

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
52**

Deuxième édition
Second edition
1960

**Recommandations pour la mesure des tensions
au moyen d'éclateurs à sphères
(une sphère à la terre)**

**Recommendations for voltage measurement
by means of sphere-gaps (one sphere earthed)**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 52: 1960

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (IEV).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
52**

Deuxième édition
Second edition
1960

**Recommandations pour la mesure des tensions
au moyen d'éclateurs à sphères
(une sphère à la terre)**

**Recommendations for voltage measurement
by means of sphere-gaps (one sphere earthed)**

© CEI 1960 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. <i>Domaine d'application et objet</i>	8
2. <i>Eclateur à sphères normalisé</i>	8
2.1 Prescriptions relatives aux sphères	8
2.2 Construction des tiges des sphères	10
2.3 Hauteur des sphères au-dessus du plan de terre	12
2.4 Dégagement autour des sphères	12
2.5 Dégagement autour des sphères (tableau)	12
3. <i>Branchement de l'éclateur à sphères</i>	14
3.1 Mise à la terre	14
3.2 Conducteur haute tension	14
3.3 Résistance de protection en série lors de la mesure des tensions alternatives et des tensions continues	14
3.4 Résistance de protection en série lors de la mesure des tensions de choc	16
4. <i>Utilisation de l'éclateur à sphères</i>	16
4.1 Irradiation	16
4.2 Mesure des tensions	16
5. <i>Tension disruptive des éclateurs à sphères</i>	18
5.1 Valeurs numériques figurant dans les tableaux	18
5.2 Précision des tableaux	20
5.3 Influence des conditions atmosphériques	20
Annexe A — <i>Domaine des travaux expérimentaux d'étalonnage</i>	24
Annexe B — <i>Mode d'obtention des valeurs des tableaux I et II à partir de normes nationales et d'autres sources</i>	26
Tableau I	28
Tableau II	32

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. <i>Scope and Object</i>	9
2. <i>Standard sphere-gap</i>	9
2.1 Requirements for the spheres	9
2.2 Construction of the shanks of the spheres	11
2.3 Height of the spheres above the horizontal earth plane	13
2.4 Clearance round the spheres	13
2.5 Clearance round the spheres (table).	13
3. <i>Connection of the sphere-gap</i>	15
3.1 Earthing	15
3.2 High-voltage conductor	15
3.3 Protective series resistance in the measurement of alternating and direct voltages.	15
3.4 Protective series resistance in the measurement of impulse voltages	17
4. <i>The use of the sphere-gap</i>	17
4.1 Irradiation	17
4.2 Voltage measurements	17
5. <i>Sphere-gap disruptive discharge voltages</i>	19
5.1 Numerical values in the tables	19
5.2 Accuracy of the tables	21
5.3 Influence of atmospheric conditions	21
Appendix A — Range of experimental calibrations	25
Appendix B — Procedure by which the values in Tables I and II have been derived from National Standards and other sources	27
Table I	29
Table II	33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RECOMMANDATIONS POUR LA MESURE DES TENSIONS AU MOYEN D'ÉCLATEURS A SPHÈRES (UNE SPHÈRE A LA TERRE)

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

Le travail de révision de la première édition de la Publication 52 de la C.E.I., parue en 1935, a été entrepris dès avant la guerre, mais n'a été repris qu'en 1954, année pendant laquelle un projet établi en 1939 a été discuté lors d'une réunion tenue à Londres par le Sous-Comité 36-3: Essais à haute tension.

A la suite de cette réunion, un nouveau projet a été soumis aux Comités nationaux, puis discuté à Paris en 1955. Les travaux ont alors été repris par le Comité d'Etudes n° 42 nouvellement formé: Technique des essais à haute tension, et des projets successifs ont été discutés à Munich en 1956 et à Stockholm en 1958. La réunion de Stockholm a eu pour résultat un projet définitif qui a été soumis aux Comités nationaux en décembre 1958 pour approbation suivant la Règle des Six Mois.

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

Allemagne	Pays-Bas
Autriche	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
Finlande	Turquie
France	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Italie	Yougoslavie
Norvège	

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RECOMMENDATIONS FOR VOLTAGE MEASUREMENT BY MEANS OF SPHERE-GAPS (ONE SPHERE EARTHED)

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 recognized 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

The work of revising the first edition of I.E.C. Publication 52, which was issued in 1935, was commenced before the War, but was not resumed until 1954, when a draft prepared in 1939 was discussed at a meeting held in London of Sub-Committee 36-3: High Voltage Tests.

As a result of this meeting a new draft was circulated which was discussed in Paris in 1955. Work was then taken over by the newly-formed Technical Committee No. 42: High Voltage Testing Techniques, and successive drafts were discussed at Munich in 1956 and Stockholm in 1958. The Stockholm meeting resulted in a final draft being submitted to the National Committee for approval under the Six Months' Rule in December 1958.

The following National Committees voted explicitly in favour of publication:

Austria	Norway
Belgium	Poland
Canada	Sweden
Czechoslovakia	Switzerland
Denmark	Turkey
Finland	Union of Soviet Socialist Republics
France	United Kingdom
Germany	United States of America
Italy	Yugoslavia
Netherlands	

Ainsi qu'il est exposé à l'Annexe B, la présente publication est un compromis qui a été accepté par presque tous les Comités nationaux et elle constitue ainsi une publication vraiment internationale sur la mesure des tensions au moyen d'éclateurs à sphères. Néanmoins, les tableaux sont basés sur des étalonnages effectués dans des conditions qui n'ont pas toujours été rapportées en détail et qui peuvent parfois s'être écartées de manière sensible de celles spécifiées dans la publication. C'est pourquoi il est demandé aux Comités nationaux de vérifier les étalonnages dans les conditions fixées dans cette publication afin de fournir des renseignements dont il pourra être tenu compte dans une révision des tableaux.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60052:1960

Withdrawn

As explained in Appendix B, the present Publication is a compromise which has been accepted by almost all National Committees and is a truly international Publication on the measurement of voltages by means of sphere-gaps. However, the tables are based on calibrations made under conditions which were not always recorded in detail and which may sometimes have departed significantly from those specified in this Publication. The National Committees are therefore asked to verify the calibrations under the conditions laid down in this document so as to provide information which can be taken into account in any revision of the tables.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60052:1960

RECOMMANDATIONS POUR LA MESURE DES TENSIONS AU MOYEN D'ÉCLATEURS A SPHÈRES (UNE SPHÈRE A LA TERRE)

1. DOMAINE D'APPLICATION ET OBJET

Ces recommandations s'appliquent à la construction et à l'emploi des éclateurs à sphères utilisés pour la mesure des tensions. Ces règles sont applicables à la mesure de la valeur de crête:

- a) des tensions alternatives
- b) des tensions de choc pleines normales telles que définies dans la Publication 60 de la C.E.I. et des tensions de choc de plus grande durée de queue
- c) des tensions continues.

Les valeurs de crête de la tension disruptive dans l'air pour diverses valeurs de l'écartement des sphères sont données dans deux tableaux.

L'annexe A indique dans quelles limites de tension et de fréquence les valeurs des tableaux ont été obtenues à partir de résultats expérimentaux et peuvent être supposées correspondre à la précision donnée à l'article 5.2.

L'annexe B indique comment les valeurs des tableaux ont été obtenues à partir de normes nationales existantes et d'autres sources.

2. ECLATEUR A SPHÈRES NORMALISÉ

L'éclateur à sphères normalisé est un dispositif de mesure de tension de crête, construit et disposé conformément aux prescriptions de ce document. Il est constitué par deux sphères métalliques de même diamètre nominal (D) avec leurs tiges, le mécanisme de manœuvre, les supports isolants, la monture et les connexions qui les relient aux points où la tension est à mesurer. Les valeurs normales de D sont: 2 – 5 – 6,25 – 10 – 12,5 – 15 – 25 – 50 – 75 – 100 – 150 et 200 cm. L'écartement des sphères est désigné par S .

Par convention, on désigne par points d'étincelle les deux points les plus rapprochés des sphères. En réalité, l'étincelle peut jaillir entre des points quelconques voisins des points susvisés.

Les figures 1 et 2 représentent deux dispositions dont l'une correspond habituellement aux éclateurs à axe vertical et l'autre aux éclateurs à axe horizontal.

2.1 Prescriptions relatives aux sphères

2.1.1 Tolérances sur les dimensions et sur la forme

Les sphères doivent être de fabrication soignée de façon que leurs surfaces soient lisses et que leur courbure soit aussi uniforme que possible.

Les prescriptions sur leur forme sont les suivantes:

Forme générale

Le diamètre de chaque sphère ne doit s'écarter nulle part de plus de 2% de la valeur nominale.

RECOMMENDATIONS FOR VOLTAGE MEASUREMENT BY MEANS OF SPHERE-GAPS (ONE SPHERE EARTHED)

1. SCOPE AND OBJECT

These recommendations concern the construction and use of sphere-gaps for voltage measurement. The rules apply to the measurement of the peak value of:

- a) alternating voltages
- b) full standard impulses as defined in I.E.C. Publication 60 and impulses with longer tails
- c) direct voltages.

The peak values of the disruptive voltages in air for various spacings between the spheres are given in two tables.

Appendix A gives the limits of voltage and frequency over which the tables have been derived from experiments and can be presumed to be accurate within the tolerances specified in Clause 5.2.

Appendix B gives the procedure by which the values in the tables have been derived from previous National Standards and other sources.

2. STANDARD SPHERE-GAP

The standard sphere-gap is a peak voltage measuring device constructed and arranged in accordance with the rules in this document. It consists of two metal spheres of the same diameter (D) with their shanks, operating gear, insulating supports, supporting frame and leads for connection to the point at which the voltage is to be measured. Standard values of D are 2 – 5 – 6.25 – 10 – 12.5 – 15 – 25 – 50 – 75 – 100 – 150 and 200 cm. The spacing between the spheres is designated S .

The points on the two spheres which are closest to each other are called the sparking points. In practice the disruptive discharge may occur between other neighbouring points.

Figures 1 and 2 show two arrangements, one of which is typical of sphere-gaps with a vertical axis and the other of sphere-gaps with a horizontal axis.

2.1 Requirements for the spheres

2.1.1 Tolerances on size and shape

The spheres shall be carefully made so that their surfaces are smooth and their curvature is as uniform as possible.

The requirements on their shapes are as follows:

General Shape

The diameter of each sphere shall nowhere differ by more than 2% from the nominal value.

Absence d'irrégularités dans le voisinage du point d'étincelle

La surface des sphères doit être raisonnablement dépourvue d'irrégularité dans la région voisine du point d'étincelle. Cette région est délimitée par un cercle tracé sur la sphère à l'aide d'un compas centré sur le point d'étincelle avec une ouverture égale à 0,3 fois le diamètre de la sphère.

L'absence d'irrégularités est vérifiée au moyen d'un sphéromètre dont l'écartement des pointes de base doit être compris entre 0,125 D et 0,25 D .

Le sphéromètre mesure la distance h de sa pointe centrale au plan passant par ses trois pointes de base, écartées entre elles de a .

Lorsque les trois pointes de base et la pointe centrale sont en contact avec une surface parfaitement sphérique de rayon $\frac{D}{2}$, on obtient la valeur suivante de h :

$$h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - \frac{4}{3} a^2}$$

ou, avec une bonne approximation

$$h = \frac{D}{3} \left[\left(\frac{a}{D} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{a}{D} \right)^4 \right]$$

Les valeurs mesurées peuvent s'écarter de la précédente. Lorsque les pointes de base du sphéromètre occupent différentes positions dans la région définie plus haut, la différence entre les valeurs mesurées de h et la valeur donnée par la formule ne doit excéder nulle part:

0,1 % du diamètre (D) si celui-ci est inférieur ou égal à 100 cm

0,2 % du diamètre (D) si celui-ci est supérieur à 100 cm.

En l'absence de sphéromètre, des calibres circulaires plans peuvent être utilisés pour évaluer approximativement les irrégularités de surface.

Note: D'ordinaire, le contrôle des tolérances sur les dimensions et sur la forme n'a besoin d'être effectué de la façon ci-dessus indiquée qu'au moment de la première mise en place des sphères. Par la suite, il suffira normalement de procéder à un examen tactile ou visuel des sphères.

2.1.2 *Etat des surfaces*

Au voisinage du point d'étincelle, les surfaces des sphères doivent être exemptes de toute trace de vernis, graisse ou autre revêtement protecteur. Elles doivent être propres et sèches, mais il n'est pas nécessaire qu'elles soient polies. Lorsque les sphères sont devenues trop rugueuses ou piquées par l'usage, elles doivent être rendues lisses à nouveau ou remplacées.

Note: Lorsque l'humidité relative de l'air dépasse environ 90 %, de la condensation peut se produire à la surface des sphères et les mesures deviennent alors inexactes.

2.2 Construction des tiges des sphères

2.2.1 *Eclateur vertical*

Lorsque l'éclateur est disposé verticalement, la tige de la sphère à haute tension ne doit présenter ni arête vive, ni angle et son diamètre ne doit pas être supérieur à 0,2 D sur une longueur égale à D . Cette prescription est faite dans le but de réduire l'influence de la tige à haute tension sur la tension disruptive. Lorsqu'une électrode de répartition de champ est utilisée à l'extrémité de la tige, sa plus grande dimension normalement à l'axe de l'éclateur ne doit pas être supérieure à 0,5 D . Une telle électrode doit se trouver à une distance d'au moins 2 D du point d'étincelle de la sphère à haute tension.

Freedom from surface irregularities in the region of the sparking point

The spheres shall be reasonably free from surface irregularities in the region of the sparking point. This region is defined by a circle such as would be drawn on the spheres by a pair of dividers set to an opening of $0.3 D$ and centred on the sparking point.

The freedom from surface irregularities is checked by a spherometer of which the feet are between $0.125 D$ and $0.25 D$ apart.

The spherometer measures the distance h of its central point from the plane passing through the three feet of the instrument, which form an equilateral triangle of side a .

When the three feet and the central point are in contact with a perfectly spherical surface of radius $\frac{D}{2}$ the following value is obtained for h :

$$h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - \frac{4}{3} a^2}$$

or, with adequate accuracy.

$$h = \frac{D}{3} \left[\left(\frac{a}{D} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{a}{D} \right)^4 \right]$$

The measured values may differ from the above. When the feet of the spherometer are placed in various positions in the region defined above, the difference between the measured values of h and the value given in the formula shall nowhere exceed:

0.1 % of the diameter (D) if this is less than or equal to 100 cm

0.2 % of the diameter (D) if this is greater than 100 cm.

If a spherometer is not available, flat circular gauges may be used for an approximate evaluation of irregularities of the surface.

Note: The tolerances on size and shape need usually only be checked in the manner described above when the spheres are first supplied. It will normally be sufficient to make subsequent examinations by feeling the spheres or inspecting them visually.

2.1.2 State of the surfaces

The surfaces of the spheres in the neighbourhood of the sparking points shall be free from any trace of varnish, grease, or other protective coating. They shall be clean and dry but need not be polished. If the spheres become excessively roughened or pitted in use they shall be re-burnished or replaced.

Note: If the relative humidity of the air exceeds about 90 %, moisture may condense on the surface and the measurements will then cease to be accurate.

2.2 Construction of the shanks of the spheres

2.2.1 Vertical gap

When the spheres are arranged vertically, the shank of the high-voltage sphere shall be free from sharp edges or corners and the diameter of the shank shall not exceed $0.2 D$ over a length D . This requirement is made in order to reduce the influence of the high-voltage shank on the disruptive discharge voltage. If a stress distributor is used at the end of the shank its greatest dimension, perpendicular to the axis of the spheres, shall not exceed $0.5 D$. Such stress distributors shall be at least $2 D$ from the sparking point of the high-voltage sphere.

La tige mise à la terre et le mécanisme de manœuvre ont une moindre influence et leurs dimensions sont de ce fait moins importantes.

La figure 1 (page 36) donne les limites des dimensions des éléments caractéristiques composant un éclateur à sphères vertical.

2.2.2 Eclateur horizontal

Lorsque l'éclateur est disposé horizontalement, les limites de dimensions sont données dans la figure 2 (page 37). Elles sont les mêmes pour les deux côtés de l'éclateur.

Note: Les tiges des sphères doivent être raisonnablement alignées quelle que soit la disposition utilisée pour l'éclateur.

2.3 Hauteur des sphères au-dessus du plan de terre

L'éclateur doit être utilisé au-dessus d'un plan de terre horizontal, tel qu'un réseau conducteur dans ou sur le sol du laboratoire ou qu'une surface conductrice sur le support où l'éclateur est placé. La hauteur A du point d'étincelle de la sphère à haute tension au-dessus de ce plan de terre doit être comprise dans les limites indiquées dans le tableau de l'article 2.5. Cette prescriptions s'applique à la fois aux éclateurs verticaux et aux éclateurs horizontaux.

Si l'éclateur est monté de sorte que la sphère mise à la terre soit proche du plafond et qu'en outre les autres surfaces telles que parois et plancher soient à des distances considérablement plus grandes, c'est le plafond qui doit être considéré comme plan horizontal à partir duquel la distance A est à mesurer vers le bas.

2.4 Dégagement autour des sphères

La distance du point d'étincelle de la sphère à haute tension à tout objet (tel que paroi, plafond, cuve de transformateur, traversée, générateur de choc, etc.) ne doit pas être inférieure à la valeur B du tableau de l'article 2.5. Cette prescription s'applique également à la monture de l'éclateur lorsque celle-ci est en matériau conducteur. A l'exception de la dérogation suivante, B ne doit pas être inférieur à $2 D$, quelle que soit la valeur de S .

Cette prescription ne concerne pas la monture en matériau isolant supportant les sphères, pourvu qu'elle soit propre et sèche et que l'éclateur ne soit utilisé que pour la mesure de tensions alternatives ou de tensions de choc. Dans ce cas, la distance B entre le point d'étincelle de la sphère à haute tension et la monture peut être moindre qu'il est prescrit au tableau 2.5, mais elle ne doit pas être inférieure à $1,6 D$.

2.5 Dégagement autour des sphères (tableau)

Diamètre des sphères D cm	Valeur minimale de A	Valeur maximale de A	Valeur minimale de B
jusqu'à 6,25	$7 D$	$9 D$	$14 S$
10 – 15	$6 D$	$8 D$	$12 S$
25	$5 D$	$7 D$	$10 S$
50	$4 D$	$6 D$	$8 S$
75	$4 D$	$6 D$	$8 S$
100	$3,5 D$	$5 D$	$7 S$
150	$3 D$	$4 D$	$6 S$
200	$3 D$	$4 D$	$6 S$

Note 1. Les prescriptions du tableau précédent se rapportent aux éclateurs approuvés au sens des présentes recommandations. Toutefois, il arrive parfois que les conditions d'essai ne permettent pas de respecter les valeurs minimales de A et B prescrites dans le tableau.

De tels éclateurs peuvent néanmoins être considérés comme approuvés s'il peut être démontré, par des essais systématiques effectués avec la disposition et dans les conditions particulières de leur emploi, que leurs tensions disruptives ne s'écartent pas de façon sensible de celles des présentes recommandations.

The earthed shank and the operating gear have a smaller effect and their dimensions are therefore less important.

Figure 1 (page 36) gives the limits of size of the components of a typical vertical sphere-gap.

2.2.2 Horizontal gap

When the spheres are arranged horizontally the limiting dimensions of a typical sphere-gap are given in Figure 2 (page 37). They are the same for both sides of the gap.

Note: The sphere shanks shall be reasonably in line, whichever arrangement of gap be used.

2.3 Height of the spheres above the horizontal earth plane

The sphere-gap should be used above a horizontal earth plane such as a conducting network in or on the floor of the laboratory or a conducting surface on the support on which the sphere-gap is placed. The height A of the sparking point of the high-voltage sphere above such an earth plane shall be within the limits given in the table of Clause 2.5. This requirement applies both to vertical and horizontal gaps.

If the sphere-gap is mounted with the earthed sphere nearest to the ceiling and if other surfaces such as walls and the floor are at a considerably greater distance, then the ceiling may be regarded as the horizontal plane, from which the distance A is measured downwards.

2.4 Clearance round the spheres

The distance from the sparking point of the high-voltage sphere to any extraneous objects (such as walls, ceilings, transformer tanks, bushings, impulse generators, etc.), and also to the supporting framework for the spheres if this is made of conducting material, shall not be less than the value of B in the table of Clause 2.5. Except as permitted below, B should not be less than $2 D$, regardless of the value of S .

Supporting frameworks for the spheres made of insulating material are exempt from this stipulation provided that they are clean and dry and that the spheres are used for the measurement of alternating or impulse voltages only. The distance B between the sparking point of the high-voltage sphere and the framework may then be less than is prescribed in the table of Clause 2.5, but it must not be below $1.6 D$.

2.5 Clearance round the spheres (table)

Sphere diameter D cm	Minimum value of A	Maximum value of A	Minimum value of B
up to 6.25	$7 D$	$9 D$	$14 S$
10 – 15	$6 D$	$8 D$	$12 S$
25	$5 D$	$7 D$	$10 S$
50	$4 D$	$6 D$	$8 S$
75	$4 D$	$6 D$	$8 S$
100	$3.5 D$	$5 D$	$7 S$
150	$3 D$	$4 D$	$6 S$
200	$3 D$	$4 D$	$6 S$

Note 1. The requirements in the above table relate to approved sphere-gaps within the meaning of these recommendations. Sometimes, however, the test conditions render it impossible to make the values of A and B comply with the minimum requirements of the table.

Such sphere-gaps may also be regarded as approved if it can be demonstrated during systematic tests in the actual testing plant and under the actual test conditions that the disruptive voltages do not significantly deviate from those in these recommendations.

Note 2. Pour les faibles écartements de l'éclateur, des objets mis à la terre de petites dimensions situés dans le voisinage de l'éclateur n'ont pas d'influence sensible sur les résultats. Par contre, à des écartements plus grands, l'effet de grandes surfaces telles que des parois est important, même si elles se trouvent à la distance B . Aussi faut-il que l'éclateur soit installé dans un laboratoire dégagé, avec au plus une paroi à la distance B , les autres parois se trouvant à de plus grandes distances. Les étalonnages donnés aux tableaux I et II ont été basés sur des travaux expérimentaux effectués dans ces conditions et ils peuvent être fortement erronés si l'éclateur est placé, par exemple, dans une enceinte cylindrique de rayon B , sauf lorsque l'écartement est très petit.

Note 3. Pour la mesure des très hautes tensions il peut être nécessaire d'augmenter A et B au-dessus de la valeur minimale donnée dans le tableau de l'article 2.5, car celle-ci n'est pas toujours suffisante pour éviter la décharge disruptive sur les objets mis à la terre, particulièrement sur ceux présentant des arêtes vives ou des angles.

3. BRANCHEMENT DE L'ÉCLATEUR À SPHÈRES

3.1 Mise à la terre

Une sphère doit être mise à la terre, de préférence directement; pour des usages spéciaux, elle peut toutefois y être connectée à travers une résistance. En vue de la sécurité du personnel, cependant, une telle résistance doit être de très faible valeur.

3.2 Conducteur haute tension

Le conducteur à haute tension, y compris toute résistance en série qui ne serait pas disposée dans la tige même, doit être connecté à la tige en un point distant d'au moins $2D$ du point d'étincelle de la sphère à haute tension.

Dans la région où sa distance au point d'étincelle de la sphère à haute tension est inférieure à B , le conducteur sous tension (y compris le cas échéant la résistance en série) ne doit pas traverser le plan normal à l'axe de l'éclateur situé à une distance $2D$ du point d'étincelle de la sphère à haute tension. Ce plan est représenté sur les figures 1 et 2.

3.3 Résistance de protection en série lors de la mesure des tensions alternatives et des tensions continues

Des précautions sont à prendre pour rendre négligeable la piqure des sphères par les étincelles et pour éviter les oscillations superposées qui pourraient être la cause de décharges disruptives erratiques. A cet effet, une résistance comprise entre 100 000 ohms et un mégohm doit être branchée en série avec l'éclateur. Cette plage de valeurs de résistance est applicable aux tensions continues et aux tensions alternatives de fréquence industrielle. Pour les tensions alternatives de fréquence plus élevée, où la chute de tension engendrée dans la résistance par le courant de charge dû à la capacité des sphères peut devenir appréciable, cette résistance doit être réduite en conséquence.

Cette résistance est à placer aussi près que possible de l'éclateur, d'ordinaire en série avec la sphère à haute tension. Elle ne doit pas être placée dans la connexion commune reliant la source de tension à l'éclateur et à l'objet en essai.

L'emploi d'une résistance en série est particulièrement important lorsque des aigrettes se produisent dans le circuit d'essai, afin de réduire l'influence sur le fonctionnement de l'éclateur de la surtension transitoire qu'elles entraînent. Lorsqu'il ne se produit pas d'aigrettes, ni dans le circuit d'essai, ni sur l'objet en essai, cette résistance peut être réduite à une valeur déterminée par la dégradation admissible des sphères sous l'effet des décharges disruptives.

Note 2. At small sphere-gap spacings earthed objects of small size in the neighbourhood of the gap affect the results insignificantly, but at greater spacings the presence of large areas such as walls, even at the distance B , have an important effect. The sphere-gap should therefore be erected in an open laboratory with not more than one wall at the distance B and the other walls at greater distances. The calibrations given in Tables I and II have been based on experiments made under these conditions and they will be seriously in error if the sphere-gap is placed, say, in a cylindrical container of radius B , except when the spacing is very small.

Note 3. For the measurement of very high voltages it may be necessary to increase A and B above the minimum values given in the table of Clause 2.5, as these are not always sufficient to prevent disruptive discharge to earthed objects, especially those with sharp edges or corners.

3. CONNECTION OF THE SPHERE-GAP

3.1 Earthing

One sphere shall preferably be connected directly to earth, but may be connected through a resistor for special purposes. In the interests of personal safety, however, such resistors should be of very low values.

3.2 High-voltage conductor

The high-voltage conductor, including any series resistor not in the shank itself, shall be connected to a point on the shank at least $2D$ away from the sparking point of the high-voltage sphere.

Within the region where the distance to the sparking point of the high-voltage sphere is less than B , the live conductor (including the series resistor if any) must not pass through the plane normal to the axis of the sphere-gap and situated at a distance $2D$ from the sparking point of the high-voltage sphere; see Figures 1 and 2 where the plane is shown.

3.3 Protective series resistance in the measurement of alternating and direct voltages

Precautions should be taken to minimize pitting of the spheres and to prevent superimposed oscillations which may cause erratic disruptive discharges. For this purpose a resistance of 100 000 ohms to one megohm should be inserted in series with the sphere-gap. This range of resistance values applies to measurements of direct voltages and of alternating voltages at power frequencies. For alternating voltages of higher frequencies, where the effect of the voltage drop in the resistance due to the charging current of the gap may become appreciable, this resistance should be suitably reduced.

The resistor is to be placed as near as possible to the gap, usually in series with the high-voltage sphere. It should not be placed in the common connection from the voltage source to the sphere-gap and to the test object.

When brush discharges are present in the test circuit, series resistance is specially important in order to reduce the effect of the consequent transient over-voltage on the operation of the sphere-gap. When these discharges are not present either in the test circuit or in the test specimen, the resistance may be reduced to a value fixed by the permissible burning of the spheres by disruptive discharges.

3.4 Résistance de protection en série lors de la mesure des tensions de choc

Lors de la mesure des tensions de choc, le but de la résistance en série est de réduire la raideur de la coupure de la tension, celle-ci pouvant entraîner des contraintes indésirables sur l'objet en essai. Un autre but, qui concerne surtout les sphères de grand diamètre, est d'éliminer, dans le circuit de l'éclateur, des oscillations qui peuvent rendre la tension entre les sphères plus grandes que sur l'objet en essai. Pour des sphères de petit diamètre, ce phénomène est généralement de peu d'importance.

La valeur de la résistance ne doit pas être supérieure à 500 ohms. Pour la réduction des oscillations il est essentiel que son inductance soit faible (non supérieure à 30 μ H). Cette résistance doit être placée dans le circuit comme il est indiqué à l'article 3.3.

4. UTILISATION DE L'ÉCLATEUR À SPHÈRES

4.1 Irradiation

La tension disruptive d'un éclateur à sphères est influencée par l'ionisation de l'intervalle entre les sphères au moment de l'application de la tension.

Les valeurs données dans les tableaux s'appliquent aux mesures faites sans irradiation autre que celle de l'ionisation accidentelle toujours présente, excepté

- a) pour la mesure des tensions de valeur de crête inférieure à 50 kV, quel que soit le diamètre des sphères;
- b) pour la mesure de tension avec des sphères dont le diamètre ne dépasse pas 12,5 cm, quelle que soit la valeur de la tension.

Pour les conditions de mesure a) et b), l'usage d'une irradiation supplémentaire est recommandé et est parfois primordial pour l'obtention de résultats précis et cohérents. C'est particulièrement important pour la mesure de tensions de choc et pour tous les genres de tension lorsque l'on utilise de très faibles écartements.

L'irradiation peut être obtenue par une capsule contenant une quantité de substance radioactive d'au moins 0,2 millicurie et de préférence d'environ 0,6 millicurie. Cette capsule est à introduire dans la sphère à haute tension à proximité du point d'étincelle. Une autre méthode consiste à irradier l'éclateur par une lampe à vapeur de mercure à enveloppe en quartz ayant une puissance nominale d'au moins 35 watts et fonctionnant avec un courant d'au moins un ampère. Cette lampe doit être placée environ à la distance B indiquée dans le tableau de l'article 2.5 et son rayonnement doit atteindre les points d'étincelle des sphères.

Pour la mesure des tensions de choc, l'irradiation produite par la décharge dans les éclateurs du générateur de chocs a aussi été trouvée satisfaisante.

Note 1. Les précautions d'usage doivent être prises dans la manipulation des substances radioactives; celles-ci doivent être maintenues dans des récipients en plomb, sauf au moment de leur utilisation.

Note 2. Le curie est défini comme étant l'activité d'un gramme de radium, qui équivaut à $3,7 \cdot 10^{10}$ désintégrations atomiques par seconde.

4.2 Mesure des tensions

Le mode opératoire consiste usuellement à établir une relation entre une tension, telle qu'elle est mesurée par un éclateur à sphères, et l'indication d'un appareil tel qu'un voltmètre, un oscillographe cathodique ou un autre appareil approprié, convenablement branché dans le circuit pour repérer le réglage du générateur.

A moins que le contraire ne puisse en être démontré, cette relation n'est plus valable lorsqu'une modification quelconque est apportée au circuit autre qu'une légère variation de l'écartement des sphères. La tension mesurée par un éclateur à sphères est déduite de l'écartement.

3.4 Protective series resistance in the measurement of impulse voltages

The purpose of the series resistance when measuring impulse voltages is to reduce the rate of voltage chopping, which may introduce undesirable stresses in the test object. Another purpose which is especially applicable to spheres of large diameters is to eliminate oscillations in the sphere-gap circuit which may cause a higher voltage to occur between the spheres than on the test specimen. For spheres of smaller diameter this phenomenon is generally of minor importance.

The value of the resistance should not exceed 500 ohms. It is essential for the reduction of oscillations that it should be of low inductance (not more than 30 μ H). For the position of the resistor in the circuit see Clause 3.3.

4. THE USE OF THE SPHERE-GAP

4.1 Irradiation

The disruptive discharge voltage of a sphere-gap is affected by the ionization in the gap between the spheres at the moment of application of the voltage.

The values given in the tables apply to measurements made without irradiation, apart from any random ionization already present, except in

- a) the measurement of voltages below 50 kV peak, whatever the sphere diameter;
- b) the measurement of voltages with spheres of 12.5 cm diameter and less, whatever the voltage.

For measurements under conditions a) and b) extra irradiation is recommended and is sometimes essential if accurate and consistent results are to be obtained. This is of special importance in the measurement of impulse voltages and for all types of voltages when very small spacings are used.

The irradiation may be obtained by a capsule containing radio-active material having an activity of not less than 0.2 millicurie and preferably of about 0.6 millicurie inserted in the high-voltage sphere near the sparking point. Another method is the irradiation of the gap by a quartz tube mercury-vapour lamp having a minimum rating of 35 watts and a current of at least one ampere. The lamp should be placed at about the distance *B* given in the table of Clause 2.5 and the light should fall on the sparking points of the spheres.

In the measurement of impulse voltages, the irradiation provided by the discharge in the gaps of the impulse generator has also been found satisfactory.

Note 1. The usual precautions should be taken in handling radio-active materials, which should be kept in a lead container except when in actual use.

Note 2. One curie is defined as the activity of one gramme of radium, which is equivalent to $3.7 \cdot 10^{10}$ disintegrated atoms per second.

4.2 Voltage measurements

The procedure usually consists in establishing a relation between a high voltage, as measured by the sphere-gap, and the indication of a voltmeter, an oscillograph or other device connected in the control circuit of the equipment.

Unless the contrary can be shown, this relation ceases to be valid if the circuit is altered in any respect other than a slight change of the spacing of the spheres. The voltage measured by the sphere-gap is derived from the spacing.

Le mode opératoire pour établir la relation varie avec la nature de la tension à mesurer, comme suit :

4.2.1 Mesure des tensions continues et des tensions alternatives

La tension doit être appliquée avec une amplitude assez basse pour éviter la décharge disruptive durant le régime transitoire d'enclenchement, puis elle doit être augmentée assez lentement pour que l'appareil à basse tension puisse être lu avec précision au moment de la décharge de l'éclateur.

Une autre possibilité est d'appliquer une tension constante à l'éclateur et de réduire lentement l'écartement des sphères jusqu'à ce que la décharge disruptive se produise.

Si l'air contient des poussières ou des matières fibreuses, de nombreuses décharges erratiques peuvent se produire à de faibles niveaux, surtout lorsqu'il s'agit de tensions continues, et il peut être nécessaire d'effectuer un grand nombre d'essais avant d'obtenir des résultats concordants.

La mesure définitive devra être la moyenne de trois lectures successives dont les valeurs extrêmes diffèrent de moins de 3%.

4.2.2 Mesure des tensions de choc

Pour obtenir la tension disruptive à 50% d'un éclateur à sphères, on doit régler l'écartement, ou la tension de charge du générateur de chocs, par échelons espacés au plus de 2% de la valeur disruptive présumée. Six chocs doivent être appliqués à chaque échelon. L'intervalle de temps entre deux chocs successifs ne doit pas être inférieur à 5 secondes. La valeur donnant 50% de probabilité de décharge disruptive est obtenue de préférence par interpolation entre au moins deux échelons de tension ou d'écartement des sphères, l'un donnant lieu à 2 amorçages ou moins, l'autre à 4 amorçages ou plus.

Une autre méthode, moins précise, consiste à régler la tension ou l'écartement jusqu'à ce que 4 ou 6 décharges disruptives soient obtenues dans une série de 10 chocs successifs.

5. TENSION DISRUPTIVE DES ÉCLATEURS À SPHÈRES

5.1 Valeurs numériques figurant dans les tableaux

Les valeurs de la tension disruptive pour divers écartements des sphères sont données dans les tableaux I et II.

Le tableau I donne les valeurs de crête disruptives (valeurs disruptives à 50% pour les tensions de choc), en kilovolts, pour :

- les tensions alternatives

- les tensions continues des deux polarités

- les tensions de choc négatives pleines normales, telles qu'elles sont définies dans la Publication 60 de la C.E.I. et les tensions de choc négatives de plus grande durée de queue.

Ce tableau n'est pas valable pour la mesure des tensions inférieures à environ 10 kV.

Le tableau II donne les valeurs de crête disruptives à 50% en kilovolts, pour les tensions de choc positives pleines normales, définies comme ci-dessus, et pour les tensions de choc positives de plus grande durée de queue.

Note 1. L'annexe A indique dans quelles limites de tension les valeurs des tableaux ont été obtenues à partir de résultats expérimentaux ou peuvent être supposées correspondre à la précision donnée à l'article 5.2.

Note 2. Les tableaux peuvent également être utilisés, sans erreur supplémentaire appréciable, pour la mesure de tensions de choc de durée de front plus grande que celle des tensions de choc normales.

The procedure in establishing the relation varies with the type of voltage to be measured, as follows:

4.2.1 *Measurement of direct and alternating voltages*

The voltage shall be applied with an amplitude low enough not to cause disruptive discharge during the switching transient and it is then raised sufficiently slowly for the low-voltage indicator to be read accurately at the instant of disruptive discharge of the gap.

Alternatively, a constant voltage may be applied across the gap and the spacing between the spheres slowly reduced until disruptive discharge occurs.

If there is dust or fibrous material in the air, numerous low and erratic disruptive discharges may occur, especially when direct voltages are being measured, and it may be necessary to carry out a large number of tests before consistent results can be obtained.

The final measurement should be the mean of three successive readings agreeing within 3%.

4.2.2 *Measurement of impulse voltages*

In order to obtain the 50% disruptive discharge voltage of a sphere-gap, the spacing of the gap, or the charging voltage of the impulse generator, shall be adjusted in steps corresponding to not more than 2% of the expected disruptive discharge value. Six applications of the impulse shall be made at each step. The interval between applications shall not be less than 5 seconds. The value giving 50% probability of disruptive discharge is preferably obtained by interpolation between at least two gap or voltage settings, one resulting in two disruptive discharges or less, and the other in four disruptive discharges or more.

Another, less accurate, method is to adjust the settings until 4 to 6 disruptive discharges are obtained in a series of 10 successive applications.

5. SPHERE-GAP DISRUPTIVE DISCHARGE VOLTAGES

5.1 *Numerical values in the tables*

The disruptive discharge voltages for various spacings between the spheres are given in Tables I and II.

Table I gives disruptive voltages (50% values in impulse tests) in kilovolts peak for:

alternating voltages

direct voltages of both polarities

full negative standard impulses as defined in I.E.C. Publication 60 and negative impulses with longer tails.

This table is not valid for the measurement of impulses below about 10 kV.

Table II gives 50% disruptive discharge voltages in kilovolts peak for full positive standard impulses as defined above and positive impulses with longer tails.

Note 1. Appendix A gives the range of voltages over which the tables have been derived from experiment and can be presumed to be accurate within the limits given in Clause 5.2.

Note 2. The tables may also be used without appreciable additional error for the measurement of impulses having longer than the standard front times.

5.2 Précision des tableaux

5.2.1 Tensions alternatives et tensions de choc

Pour les écartements ne dépassant pas $0,5 D$ les valeurs tabulaires sont considérées exactes à $\pm 3\%$. Pour les écartements compris entre $0,5 D$ et $0,75 D$ leur précision est estimée douteuse; c'est pourquoi elles sont inscrites entre parenthèses.

Note: Etant donné la difficulté de mesurer et d'ajuster l'écartement avec suffisamment de précision lorsqu'il devient très petit par rapport au diamètre, il est recommandé de ne pas opérer avec des écartements inférieurs à $0,05 D$.

5.2.2 Tensions continues

La mesure des tensions continues est généralement sujette à de plus grandes erreurs que celle des tensions alternatives ou des tensions de choc. De telles erreurs sont couramment causées par des poussières ou des fibres en suspension dans l'air. Il existe également une tendance à l'obtention de valeurs anormalement basses de la tension disruptive si la tension est appliquée pendant une longue durée.

Il est considéré qu'en l'absence de poussière excessive, les résultats seront exacts à $\pm 5\%$ pourvu que l'écartement ne soit pas supérieur à environ $0,4 D$.

Note: Etant donné la difficulté de mesurer et d'ajuster l'écartement avec suffisamment de précision lorsqu'il devient très petit par rapport au diamètre, il est recommandé de ne pas opérer avec des écartements inférieurs à $0,05 D$.

5.3 Influence des conditions atmosphériques

5.3.1 Conditions atmosphériques relatives aux valeurs tabulaires

Les valeurs des tableaux sont basées sur:

- une température ambiante de 20°C
- une pression atmosphérique de 1 013 millibars (760 mm Hg à 0°C)

5.3.2 Corrections de densité de l'air

Les valeurs des tensions disruptives pour un écartement donné dans des conditions atmosphériques autres que les conditions précitées sont obtenues en multipliant les valeurs des tableaux I et II par le facteur de correction k . Ce facteur est fonction de la densité relative d de l'air définie par:

$$d = \frac{b}{1\,013} \times \frac{273 + 20}{273 + t} = 0,289 \times \frac{b}{273 + t}$$

où b est la pression atmosphérique en millibars, et t la température en degrés centésimaux.

Si b est donné en millimètres de mercure à 0°C , la formule est remplacée par:

$$d = \frac{b}{760} \times \frac{273 + 20}{273 + t} = 0,386 \times \frac{b}{273 + t}$$

La relation entre la densité de l'air et le facteur de correction est donnée dans le tableau de l'article 5.3.3. Le facteur de correction est égal à la densité relative de l'air (c'est-à-dire $k = d$) pour des valeurs de d comprises entre 0,95 et 1,05.

5.2 Accuracy of the tables

5.2.1 Alternating and impulse voltages

For spacings up to $0.5 D$ the tables are considered to be accurate within $\pm 3\%$. Values in the tables for spacings between $0.5 D$ and $0.75 D$ are regarded as of doubtful accuracy and for that reason are put in brackets.

Note: As it may be difficult to measure and adjust the gap with sufficient accuracy if the ratio of spacing to diameter is very small, it is recommended that the spacing should not be less than $0.05 D$.

5.2.2 Direct voltages

The measurement of direct voltages is generally subject to larger errors than that of alternating or impulse voltages. Such errors are usually caused by dust or fibres in the air. There is also a tendency for abnormally low disruptive discharge values to be obtained if the voltage is maintained for a long time.

It is considered that in the absence of excessive dust the results will be accurate within $\pm 5\%$ provided that the spacing is not greater than about $0.4 D$.

Note: As it may be difficult to measure and adjust the gap with sufficient accuracy if the ratio of spacing to diameter is very small, it is recommended that the spacing should not be less than $0.05 D$.

5.3 Influence of atmospheric conditions

5.3.1 Atmospheric conditions valid for the tabulated values

The tabulated values are valid for:

- an ambient temperature of 20°C
- an atmospheric pressure of 1 013 millibars (760 mm Hg at 0°C)

5.3.2 Correction for air density

Disruptive discharge voltages corresponding to a given spacing under atmospheric conditions other than those specified above are obtained by multiplying the values in Tables I and II by a correction factor k . This factor is a function of the relative air density d , defined by:

$$d = \frac{b}{1\ 013} \times \frac{273 + 20}{273 + t} = 0.289 \times \frac{b}{273 + t}$$

where b is the atmospheric pressure in millibars, and t the temperature in degrees Centigrade.

If b is given in mm Hg at 0°C , the formula is replaced by:

$$d = \frac{b}{760} \times \frac{273 + 30}{273 + t} = 0.386 \times \frac{b}{273 + t}$$

The relation between the air density and the correction factor is given in the table of Clause 5.3.3. The correction factor is equal to the relative air density (i.e. $k = d$) for values of d between 0.95 and 1.05.

5.3.3 Facteur de correction de densité de l'air (tableau)

Densité relative de l'air d	Facteur de correction k
0,70	0,72
0,75	0,77
0,80	0,82
0,85	0,86
0,90	0,91
0,95	0,95
1,00	1,00
1,05	1,05
1,10	1,09
1,15	1,13

5.3.4 Humidité

La tension d'amorçage d'un éclateur augmente avec l'accroissement de l'humidité de l'air. Quantitativement, cette influence est mal connue, mais il ne semble pas qu'elle soit supérieure à 2 ou 3 % dans la limite des valeurs d'humidité que l'on rencontre normalement dans les laboratoires. A cause de cette incertitude, aucun facteur de correction d'humidité ne peut être donné actuellement. De toute façon, l'humidité de l'air dans les divers laboratoires où les travaux expérimentaux d'étalonnage ont été effectués n'a, en général, pas été notée.

Voir à l'article 2.1.2 une note sur le risque résultant de la condensation d'humidité à la surface des sphères.

5.3.3 Air density correction factor (table)

Relative air density d	Correction factor k
0.70	0.72
0.75	0.77
0.80	0.82
0.85	0.86
0.90	0.91
0.95	0.95
1.00	1.00
1.05	1.05
1.10	1.09
1.15	1.13

5.3.4 Humidity

The disruptive discharge voltage of a sphere-gap increases with increasing humidity of the air. The numerical value of the effect is uncertain but it is unlikely to be more than 2 or 3% over the range of humidities normally encountered in laboratories. Because of this uncertainty, no correction factor for humidity can be given at present. In any case, the humidity of the air in the various laboratories where the experimental calibrations were made was not usually recorded.

See Clause 2.1.2 for a note on the danger from condensation of moisture on the surfaces of the spheres.

ANNEXE A

DOMAINE DES TRAVAUX EXPÉRIMENTAUX D'ÉTALONNAGE

Les tableaux I et II sont en partie tirés des travaux expérimentaux cités ci-après. Il n'y a aucune preuve expérimentale de leur précision à des tensions supérieures à celles indiquées dans cette liste.

Travaux expérimentaux d'étalonnage de l'éclateur à sphères

Nature de la tension	Plus grande valeur de crête (kV)	Référence
<i>Tension alternative à fréquence industrielle</i>	1 700	Transactions A.I.E.E. Vol. 71 (1952), Part III page 455
<i>Tension alternative à fréquence industrielle</i>	1 400	J.I.E.E. Vol. 82, (1938) page 655
<i>Tension continue +</i>	800	Zeit. tech. Phys. 18 (1937),
<i>Tension continue -</i>	1 300	page 209
<i>Tension de choc +</i>	2 580	Transactions A.I.E.E. Vol. 71 (1952)
<i>Tension de choc -</i>	2 410	Part. III, page 455
<i>Tension alternative à haute fréquence</i>	Voir note 2	E.T.Z. Vol. 60 (1939) page 92 (voir note 1 ci-dessous)
<i>Tension à haute fréquence non amortie</i>	ci-dessous	J.A.I.E.E. vol. 46 (1927) page 1 314
		Arch. Elektr. vol. 14 (1924) page 491
		Arch. Elektr. vol. 24 (1930) page 525
		Arch. Elektr. vol. 25 (1931) page 322
		Arch. Elektr. vol. 26 (1932) page 123
		Ann. Phys. 19 (1906) page 1 016
		Arch. Elektr. vol. 16 (1926) page 496
		Arch. Elektr. vol. 20 (1928) page 99
<i>Tension à haute fréquence amortie</i>	idem	

Note 1. Cette référence contient un sommaire des étalonnages en tensions alternatives à hautes fréquences amorties et non amorties, effectués jusqu'en 1939 et s'étendant sur une plage de tensions et de fréquences. Les autres références de la liste donnent les détails de la plupart de ces étalonnages individuels.

Note 2. Des renseignements tirés des références, qui sont incomplets et parfois contradictoires, il apparaît que le tableau I peut être utilisé sans grande erreur pour la mesure des tensions alternatives non amorties jusqu'à la fréquence de 20 kHz, mais seulement jusqu'à une valeur de crête d'environ 15 kV. Aux fréquences plus élevées cette tension diminue.

Les références montrent également que le tableau I peut être utilisé pour la mesure de tensions alternatives amorties jusqu'à la fréquence de 500 kHz, mais encore avec la restriction que la tension ne dépasse pas 15 kV en valeur de crête.

APPENDIX A

RANGE OF EXPERIMENTAL CALIBRATIONS

Tables I and II are partly derived from experiments reported in the references listed below. There is no experimental proof of their accuracy at voltages higher than the values given in the list.

Experimental calibrations of the sphere-gap

Kind of voltage	Highest voltage kV peak	Reference
<i>Alternating voltage of power frequency</i>	1 700	Transactions A.I.E.E. Vol. 71 (1952), Part III, page 455
<i>Alternating voltage of power frequency</i>	1 400	J.I.E.E. Vol. 82, (1938), page 655
<i>Direct voltage +</i>	800	Zeit. techn. Phys. 18 (1937), page 209
<i>Direct voltage -</i>	1 300	Transactions A.I.E.E. Vol. 71 (1952) Part III, page 455
<i>Impulse voltage +</i>	2 580	E.T.Z. Vol. 60 (1939), page 92 (see Note 1 below)
<i>Impulse voltage -</i>	2 410	J.A.I.E.E. Vol. 46 (1927), page 1 314
<i>Alternating voltage of high frequency</i>	See Note 2 below	Arch. Elektr. Vol. 14 (1924), page 491
<i>Undamped alternating voltage of high frequency</i>		Arch. Elektr. Vol. 24 (1930), page 525
		Arch. Elektr. Vol. 25 (1931), page 322
		Arch. Elektr. Vol. 26 (1932), page 123
<i>Damped alternating voltage of high frequency</i>	idem	Ann. Phys. 19 (1906), page 1 016
		Arch. Elektr. Vol. 16 (1926), page 496
		Arch. Elektr. Vol. 20 (1928), page 99

Note 1. This reference contains a summary of the calibrations with damped and undamped high-frequency voltages made over a range of voltages and frequencies up to 1939. The other references in the list give the details of most of these individual calibrations.

Note 2. From the information in the references, which is incomplete and sometimes conflicting, it appears that Table I can be used without serious error for the measurement of undamped alternating voltages at frequencies up to 20 kHz(kc/s), but only up to about 15 kV peak. At higher frequencies this voltage is reduced.

The references also show that Table I can be used for the measurement of damped alternating voltages at frequencies up to 500 kHz(kc/s), but again with the restriction that the voltage should not exceed 15 kV peak.

ANNEXE B

MODE D'OBTENTION DES VALEURS DES TABLEAUX I ET II A PARTIR DE NORMES NATIONALES ET D'AUTRES SOURCES

A la réunion du Comité d'Etudes n° 42 à Munich en 1956, il a été décidé de préparer de nouveaux tableaux, qui pourraient être acceptés internationalement.

En dehors de certaines exceptions, qui sont notées plus bas, les valeurs de la tension disruptive de ces nouveaux tableaux constituent une moyenne entre:

- 1) les valeurs qui ont été acceptées par la C.E.I. à Paris en juillet 1939;
- 2) les valeurs données dans la norme A.S.A. C.68.1 (1953)
(compte tenu des conditions de température).

L'évaluation de ces moyennes a conduit à quelques anomalies; en particulier la tension disruptive des petits intervalles variait assez irrégulièrement à diamètre de sphères croissant.

Ces anomalies ont été supprimées autant qu'il était possible sans introduire d'autres anomalies à leur place.

Les exceptions ci-dessus mentionnées sont:

- 1) La norme A.S.A. ne contient aucune indication pour les sphères de 2, 5, 10 et 15 cm.
Les valeurs du document C.E.I. de 1939 relatives aux sphères de 5 – 10 – et 15 cm ont, de ce fait, été introduites dans les présents tableaux sans y apporter d'autres modifications que les légères rectifications qui viennent d'être citées.
- 2) Les valeurs relatives aux sphères de 2 cm du document C.E.I. de 1939, qui ne s'appliquaient pas aux tensions de choc positives, ont par la suite été trouvées inexactes pour les écartsments inférieurs à 1 cm. C'est pourquoi un nouvel étalonnage a été introduit dans les tableaux, basé sur J.I.E.E., vol. 95 (1948), Part II, page 309, mais ces valeurs ne sont pas valables pour la mesure des tensions de choc des deux polarités inférieures à 10 kV. Ce point est mis en évidence dans Proc. I.E.E. Part II, vol. 101, (1954), page 438.
- 3) Les indications du document C.E.I. de 1939 pour des tensions supérieures à 1 400 kV sont considérées comme moins sûres que les valeurs les plus récemment mesurées aux Etats-Unis. Aussi celles-ci ont-elles été adoptées (voir A.S.A. C 68.1 (1953) et Transactions A.I.E.E., vol. 71, Part III, (1952), page 455).

Les valeurs figurant dans les tableaux ont été arrondies comme suit:

Jusqu'à 50 kV	au plus proche 0,1 kV
Au-dessus de 50 jusqu'à 100 kV	au plus proche 0,5 kV
Au-dessus de 100 jusqu'à 500 kV	au plus proche 1 kV
Au-dessus de 500 jusqu'à 1 000 kV	au plus proche 5 kV
Au-dessus de 1 000 kV	au plus proche 10 kV

APPENDIX B

PROCEDURE BY WHICH THE VALUES IN TABLES I AND II HAVE BEEN DERIVED FROM NATIONAL STANDARDS AND OTHER SOURCES

At the meeting of Technical Committee No. 42 in Munich in 1956, it was agreed that new tables should be prepared which could be accepted internationally.

Apart from certain exceptions which are noted below, the disruptive discharge voltages in the new tables were to be the mean of:

- 1) the values which were accepted by the I.E.C. in July 1939;
- 2) the values in A.S.A. Standard C 68.1 (1953) (after adjustment for temperature).

The calculation of the mean resulted in a few anomalies; in particular the disruptive discharge voltages of small gaps varied rather irregularly as the sphere diameter was increased.

These anomalies have been removed as far as was possible without introducing other anomalies.

The exceptions mentioned above are listed below:

- 1) No data are given in the A.S.A. Standard for 2, 5, 10 and 15 cm spheres.
The I.E.C. figures of 1939 for 5, 10 and 15 cm spheres have therefore been included in the present tables without any changes other than the minor adjustments referred to above.
- 2) The figures for 2 cm spheres in the I.E.C. document of 1939, which were not applicable to positive impulses, were later found to be inaccurate at spacings up to 1 cm. A new calibration has therefore been inserted, based on J.I.E.E., vol. 95 (1948), Part II, page 309, but the values are not applicable to the measurement of impulses of either polarity below 10 kV. See Proc. I.E.E., Part II, Vol. 101, (1954), page 438, for evidence on this latter point.
- 3) The I.E.C. data of 1939 for voltages above 1 400 kV are regarded as being less reliable than the most recently measured values in the U.S.A. and these latter have therefore been adopted (see A.S.A. C 68.1, 1953 and Transactions A.I.E.E., vol. 71 (1952), Part III, page 455).

The figures in the tables have been rounded off as follows:

up to 50 kV	to the nearest 0.1 kV
over 50 and up to 100 kV	to the nearest 0.5 kV
over 100 and up to 500 kV	to the nearest 1 kV
over 500 and up to 1 000 kV	to the nearest 5 kV
over 1 000 kV	to the nearest 10 kV

TABLEAU I

ÉCLATEUR À SPHÈRES AVEC UNE SPHÈRE À LA TERRE

Valeurs de crête des tensions disruptives en kilovolts

(tensions disruptives à 50 % pour les tensions de choc):

Valables pour: — les tensions alternatives

— les tensions de choc négatives pleines normales ou de plus grande durée de queue

— les tensions continues des deux polarités

Conditions atmosphériques de référence: 20°C et 1 013 millibars (760 mm Hg à 0°C).

Ecartement des sphères cm	Diamètre des sphères cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
0,05	2,8											
0,10	4,7											
0,15	6,4											
0,20	8,0	8,0										
0,25	9,6	9,6										
0,30	11,2	11,2										
0,40	14,4	14,3	14,2									
0,50	17,4	17,4	17,2	16,8	16,8	16,8						
0,60	20,4	20,4	20,2	19,9	19,9	19,9						
0,70	23,2	23,4	23,2	23,0	23,0	23,0						
0,80	25,8	26,3	26,2	26,0	26,0	26,0						
0,90	28,3	29,2	29,1	28,9	28,9	28,9						
1,0	30,7	32,0	31,9	31,7	31,7	31,7	31,7					
1,2	(35,1)	37,6	37,5	37,4	37,4	37,4	37,4					
1,4	(38,5)	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9					
1,5	(40,0)	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5					
1,6		48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1					
1,8		53,0	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5					
2,0		57,5	58,5	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0			
2,2		61,5	63,0	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5			
2,4		65,5	67,5	69,5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0			
2,6		(69,0)	72,0	74,5	75,0	75,5	75,5	75,5	75,5			
2,8		(72,5)	76,0	79,5	80,0	80,5	81,0	81,0	81,0			
3,0		(75,5)	79,5	84,0	85,0	85,5	86,0	86,0	86,0	86,0		
3,5		(82,5)	(87,5)	95,0	97,0	98,0	99,0	99,0	99,0	99,0		
4,0		(88,5)	(95,0)	105	108	110	112	112	112	112		
4,5			(101)	115	119	122	125	125	125	125		
5,0			(107)	123	129	133	137	138	138	138	138	
5,5				(131)	138	143	149	151	151	151	151	151
6,0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	164

Note 1. Les valeurs de ce tableau ne sont pas exactes pour la mesure des tensions de choc en-dessous d'environ 10 kV.

Note 2. Les valeurs entre parenthèses, relatives aux écartements supérieurs à 0,5 D, sont d'une précision douteuse.

TABLE I

SPHERE-GAP WITH ONE SPHERE EARTHED

Peak values of disruptive discharge voltages in kilovolts

(50% values for impulse tests):

Valid for: — alternating voltages

— full negative standard impulses and impulses with longer tails

— direct voltages of either polarity.

Atmospheric reference conditions: 20°C and 1 013 millibars (760 mm Hg at 0°C).

Sphere gap spacing cm	Sphere diameter cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50*	75	100	150	200
0.05	2.8											
0.10	4.7											
0.15	6.4											
0.20	8.0	8.0										
0.25	9.6	9.6										
0.30	11.2	11.2										
0.40	14.4	14.3	14.2									
0.50	17.4	17.4	17.2	16.8	16.8	16.8						
0.60	20.4	20.4	20.2	19.9	19.9	19.9						
0.70	23.2	23.4	23.2	23.0	23.0	23.0						
0.80	25.8	26.3	26.2	26.0	26.0	26.0						
0.90	28.3	29.2	29.1	28.9	28.9	28.9						
1.0	30.7	32.0	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7					
1.2	(35.1)	37.6	37.5	37.4	37.4	37.4	37.4					
1.4	(38.5)	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9					
1.5	(40.0)	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5					
1.6		48.1	48.1	48.1	48.1	48.1	48.1					
1.8		53.0	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5					
2.0		57.5	58.5	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0			
2.2		61.5	63.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5			
2.4		65.5	67.5	69.5	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0			
2.6		(69.0)	72.0	74.5	75.0	75.5	75.5	75.5	75.5			
2.8		(72.5)	76.0	79.5	80.0	80.5	81.0	81.0	81.0			
3.0		(75.5)	79.5	84.0	85.0	85.5	86.0	86.0	86.0	86.0		
3.5		(82.5)	(87.5)	95.0	97.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0		
4.0		(88.5)	(95.0)	105	108	110	112	112	112	112		
4.5			(101)	115	119	122	125	125	125	125		
5.0			(107)	123	129	133	137	138	138	138	138	
5.5				(131)	138	143	149	151	151	151	151	138
6.0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	151

Note 1. The tables are not valid for the measurement of impulse voltages below about 10 kV.

Note 2. The figures in brackets, which are for spacings of more than 0.5 D, are of doubtful accuracy.

TABLEAU I (suite)

[illegible]

TABLE I (continued)

[illegible]