

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1241-2-3**

Première édition
First edition
1994-09

**Matériels électriques destinés à être utilisés
en présence de poussières combustibles –**

Partie 2:

Méthodes d'essai –

Section 3:

Méthode de détermination de l'énergie minimale
d'inflammation des mélanges air/poussières

**Electrical apparatus for use in the presence of
combustible dust –**

Part 2:

Test methods –

Section 3: Method for determining minimum
ignition energy of dust/air mixtures



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1241-2-3: 1994

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* (VEI).

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
1241-2-3**

Première édition
First edition
1994-09

**Matériels électriques destinés à être utilisés
en présence de poussières combustibles –**

Partie 2:

Méthodes d'essai –

Section 3:

Méthode de détermination de l'énergie minimale
d'inflammation des mélanges air/poussières

**Electrical apparatus for use in the presence of
combustible dust –**

Part 2:

Test methods –

Section 3: Method for determining minimum
ignition energy of dust/air mixtures

© CEI 1994 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 pro-
cédé, 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
AVANT-PROPOS	4
 Articles	
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives	6
3 Définitions	8
4 Appareil d'essai	8
4.1 Circuit de création de l'étincelle	8
4.2 Appareil d'essai	10
5 Echantillon d'essai	10
6 Mode opératoire	10
6.1 Description résumée	10
6.2 Calibration	14
6.3 Rapport d'essai	14
 Annexes	
A Exemples de circuits permettant de créer des étincelles	16
B Signification de l'énergie d'inflammation	32
C Bibliographie	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Definitions	9
4 Test apparatus	9
4.1 Spark generation circuit	9
4.2 Test vessel	11
5 Test sample	11
6 Procedure	11
6.1 Brief description	11
6.2 Calibration	15
6.3 Test report	15
Annexes	
A Examples of spark-generating systems	17
B Significance of minimum ignition energy	33
C Bibliography	38

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIELS ÉLECTRIQUES DESTINÉS À ÊTRE UTILISÉS EN PRÉSENCE DE POUSSIÈRES COMBUSTIBLES –

Partie 2: Méthodes d'essai –

Section 3: Méthode de détermination de l'énergie minimale d'inflammation des mélanges air/poussières

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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.

La Norme internationale CEI 1241-2-3 a été établie par le sous-comité 31H: Matériels destinés à être utilisés en présence de poussières inflammables, du comité d'études 31 de la CEI: Matériel électrique pour atmosphères explosives.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
31H(BC)17	31H(BC)19

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

La CEI 1241 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: *Matériels électriques destinés à être utilisés en présence de poussières combustibles*:

- Partie 1: Matériels électriques protégés par enveloppes
- Partie 2: Méthodes d'essais

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRICAL APPARATUS FOR USE IN THE PRESENCE OF
COMBUSTIBLE DUST -****Part 2: Test methods -
Section 3: Method for determining minimum
ignition energy of dust/air mixtures**

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 cooperation 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, 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, 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.

International Standard IEC 1241-2-3 has been prepared by sub-committee 31H: Apparatus for use in the presence of combustible dust, of IEC technical committee 31: Electrical apparatus for explosive atmospheres.

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

DIS	Report on voting
31H(CO)17	31H(CO)19

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

IEC 1241 consists of the following parts, under the general title: *Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust*:

- Part 1: Electrical apparatus protected by enclosures
- Part 2: Test methods

Annexes A, B and C are for information only.

MATÉRIELS ÉLECTRIQUES DESTINÉS À ÊTRE UTILISÉS EN PRÉSENCE DE POUSSIÈRES COMBUSTIBLES –

Partie 2: Méthodes d'essai –

Section 3: Méthode de détermination de l'énergie minimale d'inflammation des mélanges air/poussières

1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 1241-2 indique une méthode d'essai pour la détermination de l'énergie minimale d'inflammation d'un mélange poussière/air par une étincelle d'origine électrique haute tension continue. Cette méthode d'essai a pour objectif de fournir les données à utiliser permettant de décider si des mélanges air/poussières combustibles doivent être considérés comme inflammables par une décharge électrique. Il est nécessaire que la poussière soit soumise à l'essai dans sa forme (distribution granulométrique, teneur en humidité, etc.) représentative des conditions d'emploi industriel de telle sorte que l'estimation du danger présent puisse être faite. Les énergies d'inflammation déterminées par cette méthode sont à comparer avec les énergies d'inflammation d'autres poussières pour estimer le risque relatif en ce qui concerne l'inflammation par décharge électrique ou électrostatique et donc permettre de prendre des décisions sur le caractère adapté du matériel électrique destiné à être installé dans les emplacements où des poussières combustibles sont présentes.

La méthode d'essai n'est pas utilisable pour les explosifs proprement dits, la poudre à canon, la dynamite, les explosifs qui n'exigent pas d'oxygène pour leur combustion, les substances pyrophoriques ou les substances ou mélanges de substances qui, sous certaines conditions, peuvent se comporter de manière semblable. Quand un doute existe sur l'existence d'un danger dû aux propriétés explosives, une indication peut être obtenue en plaçant une très petite quantité de la poussière concernée sur la surface à 400 °C de l'appareil indiqué dans la section 1 de la CEI 1241-2-1.

NOTE – Il convient de prendre des précautions pour protéger la santé du personnel réalisant les essais contre les risques d'incendie, d'explosion et/ou de leurs effets, en incluant les effets toxiques de la combustion. La conformité avec cette norme internationale n'implique pas l'absence de responsabilité vis-à-vis des obligations légales.

L'annexe B de cette section inclut des conseils sur l'interprétation de l'énergie minimale d'inflammation en ce qui concerne les décharges électrostatiques.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 1241-2. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 1241-2 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(301, 302, 303): 1983, *Vocabulaire Electrotechnique International*

- *Chapitre 301: Termes généraux concernant les mesures en électricité*
- *Chapitre 302: Instruments de mesure électriques*
- *Chapitre 303: Instruments de mesure électroniques*

ISO 4225: 1980, *Qualité de l'air – Aspects généraux – Vocabulaire*

ELECTRICAL APPARATUS FOR USE IN THE PRESENCE OF COMBUSTIBLE DUST -

Part 2: Test methods -

Section 3: Method for determining minimum ignition energy of dust/air mixtures

1 Scope

This section of IEC 1241-2 specifies a method of test to determine the minimum ignition energy of a dust/air mixture by an electrically generated high-voltage d.c. spark. This test method is intended to develop data to be used in deciding whether or not combustible dust/air mixtures are considered to be ignitable with respect to electrical discharge. It is intended that the dust be tested in a form (particle size, moisture content, etc.) representing conditions of actual use so that assessment of the hazard present can be made. Ignition energies determined by this method would be compared with ignition energies of other dusts to assess the relative hazard with regard to ignition by an electrical or electrostatic discharge, thereby permitting decisions to be made on the suitability of electrical apparatus for installation in areas where combustible dust is present.

The test method is not suitable for use with recognized explosives, gunpowder, dynamite, explosives which do not require oxygen for combustion; pyrophoric substances, or substances or mixtures of substances which may under some circumstances behave in a similar manner. Where any doubt exists about the existence of a hazard due to explosive properties, an indication may be obtained by placing a very small quantity of the dust in question on the heated surface of the apparatus described in section 1 of the IEC 1241-2-1, heated to 400 °C.

NOTE - Precautions should be taken to safeguard the health of personnel conducting the tests against the risk of fire, explosion and/or the effects, including toxic effects, of combustion. Compliance with this international standard does not itself confer immunity from legal obligations.

Annex B of this section includes guidance on the significance of minimum ignition energy with respect to electrostatic discharges.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 1241-2. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 1241-2 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(301, 302, 303): 1983, *International Electrotechnical Vocabulary*

- Chapter 301: *General terms on measurements in electricity*
- Chapter 302: *Electrical measuring instruments*
- Chapter 303: *Electronic measuring instruments*

ISO 4225: 1980, *Air Quality - General aspects - Vocabulary*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente section de la CEI 1241-2, les définitions contenues dans la CEI 50(301, 302, 303) et ce qui suit s'appliquent.

3.1 poussière: Petites particules solides qui peuvent se déposer sous l'action de leur propre poids mais qui peuvent rester en suspension dans l'air pendant un certain temps.

NOTE – Cette définition inclut ce qui est défini dans la norme ISO 4225 comme «dust» et «grit» en anglais.

3.2 poussière combustible: Poussière qui est inflammable en mélange avec l'air.

NOTES

1 Les poussières combustibles forment des mélanges explosibles avec l'air seulement entre certaines limites de concentration.

2 Les poussières combustibles sont capables d'être enflammées par des sources d'inflammation externes et continuent à brûler aux températures ambiantes mais elles ne s'enflammeront spontanément qu'au-dessus des températures minimales d'inflammation.

3.3 étincelle de décharge: Décharge électrique transitoire qui prend place entre deux conducteurs qui sont à des potentiels différents. Une étincelle est une décharge discrète qui relie l'espace entre les conducteurs sous la forme d'un conduit unique d'ionisation.

3.4 énergie minimale d'inflammation (d'un mélange poussière combustible/air: Plus faible énergie d'une étincelle (mesurée par le mode opératoire de cette norme) qui est capable d'enflammer la concentration du mélange poussière/air qui s'enflamme le plus facilement et de maintenir la combustion.

3.5 Inflammation: Dans l'essai, on considérera que l'inflammation s'est produite lorsque:

- on mesure dans une chambre fermée (par exemple sphère de 20 l) une augmentation de pression d'au moins 0,2 bar au-dessus de la pression introduite par la source d'inflammation, ou
- on observe dans un tube ouvert (ou par exemple, inflammateur Hartmann) une flamme qui se propage au moins sur 6 cm à partir du point de l'éclatement de l'étincelle.

3.6 durée du délai d'inflammation: Intervalle de temps entre la dispersion de la poussière et l'apparition de la décharge d'étincelle.

4 Appareil d'essai

4.1 Circuit de création de l'étincelle

L'annexe A décrit quelques formes adaptées d'appareils. Tous les appareils doivent avoir les caractéristiques suivantes. Ce qui suit concerne uniquement le circuit:

- inductance du circuit de décharge: 1 mH à 2 mH, sauf quand les données sont à utiliser pour estimer les risques électrostatiques; dans ce cas l'inductance du circuit de décharge ne doit pas dépasser 25 µH;
- résistance ohmique du circuit de décharge: aussi faible que possible et en tout cas inférieure à 5 Ω;
- matériau d'électrode: acier inox, laiton, cuivre ou tungstène;
- diamètre et forme d'électrode: 2,0 mm ± 0,5 mm et à extrémité arrondie pour éviter les effets corona qui peuvent apparaître avec des électrodes pointues et conduiront à des valeurs erronées de l'énergie d'étincelle. Si des électrodes pointues sont utilisées, il convient de considérer avec soin les effets corona;

3 Definitions

For the purposes of this section of IEC 1241-2, the definitions in IEC 50(301, 302, 303) and also the following apply.

3.1 dust: Small solid particles that settle out under their own weight but that may remain suspended in air for some time.

NOTE – This definition includes what are defined in ISO 4225 as "dust" and "grit".

3.2 combustible dust: Dust that is ignitable in mixtures with air.

NOTES

1 Mixtures of combustible dust in air are ignitable only between certain concentration limits.

2 Combustible dusts are capable of being ignited by external ignition sources and will continue to burn at atmospheric temperatures but they will only spontaneously ignite above their minimum ignition temperatures.

3.3 spark discharge: Transient electric discharge which takes place between two conductors which are at different potentials. A spark is a discrete discharge that bridges the gap between the conductors in the form of a single ionization channel.

3.4 minimum ignition energy (of a combustible dust/air mixture): Lowest energy of spark (as measured by the procedure in this standard) that is capable of igniting the most sensitive dust/air mixture with sustained combustion.

3.5 Ignition: In the test, ignition is considered to have occurred when:

- a pressure rise of at least 0,2 bar above any pressure introduced by the igniting spark is measured in a closed vessel (e.g. 20 l sphere); or
- a flame which propagates at least 6 cm away from the spark position is observed in an open tube (e.g. Hartmann tube).

3.6 Ignition delay time: Time between dispersion of the dust and the occurrence of the spark discharge.

4 Test apparatus

4.1 Spark generation circuit

Annex A describes some suitable forms of circuit, all of which shall have the following characteristics. What follows deals only with the circuit:

- inductance of discharge circuit: 1 mH to 2 mH except when the data is to be used for the assessment of electrostatic hazards when the inductance of the discharge circuit shall not exceed 25 μ H;
- ohmic resistance of discharge circuit: as low as possible and not more than 5 Ω ;
- electrode material: stainless steel, brass, copper or tungsten;
- electrode diameter and shape: 2,0 mm $\pm$ 0,5 mm. Electrodes with rounded tips can be used to reduce corona effects that can occur with pointed electrodes, and which may give incorrect values of spark energy. If pointed electrodes are used, corona effects should be carefully considered;

- distance entre électrodes: 6 mm (minimum);
- condensateurs: type à faible inductance, résistant au courant de décharge;
- capacité du dispositif d'électrodes: aussi faible que possible;
- résistance d'isolement entre électrodes: suffisamment élevée pour empêcher les courants de fuite.

NOTE – Il est classiquement nécessaire d'avoir une résistance entre électrodes de $10^{12} \Omega$ pour une énergie minimale d'inflammation de 1 mJ, et de $10^{10} \Omega$ pour une énergie d'inflammation de 100 mJ.

4.2 Appareil d'essai

Les appareils d'essais recommandés sont la sphère de 20 l et l'inflamateur Hartmann. Ces appareils sont décrits aux références [6] et [7]*. D'autres appareils sont utilisables à condition que les spécifications de calibration de la section 6.2 soient satisfaites.

5 Echantillon d'essai

Les essais doivent être réalisés sur les échantillons de poussières dans un état de préparation correspondant à ce qui peut être trouvé en pratique dans les conditions de l'installation.

L'énergie minimale d'inflammation décroît avec le diamètre des particules. Les essais doivent être réalisés avec des échantillons possédant une distribution granulométrique correspondant (ou une distribution plus fine) au produit le plus fin présent dans l'utilisation prévue.

Pour des essais de comparaison, les échantillons doivent être préparés par une méthode définie avec l'objectif principal de fixer la distribution granulométrique et la teneur en humidité du produit à considérer.

NOTE – Quand les distributions granulométriques du produit ne sont pas cernées, il convient que les essais soient entrepris sur des distributions granulométriques inférieures à 63 μm .

L'énergie minimale d'inflammation décroît avec le diamètre des particules. Il convient de s'assurer que les diamètres de particules de l'échantillon sont représentatifs du produit le plus fin qui peut être présent dans l'installation. Il convient de tester le produit de diamètre de particules inférieur à 63 μm .

6 Mode opératoire

6.1 Description résumée

La poussière combustible à tester est dispersée de façon uniforme dans l'air à température et pression ambiantes dans un appareil adapté et le mélange poussières/air est soumis à l'étincelle de décharge produite à partir d'un condensateur chargé.

La valeur d'énergie est calculée au moyen de la formule:

$$W = 0,5 C \times U^2$$

où

W est l'énergie stockée en joules (J);

C est la capacité comprenant les capacités parasites, en farads (F);

U est la tension de charge de la capacité en volts (V).

* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie, annexe C.

- electrode gap: 6 mm (minimum);
- capacitors: low-inductance type, resistant to surge current;
- capacitance of electrode arrangement: as low as possible;
- insulation resistance between electrodes: sufficiently high to prevent leakage currents.

NOTE – Typically, a minimum resistance between the electrodes of $10^{12} \Omega$ is required for a minimum ignition energy of 1 mJ, and $10^{10} \Omega$ for a minimum ignition energy of 100 mJ.

4.2 Test vessel

The recommended vessels are the 20 l sphere apparatus and the Hartmann tube. These vessels are described in references [6] and [7]*. Other vessels can be used, provided that the calibration requirements in 6.2 are met.

5 Test sample

Tests shall be performed on samples in a state of preparation corresponding to that found in practice under plant conditions.

Minimum ignition energy decreases with decreasing particle size. Tests shall be carried out on samples having particle sizes that are consistent with, or finer than, the finest material that can be present in the intended use.

For comparative tests the samples shall be prepared by a constant method with the object of fixing particle size distribution and moisture content.

NOTE – Where the particle sizes of the material are not known, tests should be carried out on particle sizes less than 63 μm .

Minimum ignition energy decreases with decreasing particle size. It should be checked that the particle sizes of the sample are representative of the finest material that can be present in the plant. Tests should be carried out on material of particle size less than 63 μm .

6 Procedure

6.1 Brief description

The combustible dust to be tested is uniformly dispersed in air at atmospheric pressure and temperature in a suitable apparatus, and the dust/air mixture is subjected to a spark discharge from a charged capacitor.

The energy value of the discharge is calculated from the formula:

$$W = 0,5 C \times U^2$$

where

W is the stored energy in joules (J);

C is the total discharge capacitance, in farads (F);

U is the voltage of the charged capacitor in volts (V).

* Figures in square brackets refer to the bibliography, annex C.

NOTES

1 Aux valeurs d'énergie au-dessus de 100 mJ, la résistance du circuit peut devenir tellement faible qu'elle n'est plus négligeable par rapport à la résistance de l'étincelle, particulièrement quand le circuit contient une inductance de l'ordre de 1 mH. Dans de tels cas, l'énergie réelle de l'étincelle peut être obtenue à partir de l'équation:

$$W = \int I(t) U(t) dt$$

où

$I(t)$ est l'intensité du courant dans l'étincelle, et

$U(t)$ la tension dans l'étincelle; ces deux valeurs doivent être mesurées.

2 Des informations complémentaires concernant le calcul des énergies d'étincelles sont données dans l'annexe A.

Il est nécessaire de prendre en considération les influences possibles suivantes sur les essais de:

- l'aérodynamique du mélange air/poussières (par exemple durée du délai d'inflammation, pression de dispersion);
- la concentration en poussières;
- la tension de charge du condensateur;
- la capacité du condensateur;
- l'inductance du circuit de décharge;
- la résistance ohmique du circuit de décharge;
- les matériaux et dimensions des électrodes et distance entre électrodes.

Pour limiter les frais d'essais, chaque appareil utilise des électrodes composées d'un matériau spécifique avec des dimensions normalisées et une distance entre électrodes minimale. La résistance ohmique du circuit de décharge doit être maintenue aussi faible que possible (voir article 4).

En démarrant avec une énergie de l'étincelle qui entraînera de façon fiable l'inflammation de la poussière à tester, la concentration en poussière et les paramètres concernant la dispersion des poussières (par exemple durée du délai d'inflammation et pression de dispersion) sont réglés pour obtenir le nuage de poussières le plus inflammable. En utilisant les conditions optimales pour l'inflammation, l'énergie de l'étincelle est successivement divisée par deux, en ajustant la capacité du condensateur et/ou la tension à laquelle il est chargé jusqu'à ce qu'aucune inflammation n'apparaisse lors de 20 essais successifs.

NOTE – Quand les essais sont réalisés avec l'appareil appelé sphère de 20 l, la durée du délai d'inflammation doit être de 120 ms.

L'énergie minimale d'inflammation, $W_{\min}$ est comprise entre la plus forte énergie W_1 à laquelle l'inflammation ne se poursuit pas lors d'au moins 20 essais successifs pour tenter d'enflammer le mélange poussière/air et la plus faible énergie, W_2 , à laquelle l'inflammation se produit au cours de 20 essais successifs.

$$W_1 < W_{\min} < W_2$$

NOTES

1 At spark energies above 100 mJ, the spark resistance can become so small that the circuit resistance is no longer negligible compared with the spark resistance, particularly when the circuit contains an inductance coil of the order of 1 mH. In such cases the net spark energy can be obtained from the equation:

$$W = \int I(t) U(t) dt$$

where

$I(t)$ is the spark current, and

$U(t)$ the spark voltage; both of which are obtained by measurement.

2 Further information relative to the calculation of spark energies is contained in annex A.

It is necessary to take account of the following possible influences on the test:

- dust/air mixture aerodynamics (e.g. ignition delay time, dispersing pressure);
- dust concentration;
- voltage to which the capacitor is charged;
- capacitance of the capacitor;
- inductance of the discharge circuit;
- ohmic resistance of the discharge circuit;
- materials and dimensions of the electrodes and the gap between the electrodes.

To limit the expense of testing, every apparatus uses electrodes composed of a specific material with standardized dimensions and minimum electrode gap. The ohmic resistance of the discharge circuit shall be kept as low as possible (see clause 4).

Starting with a spark energy that will reliably cause ignition of the dust being tested, the dust concentration and dust dispersion parameters (e.g. ignition delay time and dispersion pressure) are adjusted to establish the most ignitable dust cloud. Using the optimal conditions for ignition, the spark energy is successively halved, by adjusting the capacitance of the capacitor and/or the voltage to which it is charged, until no ignition occurs in 20 successive tests.

NOTE - When tests are carried out using the 20 l sphere apparatus, the ignition delay time should be 120 ms.

The minimum ignition energy, $W_{\min}$, lies between the highest energy, W_1 , at which ignition fails to occur in 20 successive attempts to ignite the dust/air mixture, and the lowest energy, W_2 , at which ignition occurs within 20 successive attempts.

$$W_1 < W_{\min} < W_2$$

6.2 Calibration

Les essais de calibration doivent être entrepris avec trois poussières de référence qui doivent avoir été séchées à pression atmosphérique à 50 °C pendant 24 h avant les mesures.

Les résultats doivent se situer dans les domaines suivants:

- lycopode: $W_{\min} = 5$ à 15 mJ, diamètre moyen de particule 31 μm ;
- anthraquinone: $W_{\min} = 2$ à 6 mJ, diamètre moyen de particule 18 μm ;
- polyacrylonitrile: $W_{\min} = 2$ à 6 mJ, diamètre moyen de particule 27 μm .

Les paramètres concernant la dispersion de la poussière, comprenant notamment la durée du délai d'inflammation, doivent être notés pour chaque échantillon.

6.3 Rapport d'essai

Lorsque l'essai a été entrepris conformément à cette norme, le rapport d'essai doit fournir les informations données en 6.3.1, 6.3.2 et 6.3.3. Bien qu'il convienne que les valeurs de concentrations associées aux limites du domaine d'énergie minimale d'inflammation soient notées par le laboratoire d'essai, les valeurs exprimées en termes de quantité de poussières pesée divisée par le volume de la chambre d'essai, ne sont généralement pas fournies dans le rapport d'essais.

6.3.1 Caractéristiques du produit

- appellation de l'échantillon (nom et description chimique si ce n'est pas implicite dans le nom);
- origine ou source de l'échantillon;
- prétraitement de l'échantillon;
- données caractéristiques de la distribution granulométrique et de la teneur en humidité si ce n'est pas déjà donné dans les procédures de prétraitement.

6.3.2 Caractéristiques de l'appareil d'essai

- système de déclenchement;
- chambre d'explosion;
- système de dispersion de la poussière;
- inductance totale du circuit de décharge;
- tension de charge, matériau des électrodes et longueur de l'espace entre électrodes du circuit de décharge optimisé.

6.3.3 Résultats

- limite supérieure W_1 à laquelle l'inflammation ne se produit pas;
- limite inférieure W_2 à laquelle l'inflammation se produit.

6.3.4 Forme du rapport

Un exemple de la forme adaptée est donné en figure A.1.

6.2 Calibration

Calibration tests should be carried out on three reference dusts which shall have been dried under atmospheric pressure at 50 °C for 24 h prior to the measurements.

The results shall be within the following ranges:

- lycopodium: $W_{\min} = 5$ to 15 mJ, mean particle diameter 31 μm ;
- anthraquinone: $W_{\min} = 2$ to 6 mJ, mean particle diameter 18 μm ;
- polyacrylonitrile: $W_{\min} = 2$ to 6 mJ, mean particle diameter 27 μm .

The dust dispersion parameters, including ignition delay time, for each sample shall be noted.

6.3 Test report

Where the test has been carried out in accordance with this standard, the test report shall provide the information listed in 6.3.1, 6.3.2 and 6.3.3. Although the dust concentration values associated with the limits of the range of minimum ignition energy should be recorded by the test laboratory, the values, expressed in terms of the amount of dust which is weighed, divided by the volume of the explosion vessel, are not usually included in the test report.

6.3.1 Product characteristics

- sample designation (name and chemical description if not implicit in the name);
- sample origin or source;
- sample pre-treatment;
- characteristics data for particle size distribution and moisture content if available and not already given by pre-treatment procedures.

6.3.2 Characteristics of the test apparatus

- triggering;
- explosion vessel;
- dust-dispersion system;
- total inductance of the discharge circuit;
- charging voltage, electrode material and length of gap of the optimized discharge circuit.

6.3.3 Results

- highest energy W_1 at which ignition does not occur;
- lowest energy W_2 at which ignition is obtained.

6.3.4 Report form

An example of a suitable form is given in figure A.1.

Annexe A (informative)

Exemples de circuits permettant de créer des étincelles

A.1 Généralités

Les articles A.2, A.3, A.4 et A.5 contiennent des descriptions de quatre types différents de circuits permettant de créer des étincelles adaptés pour réaliser cet essai. Avec n'importe lequel de ceux-ci, il est possible d'utiliser différentes enceintes d'explosion à condition d'optimiser la dispersion des poussières et de prendre des précautions adaptées pour empêcher des effets secondaires dus à des phénomènes de charge électrostatique dans les appareils de grandes dimensions pendant la dispersion de la poussière. Ces phénomènes comprennent la charge additionnelle/décharge de la capacité.

Si la capacité de stockage est découplée de l'électrode dans la phase de charge, l'effet de la diminution de la tension qui se produit en raison de l'augmentation de la capacité lors de la réalisation de la connexion entre électrodes doit être prise en compte pour calculer l'énergie de l'étincelle. Dans tous les calculs de l'énergie, il convient d'utiliser la capacité totale du circuit de décharge ainsi que la tension au moment de la décharge.

A.2 Système de déclenchement par étincelle auxiliaire utilisant un système à trois électrodes

La figure A.2 illustre la conception générale de l'appareil d'essai.

Le composant essentiel est un éclateur à trois électrodes. Les deux électrodes formant l'éclateur principal (1) ont 3,2 mm de diamètre, leurs extrémités étant réduites à un diamètre de 2,0 mm sur une longueur de 20 mm. L'extrémité libre de l'électrode auxiliaire (2) est coudée en direction de l'éclateur principal, la longueur de cette portion coudée étant de 20 mm. Cette disposition d'électrode est installée dans un inflammateur Hartmann ouvert et est aussi adaptée pour l'installation dans d'autres enceintes d'explosion.

Après introduction dans le dispositif de création du mélange de la quantité nécessaire de poussières, le tube est mis en place. Le condensateur d'essai C (20 pF à 10 000 pF), qui stocke l'énergie d'inflammation, est chargé au moyen d'une unité de charge haute tension HVCU à travers la résistance de charge R qui limite l'intensité de charge à 1 mA. Les tentatives pour enflammer le mélange air/poussières sont déclenchées au moyen du système de contrôle CF. La mise en route de chaque tentative implique, en premier lieu, le déclenchement du dispositif qui disperse la poussière en suspension, suivi, après un intervalle prédéterminé, par une étincelle auxiliaire entraînant elle-même le déclenchement de la décharge principale d'étincelle à partir de la capacité d'essai.

L'énergie du circuit auxiliaire est limitée pour être au maximum égale à un dixième de l'énergie du circuit principal de décharge.

Annex A

(informative)

Examples of spark-generating systems

A.1 General

Clauses A.2, A.3, A.4 and A.5 contain descriptions of four designs of spark-generating circuit suitable for use in this test. With any of these examples it is possible to use different explosion vessels, provided that the dust dispersion is optimized and that suitable precautions are taken in order to prevent side-effects occurring in comparatively large vessels from electrostatic charging phenomena during the dispersion of the dust. These phenomena include additional charging/discharging of the capacitor.

If the storage capacitor is decoupled from the electrode during the charging process, the effect of the decrease in voltage that will occur due to the increase in capacitance when the connection to the electrode is made, should be taken into account in calculating the spark energy. In all calculations of energy the total capacitance of the discharge circuit should be used, and the voltage at the time of discharge.

A.2 Triggering by auxiliary spark using three-electrode system

Figure A.2 illustrates the general arrangement of the test apparatus.

The essential component is a three-electrode spark gap. The two electrodes forming the main spark gap (1) are 3,2 mm in diameter, their ends being reduced to a diameter of 2,0 mm over a length of 20 mm. The free end of the auxiliary electrode (2) is angled toward the main spark gap, the length of this angled portion being 20 mm. This electrode arrangement is installed in an open-top Hartmann tube and is also suitable for installation in other explosion vessels.

Following the introduction into the mixture-generating device of the desired quantity of dust, the tube is placed in position. The test capacitor C (20 pF to 10 000 pF), which stores the ignition energy, is charged by means of the high-voltage charging unit HVCU across the charging resistance R which limits the charging current to 1 mA. The attempts to ignite the dust/air mixture are initiated by means of the control facility CF. Initiation of each attempt involves, first of all, triggering the device which disperses the dust into suspension, followed, after a predetermined interval, by the auxiliary spark and, with it, the triggering of the main spark discharge by the test capacitor.

The energy of the auxiliary circuit is limited to not more than one-tenth of the energy of the main discharging circuit.

A.3 Déclenchement par mouvement d'électrodes

La figure A.3 illustre la conception générale de l'appareil d'essai.

Les bouchons en PTFE (2) sont installés sur un inflammateur Hartmann à sommet ouvert (1) dans deux passages pour le montage des électrodes. Ces bouchons sont percés de façon à recevoir les électrodes (3) de manière à pouvoir les déplacer. Une des électrodes, qui est au potentiel de la terre, est attachée au barreau de mesure d'une vis micrométrique (4). Le bâti du micromètre est raccourci et fixé au tube Hartmann modifié. L'autre électrode à laquelle la haute tension est appliquée, est attachée au poussoir de commande d'un piston pneumatique de contrôle à double action (6) (diamètre nominal de piston: 35 mm, pression de fonctionnement 600 kPa) qui a une course utile de 10 mm, la liaison étant faite à travers une pièce d'isolement en PTFE (5). L'électrode haute tension est reliée électriquement à un condensateur (7) ayant une valeur comprise entre 26 pF et 311 µF. La tension à laquelle ce condensateur est chargé est indiquée au moyen d'un voltmètre électrostatique (8). Après déconnexion du générateur haute tension (9) du circuit capacitif, l'air est déchargé, au moyen d'un dispositif électropneumatique, à partir d'un réservoir sous pression (10) dans lequel il est stocké sous pression, de façon à former un mélange poussière/air par mise en suspension de la poussière. Après un délai qui est réglé à l'aide d'un dispositif de temporisation (11), l'électrode haute tension est mise en position de façon à définir la longueur de l'éclateur, l'énergie stockée dans le condensateur étant alors libérée dans l'éclateur.

A.4 Déclenchement par augmentation de tension (circuit de compensation de charge)

La figure A.4 illustre la conception générale de l'appareil d'essai.

Le circuit de compensation de charge est une des méthodes les plus simples pour produire des étincelles d'énergie connue qui sont nécessaires pour déterminer l'énergie minimale d'inflammation des mélanges poussières/air.

Une alimentation haute tension continue augmente lentement le potentiel du condensateur jusqu'à obtenir une étincelle, le cycle est alors répété en donnant une série d'étincelles, chacune ayant la même énergie. Une résistance de limitation de courant possédant une valeur comprise entre $10^8 \Omega$ et $10^9 \Omega$ est placée dans le circuit. Le potentiel à travers le condensateur est mesuré par un voltmètre électrostatique qui a en série une résistance de découplage de valeur comprise entre $10^8 \Omega$ et $10^9 \Omega$. Des étincelles d'énergies croissantes à partir de 1 mJ peuvent ainsi être aisément produites par la variation de la valeur de la capacité et, si nécessaire, de la tension de décharge.

Les réglages pour obtenir des étincelles d'énergie nécessaire sont déterminés avant toute introduction de poussière dans la chambre d'inflammation. Un condensateur de valeur appropriée est choisi et une tension sélectionnée dans le domaine 10 kV à 30 kV. La tension et la distance entre électrodes sont alors ajustées par essai jusqu'à obtenir entre les électrodes les étincelles d'énergie requise donnée par $0,5 CU^2$. Dans cette expression, U est la tension à laquelle l'étincelle se produit et C est la capacité totale à l'électrode haute tension qui peut être mesurée par l'utilisation des méthodes habituelles au pont en courant alternatif. Pour faire un essai d'inflammation, l'électrode haute tension est mise à la terre et la quantité requise de poussière préparée est placée dans la coupelle de dispersion. L'alimentation en tension continue est alors allumée dans le circuit et dès que les étincelles commencent à apparaître entre les électrodes, la poudre est dispersée par un jet d'air. On doit noter si l'inflammation se produit et si la flamme se propage à partir de l'éclateur.

Les premiers essais sont généralement réalisés avec une énergie d'étincelle typique de 500 mJ. S'il y a inflammation, l'énergie d'étincelle est alors réduite par paliers et comme décrit en 6.1, l'essai est répété jusqu'à ce qu'une inflammation ne se produise plus.

A.3 Triggering by electrode movement

Figure A.3 illustrates the general arrangement of the test apparatus.

PTFE stoppers (2) are fitted into the two electrode mounting ports in an open-top Hartmann tube (1). These stoppers are bored in order to receive the electrodes (3) in a manner permitting them to be moved. One of the electrodes, which is at earth potential, is attached to the measuring rod of a micrometer screw (4). The yoke of the micrometer is shortened, and is fastened to the modified Hartmann tube. The other electrode, to which the high voltage is applied, is attached to the pushrod of a controllable, double-acting pneumatic piston (6) (piston nominal diameter: 35 mm; operating pressure: 600 kPa) which has a working travel of 10 mm, attachment being through a PTFE insulating piece (5). The high-voltage electrode is electrically connected to a capacitor (7) with a value between 26 pF and 311 μ F. The voltage to which this capacitor is charged is indicated by means of an electrostatic voltmeter (8). After disconnecting the high-voltage generator (9) from the capacitor circuit, air is released electro-pneumatically from the pressure vessel (10) in which it is stored under pressure in such a way as to form a dust/air mixture by dispersing the dust in suspension. After a delay, which is set with the aid of a timing device (11), the high-voltage electrode is shot into the position defining the spark-gap length, the energy stored in the capacitor then being liberated at the spark gap.

A.4 Triggering by voltage increase (trickle-charging circuit)

Figure A.4 illustrates the general arrangement of the test apparatus.

The trickle-charging circuit is one of the simplest methods for producing sparks of known energy which are required for determining the minimum ignition energy of dust/air mixtures.

A high-voltage d.c. supply slowly raises the potential of the capacitor until a spark occurs. The cycle is then repeated, giving a series of sparks, each of the same energy. A current-limiting resistor with a value between $10^8 \Omega$ and $10^9 \Omega$ is included in the circuit. The potential across the capacitor is measured by an electrostatic voltmeter with a decoupling resistor in series having a value between $10^8 \Omega$ and $10^9 \Omega$. Sparks of any energy level from 1 mJ upwards can be readily produced using this circuit by varying the value of the capacitor and, if necessary, the discharge voltage.

The settings for sparks of the required energy are determined before any dust is placed in the ignition chamber. A capacitor of the appropriate value is chosen and a voltage in the range 10 kV to 30 kV selected. The voltage and electrode separation are then adjusted by trial until sparks of the required energy, given by $0.5 CU^2$ occur at the electrodes. In this expression, U is the voltage at which the spark occurs and C is the total capacitance at the high-voltage electrode, which can be measured using normal a.c. bridge methods. In order to make an ignition test, the high-voltage electrode is earthed and the required quantity of the prepared dust is placed in the dispersion cup. The d.c. voltage supply is then switched into the circuit, and, as sparks start to pass between the electrodes, the dust is dispersed by an air jet. It is noted whether ignition occurs and whether the flame propagates away from the spark gap.

The first tests are usually performed with a high-spark energy typically 500 mJ. If there is an ignition, the spark energy is then reduced in steps, and the test repeated until ignition does not occur, as described in 6.1.

A.5 Déclenchement par étincelle auxiliaire, en utilisant un système normal à deux électrodes (transformateur d'amorçage dans un circuit de décharge)

La figure A.5 illustre la conception générale de l'appareil d'essai.

Le circuit ne peut être utilisé pour les essais sans inductance. C est la capacité de décharge, sous une tension initiale U . En disposant d'une série de condensateurs depuis 40 pF, et ayant des valeurs décroissantes par paliers d'un facteur de 10 et des tensions décroissantes depuis 1 000 V (400 V à 500 V est une limite pratique minimale) une large sélection de valeurs $0,5 CU^2$ est disponible. L'amorçage de la décharge d'étincelle au moment souhaité, qui est essentielle si la synchronisation de la décharge d'étincelle avec la formation d'un nuage transitoire de poussière est nécessaire, est accomplie au moyen d'un dispositif de déclenchement dans lequel le condensateur C_{Tr} , un commutateur S et l'enroulement primaire du transformateur T constituent les éléments essentiels. En fermant le commutateur, une impulsion haute tension d'une valeur pointe d'environ 15 kV est induite au secondaire du transformateur amorçant la décharge disruptive dans l'éclateur G et de ce fait la décharge du condensateur principal C . L'expérience a montré qu'il est très difficile de réduire l'apport d'énergie à l'éclateur par l'étincelle de déclenchement en-dessous de 2 mJ à 5 mJ. Pour cette raison, le principe de déclenchement est seulement applicable dans le domaine d'énergie d'étincelle au-delà de 5 mJ.

Les énergies réelles d'étincelles obtenues pour différentes combinaisons de C et U sont déterminées de façon conventionnelle en mesurant l'intensité et la tension de l'éclateur en fonction du temps et en intégrant la courbe puissance-temps. La fonction de la diode D est de produire uniquement des décharges monodirectionnelles. Il convient que l'inductance propre du circuit secondaire du transformateur de déclenchement soit de 1 mH à 2 mH.

A.5 Triggering by auxiliary spark, using normal two-electrode system (trigger transformer in discharge circuit)

Figure A.5 illustrates the general arrangement of the test apparatus.

This circuit cannot be used for tests without inductance. C is the discharge capacitor, having an initial voltage of U . By having a range of capacitors from 40 pF and downwards in steps of a factor of 10, and variable voltage from 1 000 V downwards (400 V to 500 V is a practical minimum level), a wide selection of $0,5 CU^2$ values is available. Initiation of spark discharge at the desired moment, which is essential if synchronization of spark discharge with the formation of a transient dust cloud is required, is accomplished by means of the trigger circuit in which the capacitor C_{Tr} , a switch S , and the primary coil of the trigger transformer T constitute the essential elements. By closing the switch, a high-voltage pulse of approximately 15 kV peak value is induced in the secondary coil of the transformer, causing breakdown of the spark gap G , and thereby discharge of the main capacitor C . Experience has shown that it is very difficult to reduce the energy input to the spark gap by the trigger spark below 2 mJ to 5 mJ. For this reason, this trigger principle is only applicable to spark energies above 5 mJ.

The net spark energies generated for various combinations of C and U are determined in the conventional way by measuring current and voltage at the spark gap as functions of time and integrating the power-versus-time curve. The function of the diode D is to produce unidirectional discharges only. The self-inductance of the secondary coil of the trigger transformer should be 1 mH to 2 mH.

Energie minimale d'inflammation d'un mélange poussières/air mesurée selon la CEI 1241-2-3	
1) <i>Caractéristiques du produit</i>	
désignation de l'échantillon:	.....
origine ou source de l'échantillon:	.....
prétraitement de l'échantillon:	.....
information sur distribution granulométrique:	.....
(par exemple, médiane, domaine, maximum)	
teneur en humidité:	.....
2) <i>Appareil d'essai</i>	
dispositif de déclenchement:	.....
enceinte d'explosion:	.....
système de dispersion de la poussière:	.....
inductance totale:	.....
distance entre électrodes:	.....
tension de charge:	.....
Résultat:	
	< W_{min} <
Date:	Signature:

Figure A.1 – Exemple de forme du rapport

Minimum ignition energy of a dust/air mixture measured according to IEC 1241-2-3

1) *Product characteristics*

sample designation:

sample origin or source:

sample pre-treatment:

particle size information:
(e.g. median, range, maximum)

moisture content:

2) *Test apparatus*

triggering:

explosion vessel:

dust dispersion system:

total inductance:

electrode gap:

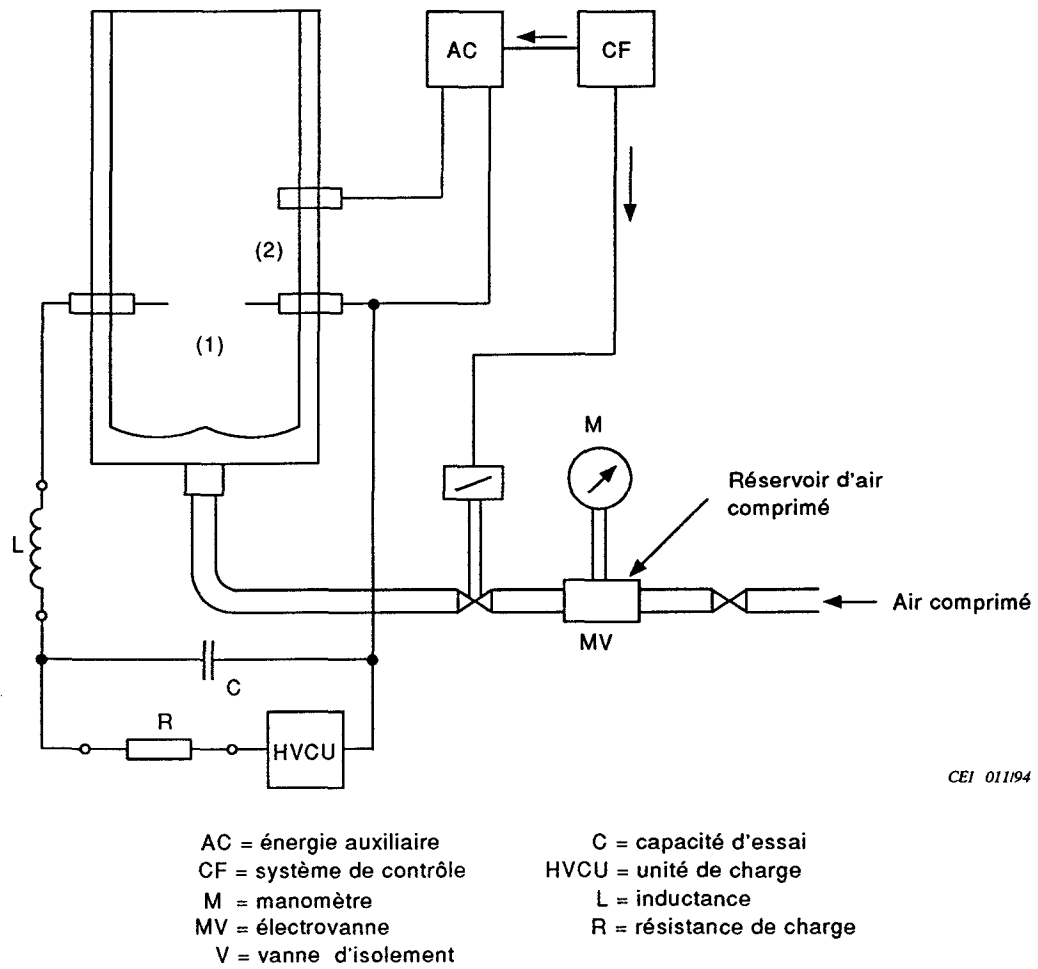
charging voltage:

Result:

$< W_{\min} <$

Date: Signature:

Figure A.1 – Specimen report form



CEI 011/94

Figure A.2 – Appareil pour la détermination des énergies minimales d'inflammation de la poussière (schéma) – Dispositif de déclenchement par étincelle auxiliaire utilisant un système à trois électrodes

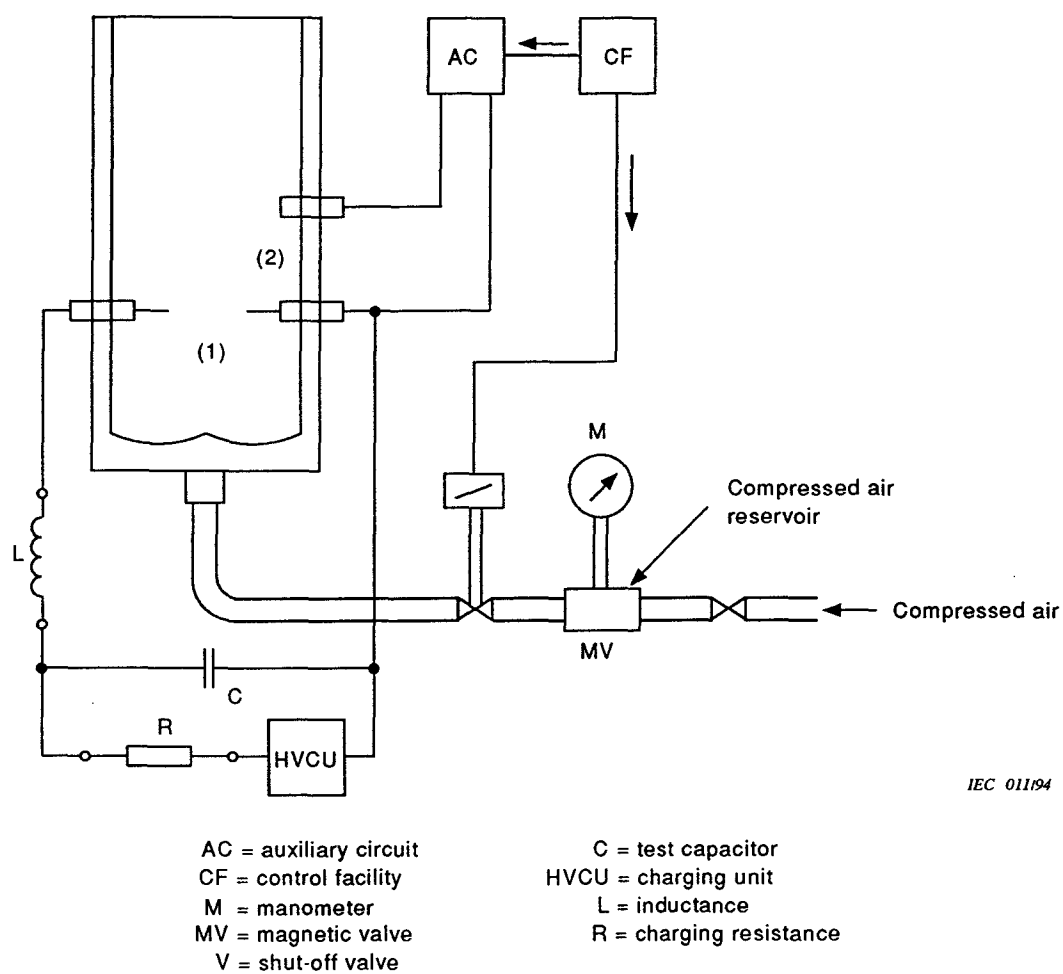


Figure A.2 – Apparatus for determining the minimum ignition energies of dust (schematic) – Triggering by auxiliary spark, using three-electrode system

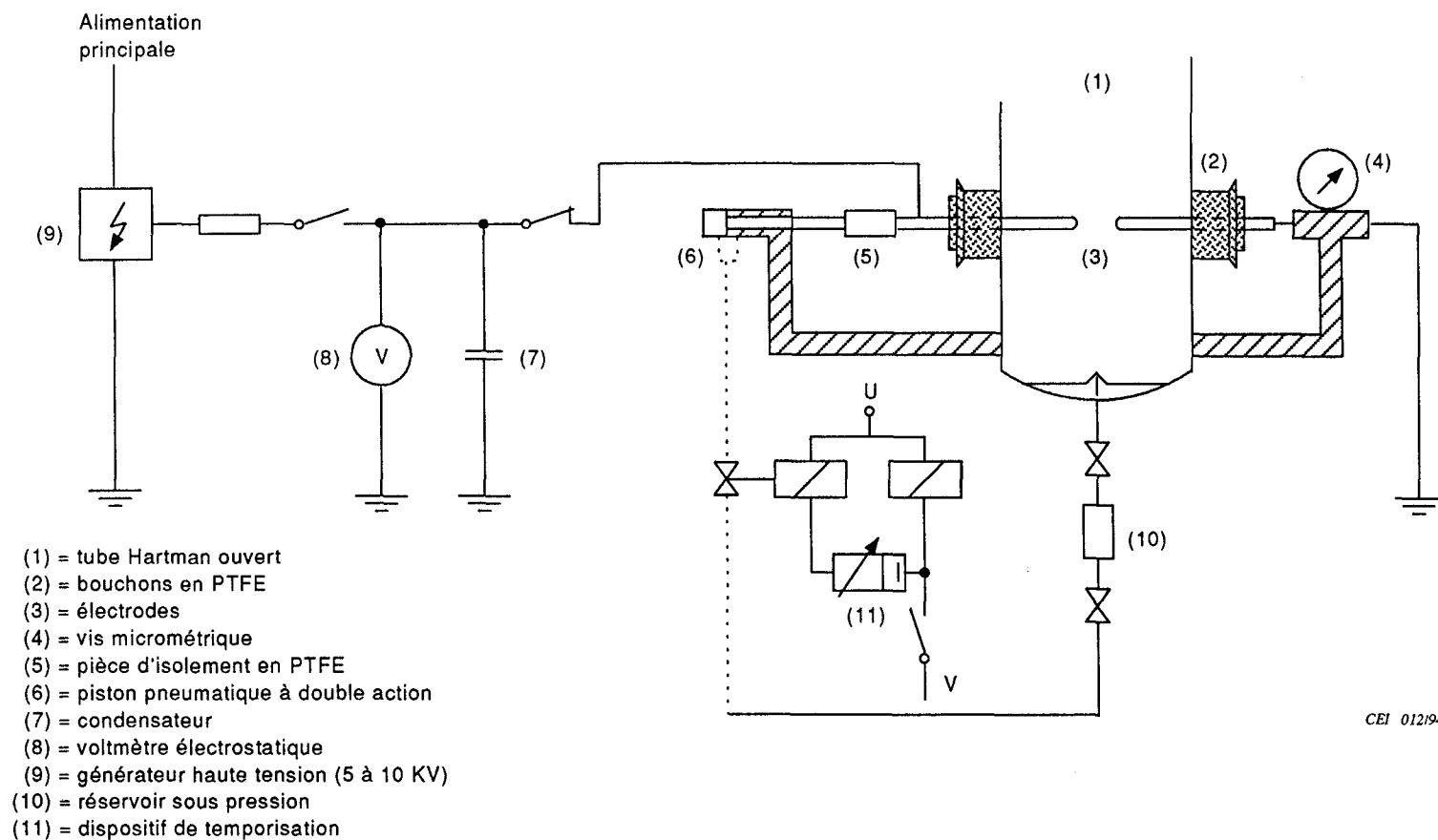


Figure A.3 – Appareil pour la détermination des énergies minimales d'inflammation de la poussière (schéma) – Déclenchement par mouvement des électrodes

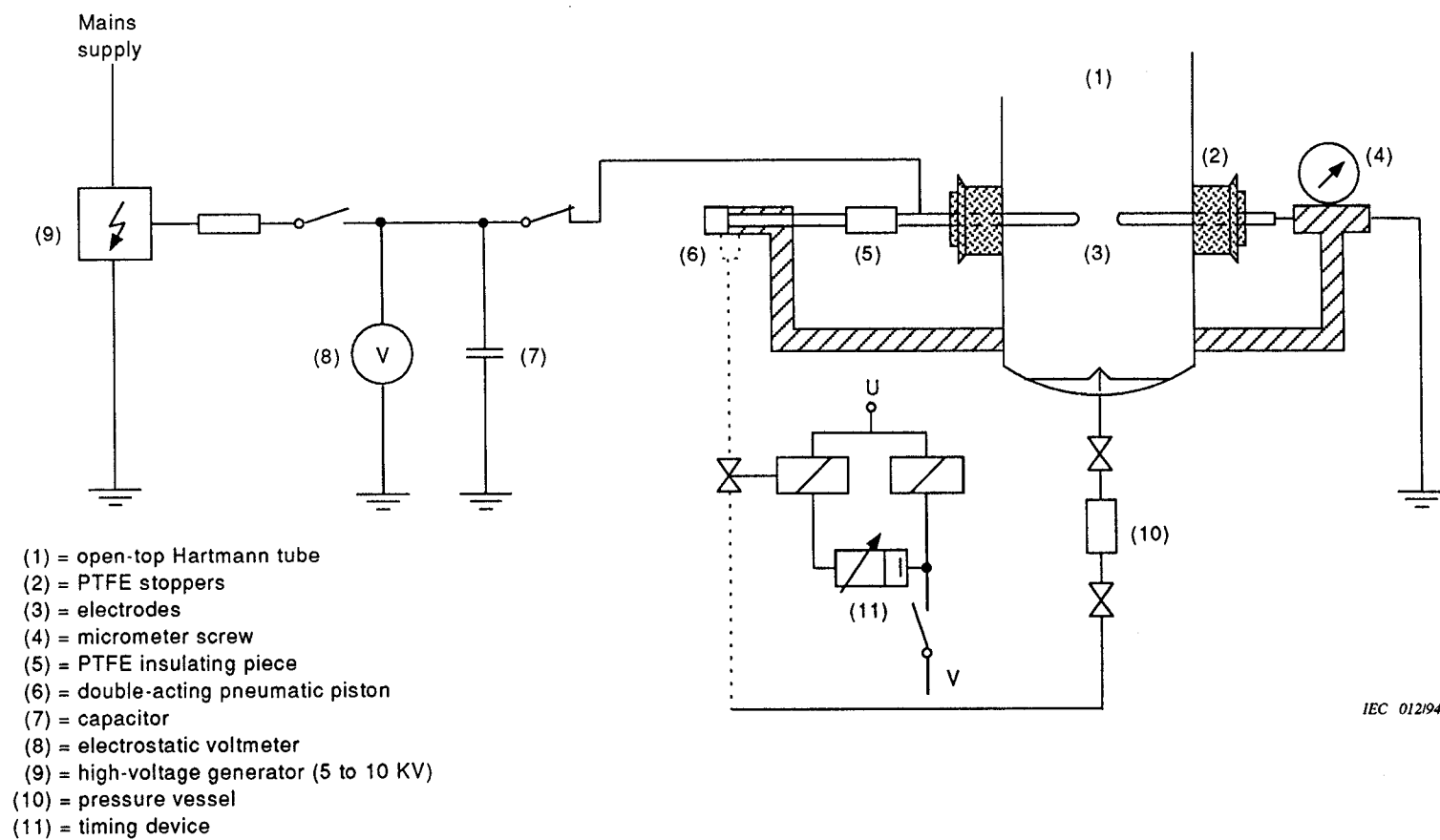


Figure A.3 – Apparatus for determining the minimum ignition energies of dust (schematic) –
Triggering by electrode movement

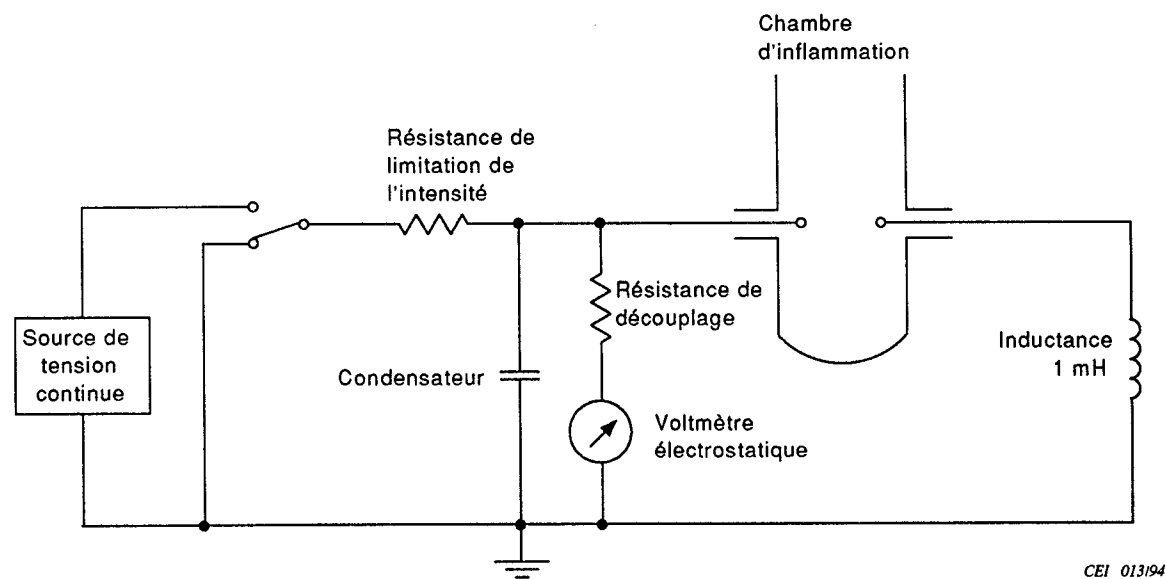


Figure A.4 – Appareil pour la détermination des énergies minimales d'inflammation des poussières (schéma) – Déclenchement par élévation de la tension (circuit de compensation de charge)

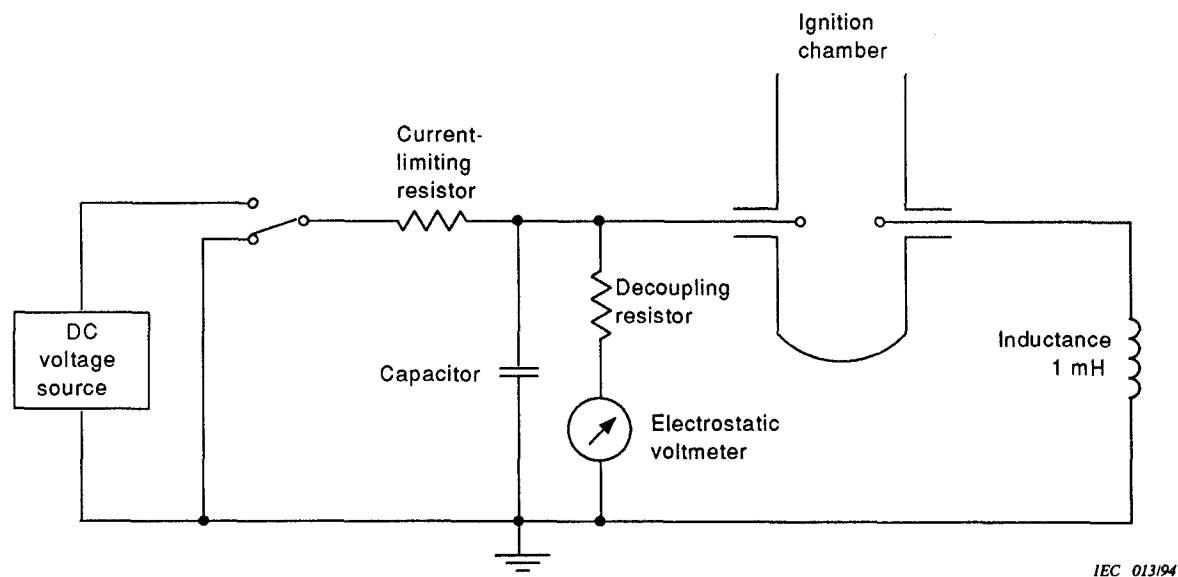
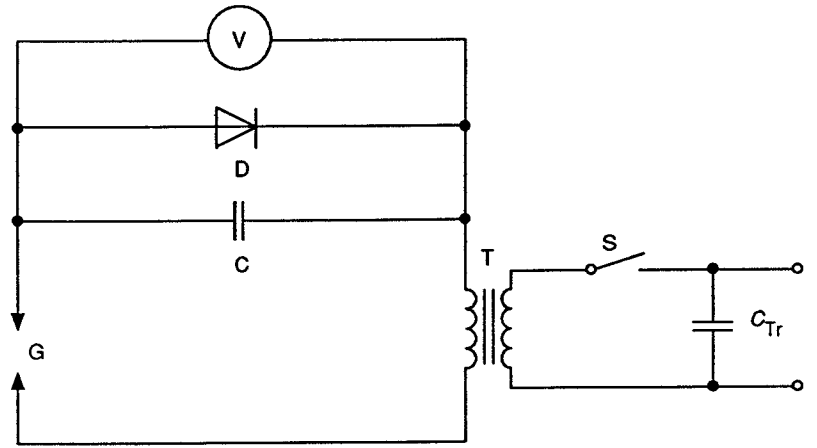


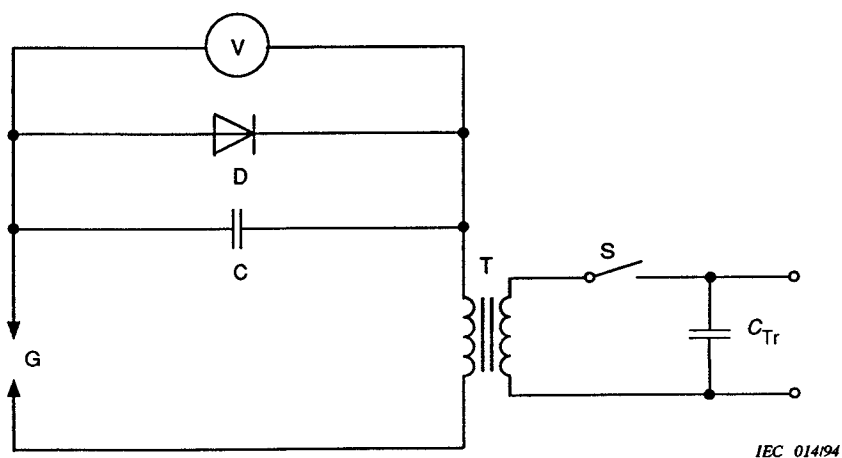
Figure A.4 – Apparatus for determining the minimum ignition energies of dust (schematic) – Triggering by voltage increase



CEI 014/94

C = capacité principale
 C_{Tr} = capacité dans le circuit de déclenchement
 D = diode
 S = interrupteur
 T = transformateur
 G = éclateur

Figure A.5 – Appareil pour la détermination des énergies minimales d'inflammation des poussières (schéma) – Transformateur d'amorçage dans un circuit de décharge



IEC 014/94

C = main capacitor
C_{Tr} = capacitor in trigger circuit
D = diode
S = switch
T = transformer
G = spark gap

Figure A.5 – Apparatus for determining the minimum ignition energies for dust (schematic) – Trigger transformer in discharge circuit

Signification de l'énergie d'inflammation

Plusieurs types de décharge doivent être considérés. Ce sont:

- corona à partir de conducteurs pointus ou à rayons faibles
- en aigrette à partir de dépôts de poudre ou de solides isolants
- cône à partir de granulés fortement isolants
- en aigrette qui se propage (propagating brush) à partir de surfaces isolantes polarisées
- étincelle

Les descriptions détaillées de ces décharges et de leur possibilité d'apparition peuvent être trouvées dans la littérature [11]. Leurs possibilités d'inflammation sont indiquées dans le tableau ci-dessous en relation avec les énergies d'inflammation mesurées avec la méthode suivante:

Tableau B.1 – Pouvoir d'inflammation de différents types de décharge électrostatique

Type de décharge	Possibilité d'inflammation	Energie minimale d'inflammation mJ
Corona	Inflammation peu probable des nuages de poussières autres que les explosifs	Jusqu'à 0,1
En aigrette	Des mélanges hybrides et certaines poussières très sensibles peuvent être enflammées	Jusqu'à 3
A partir de cône de déversement	La plupart des poussières combustibles peuvent être enflammées	Croît avec le volume de produit
En aigrette qui se propage	La plupart des poussières combustibles peuvent être enflammées	Classiquement jusqu'à plusieurs joules
Etincelles	Toute poussière combustible peut être enflammée	Pas de limite

Les étincelles sont les types les plus puissants de décharge électrostatique, et sont capables d'enflammer une large gamme de mélanges inflammables. La précaution de base contre l'apparition de décharges d'étincelles incendiaires consiste à mettre de façon sûre à la terre toutes les parties conductrices de l'installation et de l'équipement.

Annex B (informative)

Significance of minimum ignition energy

Although it is not within the scope of this standard to specify limits or safety precautions as functions of the measured minimum ignition energies, it is appropriate to give some guidance on the significance of the measured values in relation to the safety of industrial installations.

Several discharge types need to be considered. These are:

- glow corona from pointed or small radius conductors
- brush from bulk powder or insulating solids
- cone from highly insulating granules
- propagating brush from polarized insulating surfaces
- spark

Detailed descriptions of these discharges, and their occurrence can be found in the literature [11]. Their ignition capabilities are indicated in the table below in relation to minimum ignition energies measured by the present method.

Table B.1 – Ignition capabilities of various types of electrostatic discharge

Discharge type	Ignition capability	Minimum ignition energy mJ
Corona	Ignition of dust clouds other than explosives not likely	Up to 0,1
Brush	Hybrid mixtures and some very sensitive dusts may be ignited	Up to 3
Cone	Most combustible dusts may be ignited	Increase with volume of material
Propagating	Most combustible dusts may be ignited	Typically up to several joules
Sparks	Any combustible dust may be ignited	No limit

Sparks are the most potent type of electrostatic discharge, and are capable of igniting a wide range of flammable mixtures. The basic precaution against the occurrence of incendive spark discharges is to ensure that all conducting parts of the plant and equipment and conductive products are securely earthed.

Pour donner une large marge de sécurité, et pour tenir compte des variations de résistance sur une certaine période de temps, une résistance de terre inférieure à $10^8 \Omega$ est préconisée pour les parties conductrices.

La résistance électrique maximale de sécurité (R) entre une partie conductrice et la terre peut être déterminée à partir du courant maximal (I) de charge électrostatique dans le système.

Il est bien connu que les étincelles de décharge qui se produisent à 100 V ou plus bas ne conduisent pas à l'inflammation principalement parce que la distance à travers laquelle l'étincelle passe est nettement plus faible que les distances de coincement.

En utilisant la loi d'Ohm et une tension maximale de 100 V, la résistance maximale de sécurité est donnée par:

$$R = \frac{100 \text{ V}}{I}$$

Le courant maximal de charge pour la plupart des opérations est de 10^{-6} A de telle sorte que, dans ce cas, la résistance maximale de sécurité par rapport à la terre est de $1 \times 10^8 \Omega$. Dans des opérations mettant en jeu beaucoup d'énergie, les courants de charge peuvent atteindre 10^{-4} A. Dans de tels cas, la résistance maximale de sécurité serait de $1 \times 10^6 \Omega$.

Dans les cas où une mise adaptée à la terre ne peut être réalisée, l'énergie minimale d'inflammation peut être utilisée pour déterminer si la mise à la terre est essentielle. En déterminant la vitesse de charge, la capacité électrique, la durée de l'opération et la résistance de fuite, il est possible de calculer la quantité maximale d'énergie qui peut être stockée. Celle-ci peut alors être comparée à l'énergie minimale d'inflammation la plus faible pour les substances manipulées dans l'installation. De façon analogue, si le potentiel maximum qui peut être obtenu est limité par une distance fixe faible à travers laquelle toute étincelle éclatera (par exemple dans toute machine en rotation telle que des vannes alvéolaires) des calculs analogues peuvent être faits et comparés avec l'énergie minimale d'inflammation mesurée. Dans tous les cas, il est indispensable que l'énergie minimale d'inflammation la plus faible des produits manipulés ou fabriqués soit retenue dans les comparaisons.

L'évaluation et le contrôle des autres types de décharge nécessitent des connaissances d'expert, mais des conseils généraux sont disponibles dans la littérature [11].

Les décharges d'étincelles provenant de parties métalliques chargées, isolées, de l'installation et de l'équipement sont capacitatives. Pour évaluer le risque d'inflammation dans le cas de telles étincelles, une valeur adéquate de l'énergie d'inflammation peut être déterminée par utilisation d'un circuit capacitif simple de décharge. Dans certains cas, la répétabilité et la reproductibilité des résultats avec de tels circuits peut être améliorée par l'introduction dans le circuit de décharge d'une inductance de 1 mH. Toutefois, il convient de noter que cette modification conduit normalement à des étincelles à pouvoir inflammatoire plus grand qu'un circuit simple de décharge et de ce fait à des valeurs d'énergies d'inflammation plus faibles. Ceci peut conduire à l'adoption de précautions qui ne sont pas strictement nécessaires et avec des coûts concomitants.

In order to give a wide margin of safety, and to allow for variations of resistance over a period of time, a resistance to earth of less than $10^8 \Omega$ is advocated for conducting items.

The maximum safe electrical resistance (R) between a conducting part and earth can be determined from the maximum electrostatic charging current (I) in the system.

It is well established that spark discharges that occur at 100 V or less do not cause ignition primarily because the gap across which the spark passes is much smaller than the quenching distance.

Using Ohm's law and a maximum voltage of 100 V, the maximum safe resistance is given by:

$$R = \frac{100 \text{ V}}{I}$$

The maximum charging current for most types of operations is 10^{-6} A so that the maximum safe resistance to earth in these cases is $1 \times 10^8 \Omega$. In very energetic operations, charging currents may reach 10^{-4} A. In such instances the maximum safe resistance would be $1 \times 10^6 \Omega$.

In cases where proper earthing cannot be achieved, the minimum ignition energy can be used to determine whether earthing is essential. From knowledge of the charging rate, the electrical capacitance, duration of operation and leakage resistance, it is possible to calculate the maximum amount of energy that can be stored. This can then be compared with the lowest minimum ignition energy from the materials handled in the plant. Alternatively, if the maximum potential that can occur is limited by a fixed, narrow gap across which any spark will pass (for example, in some rotating machinery such as rotary valves) similar calculations can be made and compared with the measured minimum ignition energy. In all these cases it is essential that the lowest minimum ignition energy from the materials being handled or processed is used in the comparisons.

The assessment and control of the other types of discharge require expert knowledge, but general guidance is available in the literature [11].

Spark discharges from charged, unearthed metal parts of plant and equipment are capacitive. To assess the ignition hazard in the case of such sparks, minimum ignition energy values can be determined by using a simple, plain capacitive discharge circuit. In some cases, the repeatability and reproducibility of results from such circuits can be improved by the inclusion of an inductance of 1 mH in the discharge circuit. It should be noted, however, that this modification normally produces more incensive sparks than a plain capacitive discharge circuit and, therefore, lower minimum ignition energy values. This can lead to the adoption of precautions that are not strictly necessary, with the attendant costs.

Les études expérimentales sur un grand nombre de poussières utilisant d'autres sources d'inflammation que les étincelles électriques indiquent que l'ordre de grandeur des capacités d'inflammation des nuages de poussière, obtenues en utilisant la présente méthode d'essai pour l'énergie minimale d'inflammation est aussi valable pour d'autres types de sources d'inflammation. Les différences entre caractéristiques de la libération de l'énergie sont à l'origine des différences dans la quantité totale d'énergie nécessaire pour enflammer un mélange donné par différentes sources d'inflammation. Un exemple bien connu de problème lorsqu'on tire des conclusions basées seulement sur la comparaison des énergies totales est l'essai d'appréciation du pouvoir inflammatoire des décharges en aigrette qui se propage (brush discharge) dans le cas des nuages de poussières. Des expériences antérieures ont montré que les décharges en aigrette qui se propagent (brush discharge) peuvent enflammer les mélanges explosibles de gaz possédant des énergies minimales d'inflammation par étincelle de 4 mJ. Cependant, jusqu'à présent, il n'a pas été possible de démontrer que les nuages de poussières possédant des énergies minimales d'inflammation considérablement plus faibles que 4 mJ peuvent être enflammés par des décharges en aigrette qui se propagent (brush discharge). Une raison de ceci pourrait reposer sur le fait que dans le cas des décharges en aigrette, le temps de décharge est différent.

La détermination des énergies absolues nécessaires pour enflammer les nuages de poussières est possible tant qu'il s'agit de l'inflammation par étincelles électrique, pourvu que la méthode de mesures satisfasse aux spécifications données précédemment. En principe, la distribution spatiale et dans le temps de l'énergie dans la décharge constitue le point clé pour comprendre le pouvoir inflammatoire de toute décharge. Toutefois, une énergie équivalente peut être attribuée à la décharge en écrivant son égalité avec l'énergie de l'étincelle de décharge qui donne le même pouvoir inflammatoire que la décharge considérée.

Le problème de la détermination des énergies équivalentes pour les étincelles mécaniques est discuté ailleurs [1] et [2].

Les considérations ci-dessus ne sont pas applicables qu'aux poussières combustibles. Quand on s'intéresse au pouvoir inflammatoire des décharges par étincelles dans les mélanges de nuages de poussières et d'un gaz explosible, la littérature technique doit être examinée [3], [4], [5], [6]. Dans le doute, il convient d'utiliser la valeur du gaz seul.

Experimental investigations on a great number of dusts, using ignition sources other than electric sparks, indicate that the ranking order of the ignitabilities of dust clouds, obtained by using the present test method for minimum ignition energy, is also valid for other types of ignition sources. Differences in the characteristics of energy release are responsible for the differences in the total amount of energy required for igniting a given mixture by various ignition sources. A well-known example of the problem of drawing conclusions based only on a comparison of total energies is the attempt to assess the incendivity of brush discharges in the case of dust clouds. Previous experiments have shown that brush discharges can ignite explosible gas mixtures of minimum spark ignition energies of 4 mJ. However, so far it has not been possible to demonstrate that dust clouds of considerably lower minimum electric spark ignition energies than 4 mJ can be ignited by brush discharges. One reason for this could be that in the case of brush discharges the discharge time is different.

Determination of absolute energies required for igniting dust clouds is possible as far as ignition by electric sparks is concerned; provided the measurement method satisfies the requirements stated earlier. In principle, the spatial and temporal distribution of the energy in the discharge constitutes the basic characteristic of the incendivity of any discharge. However, an equivalent energy can be ascribed to a discharge by equating it to the energy of a spark discharge that gives the same incendivity as the discharge being considered.

The problem of determining equivalent energies for mechanical sparks is discussed elsewhere [1] and [2].

The considerations above are only applicable to combustible dusts. When it comes to the incendivity of spark discharges in mixtures of a dust cloud and an explosible gas, the technical literature should be consulted [3], [4], [5], [6]. In case of doubt, the value for the gas alone should be used.

Annexe C/Annex C
(informative)

Bibliographie/Bibliography

- [1] Ritter, K., *Mechanisch erzeugte Funken als Zündquellen*. VDI-Berichte 494, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984.
- [2] Ritter, K., *Die Zündwirksamkeit mechanisch erzeugter Funken gegenüber Gas/ Luft- und Staub/Luft-Gemischen*. Dissertation TH Karlsruhe, 1984.
- [3] Franke, H., VDI-Berichte 304, VDI-Verlag, Düsseldorf (69-72).
- [4] Pellmont, G., *Explosions- und Zündverhalten von hybriden Gemischen aus brennbaren Stäuben und Brenngasen*. Diss. ETH Zürich, No. 6498, 1979.
- [5] Bartknecht, W., *Untersuchung des Explosions- und Zündverhaltens brennbarer Stäube und hybrider Gemische*. Schriftenreihe "Humanisierung des Arbeitslebens", Vol. 64, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1985.
- [6] Siwek, R., *Zuverlässige Bestimmung explosionstechnischer Kenngrößen in der 20-Liter-Laboratapparatur*, *Proceedings of the Colloquium "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"*, Nürnberg 1988. VDI-Berichte 701, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [7] Field, P., *Dust Explosions Handbook of Powder Technology*, volume 4. Elsevier Amsterdam, 1982.
- [8] Eckhoff, R.K., *Dust Explosions in the Process Industries*, section 5.3, pp. 411-426. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1991.
- [9] Alvestad, B., *An electric spark generator for determination of minimum ignition energies for dust clouds*. Chr. Michelsen Institute Research Report No. 803301-3, November 1980.
- [10] Berthold, W. (Hrsg), *Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen*. VDI Fortschrittsbericht, Reihe 3, No. 134.
- [11] Luettgens, G., Glor, M., *Understanding et Controlling Static Electricity*. Expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, 1989.

ICS 29.260.20
