

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 93

Première édition — First edition

1958

**Méthodes recommandées pour la mesure des résistivités transversales
et superficielles d'un matériau isolant électrique**

**Recommended methods of test for volume and surface resistivities
of electrical insulating materials**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60093:1958

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA C E I

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I E C R E C O M M E N D A T I O N

Publication 93

Première édition — First edition

1958

**Méthodes recommandées pour la mesure des résistivités transversales
et superficielles d'un matériau isolant électrique**

**Recommended methods of test for volume and surface resistivities
of electrical insulating materials**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Page
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
1 ^{re} PARTIE	
Sections	
1 Objet	6
2 Définitions	6
3 Portée	6
4 Méthode	8
5 Rapport	8
2 ^{me} PARTIE	
6 Forme des éprouvettes et des électrodes pour les matériaux isolants solides	10
7 Echantillonnage et cellules pour l'essai des matériaux isolants liquides	12
8 Nature des électrodes pour matériaux solides	12
9 Résistivité transversale	14
10 Résistivité superficielle	16
11 Conditionnement	16
12 Tension appliquée	16
13 Montage des éprouvettes	18
14 Principes généraux	18
FIGURES	24-25

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

PART I

Section

1	Scope	7
2	Definitions	7
3	Significance	7
4	Procedure	9
5	Report	9

PART II

6	Shape of test specimens and electrodes for solid insulating materials	11
7	Test specimens and cells for liquid insulating materials	13
8	Electrode materials for solid samples	13
9	Volume resistivity	15
10	Surface resistivity	17
11	Conditioning	17
12	Applied voltage	17
13	Mounting specimens	19
14	General principles	19

FIGURES	24-25
---------	-------

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES RECOMMANDÉES POUR LA MESURE
DES RÉSISTIVITÉS TRANSVERSALES ET SUPERFICIELLES
D'UN MATÉRIAU ISOLANT ÉLECTRIQUE**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but

PRÉFACE

L'étude de méthodes normalisées de mesure des résistivités transversales et superficielles d'un matériau isolant fut entreprise par le Comité d'experts du Comité d'Etudes N° 15, Matériaux isolants, à Scheveningen en septembre 1952. On décida alors de traiter les méthodes de mesure en trois parties concernant respectivement la résistivité transversale, la résistivité superficielle et la résistance d'isolement. La discussion sur ces méthodes se poursuivit à Opatija en juillet 1953. Des projets relatifs aux méthodes de mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle furent discutés par le Comité d'Etudes N° 15 en session plénière à Philadelphie en septembre 1954, après quoi un projet définitif fut soumis aux Comités nationaux en septembre 1955 pour approbation suivant la Règle des Six Mois. Les observations formulées à l'occasion de ce vote furent examinées par le Comité d'Etudes N° 15 à Munich en juillet 1956, où l'on décida de publier les recommandations dans leur forme actuelle.

Les Comités nationaux des pays suivants ont voté explicitement en faveur de la publication:

Allemagne	Noirvège
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	U R S S
France	Yougoslavie
Japon	

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RECOMMENDED METHODS OF TEST
FOR VOLUME AND SURFACE RESISTIVITIES
OF ELECTRICAL INSULATING MATERIALS**

FOREWORD

- (1) The formal decisions or agreements of the I E C on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with
- (2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense
- (3) In order to promote this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit
- (4) The desirability is recognised of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit The National Committees pledge their influence towards that end

PREFACE

Standard methods of test for Volume and Surface Resistivity and Insulation Resistance were first considered by the Experts' Committee of Technical Committee No 15, Insulating Materials, at Scheveningen in September 1952. It was decided that the methods of test should be dealt with in three parts viz Volume Resistivity, Surface Resistivity and Insulation Resistance. Further consideration was given to these methods in Opatija in July 1953. Draft methods of test for Volume resistivity and Surface resistivity were discussed by the full Technical Committee No 15, in Philadelphia in September 1954, as a result of which a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1955. The comments submitted during the voting were discussed by Technical Committee No 15 in Munich in July 1956, when it was decided to publish the Recommendations in their present form.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication

Austria	Norway
Belgium	Sweden
Denmark	United Kingdom
France	U S A
Germany	U S S R
Japan	Yugoslavia
Netherlands	

MÉTHODES RECOMMANDÉES POUR LA MESURE DES RÉSISTIVITÉS TRANSVERSALES ET SUPERFICIELLES D'UN MATÉRIAU ISOLANT ÉLECTRIQUE

1^{re} PARTIE

1 Objet

Le présent document définit les procédés de mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants

2 Définitions

a) *Résistance transversale* La résistance transversale mesurée entre deux électrodes appliquées sur deux faces (opposées) d'un échantillon (ou encastrées dans celles-ci) est le quotient de la tension continue appliquée aux électrodes par la partie du courant qui traverse l'isolant entre ces électrodes

b) *Résistance superficielle* La résistance superficielle mesurée entre deux électrodes placées sur la surface d'un échantillon est le quotient de la tension continue appliquée aux électrodes par la partie du courant à travers la mince couche d'humidité (ou de toute autre matière plus ou moins conductrice) qui pourrait exister à la surface de l'isolant et à travers les couches superficielles de ce dernier

c) *Résistivité transversale* La résistivité transversale d'un matériau est le quotient du gradient de potentiel par la densité du courant qui le traverse

Note 1 — La résistivité transversale est souvent exprimée en ohms cm et correspond alors à la résistance transversale entre faces opposées d'un échantillon cubique de 1 cm d'arête

d) *Résistivité superficielle* La résistivité superficielle d'un matériau isolant est le quotient du gradient de potentiel en surface par le courant par unité de largeur

Note 2 — La résistivité superficielle est numériquement égale à la résistance superficielle entre deux électrodes formant les côtés opposés d'un carré dont la dimension peut être quelconque

3 Portée

a) Vu que la haute résistivité électrique est caractéristique des matériaux isolants, la résistance en est, d'une façon générale, élevée également. La mesure de telles résistances est sujette à de grandes erreurs à moins d'employer des méthodes appropriées comme celles mentionnées dans le présent document

b) Le choix d'un isolant dans la construction d'un appareil électrique est conditionné par ses propriétés mécaniques, chimiques et physiques (thermiques par exemple) aussi bien que par ses propriétés électriques. Dans bien des applications, l'essai de résistivité d'un matériau isolant sera superflu. Toutefois, lorsque se rencontrent des tensions élevées ou lorsque de faibles courants doivent être pris en considération (circuits à haute impédance, équipements de laboratoire, etc.) la résistivité prend une grande importance et doit être déterminée

RECOMMENDED METHODS OF TEST FOR VOLUME AND SURFACE RESISTIVITIES OF ELECTRICAL INSULATING MATERIALS

PART I

1 Scope

These methods of test cover procedures for determination of volume and surface resistivity of specimens of electrical insulating materials

2 Definitions

(a) *Volume resistance* The volume resistance between two electrodes which are in contact with, or embedded in a specimen, is the quotient obtained when the direct voltage applied to the electrodes is divided by that portion of the current between them that is distributed through the volume of the specimen

(b) *Surface resistance* The surface resistance between two electrodes which are on the surface of a specimen is the quotient obtained when the direct voltage applied to the electrodes is divided by that portion of the current between them which is in a thin layer (for instance, moisture or other semi-conducting material) on the surface

(c) *Volume resistivity* The volume resistivity of a material is the quotient obtained when the potential gradient parallel to the direction of the current flow in the material is divided by the current density

Note 1 — In the metric system the volume resistivity of a material in ohm-cm is equal to the volume resistance between opposite faces of a centimetre cube of the material

(d) *Surface resistivity* The surface resistivity of a material is the quotient obtained when the potential gradient parallel to the direction of the current flow along its surface is divided by the current per unit width of surface

Note 2 — Surface resistivity of a material is equal to the surface resistance between two electrodes forming opposite sides of a square. The size of the square is immaterial

3 Significance

(a) Since very high electrical resistivity is a distinguishing characteristic of many insulating materials, the resistance of suitable specimens of these materials is usually very high also. Measurements of such resistances may be subject to large errors unless specialized methods, such as are specified herein, are used

(b) Insulating materials used in the construction of electrical equipment are chosen on a basis of mechanical, chemical and physical (for instance, heat-resisting) properties as well as electrical properties. For many applications, a material which is classified as an insulator, and which has the other requisite properties, may not require a resistivity acceptance test. But in other applications where high voltages or very minute currents are involved, as in high-impedance circuits, sensitive laboratory equipment and some power applications, volume resistivity is of great importance and the tests should be applied

- c) L'essai de résistivité transversale est souvent effectué pour contrôler l'homogénéité d'un matériau isolant, et ceci soit pour déterminer l'uniformité de sa fabrication, soit pour déceler les impuretés susceptibles d'affecter la qualité du matériau, ces impuretés ne peuvent généralement pas être aisément repérées par d'autres moyens. L'essai s'applique également à l'étude de l'effet de l'humidité.
- d) La détermination de la résistivité superficielle est importante dans les cas où la convenance d'un matériau pour une application donnée dépend en ordre principal de ses propriétés superficielles et notamment de sa résistance à l'humidité.

Note 1 — Lorsqu'on dispose de données de corrélation suffisantes, la résistivité peut servir à apprécier la convenance d'un matériau sous d'autres aspects tels que la rigidité diélectrique, les pertes diélectriques, la teneur en humidité, le degré de polymérisation, certaines propriétés mécaniques, etc. Une variation dans la résistance peut indiquer un changement dans la qualité ou dans les propriétés d'un matériau dû, par exemple, à l'humidité.

4 Méthode

Les éprouvettes doivent être montées (voir section 13) et conditionnées (voir section 11) de façon appropriée avant que les mesures de résistivité ne soient effectuées.

La résistance est mesurée de préférence tandis que l'éprouvette est encore dans l'atmosphère du conditionnement (voir section 14 e) mais en certaines circonstances, elle peut être mesurée dans les cinq minutes qui suivent son retrait de cette atmosphère. La première méthode est de loin préférable.

Les éprouvettes et électrodes doivent être choisies conformément aux sections 6 ou 7. La résistivité transversale doit être mesurée au moyen d'un dispositif approprié ayant la sensibilité et la précision requises (voir section 14 a).

Les résistivités transversale et superficielle doivent être calculées conformément aux indications des sections 9 et 10, respectivement. A moins de spécifications contraires, la durée d'application de la tension est d'une minute (voir section 14 h) et la valeur de la tension de 500 V (voir sections 12 et 14 f).

5 Rapport

Le rapport doit inclure au moins ce qui suit :

- 1 Une description du matériau (nom, grade, couleur, fabricant, etc.)
- 2 Forme et dimensions de l'éprouvette
- 3 Type et dimensions des électrodes
- 4 Conditions d'essai (température de l'éprouvette, humidité relative, temps d'exposition, etc.)
- 5 Le conditionnement de l'échantillon (nettoyage, pré-séchage, temps d'exposition à l'humidité et à la température)
- 6 Tension appliquée
- 7 Temps de mise sous tension avant d'effectuer la mesure
- 8 La méthode de mesure
- 9 Le nombre d'essais effectués
- 10 La moyenne arithmétique des logarithmes des résultats individuels (logarithme de la moyenne géométrique)
- 11 Le plus grand écart par rapport à la moyenne

- (c) The volume resistivity test is often used in checking the uniformity of an insulating material, either to determine the uniformity of processing or to detect traces of impurities which affect the quality of the material and which may not be readily detected by other means. It is also used to determine the effect of moisture on a material.
- (d) The evaluation of surface resistivity is important in many cases where the suitability of a material for a particular use is determined primarily by the surface characteristics, particularly resistance to moisture.

Note 1 — When adequate correlating data are available, resistivity may be used to indicate the suitability of a material in other respects such as electric breakdown, dissipation factor, moisture content, degree of cure, mechanical continuity, etc. A change in resistance may be used as an index of change in quality of the material or change in its properties, for instance due to moisture.

4 Procedure

The specimens shall be properly mounted (see Section 13) and conditioned (see Section 11) before resistance measurements are made.

The resistance should be measured while the specimen is still in the conditioning atmosphere (see Section 14 e), but under certain circumstances it may be measured within five minutes after removal from the conditioning atmosphere. The former is much to be preferred.

Test specimens and electrodes shall be selected in accordance with Sections 6 or 7. The volume or surface resistance shall be measured with a suitable device having the required sensitivity and accuracy (see Section 14 a).

The volume resistivity shall be computed in accordance with Section 9 and the surface resistivity shall be computed in accordance with Section 10. Unless otherwise specified, the time of electrification shall be one minute (see Section 14 h) and the applied voltage shall be 500 volts (see Sections 12 and 14 f).

5 Report

The report shall include at least the following:

- (1) A description of the material (name, grade, colour, manufacturer, etc.)
- (2) Shape and dimensions of the specimen
- (3) Type and dimensions of electrodes
- (4) Test conditions (specimen temperature, relative humidity, time of exposure, etc.)
- (5) The conditioning of the specimen (cleaning, pre-drying, hours at humidity and temperature, etc.)
- (6) Applied voltage
- (7) Time of electrification prior to measurement
- (8) The method of measurement
- (9) The number of tests made
- (10) The arithmetical mean of the logarithms of the individual results, i.e., geometrical mean
- (11) The maximum deviation from the mean value

2^{me} PARTIE

6 Forme des éprouvettes et des électrodes pour les matériaux isolants solides

- a) *Mesure de la résistance transversale* L'éprouvette peut avoir une forme quelconque pour autant qu'elle permette l'emploi d'une troisième électrode destinée à préserver la mesure des causes d'erreurs éventuelles dues aux effets superficiels. Les éprouvettes peuvent être en forme de plaque, de ruban ou de tube.

Les figures 1 et 2 (page 24) donnent une illustration de la façon de disposer les électrodes destinées aux éprouvettes en forme de plaque, la figure 3 (page 24) présente la section transversale de trois électrodes appliquées à des éprouvettes en forme de tubes. Pour la mesure de la résistance transversale, l'électrode n° 1 est l'électrode « gardée », l'électrode n° 2 est la garde (anneau de garde) et l'électrode n° 3 est celle sans garde. Pour les matériaux secs, où les courants de surface sont négligeables, la garde peut être supprimée lors de la mesure de la résistance transversale.

Pour les mesures de la résistance transversale, il n'est pas nécessaire que les électrodes aient la symétrie circulaire illustrée en figures 1 et 2, bien que cela soit généralement indiqué. L'électrode « gardée » (n° 1) peut être circulaire, carrée ou rectangulaire, ce qui permet le cas échéant l'évaluation facile de la résistivité transversale. Le diamètre d'une électrode circulaire ou le côté, ou la largeur d'une électrode carrée ou rectangulaire devraient valoir au moins quatre fois l'épaisseur t de l'échantillon. L'intervalle g entre les électrodes 1 et 2 devrait être de largeur uniforme n'excédant pas deux fois l'épaisseur de l'échantillon; il y a intérêt à le réduire pour la détermination de la résistivité transversale. Le bord extérieur de l'électrode n° 2 (garde) peut être de forme quelconque pour autant que la largeur de cette électrode soit partout au moins double de l'épaisseur de l'éprouvette. La forme de l'électrode n° 3 peut également être quelconque pourvu qu'elle s'étende en tous points au-delà du bord interne de l'électrode n° 2, d'au moins deux fois l'épaisseur de l'éprouvette.

L'éprouvette tubulaire, schématisée à la figure 3, peut prendre la forme d'un fil isolé ou d'un câble. Si la largeur de l'électrode n° 1 est supérieure à 100 fois l'épaisseur de l'isolation, les effets aux extrémités de l'électrode « gardée » deviennent négligeables et il n'est pas nécessaire de veiller à l'espacement des électrodes de garde. Ainsi la distance entre les électrodes n° 1 et 2 peut s'élever à plusieurs centimètres de façon à assurer une résistance superficielle suffisante entre les électrodes; lorsque l'eau ou tout autre liquide approprié est utilisé comme électrode n° 1.

- b) *Mesure de la résistance superficielle* Pour la mesure de la résistance superficielle, l'éprouvette peut avoir une forme quelconque convenant au but envisagé. Les éprouvettes peuvent avoir la forme de plaques, de rubans ou tubes.

Les dispositions à trois électrodes représentées aux figures 1, 2 et 3 sont recommandées pour la mesure de la résistance superficielle lors d'essais comparatifs de matériaux. Ayant en vue la résistance de l'intervalle superficiel entre les électrodes 1 et 2, on utilise l'électrode n° 1 comme électrode gardée, l'électrode n° 3 comme garde et l'électrode n° 2 comme celle non gardée. Mesurée de la sorte, la résistance est en fait la résultante de la mise en parallèle de la résistance superficielle et de la résistance transversale entre les électrodes n° 1 et 2.

Toutefois, en choisissant convenablement les dimensions des électrodes, l'effet de cette résistance transversale peut être rendu négligeable pour des séries nombreuses de matériaux et de conditions d'ambiance. Cette condition se réalise avec les dispositions des figures 1, 2 et 3 donnant à l'intervalle g une valeur d'environ le double de l'épaisseur t de l'éprouvette.

Les dispositions des figures 1, 2 et 3, dimensionnées d'une façon appropriée pour les mesures de résistance superficielle, conviennent également aux mesures de résistance transversale, comme il est indiqué en section 6 a.

PART II

6 Shape of test specimens and electrodes for solid insulating materials

- (a) *Volume resistance measurement* For the measurement of volume resistance the test specimen may have any practical form which allows the use of a third electrode to guard against error from surface effects when necessary. Material test specimens may be in the form of flat plates, tapes or tubes.

Figures 1 and 2 (page 24) illustrate the application and arrangement of electrodes for plate specimens, Figure 3 (page 24) is a diametrical cross-section of three electrodes applied to a tubular specimen. In the measurement of volume resistance, electrode No. 1 is the guarded electrode, electrode No. 2 is the guard electrode, and electrode No. 3 is the unguarded electrode. For dry materials which have negligible surface leakage, the guard may be omitted in measuring volume resistance.

For volume resistance measurements, it is not necessary that the electrodes have the circular symmetry shown in Figures 1 and 2, although this is generally convenient. The guarded electrode (No. 1) may be circular, square or rectangular, allowing ready computation of the guarded electrode area for volume resistivity evaluation when such is desired. The diameter of a circular electrode, or the shortest side of a square or rectangular electrode, should be at least four times the specimen thickness, t . The surface gap, g , between electrodes No. 1 and 2 should be of uniform width, and should not exceed twice the specimen thickness. The outer edge of electrode No. 2 may be of any shape at all provided that the smallest width of electrode No. 2 is at least twice the specimen thickness. Electrode No. 3 may have any shape provided that it everywhere extends beyond the inner edge of the electrode No. 2 by at least twice the specimen thickness.

The tubular specimen, Figure 3, may take the form of an insulated wire or cable. If the length of electrode No. 1 is more than 100 times the thickness of the insulation, the effects at the end of the guarded electrode become negligible and careful spacing of the guard electrodes is not required. Thus the gap between electrodes No. 1 and 2 may be several centimetres to permit sufficient surface resistance between these electrodes when water or other convenient liquid is used as electrode No. 1.

- (b) *Surface resistance measurement* For measurement of surface resistance the test specimen may be of any practical form consistent with the particular objective. Material test specimens may be in the form of flat plates, tapes or tubes.

The three electrode arrangements of Figures 1, 2 and 3 are recommended for measurement of surface resistance for purposes of material comparison. The resistance of the surface gap between electrodes No. 1 and 2 is measured directly by using electrode No. 1 as the guarded electrode, electrode No. 3 as the guard electrode, and electrode No. 2 as the unguarded electrode. The resistance so measured is actually the resultant of the surface resistance between electrodes No. 1 and 2 in parallel with the volume resistance between the same two electrodes.

With suitable dimensioning of the electrodes, however, the effect of that volume resistance can be made negligible for wide ranges of ambient conditions and material properties. This condition is achieved for the arrangements of Figures 1, 2 and 3 with electrodes dimensioned, so that the surface gap width, g , is approximately twice the specimen thickness, t .

The arrangements of Figures 1, 2 and 3 when properly dimensioned for surface resistance measurements, are also suitable and adequate for volume resistance measurements as described in Section 6 a

Note 1 — Les dimensions suivantes, se référant aux figures 1 et 2, sont appropriées, et d'application généralement commode, au cas d'éprouvettes d'une épaisseur de 3 mm :

$$D_3 = 100 \text{ mm}, D_2 = 88 \text{ mm}, D_1 = 76 \text{ mm}$$

ou

$$D_3 = 50 \text{ mm}, D_2 = 38 \text{ mm}, D_1 = 26 \text{ mm}$$

Note 2 — Il peut être nécessaire d'avoir recours à des techniques et des dispositions d'électrodes spéciales pour la détermination de la résistance superficielle d'échantillons très minces et de résistivité transversale faible; en pareil cas, la faible résistance entre l'électrode gardée et la garde peut fausser exagérément la mesure de la résistance superficielle

7 Echantillonnage et cellules pour l'essai de matériaux isolants liquides

a) *Echantillonnage* Le choix des échantillons de matériaux isolants liquides doit se faire d'une façon appropriée, de manière à obtenir des échantillons représentant bien l'ensemble d'une fourniture donnée. Les récipients utilisés doivent être bien nettoyés avant usage, en les lavant à l'extérieur et à l'intérieur au moyen de trichloréthylène ou de naphte ou un autre solvant approprié. Il faut particulièrement veiller à ce qu'aucune matière fibreuse n'y reste. Les doigts de l'opérateur ne doivent pas toucher la partie qui sera immergée. Des récipients qui ne sont pas chimiquement nettoyés et secs sont susceptibles de contaminer les échantillons et de fausser les résultats. Les échantillons doivent être stockés dans des récipients en verre ou en étain qui ont été lavés au trichloréthylène ou au naphte ou autre solvant approprié et séchés dans un four à 115°C. Les récipients doivent pouvoir se fermer par bouchon ou par couvercle à vis. Ce bouchon ou ce couvercle doivent être en verre ou revêtus d'une feuille d'étain à la partie exposée aux liquides. Les échantillons doivent être stockés à l'abri de la lumière jusqu'aux essais.

b) *Cellules* Les électrodes des cellules pour les matériaux isolants liquides sont des plaques parallèles, des cylindres ou des cônes coaxiaux. La distance entre les électrodes doit être comprise entre 0,75 mm et 5 mm. Le gradient de tension ne doit pas excéder 1 200 V par mm. La grandeur des électrodes doit être suffisante pour que la résistance puisse être mesurée avec l'appareillage disponible, avec une précision de 5%.

Note 1 — Des électrodes de 50 à 500 cm² de surface devraient pouvoir convenir.

Note 2 — Si la forme des électrodes est telle que leur surface utile et leur écartement soient difficiles à mesurer, la résistivité transversale peut être calculée en utilisant les formules suivantes :

$$k = 3,6 \pi C = 11,3 C$$

où k = la constante par laquelle il faut multiplier la résistance afin d'obtenir la résistivité transversale

C = la capacité en picofarads de l'électrode, l'air étant le diélectrique

c) *Nettoyage et remplissage de la cellule* La cellule doit être construite de façon à permettre un nettoyage facile. Il est avantageux à cet effet que les différentes parties puissent être nettoyées séparément. Tout procédé de nettoyage qui élimine toute trace du liquide de l'opération précédente et toute impureté est admissible. Une méthode recommandable consiste à remplir la cellule de trichloréthylène ou de naphte et à faire bouillir celui-ci sur une plaque chaude. Vider la cellule et répéter jusqu'à ce que le solvant enlevé soit propre. Laver ensuite les électrodes au savon en veillant à ce que les électrodes ne soient pas en contact avec un objet, rincer toutes les surfaces avec de l'eau distillée. Placer la cellule dans une étuve à une température de 115°C pendant au moins une heure avant d'effectuer les mesures.

8 Nature des électrodes pour matériaux solides

a) *Généralités* Les électrodes doivent être d'une matière d'application facile sur les éprouvettes, qui assure un contact intime avec la surface de celles-ci, qui ne contamine pas l'échantillon et dont la résistance propre n'introduit pas d'erreur. Cette matière doit également résister à la corrosion dans les conditions de l'essai. Les matériaux indiqués ci-après peuvent être utilisés

Note 1 — Convenient and generally suitable dimensions applicable to Figures 1 and 2 in the case of specimens 3 mm (1/8 in) in thickness are:

$$D_3 = 100 \text{ mm (4 in)}, D_2 = 88 \text{ mm (3.5 in)}, D_1 = 76 \text{ mm (3 in)}$$

or alternatively,

$$D_3 = 50 \text{ mm (2 in)}, D_2 = 38 \text{ mm (1.5 in)}, D_1 = 26 \text{ mm (1 in)}$$

Note 2 — Special techniques and electrodes may be required for the determination of the surface resistance when very thin specimens are being measured which have such low volume resistance that the resultant low resistance between the guarded electrode and the guard system causes an excessive error in the determination of the surface resistance

7 Test specimens and cells for liquid insulating materials

- (a) *Sampling* Samples of liquid insulating materials shall be obtained in an approved manner so that representative samples of the bulk liquid are obtained. The thiefs used in sampling shall be cleaned thoroughly before using, by washing both inside and outside surfaces with trichloroethylene, petroleum naphtha, or other suitable cleaning solvent. Special care shall be taken that no lint or other fibrous materials remain in or on them, and that after washing, the operator's fingers do not touch any part of the area which is immersed when taking a sample. Thiefs that are not chemically clean and dry are likely to contaminate the samples and cause misleading results. The samples shall be stored in glass or tin containers which have been washed with trichloroethylene, petroleum naphtha, or other suitable cleaning solvent and dried in an oven at 115°C. The containers shall be capable of being tightly stoppered or closed by screw caps. The stopper or cap shall be made of glass (or the surface of the stopper or cap exposed to the liquid shall be covered with a continuous sheet of tinfoil). The samples shall be stored in the dark until used for tests.
- (b) *Cells* The electrodes in cells for liquid insulating materials are parallel planes, concentric cylinders, or coaxial similar cones. The distance between the electrodes shall be not less than 0.75 mm (0.03 in) nor more than 5 mm (0.2 in). The voltage gradient shall not exceed 1 200 V per mm (30 V per mil). The area of the electrodes shall be sufficiently large so that the resistance can be measured, with the apparatus available, to an accuracy of 5 per cent.

Note 1 — Electrode area of 50 to 500 cm² (8 to 78 in²) should prove suitable.

Note 2 — If the shape of the electrodes is such that their effective area and the distance between them are difficult to measure, the volume resistivity may be calculated by the use of the following formula:

$$k = 3.6 \pi C = 11.3 C$$

where:

k = the constant by which the measured resistance is to be multiplied to give the volume resistivity, and
 C = the capacitance in picofarads of the electrode system with air as the dielectric

- (c) *Cleaning and filling cell* The cell should be so constructed that it can be readily cleaned. It is preferable that it be capable of being taken apart for cleaning the individual parts. Any method of cleaning the surfaces may be used which removes all traces of the liquid previously in the cell and any contaminants. One method which can be used is to fill the cell with trichloroethylene or petroleum naphtha and bring it to a boil on a hot plate. Empty the cell and repeat this procedure until the solvent poured off is clean. Then wash the electrodes with soap taking precautions not to lay the electrodes on any surface or to touch them with the operator's fingers. Rinse all surfaces with distilled water. Place the cell in an oven and maintain at 115°C for at least one hour prior to making measurements.

8 Electrode materials for solid samples

- (a) *General* The electrodes should be of material which is readily applied, allows intimate contact with the specimen surface, and introduces no appreciable error because of electrode resistance or contamination of the specimen. The electrode material should be corrosion resistant under the conditions of test. The following are typical electrode materials which may be used

- b) *Peintures conductrices à l'argent* Certains types de peintures conductrices à l'argent, disponibles dans le commerce et qui sèchent soit à l'air, soit à l'étuve, sont suffisamment poreuses pour être perméables à l'humidité; de ce fait, elles permettent, après application des électrodes, de conditionner les éprouvettes. Ceci est une caractéristique particulièrement utile pour l'étude des effets de résistance à l'humidité, ainsi que de l'influence de la température.
- c) *Métallisation* (métal appliqué par pulvérisation) Si l'on obtient une adhérence suffisante à l'échantillon, les électrodes appliquées par pulvérisation peuvent présenter certains avantages, en effet, elles sont prêtes à être employées dès l'application et peuvent être suffisamment poreuses pour permettre de conditionner l'éprouvette, mais il y a lieu de vérifier cette dernière propriété.
- d) *Métal évaporé* Mêmes conditions que pour c)
- e) *Mercuré* Les électrodes en mercure donnent des résultats satisfaisants mais en raison de leurs effets toxiques, elles ne sont pas recommandées pour l'emploi prolongé ou aux températures élevées. Il y a lieu d'entourer le mercure formant les électrodes supérieures d'anneaux métalliques à base effilée.
- f) *Graphite colloïdal* Une solution colloïdale de graphite dans l'eau, applicable au pinceau, peut servir à constituer des électrodes séchant à l'air sur des matériaux isolants non poreux, en feuilles. Le procédé n'est toutefois recommandable que si les conditions suivantes sont satisfaites:
- i) Le revêtement de graphite doit adhérer au matériau à essayer et ne doit pas s'écailer avant essai.
 - ii) Le matériau essayé ne doit pas absorber facilement l'eau.
 - iii) Le conditionnement doit s'effectuer en atmosphère sèche et les mesures s'exécuter dans la même atmosphère.
- g) *Caoutchouc conducteur* Des électrodes en caoutchouc conducteur donnent des résultats satisfaisants pourvu qu'elles soient appliquées avec une pression suffisante pour assurer un contact intime avec l'échantillon sur toute la surface. Elles offrent l'avantage d'une mise en œuvre rapide qui dispense de l'application avant conditionnement. La pression sous laquelle il est appliqué déformant quelque peu le caoutchouc, la surface de l'électrode gardée de même que l'intervalle entre celle-ci et la garde, ne sont plus aussi bien définis qu'avec d'autres électrodes. Toutefois, l'erreur ainsi introduite est en général négligeable.
- h) *Papier d'étain* Du papier d'étain d'environ 0,01 à 0,02 mm d'épaisseur est appliqué sur l'échantillon par l'intermédiaire d'un adhésif constitué par un mince film de graisse de pétrole ou de silicone. Tout excès de l'adhésif est chassé en passant sur le papier d'étain avec un rouleau étroit et dur (un rouleau de 1 à 2 cm de large s'est montré satisfaisant). L'emploi de papier d'étain ne peut assurer de bons résultats qu'avec des échantillons de surface très plate de façon à ce que l'épaisseur du film adhésif soit réduite au micron ou moins.

Le papier d'étain peut être découpé après application sur l'échantillon de façon à constituer la disposition d'électrodes illustrée par la figure 1. Ce procédé ne convient toutefois guère aux mesures de résistivité superficielles à moins de nettoyer soigneusement le sillon entre l'électrode gardée et sa garde. Mais cette opération est très difficile à réaliser sans compromettre l'adhésion des électrodes.

9 Résistivité transversale

La résistivité transversale ρ se calcule sur la base de la formule

$$\rho = \frac{A}{t} \times R_v$$

- (b) *Conductive silver paint* Certain types of commercially available, high-conductivity silver paints, either air-drying or low-temperature-baking varieties are sufficiently porous to permit diffusion of moisture through them and thereby allow the test specimens to be conditioned after application of electrodes. This is a particularly useful feature in studying resistance-humidity effects as well as change with temperature.
- (c) *Sprayed metal* If satisfactory adhesion to the test specimen can be obtained then sprayed metal electrodes may have certain advantages in that they are ready for use as soon as applied. They may be sufficiently porous to allow the test specimen to be conditioned but this should be verified.
- (d) *Evaporated and sputtered metal* The same conditions apply as for (c).
- (e) *Mercury* Mercury electrodes give satisfactory results but generally are not recommended for continuous use or at elevated temperatures due to possible toxic effects. The mercury forming the upper electrodes should be confined by metal rings whose lower ends are sloped to a sharp edge.
- (f) *Colloidal graphite* Colloidal dispersion of graphite in water may be brushed on non-porous sheet insulating materials to form an air-drying electrode. This electrode material is recommended only if all the following conditions are met:
 - i) The graphite coating must adhere to the material to be tested and must not flake off before testing.
 - ii) The material being tested must not absorb water rapidly.
 - iii) The material must be conditioned in a dry atmosphere and measurements must be made in this same atmosphere.
- (g) *Conductive rubber* Conductive rubber electrodes give satisfactory results provided they are applied with sufficient pressure to assure intimate contact with the specimen over the entire area of the electrode. They have the advantage that they can be quickly applied and need not be applied before the specimen is conditioned. Because the rubber is somewhat deformed by the pressure of application the area of the guarded electrode and the distance between the guarded and guard electrodes are not as well defined as in the case of the other electrodes. However, the error in measurement due to this is usually negligible.
- (h) *Tinfoil* Tinfoil about 0.01 or 0.02 mm thick is applied to the specimen using a thin film of petrolatum or silicone grease as an adhesive. All excess adhesive is removed by rolling the tinfoil down with a narrow hard roller (a roller having a width of 1 to 2 cm has been found satisfactory). Satisfactory results with tinfoil electrodes can be assured only when the surface of the specimen is very flat so that the thickness of the adhesive film can be reduced to 0.001 mm or less.

The tinfoil may be cut after application to the specimen and a portion of it removed to form the electrode shape shown in Figure 1. This type of electrode is not satisfactory for surface resistivity determinations unless the surface between the guarded and guard electrodes is carefully cleaned. This is very difficult to do without disturbing the adhesion of the electrodes to the specimen.

9 Volume resistivity

The volume resistivity ρ shall be calculated from the following formula

$$\rho = \frac{A}{l} \times R_v$$

où

R_t = Résistance transversale en ohms mesurée comme indiqué aux sections 4 et 6 a

t = épaisseur moyenne de l'éprouvette

A = surface efficace de l'électrode gardée, on se réfère aux figures 1, 2 et 3 pour les différentes dispositions d'électrodes

Dans la plupart des cas, les formules suivantes s'avèrent d'une approximation suffisante

a) Electrodes circulaires $A = \frac{\pi D_o^2}{4}$

b) Electrodes rectangulaires $A = (a+g)(b+g)$

c) Electrodes carrées $A = (a+g)^2$

d) Tubes $A = \pi D_o (L+g)$

e) Câbles $A = \pi D_o L$

où

L , D_o et g correspondent aux indications des figures 1, 2 et 3 et où a et b sont les longueurs des côtés de l'électrode gardée au cas où celle-ci est rectangulaire ou carrée.

10 Résistivité superficielle

La résistivité superficielle σ se calcule sur la base de la formule

$$\sigma = \frac{P}{g} R_s$$

où

R_s = Résistance superficielle en ohms, mesurée comme indiqué aux sections 4 et 6 b

g = distance entre les électrodes

P = périmètre efficace de l'électrode gardée dépendant de la disposition utilisée

Dans la plupart des cas, les formules suivantes s'avèrent d'une approximation suffisante:

a) Electrodes circulaires $P = \pi D_o$

b) Electrodes rectangulaires $P = 2(a+b)$

c) Electrodes carrées $P = 4a$

d) Tubes $P = 2\pi D_2$

11 Conditionnement

a) Le conditionnement de l'éprouvette dépend du matériau à essayer et doit être indiqué dans les spécifications relatives aux matériaux employés

b) Pour les conditionnements en atmosphère humide, le procédé utilisé devra assurer un degré d'humidité relative uniforme dans l'enceinte d'épreuve à $\pm 2\%$ de la valeur imposée. On emploie à cet effet des solutions de glycérine, salines ou d'acide sulfurique moyennant des précautions appropriées ou encore des procédés mécaniques de vaporisation

12 Tension appliquée

La tension doit être très stable. Il faut pousser le degré de régulation de façon à ce que le courant de charge dû aux fluctuations de la tension reste négligeable devant le courant à mesurer. Cette condition peut, en certains cas, imposer l'emploi de batteries. La résistance de l'éprouvette dépend parfois de la polarité de la tension et celle-ci doit alors être spécifiée selon les exigences propres à l'échantillon.

where

R_v = volume resistance in ohms measured as specified in Sections 4 and 6 *a*

t = average thickness of the specimen, and

A = effective area of the guarded electrode as shown in Figures 1, 2 and 3 for the particular electrode arrangement employed

For most purposes the following approximate formulae are sufficient

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| (a) Circular electrodes | $A = \frac{\pi D_o^2}{4}$ |
| (b) Rectangular electrodes | $A = (a + g)(b + g)$ |
| (c) Square electrodes | $A = (a + g)^2$ |
| (d) Tubes | $A = \pi D_o(L + g)$ |
| (e) Cables | $A = \pi D_o L$ |

where

L , D_o , and g have the dimensions indicated in Figures 1, 2 and 3, and a and b are the length and width respectively of the guarded electrode when it is rectangular or square

10 Surface resistivity

The surface resistivity σ shall be calculated from the following formula

$$\sigma = \frac{P}{g} R_v$$

where

R_v = surface resistance in ohms measured as specified in Sections 4 and 6 *b*

g = distance between electrodes, and

P = effective perimeter of the guarded electrode for the particular electrode arrangements employed For most purposes, the following approximate formulae are sufficient —

- | | |
|----------------------------|----------------|
| (a) Circular electrodes | $P = \pi D_o$ |
| (b) Rectangular electrodes | $P = 2(a + b)$ |
| (c) Square electrodes | $P = 4a$ |
| (d) Tubes | $P = 2\pi D_2$ |

11 Conditioning

- The conditioning which a sample should receive depends upon the material being tested and should be specified in the material specification
- The relative humidity shall be controlled by any method which will maintain a uniform humidity throughout the enclosure in which the specimens are conditioned and/or tested within $\pm 2\%$ of the designated values This may be done by using glycerine solutions, sulphuric acid solutions or salt solutions with proper precautions or with mechanical vaporization systems

12 Applied voltage

The voltage shall be very steady The degree of regulation required is such that the charging current appearing when the voltage varies is negligible compared to the leakage current In some cases batteries may be required to meet this condition In some cases the specimen resistance depends upon the polarity of the applied voltage and the polarity must then be specified according to the requirements of the specimen under test

13 Montage des éprouvettes

En appropriant les éprouvettes pour les mesures, il est essentiel qu'il ne se forme pas de chemins conducteurs indésirables entre les électrodes. Les surfaces isolantes ne devraient pas se manipuler sans gants (des gants de rayonne sont recommandés à cet effet). Pour des essais témoins, les surfaces devraient être nettoyées à l'aide d'un solvant approprié avant le conditionnement.

14 Principes généraux

- a) *Mesures* La détermination de la résistance d'un isolant ne diffère pas, en principe, de celle d'un conducteur. Dans les deux cas, la résistance est mesurée en déterminant le rapport tension/courant, suivant les indications données ci-dessus. Les procédés utilisables peuvent se répartir en deux groupes se ramenant à la méthode par voltmètre et ampèremètre ou à la méthode comparative comme indiqué ci-après.

i) *Méthode voltmètre-ampèremètre*

Dans cette méthode, le courant est mesuré au moyen d'un micro-ampèremètre, ou d'un galvanomètre (figure 4, page 25) ou par un amplificateur de courant continu qui indique le courant en mesurant la chute de tension qu'il détermine dans une résistance connue (figure 5, page 25), la tension est mesurée par un voltmètre. Dans certains cas, le rapport tension-courant est mesuré par un instrument indiquant directement la résistance.

ii) *Méthode comparative*

Dans cette méthode, la résistance inconnue est comparée à une résistance connue. Cette comparaison est effectuée en déterminant le rapport des courants lorsqu'une même tension est appliquée successivement aux deux résistances (figure 6, page 25) ou en équilibrant les deux résistances dans un pont de Wheatstone (figure 7, page 25). Pour toutes ces méthodes, la résistance inconnue doit être grande par rapport à toute résistance calibrée connectée en série avec elle de façon à être pratiquement soumise à la totalité de la tension.

- b) *Reproductibilité* La résistance d'un échantillon donné pouvant varier de façon très appréciable avec les conditions d'essai et d'une éprouvette à l'autre, les résultats ne se retrouvent en général pas à mieux que 10%, et sont souvent bien plus dispersés (des valeurs s'échelonnant dans le rapport de 10 à 1 peuvent s'obtenir dans des conditions apparemment identiques).

Ces essais présentent un vif contraste avec la détermination de la résistance des conducteurs, laquelle est une des plus précises dans le domaine des mesures électriques.

- c) *Résistance d'isolement du circuit de mesure* L'isolement du circuit de mesure repose sur des matériaux dont les propriétés sont, dans les cas favorables, comparables à celles du matériau essayé. Des erreurs dans les mesures peuvent provenir

- i) des courants de fuite dus aux tensions parasites qui sont généralement inconnues quant à leur grandeur, et souvent de nature sporadique
- ii) des shuntages indésirables de la résistance à mesurer, des résistances de comparaison ou du dispositif de mesure du courant par des résistances d'isolement de valeurs inconnues et pouvant être variables.

Il peut être remédié à ces difficultés en élevant autant que possible la résistance de l'isolement de l'ensemble du circuit. Ceci peut entraîner l'emploi d'appareils difficiles à manipuler ne convenant pas cependant à la mesure de résistances plus élevées que quelques centaines de mégohms. Un remède plus satisfaisant est obtenu en faisant usage de méthodes avec garde.

13 Mounting specimens

In mounting the specimens for measurement, it is important that there shall be no conductive paths between the electrodes other than those through the specimen. Insulating surfaces should not be handled with bare fingers (acetate rayon gloves are recommended). For referee tests the surfaces should be cleaned with a suitable solvent before conditioning.

14 General principles

(a) *Measurement* The determination of the resistance of an insulator is not fundamentally different from that of a conductor. In both cases, as indicated in the above definitions, the resistance is measured by the ratio of a voltage to a current. The methods available can be separated into two groups, the voltmeter-ammeter methods and the comparison methods, as follows.

(i) *Voltmeter-ammeter method* In this method the current is measured by a micro-ammeter or galvanometer (Figure 4, page 25), or by a d.c. amplifier which indicates current by measuring the voltage drop across a known resistor (Figure 5, page 25) and the voltage is measured by an indicating voltmeter. In some cases the ratio of voltage to current is measured in a single instrument to indicate resistance directly.

(ii) *Comparison method* In this method the unknown resistance is compared with a known resistance. This comparison is effected by determining the ratio of the currents when the same voltage is applied successively to the two resistances (Figure 6, page 25) or by balancing the two resistances in a Wheatstone bridge (Figure 7, page 25). For all of the methods the unknown resistance must be large compared to any standard resistances placed in series with it so that it will have essentially full voltage placed across it.

(b) *Reproducibility* Because of the variability of the resistance of a given specimen with test conditions, and because of non-uniformity of the same material from specimen to specimen, determinations are usually not reproducible to closer than 10%, and are often even more widely divergent (a range of values of 10 to 1 may be obtained under apparently identical conditions).

This condition is in contrast to the determination of the resistance of metallic conductors, which is one of the most precise of electrical measurements.

(c) *Insulation resistance of measuring circuit* The insulation of the measuring circuit is composed of materials which, at best, have properties comparable with those of the material under test. Errors in the measurement of the specimen may arise from

(i) Stray currents from spurious external voltages which are usually unknown in magnitude and often sporadic in character.

(ii) Undue shunting of the specimen resistance, reference resistors, or the current measuring device by insulation resistances of unknown, and possibly variable, magnitude.

An approximate correction of these difficulties may be obtained by making the insulation resistance of all parts of the circuit as high as possible under the conditions of use. This may lead to unwieldy apparatus which is still inadequate for measurement of insulation resistances higher than a few hundred megohms. A more satisfactory correction is obtained by using the technique of guarding.

Afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'équipement de mesure, il y a lieu d'effectuer un essai en déconnectant l'électrode à tension élevée de l'éprouvette. L'indication devrait alors correspondre à une résistance infinie (dans les limites permises par la sensibilité). Si l'on dispose de résistances calibrées convenables, elles peuvent servir à contrôler le fonctionnement du dispositif de mesure.

d) *Dispositifs de garde* La méthode de la garde consiste à interposer sur tous les chemins isolants qui pourraient se montrer critiques à cet égard, des conducteurs de garde qui interceptent tous les courants de fuite susceptibles de fausser la mesure. Ces électrodes de garde, toutes reliées ensemble, constituent le dispositif de garde et forment avec les électrodes de mesure un réseau à trois bornes. Quand les connexions sont établies de façon correcte, tous les courants de fuite indésirables sont dérivés par le dispositif de garde en dehors du circuit de mesure, la résistance d'isolement entre l'une quelconque des bornes de mesure et le dispositif de garde est shuntée par un élément du circuit de résistance bien plus faible et la résistance à mesurer constitue le seul chemin direct entre ces bornes de mesure. Cette technique réduit considérablement les risques d'erreur.

Le bon emploi d'un dispositif de garde pour les procédés impliquant la mesure d'un courant est illustré par les figures 4 à 6 qui montrent ce dispositif relié à la jonction de la source de tension et du dispositif de mesure du courant. Dans la figure 7, relative à la méthode du pont de Wheatstone, le dispositif de garde est relié au point de jonction des deux résistances de référence constituant la dérivation du pont opposée à celle contenant l'échantillon. Dans tous les cas, pour être efficace, la protection doit être complète et s'étendre à tous les dispositifs manipulés par l'opérateur lors de l'exécution des mesures.

Le dispositif de garde est généralement maintenu à un potentiel très voisin de celui de l'électrode gardée mais en est isolé. Il est habituel de le mettre à la terre et, de ce fait, un pôle de la source de tension et du dispositif de mesure du courant y est aussi relié. Mais alors aucune des deux bornes de mesure de l'éprouvette n'est mise à la terre. Il arrive cependant parfois qu'une des bornes de la résistance inconnue soit raccordée à la terre de façon permanente. Le dispositif de mesure du courant est alors normalement relié à cette borne et cette situation exige que la source de tension soit très bien isolée de la terre.

Des erreurs sur la valeur du courant peuvent résulter du fait que le dispositif de mesure est shunté par la résistance entre l'électrode gardée et le dispositif de garde. Une telle résistance devrait être au moins dix fois et de préférence cent fois supérieure à celle du dispositif de mesure du courant. Dans certaines méthodes utilisant un pont, la garde et l'électrode non gardée sont portées au même potentiel mais une des résistances de référence du pont est shuntée par celle comprise entre l'électrode non gardée et le dispositif de garde. Cette dernière résistance devrait être au moins dix fois et de préférence cent fois supérieure à la résistance du pont qu'elle shunte.

Les forces électromotrices (électrolytique, de contact ou thermiques) existant entre les systèmes de garde et les bornes « gardées » peuvent être compensées si elles sont petites. Il faut veiller à ce que les forces électromotrices ne soient pas à l'origine d'erreurs appréciables dans les mesures.

e) *Effet de la température et de l'humidité* La résistivité transversale comme la superficielle sont toutes deux fort sensibles aux variations de température. L'allure de la variation est exponentielle. De ce fait, il est nécessaire de mesurer la résistance transversale ou superficielle d'une éprouvette tandis que celle-ci est soumise à des conditions spécifiées. Des périodes prolongées de conditionnement sont nécessaires pour la détermination de l'effet de l'humidité sur la résistivité transversale, car l'absorption d'eau par un corps diélectrique est un phénomène relativement lent, ordinairement, l'absorption d'eau réduit la résistance transversale. Certaines éprouvettes peuvent mettre des mois à atteindre l'équilibre.

To ensure satisfactory operation of the equipment a measurement should be made with the high potential lead to the specimen disconnected. Under this condition the equipment should indicate infinite resistance within its sensitivity. If suitable standards of known values are available they may be used to test the operation of the equipment.

- (d) *Guarding* Guarding depends on interposing, in all critical insulated paths, guard conductors which intercept all stray currents that might otherwise cause errors. The guard conductors are connected together, constituting the guard systems and forming with the measuring terminals a three terminal network. When suitable connections are made, stray currents from spurious external voltages are shunted away from the measuring circuit by the guard system, the insulation resistance from either measuring terminal to the guard system parallels a circuit element of very much lower resistance, and the specimen resistance constitutes the only direct path between the measuring terminals. By this technique, the probability of error is considerably reduced.

Proper use of the guard system for the methods involving current measurement is illustrated in Figures 4 to 6 inclusive, where the guard system is shown connected to the junction of the voltage source and current measuring device. In Figure 7 for the Wheatstone-bridge method, the guard system is shown connected to the junction of the two lower-valued resistance arms. In all cases, to be effective, guarding must be complete, and must include any controls operated by the observer in making the measurement.

The guard system is generally maintained at a potential very close to that of the guarded terminal, but is insulated from it. It is usual to earth the guard system and hence one side of the voltage source and current measuring device. Thus neither terminal of the specimen is connected to earth. Sometimes one terminal of the unknown resistor is permanently earthed. The current measuring device is then usually connected to this terminal, requiring that the voltage source be well insulated from earth.

Errors in current measurements may result from the fact that the current measuring device is shunted by the resistance between the guarded terminal and the guard system. This resistance should be at least 10 and preferably 100 times that of the current measuring device. In some bridge techniques, the guard and measuring terminals are brought to nearly the same potential but a standard resistor in the bridge is shunted by the resistance between the unguarded terminal and the guard system. This resistance should be at least 10 and preferably 100 times that of the reference resistor.

Electrolytic, contact, or thermal e m f's existing between guard and guarded terminals can be compensated if they are small. Care must be taken that such e m f's do not introduce appreciable errors in the measurements.

- (e) *Effect of temperature and relative humidity* Both volume and surface resistivity are particularly sensitive to temperature changes. The change is exponential. It is therefore necessary to measure the volume and surface resistances of the specimen while under specified conditions. Extended periods of conditioning are required in determining the effect of humidity on volume resistivity since the absorption of water into the body of a dielectric is a relatively slow process. Water absorption usually decreases volume resistance. Some specimens may require months to reach equilibrium.

- f) *Valeur de la tension* Les résistances transversales et superficielles d'une éprouvette donnée diminuent ordinairement à mesure que la tension augmente. Afin de rendre comparable les mesures sur éprouvettes semblables, il faut qu'elles soient effectuées sous des gradients de potentiel approximativement égaux. Les tensions d'essais à appliquer sont généralement de 100, 250, 1 000, 2 500, 5 000, 10 000 et 15 000 V. Les tensions les plus fréquentes sont de 100 et 500 V. Les tensions plus élevées sont utilisées pour étudier l'influence de la tension ou pour augmenter la sensibilité des mesures.
- g) *Fluctuations de la tension* Toute fluctuation de tension entraîne des courants de charges et décharges venant s'ajouter au courant qu'on désire mesurer. Par conséquent, la tension doit être très stable.
- h) *Durée de mise sous tension* Lorsqu'une tension est appliquée à une éprouvette, le courant diminue asymptotiquement (exception faite de cas extrêmement rares) et ceci, vers une valeur limite qui représente le courant de conduction et qui peut descendre à 1% du courant observé au bout d'une minute. Cette diminution est due à l'absorption diélectrique (polarisation interfaciale, charges internes, etc.) et au déplacement d'ions mobiles vers les électrodes.

Le temps nécessaire pour que le courant atteigne un niveau ne différant pas de plus de 1% de sa valeur finale peut varier de quelques secondes à quelques heures selon la nature de l'échantillon. Aussi les mesures sur un matériau donné ne seront comparables que si l'on spécifie la durée de l'application de la tension.

La durée normale de mise sous tension a été fixée arbitrairement à une minute. Pour certains matériaux des conclusions erronées peuvent être tirées des résultats obtenus avec cette durée arbitraire. Il y a lieu d'établir, dans les conditions d'essai d'un matériau donné, une courbe résistance-temps qui servira de base pour le choix d'une durée convenable de mise sous tension; celle-ci doit être spécifiée dans la méthode d'essai d'un matériau particulier et cela pour chaque condition d'essai (température, degré hygrométrique, etc.).

Occasionnellement, il se peut que pour un matériau donné, le courant augmente avec le temps. Dans ce cas il y a lieu de faire une étude spéciale et de fixer arbitrairement la durée de mise sous tension.

Une éprouvette ayant une charge électrique interne perd graduellement cette dernière lorsque les électrodes sont connectées ensemble. La perte de cette charge peut s'observer en mesurant le courant qui s'écoule lorsque l'éprouvette est branchée directement sur le dispositif de mesure. Il faut s'assurer que l'éprouvette est complètement déchargée avant toute mesure, et en particulier si l'on inverse la polarité.