

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60052

Troisième édition
Third edition
2002-10

**Mesure de tension au moyen des éclateurs
à sphères normalisés**

**Voltage measurement by means of
standard air gaps**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60052:2002

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60052

Troisième édition
Third edition
2002-10

**Mesure de tension au moyen des éclateurs
à sphères normalisés**

**Voltage measurement by means of
standard air gaps**

© IEC 2002 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
1 Domaine d'application.....	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	8
4 Eclateur à sphères normalisé.....	8
4.1 Prescriptions sur la forme et les conditions de surface.....	8
4.2 Disposition générale d'un éclateur à sphères en vue des mesures.....	10
4.3 Connexions	12
5 Utilisation de l'éclateur à sphères	14
5.1 Etat de surfaces des sphères.....	16
5.2 Irradiation	16
5.3 Mesure des tensions.....	16
6 Valeurs de référence figurant dans les tableaux 2 et 3	18
6.1 Précisions des valeurs des tableaux 2 et 3	20
6.2 Facteur de correction de densité de l'air	20
6.3 Facteur de correction d'humidité.....	22
7 Eclateur pointe-pointe normalisé pour la mesure de tension continue	22
7.1 Dispositions générales d'un éclateur pointe-pointe	22
7.2 Valeurs de références.....	22
7.3 Procédure de mesure	22
8 Utilisation d'éclateurs à sphères normalisés pour le contrôle des performances de systèmes de mesure approuvés.....	24
Annexe A (informative) Gamme d'étalonnage expérimental pour les éclateurs à sphères	44
Annexe B (informative) Mode d'obtention des valeurs des tableaux 2 et 3 à partir de normes internationales et d'autres sources	46
Annexe C (informative) Sources d'irradiation.....	48
Annexe D (informative) Incertitude et étalonnage des éclateurs à sphères	50
Bibliographie	52
Figure 1 – Eclateur à sphères vertical	38
Figure 2 – Eclateur à sphères horizontal	40
Figure 3 – Disposition pour éclateur pointe-pointe.....	42
Tableau 1 – Limites de distances d'isolement.....	12
Tableau 2 – Valeurs de crête des tensions de décharges disruptives (Valeurs U_{50} des essais de chocs) en kV pour les tensions alternatives à fréquence industrielle, la tension de choc de foudre plein, la tension de choc de manœuvre de polarité négative et les tensions continues des deux polarités	26
Tableau 3 – Tensions de crête de décharge disruptives (Valeurs de U_{50} des essais de choc) en kV pour tensions de choc de foudre plein et de choc de manœuvre de polarité positive ...	32
Tableau A.1 – Travaux expérimentaux d'étalonnage de l'éclateur à sphères	44
Tableau B.1 – Valeurs arrondies des tableaux 2 et 3.....	46

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	9
4 Standard sphere-gap	9
4.1 Requirements on shape and surface conditions	9
4.2 General arrangement of a sphere-gap for measurement	11
4.3 Connections	13
5 Use of the sphere-gap	15
5.1 Condition of the sphere surfaces	17
5.2 Irradiation	17
5.3 Voltage measurements	17
6 Reference values in tables 2 and 3	19
6.1 Accuracy of values in tables 2 and 3	21
6.2 Air density correction factor	21
6.3 Humidity correction factor	23
7 Standard rod-rod gap for measurement of direct voltage	23
7.1 General arrangement of a rod-rod gap	23
7.2 Reference values	23
7.3 Measurement procedure	23
8 Use of standard air gaps for performance checks of approved measuring systems	25
Annex A (informative) Range of experimental calibrations for sphere-gaps	45
Annex B (informative) Procedure by which the values in tables 2 and 3 have been derived from national standards and other sources	47
Annex C (informative) Sources of irradiation	49
Annex D (informative) Uncertainty and calibration of sphere-gaps	51
Bibliography	53
Figure 1 – Vertical sphere-gap	39
Figure 2 – Horizontal sphere-gap	41
Figure 3 – Arrangement for rod-rod gap	43
Table 1 – Clearance limits	13
Table 2 – Peak values of disruptive discharge voltages (U_{50} values in impulse tests) in kV for alternating voltages at power frequencies, full lightning and switching impulse voltages of negative polarity and direct voltages of both polarities	27
Table 3 – Peak values of disruptive discharge voltages (U_{50} values in impulse tests) in kV for full lightning and switching impulse voltages of positive polarity	33
Table A.1 – Experimental calibrations of the sphere-gap	45
Table B.1 – Rounding off of values in tables 2 and 3	47

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MESURE DE TENSION AU MOYEN DES ÉCLATEURS À SPHÈRES NORMALISÉS

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60052 a été établie par le comité d'études 42 de la CEI: Technique des essais à haute tension.

Cette troisième édition de la CEI 60052 annule et remplace la deuxième édition, parue en 1960, dont elle constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
42/173/FDIS	42/175/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les annexes A, B, C et D sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2012. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**VOLTAGE MEASUREMENT
BY MEANS OF STANDARD AIR GAPS**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60052 has been prepared by IEC technical committee 42: High-voltage testing techniques.

This third edition of IEC 60052 cancels and replaces the second edition, published in 1960, and constitutes a technical revision.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
42/173/FDIS	42/175/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annexes A, B, C and D are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2012. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

L'éclateur à sphères a été utilisé comme méthode de mesure de tension de crête simple et fiable dans beaucoup d'essai d'équipements industriels depuis 75 ans, et les valeurs des tableaux I et II de la deuxième édition de la CEI 60052 ont été acceptées comme consensus international de mesures normalisées. Ces tableaux apparaissent dans la présente norme en tant que tableaux 2 et 3.

Il n'existe pas d'information dans les références (par exemple, l'annexe A) dans la perspective d'une traçabilité des normes nationales de mesure. Cependant, l'écart des valeurs mesurées des tensions de décharges disruptives sur lesquelles les tableaux 2 et 3 sont établis, ne dépassent pas 3 % pour un niveau de confiance de 95 %. Au vu d'une longue histoire comme consensus international de mesures normalisées, les valeurs des tensions de décharges disruptives dans les tableaux I et II de la deuxième édition de la CEI 60052 sont reproduits dans la présente norme comme tableaux 2 et 3. Elles sont à utiliser comme principales valeurs avec une incertitude de 3 % pour un niveau de confiance de 95 %.

Le matériel concernant les éclateurs pointe-pointe pour des mesures fiables de haute tension continue a été inclus ici pour former une norme intégrée sur les mesures de haute tension utilisant des éclateurs à sphères normalisés.

Quatre annexes informatives sont incluses:

L'annexe A indique dans quelles limites de tension et de fréquence les valeurs des tableaux 2 et 3 ont été obtenues à partir des résultats expérimentaux et peuvent être supposés correspondre aux limites de précision spécifiées en 4.1.

L'annexe B indique comment les valeurs des tableaux 2 et 3 ont été obtenues à partir de normes nationales antérieures ou provenant d'autres sources.

L'annexe C fournit des informations sur les irradiations additionnelles qui peuvent être nécessaires dans certaines situations.

L'annexe D fournit des informations sur les incertitudes et l'étalonnage des éclateurs à sphères.

INTRODUCTION

Sphere-gaps have been used as a simple and reliable method for measurement of peak voltage in many industrial test facilities for 75 years, and the values of tables I and II in the second edition of IEC 60052 have been accepted as an International Consensus Standard of Measurements. These tables appear in this standard as tables 2 and 3.

There is no information in the references (e.g. annex A) with regard to traceability to national standards of measurement. However, the dispersion in the measured values of sparkover voltages upon which tables 2 and 3 are based, does not exceed 3 % for a 95 % confidence level.

In view of the long history of IEC 60052 as an International Consensus Standard of Measurement, the values for disruptive discharge voltage in tables I and II of the second edition of IEC 60052 are reproduced in this publication as tables 2 and 3. They are to be used as mean values with an uncertainty of 3 % for a 95 % confidence level.

The material on rod-rod gaps for reliable measurement of high direct voltages has been included here to form an integrated standard on high voltage measurements using standard air gaps.

Four informative annexes are included:

Annex A gives the limits of voltage and frequency over which tables 2 and 3 have been derived from experiments and can be presumed to be accurate within the limits specified in 4.1.

Annex B gives the procedure by which the values in tables 2 and 3 have been derived from previous national standards and other sources.

Annex C provides information on additional irradiation, which may be needed in certain situations.

Annex D provides information on the uncertainty and calibration of sphere-gaps.

MESURE DE TENSION AU MOYEN DES ÉCLATEURS À SPHÈRES NORMALISÉS

1 Domaine d'application

La Norme internationale CEI 60052 présente les recommandations s'appliquant à la construction et à l'emploi des éclateurs à sphères normalisés utilisés pour la mesure des valeurs crêtes des quatre types de tensions suivantes:

- a) tensions alternatives à fréquences industrielles;
- b) tensions de choc de foudre plein;
- c) tensions de choc de manœuvre;
- d) tensions continues.

Les éclateurs à sphères construits et utilisés selon cette norme sont des dispositifs de mesure conformes à la CEI 60060-2) et sont destinés principalement aux contrôles des caractéristiques des systèmes de mesure de haute tension.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60060-2:1994, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

3 Définitions

vacant

4 Eclateur à sphères normalisé

L'éclateur à sphères normalisé est un dispositif de mesure de tension de crête, construit et disposé conformément à cette norme. Par convention, sont désignés par points d'étincelle, les deux points les plus rapprochés des sphères. Les figures 1 et 2 représentent deux dispositions dont l'une correspond habituellement aux éclateurs à sphères à axe vertical et l'autre aux éclateurs à sphères à axe horizontal.

4.1 Prescriptions sur la forme et les conditions de surface

L'éclateur à sphères normalisé consiste en deux sphères métalliques de même diamètre D , ainsi que leurs tiges, le mécanisme de manœuvre, les supports isolants, la monture supportant les sphères et les connexions qui les relient aux points où la tension est à mesurer. Les valeurs normalisées de D sont 2 – 5 – 6,25 – 10 – 12,5 – 15 – 25 – 50 – 75 – 100 – 150 et 200 cm. L'écartement entre les sphères est désigné par S .

VOLTAGE MEASUREMENT BY MEANS OF STANDARD AIR GAPS

1 Scope

IEC 60052 sets forth recommendations concerning the construction and use of standard air gaps for the measurement of peak values of the following four types of voltage:

- a) alternating voltages of power frequencies;
- b) full lightning impulse voltages;
- c) switching impulse voltages;
- d) direct voltages.

Air gaps constructed and used in accordance with this standard represent IEC standard measuring devices in accordance with IEC 60060-2 and are primarily intended for performance checks of high voltage measuring systems.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60060-2:1994, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

3 Definitions

vacant

4 Standard sphere-gap

The standard sphere-gap is a peak voltage measuring device constructed and arranged in accordance with this standard. The points on the two spheres which are closest to each other are called the sparking 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.

4.1 Requirements on shape and surface conditions

The standard sphere-gap consists of two metal spheres of the same diameter D , 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 .

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

D'ordinaire, le contrôle des tolérances sur les dimensions et sur la forme n'a besoin d'être effectué qu'au moment de la première mise en place des sphères en utilisant tout appareil adéquat (par exemple, un sphéromètre).

Le diamètre de chaque sphère ne doit pas s'écarter de plus de 2 % de la valeur nominale. La surface des sphères doit être raisonnablement dépourvue d'irrégularité dans la région voisine du point d'étincelle. Une surface mécanique de finition moyenne (rugosité R_{\max} en dessous de 10 μm) est estimée convenable. La zone du point d'étincelle est délimitée par un cercle à l'aide d'un compas centré sur le point d'étincelle avec une ouverture égale à 0,3 D fois le diamètre de la sphère.

Quand l'éclateur à sphères est utilisé, il est normalement suffisant de procéder à un examen tactile et visuel.

NOTE Aucun défaut mineur de la zone hémisphérique non adjacente n'altère la performance de l'éclateur à sphères.

4.2 Disposition générale d'un éclateur à sphères en vue des mesures

4.2.1 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 de décharge disruptive. Lorsqu'une électrode de répartition de champ (dispositif anti-effluves) est utilisée à l'extrémité de la tige, sa plus grande dimension, perpendiculaire à l'axe de l'éclateur, ne doit pas dépasser 0,5 D et doit se trouver à une distance d'au moins 2 D du point d'étincelle de la sphère à haute tension.

La tige de 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 donne les limites de dimensions des éléments caractéristiques composant un éclateur à sphères vertical type.

Il convient que les tiges des sphères soient visuellement alignées.

4.2.2 Eclateur horizontal

Lorsque les sphères sont disposées horizontalement, les limites de dimensions d'un éclateur à sphère type sont données dans la figure 2. Elles sont les mêmes pour les deux côtés de l'éclateur.

Il convient que les tiges des sphères soient visuellement alignées.

4.2.3 Hauteur des sphères au-dessus du plan de terre horizontal

La hauteur A du point d'étincelle de la sphère haute tension au-dessus du plan de terre du plancher du laboratoire doit être dans les limites indiquées dans le tableau 1.

Si l'éclateur à sphères 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 mesurée vers le bas.

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

The tolerances on size and shape need usually only be checked when the spheres are first supplied and any suitable instrument (e.g. spherometer) may be used.

The diameter of each sphere shall not differ by more than 2 % from the nominal value. The spheres shall be reasonably free from surface irregularities in the region of the sparking point. A medium grade mechanical surface finishing (roughness R_{\max} below 10 μm) is considered to be adequate. The region of the sparking point 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 in the sparking point.

When the sphere-gap is used, it will normally be sufficient to examine the surface by touch and visual inspection.

NOTE Any minor damage on the non-adjacent hemispherical surfaces does not alter the sphere-gap performance.

4.2 General arrangement of a sphere-gap for measurement

4.2.1 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 (corona shield) is used at the end of the shank, its greatest dimension, perpendicular to the axis of the spheres, shall not exceed 0,5 D and shall be at least 2 D from the sparking point of the high-voltage sphere.

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

Figure 1 gives the limits of size of the components of a typical vertical sphere-gap.

The sphere shanks should be visually in line.

4.2.2 Horizontal gap

When the spheres are arranged horizontally, the limiting dimensions of a typical sphere-gap are given in figure 2. They are the same for both sides of the gap.

The sphere shanks should be visually in line.

4.2.3 Height of the spheres above the horizontal earth plane

The height A of the sparking point of the high-voltage sphere above the earth plane of the laboratory floor shall be within the limits given in table 1.

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 shall be regarded as the horizontal plane, from which the distance A is measured downwards.

4.2.4 Distance d'isolement autour des sphères

La distance du point d'étincelle de la sphère à haute tension à tout objet extérieur (tel que parois, murs ou n'importe quel appareil alimenté en courant ou relié à la terre) et au châssis de ces sphères, si ce dernier est composé de matériaux conducteurs, ne doit pas être inférieure à la valeur de la distance d'isolement B du tableau 1. A l'exception de la dérogation décrite ci-dessous, il est recommandé que B ne soit pas inférieure à $2 D$, quelle que soit la valeur de S .

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

Les valeurs crêtes des tensions de décharges disruptives dans les tableaux 2 et 3 sont valables pour les distances d'isolement autour des sphères dans les limites du tableau 1.

Tableau 1 – Limites de distances d'isolement

Diamètre de la sphère D cm	Valeur minimale de la hauteur A	Valeur maximale de la hauteur A	Valeur minimale de la distance 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	$3 D$	$4 D$	$6 S$

Il arrive parfois que les conditions d'essais ne permettent pas de respecter les valeurs de A et de B conformément aux prescriptions minimales. De tels éclateurs à sphères peuvent être utilisés à condition que, soit la déviation z satisfasse aux exigences de l'article 5, soit que l'incertitude des valeurs des décharges disruptives indiquées dans les tableaux 2 et 3 soit augmentées convenablement. De tels éclateurs à sphères pourraient être étalonnés dans des conditions de laboratoire, comme indiqué à l'annexe D.

Il convient que le circuit soit disposé de sorte qu'à la tension d'essai il n'y ait:

- aucune décharge disruptive avec d'autres objets,
- aucune décharge disruptive visible du conducteur haute tension ou de la tige dans l'espace défini par B ,
- aucune décharge visible d'autres objets reliés à la terre étendue dans l'espace défini par B .

4.3 Connexions

L'éclateur à sphères doit être connecté conformément aux exigences spécifiées dans la CEI 60060-2.

4.3.1 Mise à la terre

Une sphère doit normalement être directement mise à la terre. Pour les usages spéciaux, elle peut toutefois y être connectée à travers une résistance de faible valeur ohmique.

4.2.4 Clearance around the spheres

The distance from the sparking point of the high-voltage sphere to any extraneous objects (such as ceiling, walls, and any energized or earthed equipment), and also to the supporting frame work for the spheres, if this is made of conducting material, shall not be less than the value of distance B in table 1. 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 requirement, 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 table 1, however, it shall not be less than $1,6 D$.

The peak values of disruptive discharge voltages in tables 2 and 3 are valid for clearances around the spheres within the limits given in table 1.

Table 1 – Clearance limits

Sphere diameter D cm	Minimum value of height A	Maximum value of height A	Minimum value of distance 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	$3 D$	$4 D$	$6 S$

The test conditions may make it impossible for the values of A and B to comply with the minimum requirements. Such sphere-gaps can be used, providing that, either the conventional deviation z meets the requirements of clause 5, or, that the uncertainty in the values for disruptive discharge in tables 2 and 3 are suitably increased. Such sphere-gaps could be calibrated under laboratory conditions as indicated in annex D.

The circuit should be arranged so that at the test voltage there is

- no disruptive discharge to other objects,
- no visible leader discharge from the high-voltage lead or the shank within the space defined by B ,
- no visible discharge from other earthed objects extending into the space defined by B .

4.3 Connections

The sphere-gap shall be connected in accordance with the requirements specified in IEC 60060-2.

4.3.1 Earthing

One sphere normally shall be connected directly to earth. Low ohmic shunts may be connected between the sphere and earth for special purposes.

4.3.2 Conducteur à haute tension

Le conducteur à haute tension, y compris toute résistance en série qui ne serait pas disposée dans la tige elle-même, doit être connecté à un point de la tige distant d'au moins $2 D$ 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 , il ne faut pas que le conducteur à haute tension (y compris, le cas échéant la résistance en série) traverse le plan normal à l'axe de l'éclateur à sphères situé à une distance $2 D$ du point d'étincelle de la sphère à haute tension. Ce plan est représenté aux figures 1 et 2.

4.3.3 Résistance de protection pour la mesure des tensions alternatives et des tensions continues

Il convient de prendre des précautions 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 de $0,1 M\Omega$ à $1 M\Omega$ doit être connectée en série avec l'éclateur à sphères. Cette plage de valeurs de résistance est applicable aux mesures de tensions continues et aux tensions alternatives de fréquences industrielles, parce que les valeurs de la résistance entraînent une chute de tension négligeable.

Il convient de placer la résistance de protection aussi près que possible de la tige de la sphère et de l'y connecter directement.

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

4.3.4 Résistance de protection en série pour la mesure des tensions de choc

Une résistance en série est nécessaire avec les sphères de grand diamètre afin d'éliminer dans le circuit de l'éclateur à sphères, les oscillations qui peuvent rendre la tension plus élevée entre les sphères que sur l'appareil en essai, s'il est connecté. Ce phénomène, est habituellement d'importance mineure pour des sphères plus petites, à moins qu'elles ne soient utilisées avec de longs câbles de branchement. Une résistance en série peut, aussi, être nécessaire pour réduire la rudesse de la chute de tension qui pourrait introduire des contraintes indésirables dans l'appareil essayé.

La résistance doit être non inductive (pas plus de $30 \mu H$) et il convient que sa valeur n'excède pas 500Ω . Pour le placement de cette résistance dans le circuit, voir 4.3.2.

5 Utilisation de l'éclateur à sphères

Un éclateur à sphères est un dispositif de mesure approuvé par la CEI (4.4.5 de la CEI 60060-1) lorsque la déviation conventionnelle z au moment de l'utilisation est inférieure à 1 % pour la tension alternative à fréquence industrielle et pour les tensions de choc de foudre et moins de 1,5 % pour les tensions de chocs de manœuvre. La déviation conventionnelle z est altérée par l'état de surface des sphères, la disponibilité des électrons libres (irradiation suffisante), la poussière contenue dans l'air et les procédures de mesure.

4.3.2 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 high-voltage 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.

4.3.3 Protective resistor for 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 $0,1\text{ M}\Omega$ to $1\text{ M}\Omega$ shall be connected in series with the sphere-gap. This range of resistance values applies to measurements of direct voltages and of alternating voltages at power frequencies, because the values of the resistance results in a negligible voltage drop.

The protective resistor should be placed as near as possible to the shank of the sphere and connected directly to it.

When streamer discharges are present in the test circuit, series resistance is particularly 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 value of resistance may be reduced to a value which prevents excessive burning of the spheres by disruptive discharges.

4.3.4 Protective series resistor for measurement of impulse voltages

Series resistance is needed with large diameter spheres to eliminate oscillations in the sphere-gap circuit which may cause a higher voltage to occur between the spheres and, if connected, across the test object. This phenomenon is usually of minor importance for smaller spheres, unless they are used with long connecting leads. Series resistance may also be needed to reduce the steepness of the voltage collapse which might introduce undesirable stresses in the test object.

The resistor shall have a non-inductive construction (not more than $30\text{ }\mu\text{H}$) and its resistance should not exceed $500\text{ }\Omega$. For the position of the resistor in the circuit, see 4.3.2.

5 Use of the sphere-gap

A sphere-gap is an IEC standard measuring device when the conventional deviation z (4.4.5 of IEC 60060-1) at the time of use is less than 1 % for alternating voltages at power frequency and lightning impulse voltages and less than 1,5 % for switching impulse voltages. The conventional deviation z is affected by the condition of the sphere surfaces, the availability of free electrons (sufficient irradiation), the dust contained in the air and the measurement procedures.

5.1 Etat de surfaces des sphères

Les surfaces des sphères dans le voisinage des points d'étincelle doivent être nettoyées et séchées mais n'ont pas besoin d'être polies. Une utilisation normale entraîne le fait que les surfaces des sphères deviennent rugueuses et piquetées. Il convient que les surfaces soient frottées avec un papier abrasif à grain fin et que la poussière qui en résulte soit enlevée avec un tissu non pelucheux; aucune trace d'huile ou de graisse ne doit être enlevée avec du solvant. Si les sphères deviennent excessivement rugueuses ou piquetées, de par leur utilisation, elles doivent être réparées ou remplacées.

De la condensation peut se former à la surface du point d'étincelle lors d'une forte humidité relative provoquant ainsi le fait de fausser les mesures.

Des dégâts mineurs à la surface de la sphère de l'autre côté de la zone du point d'étincelle (voir 4.1) n'empêchent pas l'utilisation de la sphère comme dispositif de mesure.

NOTE Les prescriptions concernant la déviation conventionnelle z donnent l'assurance que les prescriptions pour les conditions de surface sont satisfaites.

5.2 Irradiation

La tension de décharge disruptive d'un éclateur à sphères dépend de la disponibilité des électrons libres dans l'espace entre les sphères au moment de l'application de la tension. Il convient que des actions soient menées si les exigences sur la déviation conventionnelle ne sont pas respectées.

L'exposition directe d'un éclateur à sphères à l'éclair des générateurs de choc ou produit par un effet couronne de polarité négative ou une source séparée peut être suffisant.

L'irradiation est habituellement exigée pour les mesures inférieures à une valeur de crête de 50 kV quel que soit le diamètre des sphères, ainsi que pour la mesure des tensions avec des sphères dont le diamètre ne dépasse pas 12,5 cm quelle que soit la forme de la tension. Les méthodes d'application de l'irradiation sont décrites à l'annexe C.

NOTE Quand l'irradiation suffisante n'est pas adéquate, il convient d'augmenter l'incertitude associée aux valeurs de décharges disruptives des tableaux 2 et 3.

5.3 Mesure des tensions

La mesure de tension au moyen d'un éclateur à sphères consiste à établir une relation entre une tension telle que mesurée par un éclateur à sphères normalisé dans le circuit d'essai et l'indication d'un voltmètre dans le circuit de contrôle ou la valeur de crête de la tension obtenue par une mesure valable ou par un enregistreur approprié connecté au côté le plus bas d'un système de mesure. L'espacement entre les sphères doit être mesuré par une méthode cohérente avec l'incertitude globale de la mesure. A moins que le contraire ne puisse en être démontré, cette relation n'est plus valable lorsque qu'une modification quelconque du circuit autre qu'une variation de l'écartement des sphères est apportée.

5.3.1 Mesure des valeurs crêtes des tensions alternatives à fréquence industrielle

La tension doit être appliquée avec une amplitude assez faible pour ne pas provoquer de décharge disruptive quand l'alimentation est mise en route, puis elle doit être augmentée assez lentement pour que l'appareil de mesure à basse tension puisse être lu avec précision au moment de la décharge disruptive de l'éclateur.

Un minimum de 10 décharges disruptives doit être enregistré pour que la valeur moyenne et la déviation conventionnelle z puisse être évaluée. La valeur de la déviation conventionnelle z doit être inférieure à 1 % de la valeur moyenne.

Il convient que l'intervalle entre deux mises sous tension ne soit pas inférieur à 30 s.

5.1 Condition of the sphere surfaces

The surfaces of the spheres in the neighbourhood of the sparking points shall be cleaned and dried but need not be polished. In normal use the surfaces of the spheres become roughened and pitted. The surface should be rubbed with fine abrasive paper and the resulting dust removed with lint-free cloth; any trace of oil or grease should be removed with a solvent. If the spheres become excessively roughened or pitted in use, they shall be repaired or replaced.

Moisture may condense on the surface of the sparking points in conditions of high relative humidity causing measurements to become erratic.

Minor damage to the surface of the sphere beyond the region of sparking point (see 4.1) is not likely to affect the use of the sphere as a measuring device.

NOTE The requirement for the conventional deviation z ensures that the requirements for surface conditions have been met.

5.2 Irradiation

The disruptive discharge voltage of a sphere-gap depends upon the availability of free electrons in the gap between the spheres at the moment of application of voltage. Actions should be taken if the requirements for conventional deviation are not met.

Direct exposure of a sphere-gap to the light from the impulse generator gaps, or to negative polarity corona of the used or separate source, may be sufficient.

Irradiation is usually required for measurements below 50 kV peak for all sphere diameters, and for measurement of voltages with spheres of 12,5 cm diameter and less for all voltage shapes. Methods of arranging irradiation are described in annex C.

NOTE When sufficient irradiation is not available the uncertainty associated with the values for disruptive discharge in the tables 2 and 3 should be increased.

5.3 Voltage measurements

A measurement of voltage by means of sphere-gap consists of establishing the relation between a voltage in the test circuit, as measured by the standard air gap, and the indication of a voltmeter in the control circuit, or the peak value of the voltage obtained from a suitable measuring or recording device connected to the low voltage side of a measuring system. The spacing between the spheres shall be measured by a method consistent with the overall uncertainty of the voltage measurement. Unless the contrary can be shown, this relation ceases to be valid if the circuit is altered in any respect other than due to a change of the spacing of the spheres.

5.3.1 Measurement of peak value of alternating voltage at power frequency

The voltage shall be applied with an amplitude low enough not to cause disruptive discharge when the supply is energized, 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.

A minimum number of 10 successive disruptive discharge voltages shall be recorded in order that the mean value and conventional deviation z can be evaluated. The value of the conventional deviation z shall be less than 1 % of the mean value.

The interval between voltage applications should be not less than 30 s.

5.3.2 Mesure de la valeur crête des tensions de choc de foudre plein et de choc de manœuvre

La tension de décharge disruptive à 50 % U_{50} ainsi que la déviation conventionnelle z doivent être déterminées. La valeur de la déviation conventionnelle z doit être inférieure à 1 % pour les chocs de foudre plein et inférieure à 1,5 % pour les chocs de manœuvre.

Cela peut être fait par un essai à plusieurs niveaux. Un minimum de 10 mises sous tension à chacun des cinq niveaux de tension avec des paliers approximativement égaux à 1 % de la valeur de la décharge disruptive attendue est nécessaire pour obtenir U_{50} et pour vérifier la déviation conventionnelle z .

Cela peut aussi être fait par un essai de montée-descente avec un nombre de 20 chocs de manœuvre avec des paliers approximativement égaux à 1 % du niveau de tension U_{50} attendu.

Le critère pour la déviation conventionnelle z doit être vérifié en appliquant 15 chocs à un niveau de tension égal à $U_{50}-1$ % pour les tensions de choc de foudre et à $U_{50}-1,5$ % pour des tensions de choc de manœuvre. Il ne doit pas y avoir plus de deux décharges disruptives.

L'intervalle entre deux mises sous tension ne doit pas être inférieur à 30 s.

NOTE Si, pour un essai particulier, l'éclateur à sphères est utilisé dans une plage d'écartement, il convient que le critère de déviation conventionnel z soit vérifié pour la plus petite et la plus grande des distances d'écartement.

5.3.3 Mesure des tensions continues

Les éclateurs à sphères ne sont pas recommandés pour la mesure de tensions continues à cause du comportement irrégulier de ces éclateurs dû aux particules fibreuses contenues dans l'air qui provoquent des décharges disruptives aléatoires à basse tension. L'éclateur pointe-pointe est recommandé pour la mesure des tensions continues dans une gamme d'humidité allant de 1 gm^{-3} à 13 gm^{-3} .

Quand un éclateur pointe-pointe ne peut pas être utilisé, la procédure suivante pour les éclateurs à sphères est recommandée. Il convient qu'un flux d'air constant d'au moins 3 m/s soit maintenu de part et d'autre de l'éclateur. La tension doit alors être appliquée avec une amplitude assez basse pour ne pas provoquer de décharge disruptive quand l'alimentation est mise en route, et est alors augmentée assez lentement pour que l'appareil de mesure basse tension soit lu précisément à l'instant de la décharge disruptive de l'éclateur.

Le plus haut niveau de tension stable auquel le claquage apparaît est la valeur donnée dans le tableau 2.

NOTE La nature artificielle du claquage de la tension continue d'un éclateur à sphères peut exiger que les essais soient poursuivis dans un très grand nombre d'applications de tension jusqu'à ce qu'une limite supérieure stable soit atteinte.

6 Valeurs de référence figurant dans les tableaux 2 et 3

Les tensions de décharges disruptives pour différents écartements des sphères sont données dans les tableaux 2 et 3 dans les conditions normales de température et de pression:

$$\begin{aligned} \text{température } t_0 &= 20 \text{ }^\circ\text{C}; \\ \text{pression } b_0 &= 101,3 \text{ kPa.} \end{aligned}$$

Les valeurs dans les tableaux 2 et 3 ont été obtenues dans des conditions d'humidité absolue comprise entre 5 gm^{-3} et 12 gm^{-3} avec une moyenne de $8,5 \text{ gm}^{-3}$.

5.3.2 Measurement of peak value of full lightning and switching impulse voltages

The 50 % disruptive discharge voltage U_{50} and the conventional deviation z shall be determined. The value of the conventional deviation z shall be not more than 1 % for full lightning impulse voltages and not more than 1,5 % for switching impulse voltages.

This can be done by a multiple level test. A minimum of 10 voltage applications at each of five voltage levels in approximately 1 % steps of the expected disruptive discharge value is needed to obtain U_{50} and to check the conventional deviation z .

It can also be done by an up-and-down-test with a minimum number of 20 voltage applications at approximately 1 % steps of the expected U_{50} voltage.

The criterion for the conventional deviation z shall be checked by applying 15 impulses at a voltage level of $U_{50}-1$ % for lightning impulse voltages and $U_{50}-1,5$ % for switching impulse voltages. There shall be not more than two disruptive discharges.

The interval between voltage applications shall be not less than 30 s.

NOTE If, in a particular test, the sphere-gap is used over a gap spacing range, the criterion for the conventional deviation z should be checked for the smallest and largest gap distances.

5.3.3 Measurement of direct voltages

Sphere-gaps are not recommended for the measurement of direct voltages because of the erratic behaviour of these gaps due to fibrous particles in the air which cause erratic disruptive discharges at low voltages. The rod-rod gap is recommended for the measurement of direct voltage in a humidity range from 1 gm^{-3} to 13 gm^{-3} .

When a rod-rod-gap cannot be used, the following procedure for sphere-gaps is recommended. A constant air flow of at least 3m/s should be maintained across the gap. The voltage shall then be applied with an amplitude low enough not to cause disruptive discharge when the supply is energized, 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.

The highest stable voltage level at which the breakdown occurs is the value given in table 2.

NOTE The spurious nature of direct voltage breakdown of a sphere-gap might require the tests to be continued for a very large number of voltage applications until a stable upper limit has been established.

6 Reference values in tables 2 and 3

The disruptive discharge voltages for various spacings between spheres are given in tables 2 and 3 for the standard atmospheric conditions for temperature and pressure:

temperature	$t_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
pressure	$b_0 = 101,3 \text{ kPa}$.

The values in tables 2 and 3 were obtained under conditions of absolute humidity between 5 gm^{-3} and 12 gm^{-3} with an average of $8,5 \text{ gm}^{-3}$.

Le tableau 2 donne la valeur de crête des tensions de décharge disruptive (la valeur U_{50} dans le cas des essais de chocs) en kV pour:

- les tensions alternatives à fréquences industrielles;
- les tensions de choc de foudre plein et de choc de manœuvre de polarité négative (comme défini dans la CEI 60060-1); et
- les tensions continues des deux polarités.

Le tableau 3 donne les valeurs crêtes des tensions de décharge disruptive (valeurs U_{50}) en kV pour:

- les tensions de choc de foudre plein et de choc de manœuvre de polarité positive comme définies dans la CEI 60060-1.

Les tableaux 2 et 3 ne sont pas valables pour les mesures de tensions inférieures à 10 kV.

NOTE Les annexes A et B indiquent dans quelles limites de tension les valeurs des tableaux 2 et 3 ont été obtenues à partir des résultats expérimentaux ou peuvent être supposées correspondre à la précision donnée en 6.1.

6.1 Précisions des valeurs des tableaux 2 et 3

Les valeurs dans les tableaux 2 et 3 ont été acceptées comme consensus international de référence normalisée de mesure.

6.1.1 Tensions alternatives et tensions de choc

Les valeurs des tensions de décharge disruptives données dans les tableaux 2 et 3 ont une incertitude estimée à 3 % pour un niveau de confiance supérieur à 95 %.

Quelques valeurs sont données dans les tableaux 2 et 3 pour les écartements entre $0,5 D$ et $0,75 D$. Aucun niveau de confiance n'est attribué aux valeurs entre parenthèses.

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

6.1.2 Tension continue

Il n'y a pas d'information suffisante pour évaluer l'incertitude des mesures des valeurs des tensions continues.

6.2 Facteur de correction de densité de l'air

Les tensions de décharges disruptives pour un écartement donné dans des conditions atmosphériques autres que celles spécifiées précédemment sont obtenues en multipliant les valeurs des tableaux 2 et 3 par un facteur de correction correspondant à la densité relative de l'air δ .

La densité relative de l'air δ est donnée par

$$\delta = \frac{b}{b_0} \times \frac{273 + t_0}{273 + t} \quad (1)$$

où

les pressions atmosphériques b et b_0 sont exprimées dans les mêmes unités (kPa);

t et t_0 sont les températures en degré Celsius.

Table 2 gives the peak value of disruptive discharge voltages (U_{50} values in impulse tests) in kV for:

- alternating voltages at power frequencies;
- full lightning and switching impulse voltages of negative polarity (as defined in IEC 60060-1); and
- direct voltages of both polarities.

Table 3 gives the peak value of disruptive discharge voltages (U_{50} values) in kV for:

- full lightning and switching impulse voltages of positive polarity as defined in IEC 60060-1.

Tables 2 and 3 are not valid for the measurement of impulse voltages below 10 kV.

NOTE Annexes A and B give the range of voltages over which tables 2 and 3 have been derived from experiments, and can be presumed to be within the uncertainty limits given in 6.1.

6.1 Accuracy of values in tables 2 and 3

The values in tables 2 and 3 have been accepted as an international consensus reference standard of measurement.

6.1.1 Alternating and impulse voltages

The values for disruptive discharge voltage given in tables 2 and 3 have an estimated uncertainty of 3 % for a level of confidence not less than 95 %.

Some values are given in tables 2 and 3 for spacings between $0,5 D$ and $0,75 D$. No level of confidence is assigned to those values in brackets.

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 $0,05 D$.

6.1.2 Direct voltage

There is insufficient information to estimate the uncertainty in measurement values for direct voltages.

6.2 Air density correction factor

Disruptive discharge voltages corresponding to a given spacing under atmospheric conditions other than those specified above are obtained by multiplying the values in tables 2 and 3 by a correction factor corresponding to the relative air density δ .

The relative air density δ is defined by

$$\delta = \frac{b}{b_0} \times \frac{273+t_0}{273+t} \quad (1)$$

where

the atmospheric pressures b and b_0 are expressed in the same units (kPa);

t and t_0 are the temperatures in degrees Celsius.

6.3 Facteur de correction d'humidité

La tension de décharge disruptive d'un éclateur à sphères augmente avec l'humidité absolue à un taux de 0,2 % par gm^{-3} .

La valeur moyenne de l'humidité absolue h à laquelle les valeurs des tableaux 2 et 3 ont été obtenues est $8,5 \text{ gm}^{-3}$. Les valeurs dans les tableaux 2 et 3 doivent être corrigées pour l'humidité en les multipliant par le facteur de correction d'humidité k donné par l'équation suivante:

$$k = 1 + (0,002 \times (h / \delta - 8,5)) \quad (2)$$

avec l'humidité absolue ambiante h en gm^{-3} .

7 Eclateur pointe-pointe normalisé pour la mesure de tension continue

7.1 Dispositions générales d'un éclateur pointe-pointe

La disposition générale d'un éclateur pointe-pointe doit être telle que présentée à la figure 3a (disposition verticale) ou à la figure 3b (disposition horizontale).

Les pointes doivent être fabriquées en acier ou en laiton, avoir une section carrée pleine dont le côté est compris entre 10 mm et 25 mm et avoir un axe commun. Les extrémités doivent être coupées perpendiculairement à l'axe laissant les bords saillants afin d'obtenir un claquage reproductible.

La distance de fuite comprise entre l'extrémité de la pointe sous haute tension et les appareils reliés à la terre et les murs, autres que le plan de masse doit être, au minimum, de 5 m.

7.2 Valeurs de références

La tension de décharge disruptive U_0 pour une tension continue positive ou négative et dans une atmosphère de référence normalisée est donnée, aussi bien pour un écartement de l'éclateur horizontal que vertical, par:

$$U_0 = 2 + 0,534 \times d \quad (3)$$

où U_0 est en kilovolts et d est l'écartement en millimètres.

L'équation (3) est valable pour les distances d entre 250 mm et 2 500 mm et pour une gamme d'humidité h/δ entre 1 gm^{-3} et 13 gm^{-3} . Dans ces conditions, la tension de décharge disruptive U_0 a une incertitude estimée à 3 % pour un niveau de confiance d'au moins 95 %.

L'éclateur pointe-pointe ne doit pas être utilisé en tant qu'appareil approuvé si l'écartement est inférieur à 250 mm du fait de l'absence de flux de pré-décharge. Il n'existe pas de preuve expérimentale pour justifier son utilisation pour un écartement supérieurs à 2 500 mm.

7.3 Procédure de mesure

L'écartement d entre les tiges doit être fixé et la tension appliquée et augmentée de sorte que l'intervalle de temps entre 75 % et 100 % de la décharge de tension soit d'environ 1 min.

6.3 Humidity correction factor

The disruptive discharge voltage of a sphere-gap increases with absolute humidity at a rate of 0,2 % per gm^{-3} .

The average value of absolute humidity h under which the values in tables 2 and 3 were obtained is $8,5 \text{ gm}^{-3}$. The values in tables 2 and 3 shall be corrected for humidity by multiplying the values in those tables by the humidity correction factor k given by the following equation:

$$k = 1 + (0,002 \times (h / \delta - 8,5)) \quad (2)$$

with the ambient absolute humidity h in gm^{-3} .

7 Standard rod-rod gap for measurement of direct voltage

7.1 General arrangement of a rod-rod gap

The general arrangement of a rod-rod gap shall be as shown in either figure 3a (vertical gap) or figure 3b (horizontal gap).

The rods shall be made of steel or brass, with a solid square section, sides between 10 mm and 25 mm and have a common axis. The ends shall be cut at right angles to the axis leaving the edges sharp in order to get a reproducible breakdown mechanism.

The clearance from the tip of the high voltage to earthed objects and walls, other than the ground plane, shall be not less than 5 m.

7.2 Reference values

The disruptive discharge voltage U_0 for positive and negative direct voltage at standard reference atmosphere is given, for either the vertical and horizontal gap by:

$$U_0 = 2 + 0,534 \times d \quad (3)$$

where U_0 is in kilovolts and d is the gap spacing in millimetres.

Equation (3) is valid for gap distances d between 250 mm and 2 500 mm and for a humidity range h/δ between 1 gm^{-3} and 13 gm^{-3} . Under these conditions, the disruptive discharge voltage U_0 has an estimated uncertainty of 3 % for a level of confidence not less than 95 %.

The rod-rod gap shall not be used as an approved measuring device at gap spacing less than 250 mm because of the absence of streamer pre-discharges. There is no experimental evidence to support its use at gap spacings greater than 2 500 mm.

7.3 Measurement procedure

The spacing d between the rods shall be set and the voltage applied and raised so that the time interval between 75 % and 100% of the discharge voltage is about 1 min.

Dix lectures de la tension à l'instant de l'amorçage doivent être prises avec l'appareil indicateur de tension du système de mesure. La tension, selon la référence normalisée de la tension atmosphérique, correspondant à la moyenne de ces 10 valeurs est donnée par l'équation (3) Cette tension doit être corrigée en fonction des conditions atmosphériques réelles en prenant en compte la densité de l'air δ (voir 6.2) et le facteur de correction d'humidité k donné par l'équation suivante:

$$k = 1 + (0,014 \times (h / \delta - 11)) \quad (4)$$

pour une gamme d'humidité h/δ comprise entre 1 gm^{-3} et 13 gm^{-3} .

Les valeurs de tension de claquage U mesurées dans des conditions réelles avec la température t , la pression b et l'humidité absolue h sont reportées à l'atmosphère normalisée de référence comme suit:

$$U_0 = U / (\delta \times k) \quad (5)$$

8 Utilisation d'éclateurs à sphères normalisés pour le contrôle des performances de systèmes de mesure approuvés

Lorsqu'un éclateur à sphères normalisé est utilisé pour faire les contrôles d'un système de mesure dont les performances sont juste assez connues pour savoir qu'il répond aux exigences d'un système de mesure approuvé, les deux éléments du circuit de contrôle auront chacun une incertitude assignée de 3 %, ainsi les différences dépassant ce cas de figure apparaîtront dans la comparaison.

Cependant, quand les contrôles de performances sur le même système de mesure approuvé sont répétés, les différences entre les mesures ultérieures, après correction de toutes les conditions atmosphériques, peuvent être sensiblement inférieures à 3 %.

Ten readings of the voltage at the instant of sparkover shall be taken with the voltage indicating device of the measuring system. The voltage, at standard reference atmosphere, corresponding to the mean of these 10 values is given by equation (3). This voltage shall be corrected for the actual atmospheric conditions by taking into account the air density δ (see 6.2) and the humidity correction factor k given by the following equation:

$$k = 1 + (0,014 \times (h / \delta - 11)) \quad (4)$$

for a humidity range h/δ between 1 gm^{-3} and 13 gm^{-3} .

Breakdown voltage values U measured under actual conditions with the temperature t , the pressure b and the absolute humidity h are reported to standard reference atmosphere as follows:

$$U_0 = U / (\delta \times k) \quad (5)$$

8 Use of standard air gaps for performance checks of approved measuring systems

When a standard air gap is used to make performance checks on a measuring system whose performance is known only insofar as it meets the requirements of an approved measuring system, the two elements of the check circuit will each have an assigned uncertainty of 3 % and therefore differences exceeding this figure could arise in the comparison.

However, when performance checks on the same approved measuring system are repeated, the differences between subsequent measurements, after correction for all atmospheric conditions, can be expected to be appreciably less than 3 %.

Tableau 2 – Valeurs de crête des tensions de décharges disruptives (Valeurs U_{50} des essais de chocs) en kV pour les tensions alternatives à fréquence industrielle, la tension de choc de foudre plein, la tension de choc de manœuvre de polarité négative et les tensions continues des deux polarités

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	
6,0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	

Table 2 – Peak values of disruptive discharge voltages (U_{50} values in impulse tests) in kV for alternating voltages at power frequencies, full lightning and switching impulse voltages of negative polarity and direct voltages of both polarities

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	
6,0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	

Tableau 2 (suite)

Ecartement des sphères cm	Diamètre des sphères cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
6,5				(144)	(154)	161	173	177	177	177	177	
7,0				(150)	(161)	169	184	189	190	190	190	
7,5				(155)	(168)	177	195	202	203	203	203	
8,0					(174)	(185)	206	214	215	215	215	
9,0					(185)	(198)	226	239	240	241	241	
10					(195)	(209)	244	263	265	266	266	266
11						(219)	261	286	290	292	292	292
12						(229)	275	309	315	318	318	318
13							(289)	331	339	342	342	342
14							(302)	353	363	366	366	366
15							(314)	373	387	390	390	390
16							(326)	392	410	414	414	414
17							(337)	411	432	438	438	438
18							(347)	429	453	462	462	462
19							(357)	445	473	486	486	486
20							(366)	460	492	510	510	510
22								489	530	555	560	560
24								515	565	595	610	610
26								(540)	600	635	655	660
28								(565)	635	675	700	705
30								(585)	665	710	745	750
32								(605)	695	745	790	795
34								(625)	725	780	835	840
36								(640)	750	815	875	885
38								(655)	(775)	845	915	930
40								(670)	(800)	875	955	975
45									(850)	945	1050	1080
50									(895)	1010	1130	1180
55									(935)	(1060)	1210	1260
60									(970)	(1110)	1280	1340
65										(1160)	1340	1410
70										(1200)	1390	1480
75										(1230)	1440	1540

Table 2 (continued)

Sphere-gap spacing cm	Sphere diameter cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
6,5				(144)	(154)	161	173	177	177	177	177	
7,0				(150)	(161)	169	184	189	190	190	190	
7,5				(155)	(168)	177	195	202	203	203	203	
8,0					(174)	(185)	206	214	215	215	215	
9,0					(185)	(198)	226	239	240	241	241	
10					(195)	(209)	244	263	265	266	266	266
11						(219)	261	286	290	292	292	292
12						(229)	275	309	315	318	318	318
13							(289)	331	339	342	342	342
14							(302)	353	363	366	366	366
15							(314)	373	387	390	390	390
16							(326)	392	410	414	414	414
17							(337)	411	432	438	438	438
18							(347)	429	453	462	462	462
19							(357)	445	473	486	486	486
20							(366)	460	492	510	510	510
22								489	530	555	560	560
24								515	565	595	610	610
26								(540)	600	635	655	660
28								(565)	635	675	700	705
30								(585)	665	710	745	750
32								(605)	695	745	790	795
34								(625)	725	780	835	840
36								(640)	750	815	875	885
38								(655)	(775)	845	915	930
40								(670)	(800)	875	955	975
45									(850)	945	1050	1080
50									(895)	1010	1130	1180
55									(935)	(1060)	1210	1260
60									(970)	(1110)	1280	1340
65										(1160)	1340	1410
70										(1200)	1390	1480
75										(1230)	1440	1540

Tableau 2 (suite)

Ecartement des sphères cm	Diamètre des sphères cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
80											(1490)	1600
85											(1540)	1660
90											(1580)	1720
100											(1660)	1840
110											(1730)	(1940)
120											(1800)	(2020)
130												(2100)
140												(2180)
150												(2250)
NOTE 1 Les valeurs ne sont pas valables pour des tensions inférieures à 10 kV.												
NOTE 2 Les nombres entre parenthèses, qui sont pour des espaces supérieures à 0,5 D, ont une incertitude plus grande.												

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60052:2002

Table 2 (continued)

Sphere-gap spacing cm	Sphere diameter cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
80											(1490)	1600
85											(1540)	1660
90											(1580)	1720
100											(1660)	1840
110											(1730)	(1940)
120											(1800)	(2020)
130												(2100)
140												(2180)
150												(2250)
NOTE 1 Values are not valid for impulse voltages below 10 kV.												
NOTE 2 Figures in brackets, which are for spacings of more than 0,5 D, are of larger uncertainty.												

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60052:2002

Tableau 3 – Tensions de crête de décharge disruptives (Valeurs de U_{50} des essais de choc) en kV pour tensions de choc de foudre plein et de choc de manœuvre de polarité positive

Ecartement des sphères cm	Diamètre des sphères cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
0,05												
0,10												
0,15												
0,20												
0,25												
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)	37,8	37,6	37,4	37,4	37,4	37,4					
1,4	(38,5)	43,3	43,2	42,9	42,9	42,9	42,9					
1,5	(40,0)	46,2	45,9	45,5	45,5	45,5	45,5					
1,6		49,0	48,6	48,1	48,1	48,1	48,1					
1,8		54,5	54,0	53,5	53,5	53,5	53,5					
2,0		59,5	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0			
2,2		64,0	64,0	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5			
2,4		69,0	69,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0			
2,6		(73,0)	73,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5			
2,8		(77,0)	78,0	80,5	80,5	80,5	81,0	81,0	81,0			
3,0		(81,0)	82,0	85,5	85,5	85,5	86,0	86,0	86,0	86,0		
3,5		(90,0)	(91,5)	97,5	98,0	98,5	99,0	99,0	99,0	99,0		
4,0		(97,5)	(101)	109	110	111	112	112	112	112		
4,5			(108)	120	122	124	125	125	125	125		
5,0			(115)	130	134	136	138	138	138	138	138	
5,5				(139)	145	147	151	151	151	151	151	
6,0				(148)	155	158	163	164	164	164	164	
6,5				(156)	(164)	168	175	177	177	177	177	

Table 3 – Peak values of disruptive discharge voltages (U_{50} values in impulse tests) in kV for full lightning and switching impulse voltages of positive polarity

Sphere-gap spacing cm	Sphere diameter cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
0,05												
0,10												
0,15												
0,20												
0,25												
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)	37,8	37,6	37,4	37,4	37,4	37,4					
1,4	(38,5)	43,3	43,2	42,9	42,9	42,9	42,9					
1,5	(40,0)	46,2	45,9	45,5	45,5	45,5	45,5					
1,6		49,0	48,6	48,1	48,1	48,1	48,1					
1,8		54,5	54,0	53,5	53,5	53,5	53,5					
2,0		59,5	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0			
2,2		64,0	64,0	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5			
2,4		69,0	69,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0			
2,6		(73,0)	73,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5			
2,8		(77,0)	78,0	80,5	80,5	80,5	81,0	81,0	81,0			
3,0		(81,0)	82,0	85,5	85,5	85,5	86,0	86,0	86,0	86,0		
3,5		(90,0)	(91,5)	97,5	98,0	98,5	99,0	99,0	99,0	99,0		
4,0		(97,5)	(101)	109	110	111	112	112	112	112		
4,5			(108)	120	122	124	125	125	125	125		
5,0			(115)	130	134	136	138	138	138	138	138	
5,5				(139)	145	147	151	151	151	151	151	
6,0				(148)	155	158	163	164	164	164	164	
6,5				(156)	(164)	168	175	177	177	177	177	

Tableau 3 (suite)

Ecartement des sphères cm	Diamètre des sphères cm											
	2	5	6,26	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
7,0				(163)	(173)	178	187	189	190	190	190	
7,5				(170)	(181)	187	199	202	203	203	203	
8,0					(189)	(196)	211	214	215	215	215	
9,0					(203)	(212)	233	239	240	241	241	
10					(215)	(226)	254	263	265	266	266	266
11						(238)	273	287	290	292	292	292
12						(249)	291	311	315	318	318	318
13							(308)	334	339	342	342	342
14							(323)	357	363	366	366	366
15							(337)	380	387	390	390	390
16							(350)	402	411	414	414	414
17							(362)	422	435	438	438	438
18							(374)	442	458	462	462	462
19							(385)	461	482	486	486	486
20							(395)	480	505	510	510	510
22								510	545	555	560	560
24								540	585	600	610	610
26								570	620	645	655	660
28								(595)	660	685	700	705
30								(620)	695	725	745	750
32								(640)	725	760	790	795
34								(660)	755	795	835	840
36								(680)	785	830	880	885
38								(700)	(810)	865	925	935
40								(715)	(835)	900	965	980
45									(890)	980	1060	1090
50									(940)	1040	1150	1190
55									(985)	(1100)	1240	1290
60									(1020)	(1150)	1310	1380
65										(1200)	1380	1470
70										(1240)	1430	1550
75										(1280)	1480	1620

Table 3 (continued)

Sphere-gap spacing cm	Sphere diameter cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
7,0				(163)	(173)	178	187	189	190	190	190	
7,5				(170)	(181)	187	199	202	203	203	203	
8,0					(189)	(196)	211	214	215	215	215	
9,0					(203)	(212)	233	239	240	241	241	
10					(215)	(226)	254	263	265	266	266	266
11						(238)	273	287	290	292	292	292
12						(249)	291	311	315	318	318	318
13							(308)	334	339	342	342	342
14							(323)	357	363	366	366	366
15							(337)	380	387	390	390	390
16							(350)	402	411	414	414	414
17							(362)	422	435	438	438	438
18							(374)	442	458	462	462	462
19							(385)	461	482	486	486	486
20							(395)	480	505	510	510	510
22								510	545	555	560	560
24								540	585	600	610	610
26								570	620	645	655	660
28								(595)	660	685	700	705
30								(620)	695	725	745	750
32								(640)	725	760	790	795
34								(660)	755	795	835	840
36								(680)	785	830	880	885
38								(700)	(810)	865	925	935
40								(715)	(835)	900	965	980
45									(890)	980	1060	1090
50									(940)	1040	1150	1190
55									(985)	(1100)	1240	1290
60									(1020)	(1150)	1310	1380
65										(1200)	1380	1470
70										(1240)	1430	1550
75										(1280)	1480	1620

Tableau 3 (suite)

Ecartement des sphères cm	Diamètre des sphères cm											
	2	5	6,26	10	12,5	15	2	50	75	100	150	200
80											(1530)	1690
85											(1580)	1760
90											(1630)	1820
100											(1720)	1930
110											(1790)	(2030)
120											(1860)	(2120)
130												(2200)
140												(2280)
150												(2350)

NOTE Les nombres entre parenthèses, qui sont pour les espacements de plus de 0,5 *D*, sont d'une incertitude plus grande.

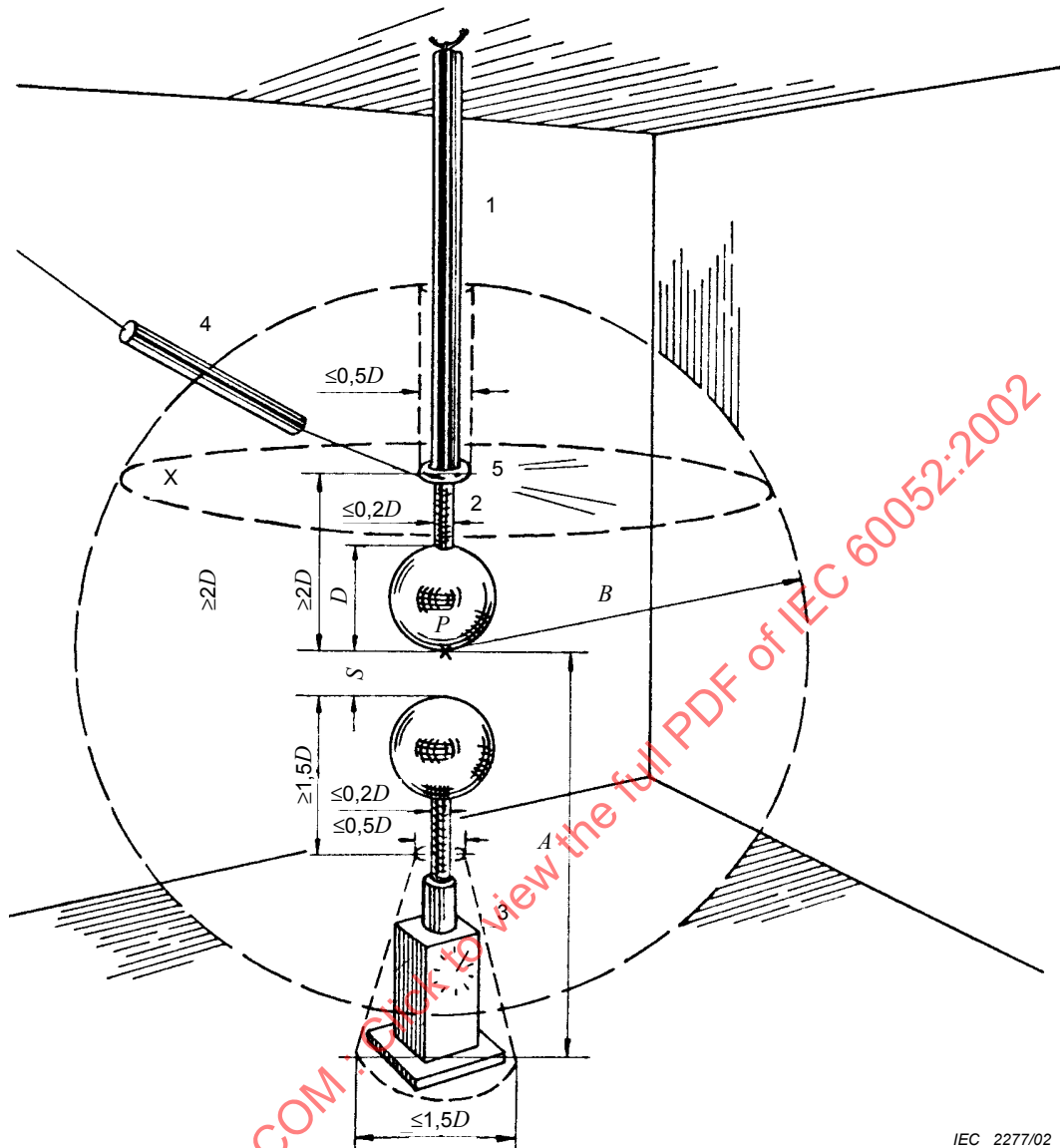
Table 3 (continued)

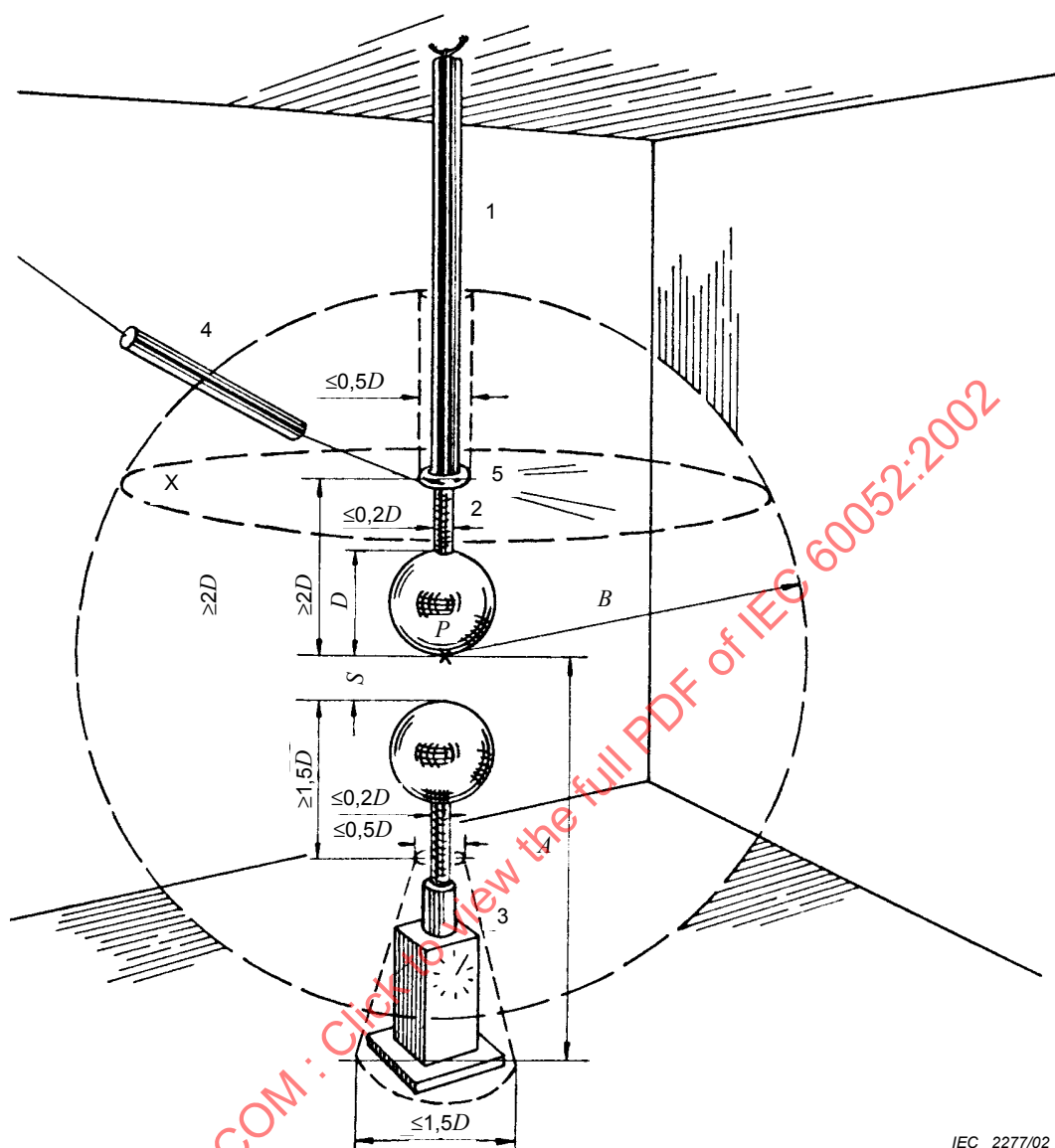
Sphere-gap spacing cm	Sphere diameter cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
80											(1530)	1690
85											(1580)	1760
90											(1630)	1820
100											(1720)	1930
110											(1790)	(2030)
120											(1860)	(2120)
130												(2200)
140												(2280)
150												(2350)

NOTE The figures in brackets, which are for spacings of more than 0,5 D, are of larger uncertainty.

									(1)
									(1)

figures in brackets, which are for spacings of more than 0,5 D, are of larger uncertainty.





IEC 2277/02

Key

- 1 Insulating support
- 2 Sphere shank
- 3 Operating gear, showing maximum dimensions
- 4 High-voltage connection with series resistor
- 5 Stress distributor, showing maximum dimensions

P Sparking point of high-voltage sphere

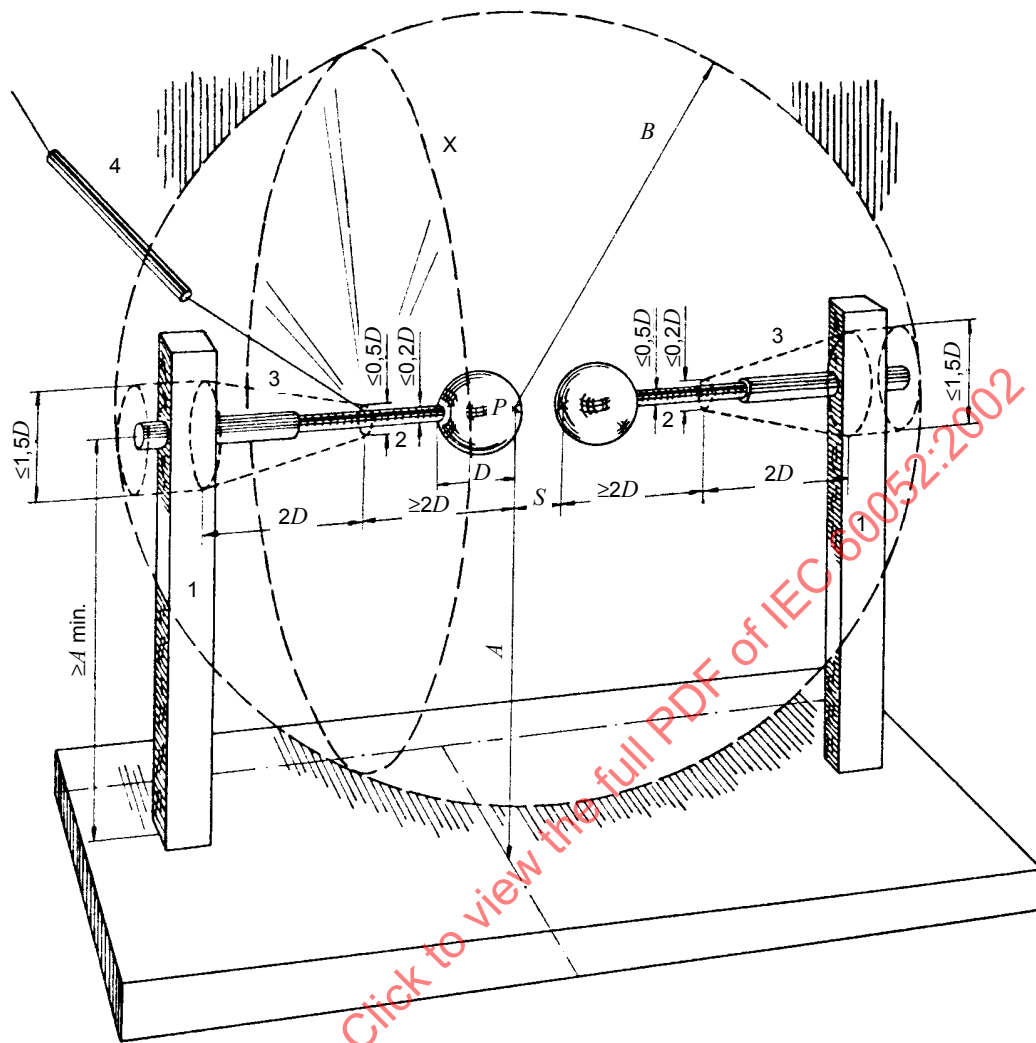
A Height of *P* above earth plane

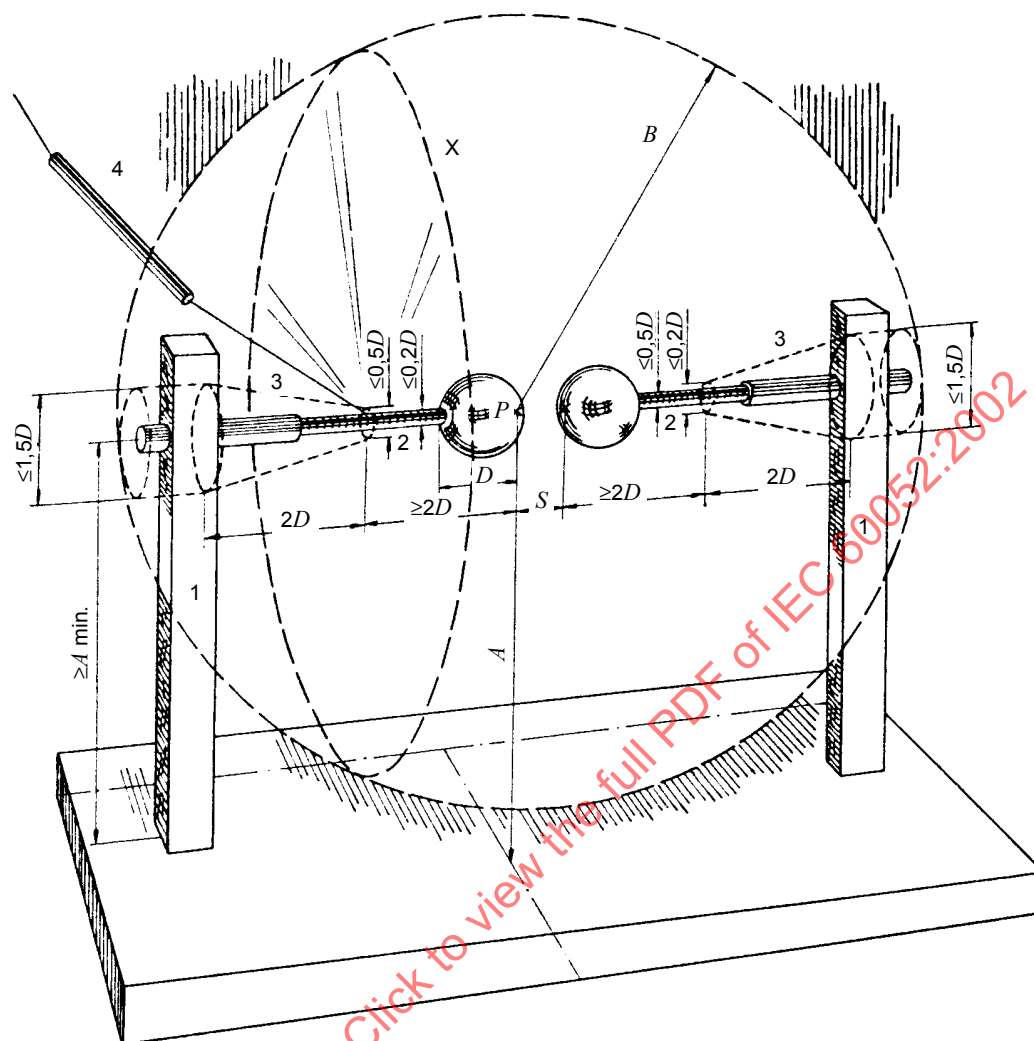
B Radius of space free from external structures

X Item 4 not to pass through this plane within a distance *B* from *P*

NOTE The figure is drawn to scale for a 100 cm sphere-gap at radius spacing.

Figure 1 – Vertical sphere-gap





IEC 2278/02

Key

- 1 Insulating support
- 2 Sphere shank
- 3 Operating gear, showing maximum dimensions
- 4 High-voltage connection with series resistor

P Sparking point of high-voltage sphere

A Height of *P* above earth plane

B Radius of space free from external structures

X Item 4 not to pass through this plane within a distance *B* from *P*

NOTE The figure is drawn to scale for a 25 cm sphere-gap at radius spacing.

Figure 2 – Horizontal sphere-gap

Dimensions en millimètres

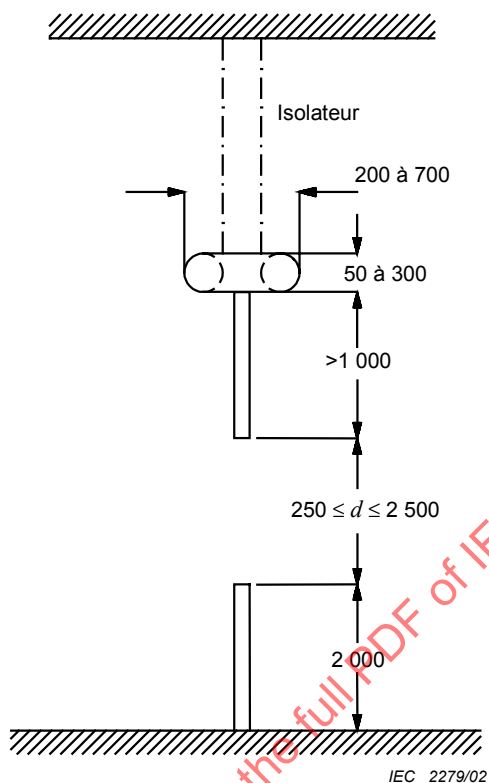


Figure 3a – Disposition verticale pour éclateur pointe-pointe

Dimensions en millimètres

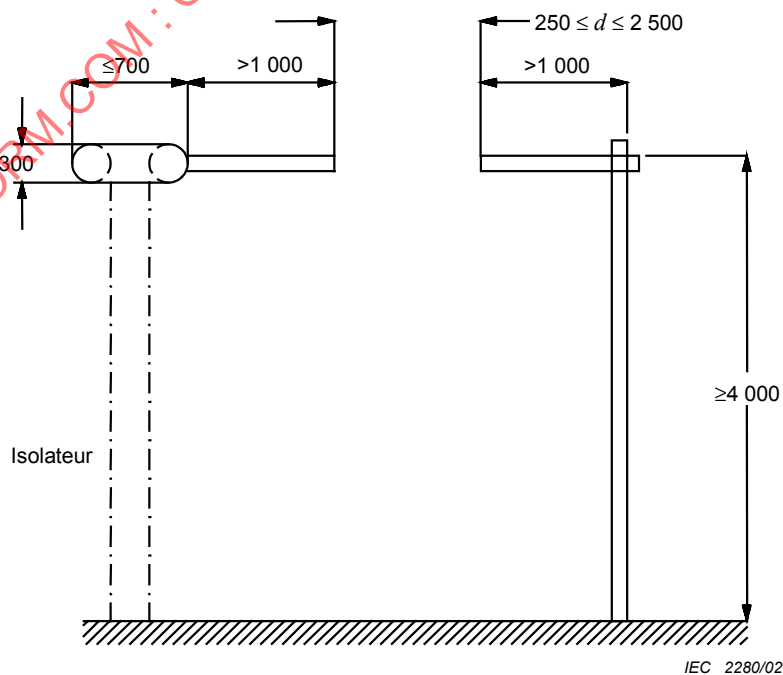


Figure 3b – Disposition horizontale pour éclateur pointe-pointe

Figure 3 – Disposition pour éclateur pointe-pointe

Dimensions in millimetres

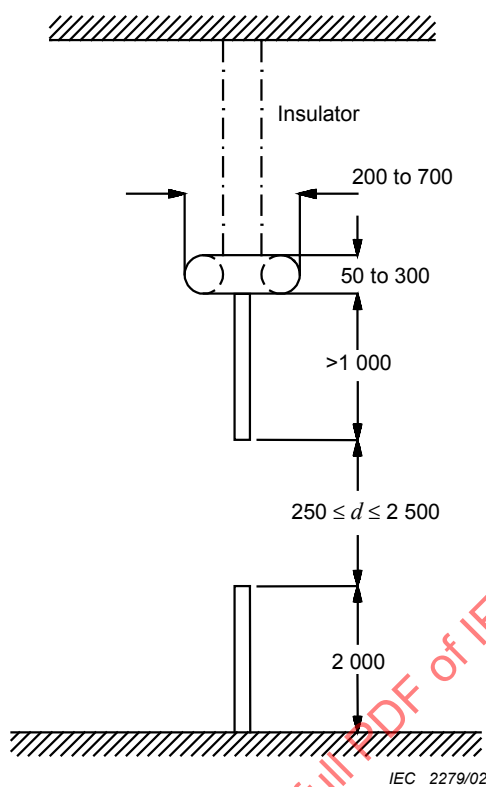


Figure 3a – Vertical arrangement of rod-rod gap

Dimensions in millimetres

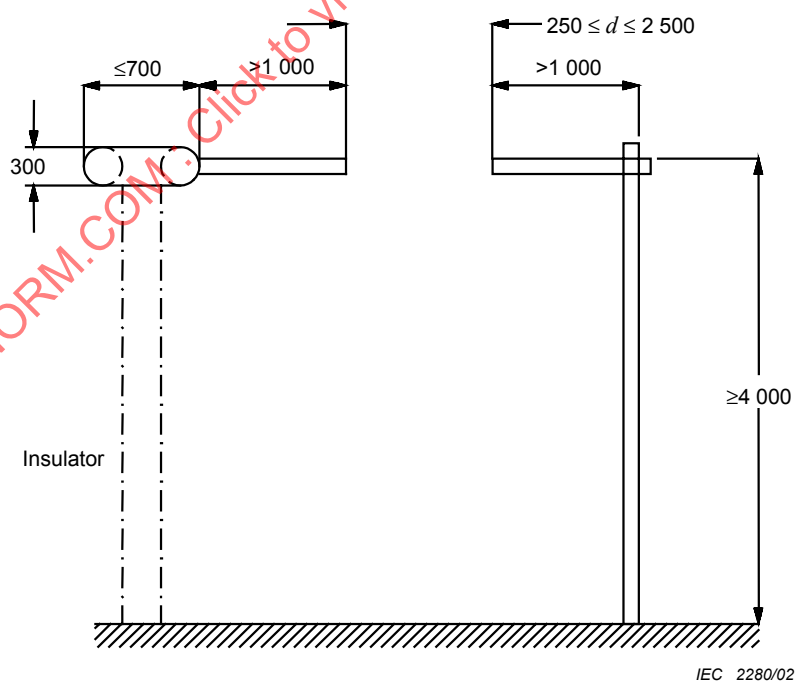


Figure 3b – Horizontal arrangement of rod-rod gap

Figure 3 – Arrangement for rod-rod gap

Annexe A (informative)

Gamme d'étalonnage expérimental pour les éclateurs à sphères

Les tableaux 2 et 3 proviennent en partie des expériences rapportées dans la liste des références ci-dessous. Il n'existe aucune preuve expérimentale de leur précision pour des tensions plus élevées que les valeurs données dans le tableau A.1.

Tableau A.1 – Travaux expérimentaux d'étalonnage de l'éclateur à sphères

Nature de la tension	Plus grande tension kV crête	Référence
Tension alternative à fréquence industrielle	1 700	Transactions AIEE Vol. 71 (1952), Part III, p.455
Tension alternative à fréquence industrielle	1 400	JIEE Vol. 82 (1938), p.655
Tension continue + (éclateur à sphères)	800	Zeit. Techn. Phys. 18 (1937), p.209
Tension continue + (éclateur à sphères)	1 300	Zeit. Techn. Phys. 18 (1937), p.209
Tension de choc + (foudre)	2 580	Transactions AIEE Vol. 71 (1952) Part III, 455
Tension de choc + (foudre)	2 410	Transactions AIEE Vol. 71 (1952) Part III, p.455
Tension de choc ± (manœuvre)	1 200	ELECTRA No 136, JUNE 1991, p.91-95
Tension alternative à haute fréquence		ETZ Vol. 60 (1939), p.92 (voir Note 1)
Tension alternative à haute fréquence non amortie	(Voir note 2)	JAIEE Vol. 46 (1927), p.1314 Arch. Elektr. Vol. 14 (1925), p.491 Arch. Elektr. Vol. 24 (1930), p.525 Arch. Elektr. Vol. 25 (1931), p.322 Arch. Elektr. Vol. 26 (1932), p.123
Tension alternative à haute fréquence amortie	Idem	Ann. Phys. 19 (1906), p.1016 Arch. Elektr. Vol. 16 (1926), p.496 Arch. Elektr. Vol. 20 (1928), p.99

NOTE 1 Cette référence contient un résumé des étalonnages en tensions à haute fréquence amorties et non amorties, effectuées jusqu'en 1939 et s'étendant sur une plage de tension et de fréquence. 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 incomplètes et parfois contradictoires, il apparaît que le tableau 2 peut être utilisé sans erreur sérieuses pour la mesure des tensions alternatives non amorties jusqu'à la fréquence de 20 kHz mais seulement jusqu'à une valeur de crête de 15 kV. Aux fréquences plus élevées, cette tension est réduite.

Les références montrent aussi que le tableau 3 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.