} \right)^2 \right]}$			
		8,5 V à 70 V	20 Hz à 20 kHz	$\sqrt{7,2 + 3600 \cdot \left[\left(\frac{1}{U_{Ref}} \right)^2 + \left(\frac{1}{U_{Var}} \right)^2 \right]}$			

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant alternatif** / Phase (suite)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Phasemètres Générateurs de signaux déphasés Réseaux déphaseurs Analyseurs de réseau	Déphasage Rapport de tension différent de l'unité	70 V à 100 V	20 Hz à 1 kHz	$\sqrt{(2 \cdot 10^{-3} \cdot f + 0,9)^2 + 900}$	Comparaison à un mesureur de phase étalon	Echantillonnage et conversion analogique-numérique associés à des diviseurs de tension	PQ/96-EM-15 C970 B04
		70 V à 100 V	1 kHz à 20 kHz	$\sqrt{905 + \frac{f}{200}}$			
		100 V à 200 V	20 Hz à 1 kHz	$\sqrt{(2 \cdot 10^{-3} \cdot f + 0,9)^2 + 3600}$			
		100 V à 200 V	1 kHz à 20 kHz	$\sqrt{3605 + \frac{f}{200}}$			
		200 V à 400 V	20 Hz à 1 kHz	$\sqrt{(2 \cdot 10^{-3} \cdot f + 0,9)^2 + 2,1 \cdot 10^4}$			
		200 V à 400 V	1 kHz à 20 kHz	$\sqrt{2,1 \cdot 10^4 + \frac{f}{200}}$			
		400 V à 1000 V	20 Hz à 1 kHz	$\sqrt{(2 \cdot 10^{-3} \cdot f + 0,9)^2 + 84 \cdot 10^3}$			
		400 V à 1000 V	1 kHz à 20 kHz	$\sqrt{84 \cdot 10^3 + \frac{f}{200}}$			

Déphasage TENSION/TENSION, angle 0 à $\pm \pi$ f est la valeur de la fréquence exprimée en Hz U_{Ref} la valeur efficace de la différence de potentiel de la voie de référence exprimée en unité légale U_{Var} la valeur efficace de la différence de potentiel de la voie déphasée exprimée en unité légale

Les incertitudes pour les déphasages TENSION/INTENSITE et INTENSITE/INTENSITE sont déduites des incertitudes pour les déphasages TENSION/TENSION.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant continu** / Charge électrique

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Electromètres Coulombmètres Mesureurs de charges	Charge électrique	/	1 pC à 10 pC	$2,3 \cdot 10^{-4} \cdot Q$	Comparaison à une charge étalon	Charge étalon obtenue au moyen d'un condensateur	PQ/96-EM-16
	Etalonnage de mesureurs de charges électriques en coulombs		10 pC à 20 nC	$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot Q$			
			20 nC à 10 μ C	$5,4 \cdot 10^{-4} \cdot Q$		Charge étalon obtenue par mesure d'une intensité de courant durant un temps	PQ/96-EM-16
Masmètres	Charge électrique	/	0,1 mA.s à 100 mA.s	$4 \cdot 10^{-5} \cdot Q$	Comparaison à une charge étalon	Charge étalon obtenue par mesure d'une intensité de courant durant un temps	PQ/96-EM-16
	Etalonnage de mesureurs de charges électriques en A.s		100 mA.s à 200 mA.s	$2,5 \cdot 10^{-3} \cdot Q$			
			200 mA.s à 2 A.s	$1,5 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 0,4 \text{ mA.s}$			
			2 A.s à 20 A.s	$2,1 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 4 \text{ mA.s}$			
			20 A.s à 100 A.s	$2,3 \cdot 10^{-3} \cdot Q$			
Mesureurs de charges électriques	Charge électrique	10 Hz à 20 Hz	1 pC à 10 pC 10 pC à 20 nC	$4,8 \cdot 10^{-4} \cdot Q$ $4,5 \cdot 10^{-4} \cdot Q$	Comparaison à une charge étalon	Charge étalon obtenue au moyen d'un condensateur	PQ/96-EM-16
	Etalonnage de mesureurs de charges électriques en coulombs	20 Hz à 10 kHz	1 pC à 10 pC 10 pC à 20 nC	$4,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q$ $3,6 \cdot 10^{-4} \cdot Q$			
		10 kHz à 100 kHz	1 pC à 10 pC 10 pC à 20 nC	$4,1 \cdot 10^{-4} \cdot Q$ $3,8 \cdot 10^{-4} \cdot Q$			
Amplificateurs de charges électriques	Charge électrique	10 Hz à 20 Hz	1 pC à 20 nC	$9,7 \cdot 10^{-4} \cdot Q$	Comparaison à une charge étalon	Charge étalon obtenue au moyen d'un condensateur	PQ/96-EM-16
	Etalonnage d'amplificateurs de charges électriques en coulombs	20 Hz à 10 kHz		$8,8 \cdot 10^{-4} \cdot Q$			
		10 kHz à 100 kHz		$9,3 \cdot 10^{-4} \cdot Q$			

Q est la valeur de la charge électrique exprimée en coulombs.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Signaux impulsionnels

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Systèmes de mesure de choc de foudre ou d'ondes de manœuvre. Diviseurs pour onde de chocs de foudre ou onde de manœuvre Calibrateurs	Tension de crête	Onde de choc de foudre normalisée avec le temps de front compris entre 0,8 μ s et 1,6 μ s	Jusqu'à 350 kV	5 mV/V	Suivant IEC 60061-1&2	Un diviseur haute tension étalon, une station d'acquisition et un logiciel de mesure	BF-1-29-60-03
		Onde de manœuvre normalisée avec le temps jusqu'à la crête compris entre 200 μ s et 300 μ s et entre 20 μ s et 40 μ s	Jusqu'à 250 kV	10 mV/V			

MAGNETISME / Induction magnétique							
Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Aimants, gaussmètres, teslamètres, bobine	Induction magnétique	/	60 μ T à 530 μ T 530 μ T à 5,3 mT 5,3 mT à 40 mT	$3,6 \cdot 10^{-3} \cdot B + 1,2 \mu$ T $3,6 \cdot 10^{-3} \cdot B + 1,2 \mu$ T $3,6 \cdot 10^{-3} \cdot B + 2,0 \mu$ T	Génération d'une induction magnétique dans une bobine	Bobine étalon	PQ/96-EM-24
			40 mT à 1,2 T	$1,6 \cdot 10^{-3} \cdot B$	Génération d'une induction magnétique dans l'entrefer d'un électro-aimant	Gaussmètre à RMN et électro-aimant	BF-1-24-60-01
Gaussmètres teslamètres	Induction magnétique	10 Hz	0 à 3 mT	$1,5 \cdot 10^{-2} \cdot B$	Génération d'une induction magnétique dans une bobine	Bobine d'Helmholtz	BF-1-23-60-10
		50 Hz	0 à 10 mT	$1,0 \cdot 10^{-2} \cdot B$			
		100 Hz	0 à 1 mT	$1,5 \cdot 10^{-2} \cdot B$			
		400 Hz	0 à 100 μ T	$1,5 \cdot 10^{-2} \cdot B$			
		1 kHz	0 à 70 μ T	$1,5 \cdot 10^{-2} \cdot B$			

B est la valeur de l'induction magnétique exprimée en tesla.

Remarque : les incertitudes peuvent être dégradées en fonction de la qualité métrologique des appareils à étalonner.

MAGNETISME / Flux magnétique							
Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Aimants, gaussmètres, teslamètres, bobine, fluxmètres	Flux magnétique	/	100 μ Wb à 20 mWb	$1,2 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta\Phi_M$	Variation de courant produite dans une inductance mutuelle	Ampèremètre + inductance mutuelle	PQ/96-EM-23

$\Delta\Phi_M$ est la variation de flux magnétique exprimée en weber.

Remarque : les incertitudes peuvent être dégradées en fonction de la qualité métrologique des appareils à étalonner.

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / **Courant continu** / Température par simulation électrique

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Indicateurs et simulateurs (calibrateurs) pour thermocouple, sonde Pt100 et thermorésistance Calibrateurs - Multimètres	Simulation électrique de température	Indicateur pour thermocouple (mode récepteur) sans compensation de soudure froide	- 8 mV à 70 mV	0,1 μ V couples K, T, J, S, R et B	Méthode d'opposition (tension)	Potentiomètre à comparateur de courant	PQ/96-EM-25
		Indicateur pour thermocouple (mode récepteur) avec compensation de soudure froide		4,0 μ V couples K, T 5,0 μ V couples J			
		Simulateur pour thermocouple (mode générateur) sans compensation de soudure froide		1,2 μ V couples S, R, B 0,1 μ V couples K, T, J, S, R et B			
		Simulateur pour thermocouple (mode générateur) avec compensation de soudure froide		4,0 μ V couples K, T 5,0 μ V couples J 1,2 μ V couples S, R, B			

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Courant continu / Température par simulation électrique							
Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
Indicateurs et simulateurs (calibrateurs) pour thermocouple, sonde Pt100 et thermorésistance Calibrateurs - Multimètres	Simulation électrique de température	Sonde Pt 100 Indicateur pour thermorésistance (mode récepteur)	10 Ω à 400 Ω	0,4 mΩ	Mesure au moyen d'un pont (résistance)	Résistance étalon	PQ/96-EM-25
		Sonde Pt 100 Simulateur pour thermorésistance (mode générateur)	10 mΩ à 1 MΩ	$2,2 \cdot 10^{-6} \cdot R + 0,22 \text{ m}\Omega$		Potentiomètre à comparateur de courant	

(1) Les domaines de température équivalents sont, pour chaque couple thermoélectrique ou thermorésistance, déterminés conformément aux normes en vigueur.

(*) Afin d'obtenir l'incertitude globale d'étalonnage, l'incertitude de cette colonne sera convertie en °C et combinée avec la résolution, la stabilité... propres à l'instrument. L'incertitude propre à la table de conversion utilisée devra également être prise en compte.

Note : Les calculs doivent être effectués en tension et convertis en température à la fin des calculs car la sensibilité d'un thermocouple varie avec la gamme de température.

Les incertitudes élargies correspondent aux aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) du laboratoire pour une probabilité de couverture de 95%.

Accréditation rendue obligatoire dans le cadre réglementaire français précisé par le texte cité en référence dans le document Cofrac LAB INF 99 disponible sur www.cofrac.fr

Date de prise d'effet : **19/06/2020** Date de fin de validité : **31/08/2022**

Le Responsable d'accréditation
The Accreditation Manager

Mathieu CHUST

Cette annexe technique annule et remplace l'annexe technique 2-03 Rév. 8.

Comité Français d'Accréditation - 52, rue Jacques Hillairet 75012 PARIS

Tél. : +33 (0)1 44 68 82 20 – Fax : 33 (0)1 44 68 82 21 Siret : 397 879 487 00031

www.cofrac.fr