

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61482-1**

Première édition  
First edition  
2002-02

---

---

**Travaux sous tension –  
Matériaux résistant à la flamme pour vêtements  
de protection thermique des travailleurs –  
Risques d'arc électrique à effet thermique –**

**Partie 1:  
Méthodes d'essai**

**Live working –  
Flame-resistant materials for clothing  
for thermal protection of workers –  
Thermal hazards of an electric arc –**

**Part 1:  
Test methods**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 61482-1:2002

## 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](http://www.iec.ch))
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/catlg-f.htm](http://www.iec.ch/catlg-f.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 ([www.iec.ch/JP.htm](http://www.iec.ch/JP.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](mailto: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](http://www.iec.ch))
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/catlg-e.htm](http://www.iec.ch/catlg-e.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 ([www.iec.ch/JP.htm](http://www.iec.ch/JP.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](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61482-1**

Première édition  
First edition  
2002-02

---

---

**Travaux sous tension –  
Matériaux résistant à la flamme pour vêtements  
de protection thermique des travailleurs –  
Risques d'arc électrique à effet thermique –**

**Partie 1:  
Méthodes d'essai**

**Live working –  
Flame-resistant materials for clothing  
for thermal protection of workers –  
Thermal hazards of an electric arc –**

**Part 1:  
Test methods**

© 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 Varembe, 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

**W**

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

## SOMMAIRE

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                       | 6  |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                            | 10 |
| 2 Références normatives .....                                                                                            | 10 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                            | 12 |
| 4 Principe des méthodes d'essai .....                                                                                    | 16 |
| 5 Signification et utilisation des méthodes d'essai .....                                                                | 18 |
| 6 Appareillage d'essai .....                                                                                             | 18 |
| 6.1 Méthode A – Disposition des panneaux à deux capteurs .....                                                           | 18 |
| 6.2 Constitution d'un panneau .....                                                                                      | 20 |
| 6.3 Méthode B – Disposition des mannequins .....                                                                         | 20 |
| 6.4 Méthode B – Constitution d'un mannequin .....                                                                        | 20 |
| 6.5 Réponse d'un capteur .....                                                                                           | 20 |
| 6.6 Constitution d'un calorimètre .....                                                                                  | 20 |
| 6.7 Barre d'alimentation et électrodes .....                                                                             | 20 |
| 6.8 Alimentation électrique .....                                                                                        | 22 |
| 6.9 Commande du circuit d'essai .....                                                                                    | 22 |
| 6.10 Système d'acquisition de données .....                                                                              | 22 |
| 7 Précautions .....                                                                                                      | 22 |
| 8 Echantillonnage et préparation des éprouvettes .....                                                                   | 24 |
| 8.1 Eprouvettes pour les méthodes A et B .....                                                                           | 24 |
| 8.2 Conditionnement par le nettoyage des éprouvettes .....                                                               | 24 |
| 9 Etalonnage .....                                                                                                       | 26 |
| 9.1 Préétalonnage du système d'acquisition de données .....                                                              | 26 |
| 9.2 Vérification de l'étalonnage du calorimètre .....                                                                    | 26 |
| 9.3 Etalonnage de l'exposition à l'arc .....                                                                             | 26 |
| 9.4 Etalonnage de l'appareillage pour les panneaux à deux capteurs, les mannequins et les capteurs de surveillance ..... | 26 |
| 9.5 Confirmation du réglage de l'appareillage d'essai .....                                                              | 28 |
| 10 Précautions et entretien de l'appareillage .....                                                                      | 28 |
| 10.1 Reconditionnement de surface .....                                                                                  | 28 |
| 10.2 Entretien des panneaux de capteurs et des mannequins .....                                                          | 28 |
| 11 Procédures d'essai .....                                                                                              | 28 |
| 11.1 Paramètres d'essai .....                                                                                            | 28 |
| 11.2 Ordre des essais .....                                                                                              | 28 |
| 11.3 Température initiale .....                                                                                          | 30 |
| 11.4 Montage de l'éprouvette .....                                                                                       | 30 |
| 11.5 Données d'éprouvette .....                                                                                          | 30 |
| 11.6 Protocole d'essai .....                                                                                             | 32 |
| 12 Interprétation des résultats .....                                                                                    | 32 |
| 12.1 Transfert de chaleur .....                                                                                          | 32 |
| 12.2 Détermination de l'énergie de seuil d'éventration .....                                                             | 40 |
| 12.3 Examen visuel .....                                                                                                 | 40 |
| 13 Rapport d'essai .....                                                                                                 | 40 |

## CONTENTS

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                | 7  |
| 1 Scope.....                                                                                 | 11 |
| 2 Normative references .....                                                                 | 11 |
| 3 Terms and definitions .....                                                                | 13 |
| 4 Principle of the test methods .....                                                        | 17 |
| 5 Significance and use of the test methods.....                                              | 19 |
| 6 Test apparatus .....                                                                       | 19 |
| 6.1 Method A – Arrangement of the two-sensor panels.....                                     | 19 |
| 6.2 Panel construction.....                                                                  | 21 |
| 6.3 Method B – Arrangement of the mannequins .....                                           | 21 |
| 6.4 Method B – Mannequin construction.....                                                   | 21 |
| 6.5 Sensor response .....                                                                    | 21 |
| 6.6 Calorimeter construction.....                                                            | 21 |
| 6.7 Supply bus and electrodes .....                                                          | 21 |
| 6.8 Electric supply.....                                                                     | 23 |
| 6.9 Test-circuit control.....                                                                | 23 |
| 6.10 Data acquisition system.....                                                            | 23 |
| 7 Precautions .....                                                                          | 23 |
| 8 Sampling and specimen preparation.....                                                     | 25 |
| 8.1 Test specimens for methods A and B .....                                                 | 25 |
| 8.2 Laundry conditioning of test specimens .....                                             | 25 |
| 9 Calibration.....                                                                           | 27 |
| 9.1 Data acquisition system precalibration.....                                              | 27 |
| 9.2 Calorimeter calibration check .....                                                      | 27 |
| 9.3 Arc exposure calibration.....                                                            | 27 |
| 9.4 Apparatus calibration for the two-sensor panels,<br>mannequins and monitor sensors ..... | 27 |
| 9.5 Confirmation of test apparatus setting .....                                             | 29 |
| 10 Apparatus care and maintenance .....                                                      | 29 |
| 10.1 Surface reconditioning.....                                                             | 29 |
| 10.2 Care of sensor boards and mannequins .....                                              | 29 |
| 11 Test procedures .....                                                                     | 29 |
| 11.1 Test parameters .....                                                                   | 29 |
| 11.2 Order of tests .....                                                                    | 29 |
| 11.3 Initial temperature .....                                                               | 31 |
| 11.4 Specimen mounting.....                                                                  | 31 |
| 11.5 Specimen data .....                                                                     | 31 |
| 11.6 Test protocol .....                                                                     | 33 |
| 12 Interpretation of results .....                                                           | 33 |
| 12.1 Heat transfer .....                                                                     | 33 |
| 12.2 Determination of breakopen threshold energy.....                                        | 41 |
| 12.3 Visual inspection .....                                                                 | 41 |
| 13 Test report.....                                                                          | 41 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Annexe A (normative) Mesure de la longueur de carbonisation .....                                                                             | 64 |
| Annexe B (informative) Analyse statistique – Etude des méthodes et<br>des formules pour la détermination de l'ATPV du HAF .....               | 66 |
| B.1 Contexte .....                                                                                                                            | 66 |
| B.2 Détermination de l'ATPV .....                                                                                                             | 66 |
| B.3 Détermination de l'ATPV de 95 % .....                                                                                                     | 68 |
| B.4 Facteur d'atténuation de la chaleur .....                                                                                                 | 70 |
| Bibliographie .....                                                                                                                           | 72 |
| Figure 1 – Méthode A – Disposition de trois panneaux de capteurs<br>avec capteurs de surveillance (vue en plan) .....                         | 44 |
| Figure 2 – Méthode A – Panneau à deux capteurs (vue de face)<br>avec capteurs de surveillance .....                                           | 44 |
| Figure 3 – Méthode A – Glissement de panneau à deux capteurs .....                                                                            | 46 |
| Figure 4 – Barre d'alimentation et électrodes d'arc présentant<br>des positions de mannequin .....                                            | 48 |
| Figure 5 – Mannequin avec capteurs de surveillance .....                                                                                      | 50 |
| Figure 6 – Vue de face de quatre capteurs .....                                                                                               | 52 |
| Figure 7a – Installation des thermocouples dans le calorimètre .....                                                                          | 54 |
| Figure 7b – Installation du fil du thermocouple – Détail du trou et méthode<br>de fixation du thermocouple .....                              | 54 |
| Figure 7 – Détails des thermocouple et calorimètre .....                                                                                      | 54 |
| Figure 8 – Installation type d'un calorimètre dans un capteur<br>et dans un capteur de surveillance .....                                     | 56 |
| Figure 9 – Barre d'alimentation et électrodes d'arc pour panneaux .....                                                                       | 58 |
| Figure 10 – Courbe type de l'augmentation de la température en fonction<br>de l'échelle de temps et correction de la ligne de référence ..... | 60 |
| Figure 11 – Ensemble type de fixation du matériau .....                                                                                       | 62 |
| Tableau 1 – Tolérance des tissus humains à la chaleur<br>et aux brûlures du second degré [1] .....                                            | 34 |
| Tableau A.1 – Charge totale de déchirement .....                                                                                              | 64 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Annex A (normative) Measurement of char length.....                                                                   | 65 |
| Annex B (informative) Statistical analysis – Review of the methods and formulas<br>for determining ATPV and HAF ..... | 67 |
| B.1 Background .....                                                                                                  | 67 |
| B.2 Determining ATPV .....                                                                                            | 67 |
| B.3 Determining ATPV 95 % .....                                                                                       | 69 |
| B.4 Heat attenuation factor .....                                                                                     | 71 |
| Bibliography.....                                                                                                     | 73 |
| Figure 1 – Method A – Arrangement of three-panel sensors with monitor sensors<br>(plan view) .....                    | 45 |
| Figure 2 – Method A – Two-sensor panel (face view) with monitor sensors .....                                         | 45 |
| Figure 3 – Method A – Sliding two-sensor panel .....                                                                  | 47 |
| Figure 4 – Supply bus and arc electrodes showing mannequin position .....                                             | 49 |
| Figure 5 – Mannequin with monitor sensors .....                                                                       | 51 |
| Figure 6 – Four-sensor face view .....                                                                                | 53 |
| Figure 7a – Installation of thermocouples in the calorimeter .....                                                    | 55 |
| Figure 7b – Thermocouple wire installation –<br>Hole detail and method of securing thermocouple .....                 | 55 |
| Figure 7 – Calorimeter and thermocouple details .....                                                                 | 55 |
| Figure 8 – Typical installation of the calorimeter in the sensor and monitor sensor .....                             | 57 |
| Figure 9 – Supply bus and arc electrodes for panels .....                                                             | 59 |
| Figure 10 – Typical sensor temperature-rise curve with time scale<br>and baseline correction .....                    | 61 |
| Figure 11 – Typical material clamping assembly .....                                                                  | 63 |
| Table 1 – Human tissue tolerance to heat, second-degree burn [1] .....                                                | 35 |
| Table A.1 – Total tearing load .....                                                                                  | 65 |

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## TRAVAUX SOUS TENSION – MATÉRIAUX RÉSISTANT À LA FLAMME POUR VÊTEMENTS DE PROTECTION THERMIQUE DES TRAVAILLEURS – RISQUES D'ARC ÉLECTRIQUE À EFFET THERMIQUE –

### Partie 1: Méthodes d'essai

#### 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 61482-1 a été établie par le comité d'études 78 de la CEI: Travaux sous tension.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

|             |                 |
|-------------|-----------------|
| FDIS        | Rapport de vote |
| 78/406/FDIS | 78/432/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.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

L'annexe B est donnée uniquement à titre d'information.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**LIVE WORKING –  
FLAME-RESISTANT MATERIALS FOR CLOTHING  
FOR THERMAL PROTECTION OF WORKERS –  
THERMAL HAZARDS OF AN ELECTRIC ARC –****Part 1: Test methods**

## 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 61482-1 has been prepared by IEC technical committee 78:  
Live working.

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

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 78/406/FDIS | 78/432/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.

Annex A forms an integral part of this standard.

Annex B is for information only.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2004.  
A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61482-1:2002

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2004. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61482-1:2002

Withdrawn

# **TRAVAUX SOUS TENSION – MATÉRIAUX RÉSISTANT À LA FLAMME POUR VÊTEMENTS DE PROTECTION THERMIQUE DES TRAVAILLEURS – RISQUES D'ARC ÉLECTRIQUE À EFFET THERMIQUE –**

## **Partie 1: Méthodes d'essai**

### **1 Domaine d'application**

La présente partie de la CEI 61482 spécifie les méthodes d'essai pour mesurer la valeur de performance thermique d'arc des matériaux destinés à être utilisés pour les vêtements résistant à la chaleur et à la flamme, pour les travailleurs exposés aux arcs électriques.

Ces méthodes d'essai mesurent la valeur de performance thermique d'arc des matériaux qui répondent aux prescriptions suivantes: longueur de carbonisation inférieure à 100 mm et durée de combustion inférieure à 2 s après le retrait de la flamme lors de l'essai du matériel de dessus, selon la méthode B (allumage par le bord inférieur) de l'ISO 15025, et la longueur de carbonisation mesurée selon une méthode ISO modifiée décrite à l'annexe A.

Ces méthodes sont utilisées pour mesurer et décrire les propriétés des matériaux, des produits et des assemblages ou des vêtements, en réponse à l'énergie de convection et à l'énergie rayonnante générées par un arc électrique à l'air libre dans des conditions contrôlées de laboratoire.

Les matériaux utilisés dans ces méthodes ont la forme d'éprouvettes plates pour la méthode A et de chemises pour la méthode B. La méthode A est utilisée pour mesurer la réaction du tissu à l'exposition à l'arc lors de l'essai en une configuration plane. La méthode B est utilisée pour mesurer une réponse du vêtement à une exposition à l'arc, y compris tous les éléments issus du vêtement, le fil de couture et les fixations, les tissus et tout autre accessoire lors d'un essai sur un torse de mannequin.

Il incombe à l'utilisateur de cette partie de la CEI 61482 d'établir des pratiques sanitaires et de sécurité appropriées avant utilisation. Pour des précautions spécifiques, voir l'article 7.

NOTE Une méthode d'essai alternative est en cours d'élaboration pour mesurer les mêmes propriétés au moyen d'un arc dirigé et contraint. Cette méthode d'essai sera ajoutée à cette partie de la CEI 61482 lorsque l'équivalence à la méthode A aura été démontrée.

### **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).

ISO 3175-2:1998, *Textiles – Nettoyage à sec et finition – Partie 2: Modes opératoires au tétrachloroéthylène*

ISO 6330:2000, *Textiles – Méthodes de lavage et de séchage domestiques en vue des essais des textiles*

ISO 15025:2000, *Vêtements de protection – Protection contre la chaleur et les flammes – Méthode d'essai pour la propagation de flamme limitée*

# **LIVE WORKING – FLAME-RESISTANT MATERIALS FOR CLOTHING FOR THERMAL PROTECTION OF WORKERS – THERMAL HAZARDS OF AN ELECTRIC ARC –**

## **Part 1: Test methods**

### **1 Scope**

This part of IEC 61482 specifies test methods to measure the arc thermal performance value of materials intended for use in heat- and flame-resistant clothing for workers exposed to electric arcs.

These test methods measure the arc thermal performance value of materials which meet the following requirements: less than 100 mm char length and less than 2 s afterflame after removal from flame, when tested in accordance with ISO 15025, procedure B (bottom-edge ignition) on the outer material, and the char length measured using a modified ISO method as described in annex A.

These methods are used to measure and describe the properties of materials, products, assemblies or garments in response to convective and radiant energy generated by an electric arc in open air under controlled laboratory conditions.

The materials used in these methods are in the form of flat specimens for method A and shirts for method B. Method A is used to measure fabric response to arc exposure when tested in a flat configuration. Method B is used to measure clothing response to an arc exposure including all the garment findings, sewing thread, fastenings, fabrics and other accessories when tested on a mannequin torso.

It is the responsibility of the user of this part of IEC 61482 to establish appropriate safety and health practices prior to use. For specific precautions, see clause 7.

**NOTE** An alternative test method is under development to measure the same properties using a constrained and directed arc. This method will be added to this part of IEC 61482 when the equivalence to method A has been demonstrated.

### **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.

ISO 3175-2:1998, *Textiles – Dry cleaning and finishing – Part 2: Procedures for tetrachloroethene*

ISO 6330:2000, *Textiles – Domestic washing and drying procedures for textile testing*

ISO 15025:2000, *Protective clothing – Protection against heat and flame – Method of test for limited flame spread*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61482, les définitions suivantes s'appliquent.

#### 3.1

##### **durée d'arc**

durée de temps de l'arc, en s

#### 3.2

##### **énergie d'arc**, *vidt*

somme des valeurs de tension d'arc instantanées multipliées par les valeurs de courant d'arc instantanées multipliées par les valeurs de temps incrémentielles au cours de l'arc, en J ou kW·s

#### 3.3

##### **intervalle d'arc**

distance entre les électrodes d'arc, en mm

#### 3.4

##### **valeur de performance thermique de l'arc (ATPV)**

dans les essais d'arc, énergie incidente sur une surface du tissu ou du matériau qui aboutit à un transfert de chaleur suffisant à travers le tissu ou le matériau pour provoquer le déclenchement d'une brûlure au second degré sur la base de la courbe de Stoll, en kW·s/m<sup>2</sup>

#### 3.5

##### **tension d'arc**

tension aux bornes de l'arc, V

#### 3.6

##### **courant asymétrique d'arc**

courant d'arc total produit pendant la fermeture; il comprend une composante continue et une composante symétrique, A

#### 3.7

##### **éventration**

dans les essais d'arc électrique, réponse du matériau mise en évidence par la formation d'un ou de plusieurs trous dans le matériau qui peuvent permettre à la flamme de passer à travers le matériau

NOTE On considère que l'éprouvette présente une éventration lorsqu'un trou quelconque a une surface d'au moins 300 mm<sup>2</sup> ou qu'une de ses dimensions est d'au moins 25 mm. Un seul fil à travers l'ouverture ou le trou ne réduit pas la taille du trou pour les besoins de la présente partie de la CEI 61482.

#### 3.8

##### **énergie de seuil à l'éventration**, $E_{BT}$

valeur d'exposition à l'énergie incidente la plus élevée sur une surface du tissu ou du matériau au-dessous de la courbe de Stoll où les éprouvettes ne présentent pas d'éventration, en kW·s/m<sup>2</sup>

#### 3.9

##### **carbonisation**

formation d'un résidu charbonneux résultant d'une pyrolyse ou d'une combustion incomplète

#### 3.10

##### **fermeture**

point sur la forme d'onde du courant d'alimentation où l'arc est amorcé

### 3 Terms and definitions

For the purpose of this part of IEC 61482, the following definitions apply.

#### 3.1

##### **arc duration**

time duration of the arc, in s

#### 3.2

##### **arc energy, $\sum v_i i t_i$**

sum of the instantaneous arc voltage values multiplied by the instantaneous arc current values multiplied by the incremental time values during the arc, in J or kW·s

#### 3.3

##### **arc gap**

distance between the arc electrodes, in mm

#### 3.4

##### **arc thermal performance value (ATPV)**

in arc testing, incident energy on a fabric or material that results in sufficient heat transfer through the fabric or material to cause the onset of a second-degree burn based on the Stoll curve, in kW·s/m<sup>2</sup>

#### 3.5

##### **arc voltage**

voltage across the arc, V

#### 3.6

##### **asymmetrical arc current**

total arc current produced during closure; it includes a direct component and a symmetrical component, A

#### 3.7

##### **breakopen**

in electric arc testing, material response evidenced by the formation of one or more holes in the material which may allow flame to pass through the material

NOTE The specimen is considered to exhibit breakopen when any hole is at least 300 mm<sup>2</sup> in area or at least 25 mm in any dimension. A single thread across the opening or hole does not reduce the size of the hole for the purposes of this part of IEC 61482.

#### 3.8

##### **breakopen threshold energy, $E_{BT}$**

highest incident energy exposure value on a fabric or material below the Stoll curve where the specimens do not exhibit breakopen, in kW·s/m<sup>2</sup>

#### 3.9

##### **charring**

formation of carbonaceous residue as the result of pyrolysis or incomplete combustion

#### 3.10

##### **closure**

point on supply current waveform where the arc is initiated

### 3.11

#### **température de crête delta**

différence entre la température maximale et la température initiale du capteur au cours de l'essai, en °C

### 3.12

#### **égouttement**

lors de l'essai des vêtements résistant à la flamme, réponse du matériau mise en évidence par l'écoulement du polymère de la fibre

### 3.13

#### **fragilisation**

formation d'un résidu cassant résultant d'une pyrolyse ou d'une combustion incomplète

### 3.14

#### **facteur d'atténuation de la chaleur (HAF)**

dans les essais d'arc électrique, pourcentage de l'énergie incidente qui est bloquée par un matériau à un niveau d'énergie incidente égal à l'ATPV

### 3.15

#### **flux de chaleur**

intensité thermique indiquée par la quantité d'énergie transmise par unité de surface et de temps, en kW/m<sup>2</sup>

### 3.16

#### **inflammabilité (inflammable)**

dans une exposition à l'arc électrique, propriété d'un matériau concerné par l'inflammation accompagnée de chaleur et de lumière, et un embrasement continu aboutissant à une surface exposée de l'éprouvette consumée d'au moins 25 %

### 3.17

#### **inflammation**

début de la combustion

### 3.18

#### **capteurs de surveillance**

capteurs montés de chaque côté du panneau ou du mannequin, utilisant les calorimètres décrits en 6.6, non recouverts de tissu et utilisés pour mesurer l'énergie incidente

### 3.19

#### **énergie incidente, $E_i$**

dans les essais d'arc électrique, énergie thermique reçue par unité de surface par suite directe d'un arc électrique, en kW·s/m<sup>2</sup>

NOTE Dans un essai d'arc, l'énergie incidente pour une éprouvette est déterminée à partir de la réponse d'augmentation de la température moyenne des deux capteurs de surveillance adjacents à l'éprouvette.

### 3.20

#### **réponse de matériau**

réponse de matériau à un arc électrique indiquée par les termes suivants: éventration, fusion, égouttement, carbonisation, fragilisation, rétrécissement et inflammation

### 3.21

#### **fusion**

lors de l'essai de vêtements résistant à la flamme, réponse du matériau mise en évidence par le ramollissement du polymère de fibre

**3.11****delta peak temperature**

difference between the maximum temperature and the initial temperature of the sensor during the test, in °C

**3.12****dripping**

in testing flame-resistant clothing, material response evidenced by flowing of the fibre polymer

**3.13****embrittlement**

formation of a brittle residue as the result of pyrolysis or incomplete combustion

**3.14****heat attenuation factor (HAF)**

in electric arc testing, per cent of the incident energy which is blocked by a material at an incident energy level equal to ATPV

**3.15****heat flux**

thermal intensity indicated by the amount of energy transmitted per unit area and time, in kW/m<sup>2</sup>

**3.16****ignitability (ignitable)**

in electric arc exposure, property of a material involving ignition accompanied by heat and light, and continued burning resulting in consumption of at least 25 % of the exposed area of the test specimen

**3.17****ignition**

initiation of combustion

**3.18****monitoring sensors**

sensors mounted on each side of the panel or mannequin, using the calorimeters described in 6.6, not covered by fabric and used to measure incident energy

**3.19****incident energy,  $E_i$** 

in electric arc testing, heat energy received at a unit surface area as a direct result of an electric arc, in kW·s/m<sup>2</sup>

NOTE In an arc test, incident energy for a specimen is determined from the average temperature-rise response of the two monitor sensors adjacent to the test specimen.

**3.20****material response**

material response to an electric arc indicated by the following terms: breakopen, melting, dripping, charring, embrittlement, shrinkage, and ignition

**3.21****melting**

when testing flame-resistant clothing, material response evidenced by softening of the fibre polymer

### 3.22

#### **courant d'arc de crête**

valeur maximale du courant alternatif d'arc, en A

### 3.23

#### **courant d'arc efficace**

valeur efficace du courant alternatif d'arc, en A

### 3.24

#### **capteur**

dispositif réalisé en matériau non conducteur et résistant à la chaleur, dans lequel le calorimètre est encastré

### 3.25

#### **rétrécissement**

lors de l'essai de vêtements résistant à la flamme, réponse du matériau mise en évidence par la réduction de la taille de l'éprouvette

### 3.26

#### **courbe de Stoll**

courbe produite à partir de données sur la tolérance des tissus humains à la chaleur et utilisée pour prédire le déclenchement de blessures liées à une brûlure de second degré (voir tableau 1)

### 3.27

#### **durée jusqu'à la température de crête delta**

durée à partir du commencement de l'amorçage de l'arc jusqu'au moment où est atteinte la température de crête delta, en s

### 3.28

#### **rapport $X/R$**

rapport de la réactance inductive du système à la résistance. Il est proportionnel au rapport  $L/R$  de la constante de temps, et est, de ce fait, indicatif du taux de décroissance de tout décalage en courant continu. Un rapport élevé  $X/R$  correspond à une constante de temps élevée et un taux lent de décroissance

NOTE Pour les définitions d'autres termes liés au textile utilisés dans la présente partie de la CEI 61482, se reporter à l'ASTM D-123 [5]<sup>1)</sup>.

## **4 Principe des méthodes d'essai**

Les deux méthodes déterminent l'énergie incidente qui supposerait une blessure liée à une brûlure au second degré lorsque le ou les matériaux sont exposés à l'énergie thermique d'un arc électrique.

Au cours des essais, la quantité d'énergie thermique transférée par le ou les matériaux est mesurée pendant et après l'exposition à un arc électrique.

Le flux de chaleur de l'exposition et celui transféré par l'(les) éprouvette(s) sont mesurés avec des calorimètres de cuivre. La vitesse à laquelle la température des calorimètres augmente représente une mesure directe de l'énergie thermique reçue.

<sup>1)</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

**3.22****peak arc current**

maximum value of the a.c. arc current, in A

**3.23****r.m.s. arc current**

root mean square of the a.c. arc current, in A

**3.24****sensor**

device made of a non-conductive heat-resistant material in which the calorimeter is mounted

**3.25****shrinkage**

when testing flame-resistant clothing, material response evidenced by reduction in specimen size

**3.26****Stoll curve**

curve produced from data on human tissue tolerance to heat and used to predict the onset of second-degree burn injury (see table 1)

**3.27****time to delta peak temperature**

time from beginning of the initiation of the arc to the time the delta peak temperature is reached, in s

**3.28****X/R ratio**

ratio of system inductive reactance to resistance. It is proportional to the L/R ratio of time constant, and is, therefore, indicative of the rate of decay of any d.c. offset. A large X/R ratio corresponds to a large time constant and a slow rate of decay

NOTE For definitions of other textile terms used in this part of IEC 61482, refer to ASTM D-123 [5]<sup>1)</sup>.

**4 Principle of the test methods**

Both methods determine the incident energy which would predict a second-degree burn injury when the material(s) is(are) exposed to heat energy from an electric arc.

During the tests, the amount of heat energy transferred by the material(s) is measured during and after exposure to an electric arc.

The heat flux of the exposure and that transferred by the test specimen(s) are both measured with copper calorimeters. The rate at which the temperature of the calorimeters increases is a direct measure of the heat energy received.

---

<sup>1)</sup> Figures in square brackets refer to the bibliography.

La performance du matériau concernant cette procédure est déterminée à partir de la quantité de chaleur transférée par l'(les) éprouvette(s).

Les données de transfert de chaleur sont utilisées pour prédire le déclenchement d'une brûlure au second degré en utilisant la courbe de Stoll.

Les procédures incorporent des capteurs de surveillance de l'énergie incidente.

La réponse du matériau doit faire l'objet d'une description supplémentaire en enregistrant les effets observés de l'exposition à l'arc électrique sur les éprouvettes utilisant les termes de 3.20.

## **5 Signification et utilisation des méthodes d'essai**

Les méthodes d'essai mesurent la valeur de la performance thermique de l'arc des matériaux destinés à une utilisation pour les vêtements résistant à la flamme pour les travailleurs exposés aux arcs électriques. Elles sont destinées à la détermination de la valeur de la performance thermique d'un matériau en lui-même ou par comparaison avec d'autres matériaux.

Du fait de la variabilité de l'exposition à l'arc, il peut en résulter des valeurs de transmission de chaleur différentes pour les capteurs individuels. Evaluer les résultats de chaque capteur conformément à l'article 12.

Les méthodes d'essai maintiennent l'éprouvette dans une position statique verticale, et n'impliquent aucun mouvement excepté ceux résultant de l'exposition.

Les méthodes d'essai spécifient un jeu normalisé de conditions d'exposition. Des conditions d'exposition différentes peuvent produire des résultats différents. Outre le jeu normalisé de conditions d'exposition, d'autres conditions représentatives du danger anticipé peuvent être utilisées.

## **6 Appareillage d'essai**

L'appareillage d'essai doit être constitué des éléments suivants:

- barre d'alimentation,
- contrôleur de l'arc,
- enregistreur,
- électrodes d'arc,
- trois panneaux à deux capteurs ou un à trois mannequins à quatre capteurs,
- capteurs de surveillance pour chaque panneau ou mannequin.

### **6.1 Méthode A – Disposition des panneaux à deux capteurs**

Trois panneaux à deux capteurs doivent être utilisés pour chaque essai et répartis à 120°, comme indiqué à la figure 1. De plus, chaque panneau à deux capteurs doit avoir deux capteurs de surveillance. Un capteur de surveillance doit être placé de chaque côté du panneau à deux capteurs, comme l'illustre la figure 2.

Material performance for this procedure is determined from the amount of heat transferred by the specimen(s).

Heat transfer data is used to predict the onset of a second-degree burn using the Stoll curve.

The procedures incorporate incident-energy monitoring sensors.

Material response shall be further described by recording the observed effects of the electric arc exposure on the specimens using the terms in 3.20.

## 5 Significance and use of the test methods

The test methods measure the arc thermal performance value of materials intended for use in flame-resistant clothing for workers exposed to electric arcs. They are intended for the determination of the thermal performance value of a material by itself or in comparison with other materials.

Because of the variability of the arc exposure, different heat transmission values may result for individual sensors. Evaluate the results of each sensor in accordance with clause 12.

The test methods maintain the specimen in a static vertical position and do not involve movement except that resulting from the exposure.

The test methods specify a standard set of exposure conditions. Different exposure conditions may produce different results. In addition to the standard set of exposure conditions, other conditions representative of the expected hazard may be used.

## 6 Test apparatus

The test apparatus shall consist of the following elements:

- supply bus;
- arc controller;
- recorder;
- arc electrodes;
- three two-sensor panels or one to three four-sensor mannequins;
- monitor sensors for each panel or mannequin.

### 6.1 Method A – Arrangement of the two-sensor panels

Three two-sensor panels shall be used for each test and spaced at 120° as shown in figure 1. In addition, each two-sensor panel shall have two monitoring sensors. One monitoring sensor shall be positioned on each side of the two-sensor panel as shown in figure 2.

## 6.2 Constitution d'un panneau

Chaque panneau à deux capteurs et le support de capteur de surveillance doivent être constitués d'un matériau non conducteur et résistant à la chaleur. Chaque panneau à deux capteurs doit être de 200 mm par un minimum de 550 mm, comme l'illustre la figure 2. Chaque panneau à deux capteurs et les capteurs de surveillance doivent être réglables à partir de 200 mm jusqu'à 600 mm depuis la ligne centrale des électrodes d'arc, comme l'illustrent les figures 1 et 3. Deux capteurs doivent être montés dans le panneau, comme le montre la figure 2. Chaque capteur doit être encastré avec la surface du panneau de montage.

## 6.3 Méthode B – Disposition des mannequins

Jusqu'à trois mannequins à quatre capteurs doivent être utilisés pour chaque essai et ils doivent être espacés d'un minimum de 120° comme l'illustre la figure 4. Chaque mannequin doit posséder deux capteurs de surveillance. Un capteur de surveillance doit être placé de chaque côté du mannequin comme l'illustre la figure 5.

NOTE L'espace autour des électrodes d'arc peut dicter le nombre de mannequins utilisés. Il s'avère que deux mannequins fournissent le meilleur espace de travail lorsque l'on habille les mannequins. Il convient de maintenir l'espacement minimal de 120°.

## 6.4 Méthode B – Constitution d'un mannequin

Le torse d'un mannequin mâle, de grande taille (largeur de la poitrine: 1 067 mm  $\pm$  25 mm), constitué de fibre de verre non conductrice doit être utilisé.

Le mannequin doit être dans une position verticale; la tête peut être amovible; les bras doivent être détachables, droits et montés en position verticale pour permettre à l'éprouvette au niveau du thorax de constituer le point le plus proche de la ligne de centre de l'arc. Les bras peuvent être raccourcis à 100 mm pour permettre le montage aisé de l'éprouvette. Le mannequin doit utiliser les capteurs décrits en 6.2 et montés de la même façon que dans la figure 6.

## 6.5 Réponse d'un capteur

La réponse d'un capteur doit être comparée avec la courbe de Stoll. La réponse d'un capteur de surveillance est convertie en énergie incidente en unités de kW·s/m<sup>2</sup> en multipliant l'accroissement de température ( $\Delta T$ ) par le facteur constant 5,65 kW·s/m<sup>2</sup> K.

## 6.6 Constitution d'un calorimètre

Le calorimètre doit être constitué de cuivre de qualité électrique en installant quatre fils de thermocouples dans la disposition illustrée à la figure 7a. Le fil de thermocouple doit être installé dans le calorimètre comme l'indique la figure 7b. La figure 8 présente l'installation type d'un calorimètre dans un capteur et dans un capteur de surveillance. Concernant les expositions d'essai supérieures à 2 512 kW·s/m<sup>2</sup>, on peut utiliser d'autres calorimètres pour les capteurs de surveillance, à condition qu'ils soient étalonnés et présentent une réponse appropriée.

## 6.7 Barre d'alimentation et électrodes

La figure 9 fournit la disposition de la barre d'alimentation et des électrodes d'arc. L'arc doit être dans une position verticale conforme à la figure.

## 6.2 Panel construction

Each two-sensor panel and monitor sensor holder shall be constructed from non-conductive, heat-resistant material. Each two-sensor panel shall be 200 mm by a minimum of 550 mm as shown in figure 2. Each two-sensor panel and the monitoring sensors shall be adjustable from 200 mm to 600 mm from the centre line of the arc electrodes as shown in figures 1 and 3. Two sensors shall be mounted in the panel as shown in figure 2. Each sensor shall be mounted flush with the surface of the mounting board.

## 6.3 Method B – Arrangement of the mannequins

Up to three four-sensor mannequins shall be used for each test and spaced at a minimum of 120° as shown in figure 4. Each mannequin shall have two monitoring sensors. One monitoring sensor shall be positioned on each side of the mannequin as shown in figure 5.

NOTE The space around the arc electrodes may dictate the number of mannequins used. It has been found that two mannequins provide the best working space when dressing the mannequins. The minimum 120° spacing should be maintained.

## 6.4 Method B – Mannequin construction

A male mannequin torso, size large (chest width: 1 067 mm  $\pm$  25 mm), made from non-conductive fibreglass construction shall be used.

The mannequin shall be constructed in an erect posture; the head may be removable; the arms shall be detachable, straight and mounted in a vertical position to allow the test specimen at the chest to be the closest point to the centre line of the arc. The arms may be shortened to 100 mm to permit ease of specimen mounting. The mannequin shall use the sensors described in 6.2 and mounted as shown in figure 6.

## 6.5 Sensor response

Sensor response shall be compared with the Stoll curve. Monitor sensor response is converted to incident energy in units of kW·s/m<sup>2</sup> by multiplying the temperature increase ( $\Delta T$ ) by the constant factor 5,65 kW·s/m<sup>2</sup> K.

## 6.6 Calorimeter construction

The calorimeter shall be constructed from electrical grade copper with four thermocouple wires installed in the arrangement as shown in figure 7a. The thermocouple wire shall be installed in the calorimeter as shown in figure 7b. Figure 8 gives a typical installation of the calorimeter in the sensor and monitor sensor. For test exposures above 2 512 kW·s/m<sup>2</sup> only, alternate calorimeters for the monitor sensors may be used, provided they are calibrated and have an appropriate response.

## 6.7 Supply bus and electrodes

The arrangement of the supply bus and arc electrodes is shown in figure 9. The arc shall be in a vertical position as shown.

### 6.7.1 Electrodes

Les électrodes sont constituées de tiges en acier inoxydable (alliage de type 303 ou de type 304) d'un diamètre et d'une longueur adaptés qui soient pratiques pour les énergies d'essai utilisées.

### 6.7.2 Fil fusible

Un fil fusible, raccordant les extrémités des pointes d'électrodes opposées, est utilisé pour amorcer l'arc. Ce fil est consommé pendant l'essai; par conséquent, sa masse doit être très réduite pour diminuer le risque de brûlures avec du métal fondu. Ce fil fusible doit être un fil de cuivre d'un diamètre nominal de 0,05 mm.

## 6.8 Alimentation électrique

Il convient que l'alimentation électrique soit suffisante pour tenir compte de la décharge d'un arc électrique avec un intervalle pouvant atteindre 305 mm, avec un courant d'arc alternatif compris entre 4 000 A et 25 000 A et une durée d'arc comprise entre 0,05 s et 1,5 s à partir d'une alimentation à fréquence industrielle. L'impédance de source doit être beaucoup plus élevée que l'impédance de l'arc de façon à ce que le courant efficace ne varie pas durant l'essai.

## 6.9 Commande du circuit d'essai

D'un essai à l'autre, la durée d'arc doit être la même à 0,2 période près. D'un essai à l'autre les courants d'arc ne doivent pas s'écarter de plus de 2 %. L'interrupteur de fermeture doit être capable d'une fermeture en tout point de l'onde de sorte que l'angle de fermeture ne varie pas d'un essai à l'autre. Le courant d'arc, sa durée et sa tension doivent être mesurés. Le courant d'arc, sa durée, sa tension et son énergie doivent être présentés sous forme de graphique et stockés sous forme numérique.

## 6.10 Système d'acquisition de données

Le système doit être capable d'enregistrer la tension, le courant et 12 sorties de calorimètre. Les données de température doivent être acquises à un taux d'échantillonnage minimal de 50 ms/voie pendant 30 s. Il convient de faire l'acquisition des données de courant et de tension à une vitesse minimale de 2 kHz. Le système d'acquisition doit être en mesure d'enregistrer des températures pouvant atteindre 250 °C avec une sensibilité suffisante pour lire la réponse du capteur à 1 °C pour un système à couche unique. Pour les systèmes à couches multiples, le système doit pouvoir enregistrer des températures pouvant atteindre 400 °C. Le système doit posséder une résolution de 0,1 °C et une précision de 1,5 °C.

NOTE Etant donné la nature de ce type d'essai, on recommande l'utilisation de dispositifs isolants sur les sorties de calorimètres en vue de protéger le système d'acquisition.

## 7 Précautions

L'appareillage d'essai décharge de grandes quantités d'énergie. De plus, l'arc électrique produit une lumière très intense. Des précautions doivent être prises pour protéger le personnel qui travaille dans la zone. Les travailleurs doivent se placer derrière des barrières de protection ou à une distance de sécurité pour prévenir l'électrocution et le contact avec le métal fondu. Les travailleurs souhaitant voir l'essai doivent porter des verres très teintés. Si l'essai est exécuté à l'intérieur, il doit y avoir une méthode pour ventiler la zone afin d'évacuer les produits de combustion et les fumées. Cette ventilation ne doit pas être mise en marche avant la fin de l'essai. Les courants d'air peuvent perturber l'arc réduisant le flux de chaleur à la surface des panneaux de capteurs. L'appareillage d'essai doit être blindé par des matériaux non combustibles adaptés à cette zone d'essai. L'appareillage d'essai doit être isolé de la terre pour la tension d'essai appropriée.

### 6.7.1 Electrodes

The electrodes are made from a stainless steel rod (alloy type 303 or type 304) of a suitable diameter and length which are practical for the test energies being utilized.

### 6.7.2 Fuse wire

A fuse wire, connecting the ends of opposing electrodes tips, is used to initiate the arc. This wire is consumed during the test; therefore, its mass shall be very small to reduce the chance of molten metal burns. The fuse wire shall be a copper wire with a nominal diameter of 0,05 mm.

### 6.8 Electric supply

The electric supply should be sufficient to allow for the discharge of an electric arc with a gap of up to 305 mm, with alternating arc current from 4 000 A up to 25 000 A and with arc duration from 0,05 s up to 1,5 s from a power-frequency supply. The source impedance shall be much higher than the arc impedance so that the r.m.s. current does not vary during the test.

### 6.9 Test-circuit control

The arc duration shall be within 0,2 cycle from test to test. The arc currents shall not deviate by more than 2 % from test to test. The make switch shall be capable of point on wave closing such that the closing angle will not deviate from test to test. The arc current, duration and voltage shall be measured. The arc current, duration, voltage and energy shall be displayed in graph form and stored in digital format.

### 6.10 Data acquisition system

The system shall be capable of recording voltage, current, and 12 calorimeter outputs. The temperature data shall be acquired at a minimum sampling rate of 50 ms/channel for 30 s. The current and voltage data should be acquired at a minimum rate of 2 kHz. The acquisition system shall be able to record temperatures to 250 °C with sufficient sensitivity to read sensor response to 1 °C for a single-layer system. For multiple-layer systems, the system shall be able to record temperatures to 400 °C. The system shall have a resolution of 0,1 °C and an accuracy of 1,5 °C.

NOTE Due to the nature of this type of testing, the use of isolating devices on the calorimeter outputs to protect the acquisition system is recommended.

## 7 Precautions

The test apparatus discharges large amounts of energy. In addition, the electric arc produces very intense light. Care shall be taken to protect personnel working in the area. Workers shall be behind protective barriers or at a safe distance to prevent electrocution and contact with molten metal. Workers wishing to view the test shall use very heavy tinted glasses. If the test is conducted indoors, there shall be a method to ventilate the area in order to carry away combustion products, smoke and fumes. This ventilation shall not be turned on before the test is completed. Air currents can disturb the arc reducing the heat flux at the surface of the sensor boards. The test apparatus shall be shielded by non-combustible materials suitable for the test area. The test apparatus shall be insulated from ground for the appropriate test voltage.

Dans le cas d'essais extérieurs, des mesures appropriées doivent permettre d'éviter les effets des conditions météorologiques (vent, pluie, etc.).

Les électrodes et l'ensemble calorimètre deviennent chauds au cours de l'essai. L'utilisation de gants de protection est nécessaire lors de la manipulation de ces objets chauds.

Faire preuve de prudence lorsque l'éprouvette s'enflamme ou dégage des gaz combustibles. Un extincteur doit être aisément prêt à être utilisé. S'assurer que le feu subi par les matériaux est totalement éteint.

Immédiatement après chaque essai, l'alimentation électrique doit être coupée de l'appareillage d'essai et de tout autre équipement de laboratoire destiné à produire l'arc, et l'appareillage et tout autre équipement de laboratoire doivent être isolés et mis à la terre. À l'issue de l'acquisition de données, des méthodes appropriées doivent être utilisées pour ventiler la zone d'essai avant que n'entre le personnel. Il convient que personne ne pénètre dans la zone d'essai avant l'évacuation totale des fumées.

## **8 Echantillonnage et préparation des éprouvettes**

### **8.1 Eprouvettes pour les méthodes A et B**

#### **8.1.1 Eprouvettes pour la méthode A: essai avec panneau à deux capteurs**

A partir du matériau à soumettre à l'essai, la taille de l'éprouvette après nettoyage doit être d'au moins 610 mm de longueur et d'au moins 305 mm de largeur. Se reporter à 11.2 pour déterminer le nombre d'échantillons.

Il convient de découper le sens de la longueur dans le sens de la chaîne ou celui de la trame du matériau.

#### **8.1.2 Eprouvettes pour la méthode B: mannequin à quatre capteurs**

Des vêtements spéciaux doivent être réalisés à partir du matériau à soumettre à l'essai, conformément aux normes pour les chemises d'homme à manches longues, grande taille. Pas de poches avant.

Le sens du tissu doit être celui qui est normalement utilisé pour les chemises.

### **8.2 Conditionnement par le nettoyage des éprouvettes**

Nettoyer la quantité prescrite de matériau pour les éprouvettes d'essai. Avant l'essai les matériaux d'essai ou les vêtements doivent être lavés cinq fois selon la méthode 2A de l'ISO 6330 et séchés selon la procédure E (séchage à tambour) sauf indication contraire figurant sur l'étiquette d'entretien. Les matériaux ou les vêtements munis de l'étiquette mentionnant le nettoyage à sec uniquement doivent être nettoyés à sec cinq fois selon l'ISO 3175-2. Il est possible de restaurer l'état plat des échantillons par pressage.

Pour les matériaux qui nécessitent un nettoyage spécial distinct de celui cité plus haut, suivre la pratique recommandée du fabricant et noter la procédure utilisée dans les rapports d'essai.

If outdoor tests are conducted, appropriate means shall be used to prevent the effect of weather conditions (wind, rain, etc.).

The electrodes and calorimeter assembly become hot during testing. Use protective gloves when handling these hot objects.

Use care when the specimen ignites or releases combustible gases. A fire extinguisher shall be readily available. Ensure that the materials are fully extinguished.

Immediately after each test, the electric supply shall be shut off from the test apparatus and all other laboratory equipment used to generate the arc, and the apparatus and other laboratory equipment shall be isolated and grounded. After data acquisition has been completed, appropriate methods shall be used to ventilate the test area before it is entered by personnel. No one should enter the test area prior to exhausting all smoke and fumes.

## **8 Sampling and specimen preparation**

### **8.1 Test specimens for methods A and B**

#### **8.1.1 Test specimens for method A: two-sensor panel test**

From the material to be tested, the size of the post-laundered specimen shall be at least 610 mm long and at least 305 mm wide. Refer to 11.2 to determine the number of samples.

The length direction of the specimen should be cut in the warp or weft direction of the material.

#### **8.1.2 Test specimens for method B: four-sensor mannequin**

Specially produced garments shall be made from the material to be tested, in accordance with standards for men's long-sleeve shirts, size large. No front pockets.

The fabric direction shall be that normally used for shirts.

### **8.2 Laundry conditioning of test specimens**

Laundry the required amount of material for the test specimens. Before testing, the test materials or clothing shall be washed five times in accordance with ISO 6330, method 2A, and drying by procedure E (tumble drying) unless otherwise specified in the care labelling. Materials or clothing which are labelled as dry cleanable only shall be dry cleaned five times in accordance with ISO 3175-2. Samples may be restored to a flat condition by pressing.

For those materials that require special cleaning other than the above, follow the manufacturer's recommended practice and note the procedure used in the test reports.

## 9 Etalonnage

### 9.1 Préétalonnage du système d'acquisition de données

Le système d'acquisition de données doit être étalonné en utilisant un appareil d'étalonnage/simulateur de thermocouple. Les étalonnages pourront ainsi être effectués en de multiples points et à des niveaux supérieurs à 100 °C. Le système d'acquisition de données doit être étalonné. Étant donné la nature des essais, des vérifications fréquentes de l'étalonnage sont recommandées.

### 9.2 Vérification de l'étalonnage du calorimètre

Les calorimètres doivent être vérifiés en vue du contrôle de leur fonctionnement.

Après avoir effectué le placement final dans la cellule d'essai de tous les panneaux d'essai/mannequins et des capteurs de surveillance, exposer chaque calorimètre à une source d'énergie rayonnante fixe pendant 30 s. Placer un projecteur de 500 W à 267 mm du calorimètre. Le projecteur doit être centré sur le calorimètre et perpendiculaire à celui-ci. Mesurer et tracer sous forme de graphique l'augmentation de la température de chaque calorimètre et la réponse du système. A 30 s, aucune réponse de calorimètre ne doit varier de plus de 4 °C de la moyenne de l'ensemble des 12 calorimètres. Tout calorimètre ne satisfaisant pas à cette prescription doit être suspecté de raccordement défectueux et il doit être remplacé.

### 9.3 Etalonnage de l'exposition à l'arc

Avant chaque étalonnage, placer les électrodes de l'appareillage d'essai de manière à produire un espace inter-électrode de 300 mm. La face des capteurs de surveillance doit être parallèle et perpendiculaire à la ligne médiane des électrodes. Le point milieu de l'espace inter-électrode doit se trouver à la même hauteur que le point central des capteurs de surveillance (voir figure 3). Raccorder le fil fusible à l'extrémité d'une électrode en effectuant plusieurs enroulements et torsions, puis à l'extrémité de l'autre électrode par la même méthode. Le fil fusible doit être tiré fermement et l'excès doit être coupé. Il convient de régler l'appareillage d'essai pour produire le courant d'arc et sa durée désirés.

### 9.4 Etalonnage de l'appareillage pour les panneaux à deux capteurs, les mannequins et les capteurs de surveillance

Placer chaque panneau à deux capteurs ou mannequin de sorte que la surface de chacun soit à 305 mm de la ligne médiane des électrodes, parallèle et perpendiculaire à celle-ci. Régler le courant symétrique d'exposition à l'arc à l'intensité d'essai, et la durée d'arc à 10 périodes.

Décharger l'arc, déterminer l'augmentation maximale de température mesurée par chaque capteur et multiplier par la constante du capteur qui est de 5,65 kW·s/m<sup>2</sup> K pour obtenir l'énergie incidente (chaleur totale) en kW·s/m<sup>2</sup> mesurée par chaque capteur.

Comparer la lecture du capteur la plus élevée et la valeur moyenne obtenue pour tous les capteurs, par exemple avec le résultat théorique de 423 kW·s/m<sup>2</sup> pour l'exposition à l'étalonnage donnée en 11.1. Comparer la valeur thermique totale déterminée par les capteurs à la valeur présentée. La chaleur totale moyenne calculée pour les capteurs doit être d'au moins 60 % de la valeur déterminée par calcul ou celle qui est présentée. La chaleur totale la plus élevée mesurée par l'un ou l'autre capteur ne doit pas différer de plus de 10 % de la valeur calculée. Si ces valeurs ne sont pas obtenues, inspecter le montage d'essai et corriger les problèmes. Il convient qu'un essai d'étalonnage de l'exposition à l'arc soit effectué au niveau d'essai désiré après chaque réglage, et préalablement au commencement et à la fin de chaque jour d'essai et après tout réglage d'équipement ou défaillance de celui-ci.

## 9 Calibration

### 9.1 Data acquisition system precalibration

The data acquisition system shall be calibrated by using a thermocouple calibrator/simulator. This will allow calibrations to be made at multiple points and at levels above 100 °C. The data acquisition system shall be calibrated. Due to the nature of the tests, frequent calibration checks are recommended.

### 9.2 Calorimeter calibration check

Calorimeters shall be checked to verify their operation.

After final placing within the test cell of all test panels/mannequins and monitor sensors, expose each calorimeter to a fixed radiant energy source for 30 s. Place a 500 W spotlight 267 mm from the calorimeter. The spot shall be centred on, and perpendicular to, the calorimeter. Measure and graph the temperature rise of each calorimeter and system response. At 30 s, no one calorimeter response shall vary by more than 4 °C from the average of all 12 calorimeters. Any calorimeter not meeting this requirement shall be suspected of faulty connections and shall be replaced.

### 9.3 Arc exposure calibration

Prior to each calibration, position the electrodes of the test apparatus to produce a 300 mm gap. The face of the monitor sensors shall be parallel and normal to the centre line of the electrodes. The mid-point of the electrode gap shall be at the same elevation as the centre point of the monitor sensors (see figure 3). Connect the fuse wire to the end of one electrode by making several wraps and twists and then to the end of the other electrode by the same method. The fuse wire shall be pulled tight and the excess trimmed. The test apparatus should be adjusted to produce the desired arc current and duration.

### 9.4 Apparatus calibration for the two-sensor panels, mannequins and monitor sensors

Position each two-sensor panel or mannequin so that the surface of each is 305 mm from, parallel and normal to, the centre line of the electrodes. Set the symmetrical arc exposure current to the test amperage level and the arc duration at 10 cycles.

Discharge the arc, determine the maximum temperature rise for each of the sensors, and multiply by the sensor constant 5,65 kW·s/m<sup>2</sup> K to obtain the incident energy (total heat) in kW·s/m<sup>2</sup> measured by each sensor.

Compare the highest sensor reading and the average value obtained for all sensors; for example, with the theoretical result of 423 kW·s/m<sup>2</sup> for the calibration exposure given in 11.1. Compare the total heat value determined by the sensors to the value shown. The average total heat calculated for the sensors shall be at least 60 % of the value determined by calculation or that shown. The highest measured total heat of any one sensor shall be within 10 % of the calculated value. If these values are not obtained, inspect the test set-up and correct the problems. An arc exposure calibration test should be conducted at the desired test level after each adjustment, and prior to the start and end of each day's testing and after any equipment adjustment or failure.

Du fait que l'arc ne suit pas un trajet équidistant de chaque capteur, les résultats varient. A 8 000 A, la chaleur totale la plus élevée mesurée avec tout capteur doit se situer entre 377 kW·s/m<sup>2</sup> et 461 kW·s/m<sup>2</sup> et la chaleur totale moyenne pour tous les capteurs doit être d'au moins 251 kW·s/m<sup>2</sup>. Si ces valeurs ne sont pas atteintes, vérifier l'étalonnage du système de capteur, les conditions électriques et le montage physique de l'appareillage et renouveler l'exposition d'étalonnage jusqu'à obtention des résultats prescrits.

## 9.5 Confirmation du réglage de l'appareillage d'essai

Confirmer le réglage de l'appareillage d'essai pour chaque essai. Les valeurs consignées doivent être la valeur crête du courant d'arc, la valeur efficace du courant d'arc, la durée d'arc, l'énergie d'arc et la tension d'arc. Un graphique du courant d'arc doit être tracé pour s'assurer de la forme d'onde appropriée. De plus, la température ambiante et l'humidité relative doivent être enregistrées.

## 10 Précautions et entretien de l'appareillage

### 10.1 Reconditionnement de surface

Essuyer la face de chaque capteur immédiatement après chaque essai, tandis qu'il est chaud, pour enlever tous les produits de décomposition qui se condensent et sont susceptibles d'être une source d'erreur future. Si un dépôt se forme et s'il s'avère être plus épais qu'une couche mince de peinture, ou est irrégulier, la surface du capteur nécessite un reconditionnement. Nettoyer soigneusement le capteur refroidi avec de l'acétone ou du solvant de pétrole, en s'assurant de suivre des pratiques de manipulation en toute sécurité. Repeindre la surface avec une couche mince de peinture noire d'apprêt à haute température en atomiseur. Utiliser la même peinture sur tous les capteurs et s'assurer que la peinture est sèche avant de passer à l'essai suivant.

### 10.2 Entretien des panneaux de capteurs et des mannequins

Il est nécessaire de maintenir dans un état sec les panneaux de capteurs et les mannequins. Pour les essais à l'extérieur, ils doivent être couverts au cours de longues périodes entre les essais pour prévenir une augmentation excessive de la température résultant d'une exposition au soleil. Étant donné la nature destructive de l'arc électrique, il convient de les recouvrir de la même peinture que les capteurs. Il convient de renouveler leur revêtement périodiquement pour réduire la détérioration.

## 11 Procédures d'essai

### 11.1 Paramètres d'essai

Les paramètres d'essai doivent correspondre à un courant d'arc de 8 kA ± 1 kA, un espace inter-électrode de 300 mm, des électrodes en acier inoxydable, une distance de 300 mm entre la ligne centrale d'arc et la surface de l'éprouvette.

### 11.2 Ordre des essais

Chaque essai doit être constitué au minimum de trois éprouvettes du même matériau, une pour chacun des trois panneaux à deux capteurs ou pour chacun des mannequins. Pour évaluer un échantillon unique d'un matériau, une série d'un minimum de sept essais doit être effectuée sur une gamme d'énergies incidentes, de sorte que l'augmentation de température moyenne d'au moins 20 % des panneaux à deux capteurs ou des mannequins à quatre capteurs soit supérieure et inférieure à la courbe de Stoll d'au moins 20 %. Pas plus de 10 % des points de données ne doit être supérieur à 10 °C au-dessus ou au-dessous de la courbe de Stoll. Un minimum de 20 points de données, la moyenne des résultats des deux capteurs pour chacun des 20 panneaux (méthode A) ou la moyenne des résultats des quatre capteurs

Because the arc does not follow a path that is equidistant from each sensor, the results vary. At 8 000 A, the highest total heat measured with any sensor shall be between 377 kW·s/m<sup>2</sup> and 461 kW·s/m<sup>2</sup> and the average total heat for all sensors shall be at least 251 kW·s/m<sup>2</sup>. If these values are not achieved, check the calibration of the sensor system, electrical conditions, and the physical set-up of the apparatus and repeat the calibration exposure until the required results are obtained.

## 9.5 Confirmation of test apparatus setting

Confirm the test apparatus setting for each test. Values reported shall be peak arc current, r.m.s. arc current, arc duration, arc energy, and arc voltage. A graph of the arc current shall be plotted to ensure proper waveform. In addition, the ambient temperature and relative humidity shall be recorded.

## 10 Apparatus care and maintenance

### 10.1 Surface reconditioning

Wipe each sensor face immediately after each test, while hot, to remove any decomposition products which condense and could be a source of future error. If a deposit collects and appears to be thicker than a thin layer of paint, or is irregular, the sensor surface requires reconditioning. Carefully clean the cooled sensor with acetone or petroleum solvent, making certain to follow safe handling practices. Repaint the surface with a thin layer of flat, black, high temperature spray paint. Use the same paint on all sensors and ensure that the paint is dry before running the next test.

### 10.2 Care of sensor boards and mannequins

Sensor boards and mannequins shall be kept dry. For outdoor tests, they shall be covered during long periods between tests to prevent excess temperature rise resulting from exposure to the sun. Due to the destructive nature of the electric arc, they should be covered with the same paint as the sensors. They should be re-coated periodically to reduce deterioration.

## 11 Test procedures

### 11.1 Test parameters

Test parameters shall consist of an arc current of 8 kA ± 1 kA, a 300 mm electrode gap, stainless steel electrodes and a 300 mm distance between the arc centre line and the test specimen surface.

### 11.2 Order of tests

Each test shall consist of a minimum of three specimens of the same material, one for each of the three two-sensor panels or one for each of the mannequins. To evaluate a single sample of material, a series of a minimum of seven tests shall be run over a range of incident energies, so that the average temperature rise of at least 20 % of the two-sensor panels or the four-sensor mannequins are above and at least 20 % below the Stoll curve. Not more than 10 % of the data points shall be greater than 10 °C above or below the Stoll curve. A minimum of 20 data points, the average of two sensor results for each of 20 panels (method A), or the average of four sensor results for each of 20 mannequins (method B) is required for data analysis.

pour chacun des 20 mannequins (méthode B) est nécessaire pour l'analyse de données. Si une éventration se produit (voir 3.7), des essais supplémentaires doivent être réalisés de façon à disposer d'un nombre adéquat de points de données. La gamme d'énergie incidente doit être obtenue en augmentant ou en diminuant la durée d'arc (nombre de périodes). Le but de ces essais est d'obtenir une augmentation de la température moyenne pour chaque panneau, qui soit dans la même gamme que la courbe de Stoll.

### 11.3 Température initiale

Régler la température des capteurs comprise entre 25 °C et 35 °C.

Procéder au refroidissement des capteurs après exposition à l'aide d'un jet d'air ou par contact avec une surface froide. Confirmer le fait que les capteurs sont à une température comprise entre 25 °C et 35 °C.

### 11.4 Montage de l'éprouvette

#### 11.4.1 Panneaux de la méthode A

L'éprouvette doit être fixée au panneau de capteurs sans extension du matériau et d'une manière qui permette à l'éprouvette de rétrécir pendant l'exposition à l'arc. On y parvient à l'aide d'un système de serrage du matériau (voir figure 11). Le système de serrage, comprenant quatre brides de fixation, maintient l'éprouvette sur le panneau de capteurs et permet à l'éprouvette de rétrécir pendant l'exposition à l'arc. Chaque bride de fixation dans le système de serrage applique entre 4,4 N et 6,7 N pour fixer le matériau au panneau. D'autres moyens de montage qui répondent à ces objectifs peuvent aussi être utilisés. Si des éprouvettes à couches multiples sont utilisées, elles doivent être montées de manière à représenter une pose normale de confection.

#### 11.4.2 Mannequins de la méthode B

Les éprouvettes doivent être montées de manière à représenter la pose normale de confection. Le mannequin doit porter une éprouvette, et ensuite tous les boutons doivent être fermés. Une masse de 1 500 g de la forme d'un demi-cercle doit être fixé à l'ourlet inférieur de l'éprouvette à l'aide de cinq agrafes sur la masse en demi-cercle. L'éprouvette doit être lissée sur la partie avant du mannequin et le matériau en excès doit être rassemblé derrière le mannequin. Les bras doivent pendre sur les côtés du mannequin et ne doivent pas avancer plus près vers l'arc que la surface du thorax.

### 11.5 Données d'éprouvette

Consigner les données d'éprouvette, y compris

- le numéro d'identification;
- l'ordre de pose en énumérant d'abord la couche extérieure;
- le type de matériau;
- le poids réel de base;
- le type de tissage/maille;
- la couleur;
- le nombre d'éprouvettes à l'essai.

If breakopen occurs (see 3.7), extra tests shall be run to provide an adequate number of data points. The incident energy range shall be achieved by increasing or decreasing the arc duration (cycles). The purpose of these tests is to achieve an average temperature rise for each panel, which is in the same range as the Stoll curve.

### 11.3 Initial temperature

Adjust the temperature of the sensors to between 25 °C and 35 °C.

Cool the sensors after exposure with a jet of air or by contact with a cold surface. Confirm that the sensors are at a temperature between 25 °C and 35 °C.

### 11.4 Specimen mounting

#### 11.4.1 Method A panels

The specimen shall be fixed to the sensor board without stretching the material and in a manner that permits the specimen to shrink during arc exposure. This has been achieved with a material clamping system (see figure 11). The clamping system, consisting of four clamps, holds the specimen to the sensor board and allows the specimen to shrink during arc exposure. Each clamp within the clamping system applies between 4,4 N and 6,7 N to secure the material to the panel. Other means of mounting, which meet the above objectives, may also be employed. If multiple-layer specimens are used, they shall be mounted in a manner that represents normal layering of wearing apparel.

#### 11.4.2 Method B mannequins

The specimens shall be mounted in a manner that represents normal layering of wearing apparel. The mannequin shall be dressed in a test specimen with all the buttons fastened. A 1 500 g mass in the shape of a semicircle shall be attached to the folded bottom edge of the specimen with five clips on the semicircle mass. The test specimen shall be smoothed over the front of the mannequin and excess material gathered behind the mannequin. The arms shall hang at the side of the mannequin and shall not protrude closer to the arc than the chest area.

### 11.5 Specimen data

Record specimen data including

- identification number;
- order of layering with outer layer listed first;
- material type;
- actual basis weight;
- weave/knit type;
- colour;
- number of specimens tested.

## 11.6 Protocole d'essai

Monter le fil fusible sur les électrodes.

Prendre toutes les précautions de sécurité et s'assurer que toutes les personnes se trouvent dans un lieu sûr.

Exposer les éprouvettes à l'arc électrique.

Interrompre l'alimentation électrique, ventiler l'aire d'essai à l'issue de la période d'acquisition des données et appliquer les terres de protection (voir article 7).

Eteindre toutes les flammes ou les feux, sauf si on a déterminé à l'avance de laisser brûler les éprouvettes jusqu'à ce qu'elles soient consumées.

Enregistrer les données thermiques et électriques et la réponse du matériau comme prescrit à l'article 13.

Inspecter et reconditionner les capteurs si nécessaire et régler les électrodes à la position et l'intervalle appropriés.

## 12 Interprétation des résultats

### 12.1 Transfert de chaleur

#### 12.1.1 Détermination du temps zéro

Etant donné le bruit électrique typiquement associé à la réalisation d'essais de ce type, il est difficile d'obtenir un signal de déclenchement fiable à l'amorçage de l'arc. Cependant, l'instant d'amorçage de l'arc peut être déterminé de façon fiable pour chaque essai grâce à l'analyse suivante.

Pour chaque courbe de capteur, tracer la différence entre la courbe et une ligne dessinée depuis le début du flux de données vers un point sur la région de température croissante de la courbe. Trouver le maximum de ce tracé différentiel. Le point auquel ce maximum se produit est la meilleure estimation de l'instant d'amorçage de l'arc pour ce capteur. Ces points d'amorçage d'arc sont habituellement très compatibles au cours d'un essai, mais la valeur médiane de ces points pour tous les capteurs doit de préférence être utilisée en tant que point d'amorçage pour tous les capteurs.

NOTE D'autres méthodes satisfaisantes sont disponibles pour la détermination de l'instant zéro et peuvent être utilisées.

#### 12.1.2 Traçé de la réponse du capteur

Une fois déterminé l'instant d'amorçage, on peut établir une moyenne des données rassemblées jusqu'à l'instant d'amorçage pour obtenir une ligne de référence pour chaque courbe de capteur. La ligne de référence de chaque courbe individuelle est ensuite soustraite de chacun des points de données pour produire une courbe d'augmentation de la température basée sur zéro. En ayant déterminé l'instant d'amorçage et en connaissant le temps d'échantillonnage, la courbe de l'augmentation de température peut être tracée à l'aide de l'échelle de temps correcte (voir figure 10). Ces procédures peuvent être aisément automatisées dans un tableur.

## 11.6 Test protocol

Mount the fuse wire on electrodes.

Exercise all safety precautions and ensure all persons are in a safe area.

Expose test specimens to the electric arc.

Shut off the electric supply, ventilate the test area at the completion of the data acquisition period and apply the protective grounds (see clause 7).

Extinguish any flames or fire, unless it was predetermined to let the specimen(s) burn until consumed.

Record the thermal and electrical data and material response as required in clause 13.

Inspect and recondition the sensors, if required, and adjust the electrodes to their correct position and gap.

## 12 Interpretation of results

### 12.1 Heat transfer

#### 12.1.1 Determining time zero

Due to the electrical noise typically associated with conducting tests of this type, it is difficult to get a reliable trigger signal at the initiation of the arc. The starting time of the arc can be reliably determined, however, for each test by using the following analysis.

For each sensor's curve, plot the difference between the curve and a line drawn from the start of the data stream to some point on the rising temperature region of the curve. Find the maximum of this difference plot. The point at which this maximum occurs is the best estimate of the arc initiation time for that sensor. These arc initiation points are usually very consistent within a test, but the median of these points for all sensors should be used as the initiation point for all of the sensors.

NOTE Other satisfactory methods are available to determine time zero and may be utilized.

#### 12.1.2 Plotting sensor response

Once the initiation point is determined, the data collected up to the initiation point can be averaged to obtain a baseline for each sensor curve. The baseline of each individual curve is then subtracted from each of the data points to yield a zero-based temperature-rise curve. With the initiation point determined, and the sampling time known, the temperature-rise curve can be plotted with the correct time scale (see figure 10). These procedures can easily be automated in a spreadsheet.

### 12.1.3 Réponse du capteur par rapport à la courbe de Stoll

La courbe de Stoll est définie par les valeurs du tableau 1. Superposer la courbe de Stoll au tracé des réponses du capteur. Créer également un fichier de données qui interpole entre les points de données de la courbe de Stoll du tableau 1 de sorte que les données de la courbe de Stoll soient disponibles à chaque intervalle de temps auquel sont consignées les données d'augmentation de la température.

**Tableau 1 – Tolérance des tissus humains à la chaleur et aux brûlures du second degré [1]**

| Durée d'exposition | Flux thermique    | Chaleur totale      | Thermocouple constantan/fer équivalent au calorimètre |             |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|-------------|
|                    |                   |                     | $\Delta T$ °C                                         | $\Delta mV$ |
| s                  | kW/m <sup>2</sup> | kW·s/m <sup>2</sup> |                                                       |             |
| 1                  | 50                | 50                  | 8,9                                                   | 0,46        |
| 2                  | 31                | 61                  | 10,8                                                  | 0,57        |
| 3                  | 23                | 69                  | 12,2                                                  | 0,63        |
| 4                  | 19                | 75                  | 13,3                                                  | 0,69        |
| 5                  | 16                | 80                  | 14,1                                                  | 0,72        |
| 6                  | 14                | 85                  | 15,1                                                  | 0,78        |
| 7                  | 13                | 88                  | 15,5                                                  | 0,80        |
| 8                  | 11,5              | 92                  | 16,2                                                  | 0,83        |
| 9                  | 10,6              | 95                  | 16,8                                                  | 0,86        |
| 10                 | 9,8               | 98                  | 17,3                                                  | 0,89        |
| 11                 | 9,2               | 101                 | 17,8                                                  | 0,92        |
| 12                 | 8,6               | 103                 | 18,2                                                  | 0,94        |
| 13                 | 8,1               | 106                 | 18,7                                                  | 0,97        |
| 14                 | 7,7               | 108                 | 19,1                                                  | 0,99        |
| 15                 | 7,4               | 111                 | 19,7                                                  | 1,02        |
| 16                 | 7,0               | 113                 | 19,8                                                  | 1,03        |
| 17                 | 6,7               | 114                 | 20,2                                                  | 1,04        |
| 18                 | 6,4               | 116                 | 20,6                                                  | 1,06        |
| 19                 | 6,2               | 118                 | 20,8                                                  | 1,08        |
| 20                 | 6,0               | 120                 | 21,2                                                  | 1,10        |
| 25                 | 5,1               | 128                 | 22,6                                                  | 1,17        |
| 30                 | 4,5               | 134                 | 23,8                                                  | 1,23        |

A partir des données d'augmentation de la température pour les deux capteurs sur chaque panneau ou les quatre capteurs sur chaque mannequin, créer une courbe de l'augmentation de température moyenne ( $rT_{avg}$ ). Comparer cette courbe,  $rT_{avg}$  pour chaque panneau ou chaque mannequin à la courbe de Stoll.

Pour les courbes de  $rT_{avg}$  qui sont supérieures à la courbe de Stoll, enregistrer la différence maximale en degrés Celsius entre la courbe de  $rT_{avg}$  et la courbe de Stoll. Ces valeurs sont de signe positif indiquant que les courbes de  $rT_{avg}$  sont supérieures à la courbe de Stoll. Etiqueter cette valeur positive  $r_{Stoll,avg}$  pour la différence maximale entre la courbe de Stoll et la courbe de  $rT_{avg}$ .

### 12.1.3 Sensor response versus Stoll curve

The Stoll curve is defined by the values in table 1. Overlay the Stoll curve on the plot of the sensor responses. Create a data file which interpolates between the Stoll curve data points in table 1 so that Stoll curve data is available at each time interval at which temperature rise data is recorded.

**Table 1 – Human tissue tolerance to heat, second-degree burn [1]**

| Exposure time | Heat flux         | Total heat          | Calorimeter equivalent iron/constantan thermocouple |             |
|---------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|-------------|
|               |                   |                     | $\Delta T$ °C                                       | $\Delta mV$ |
| s             | kW/m <sup>2</sup> | kW·s/m <sup>2</sup> |                                                     |             |
| 1             | 50                | 50                  | 8,9                                                 | 0,46        |
| 2             | 31                | 61                  | 10,8                                                | 0,57        |
| 3             | 23                | 69                  | 12,2                                                | 0,63        |
| 4             | 19                | 75                  | 13,3                                                | 0,69        |
| 5             | 16                | 80                  | 14,1                                                | 0,72        |
| 6             | 14                | 85                  | 15,1                                                | 0,78        |
| 7             | 13                | 88                  | 15,5                                                | 0,80        |
| 8             | 11,5              | 92                  | 16,2                                                | 0,83        |
| 9             | 10,6              | 95                  | 16,8                                                | 0,86        |
| 10            | 9,8               | 98                  | 17,3                                                | 0,89        |
| 11            | 9,2               | 101                 | 17,8                                                | 0,92        |
| 12            | 8,6               | 103                 | 18,2                                                | 0,94        |
| 13            | 8,1               | 106                 | 18,7                                                | 0,97        |
| 14            | 7,7               | 108                 | 19,1                                                | 0,99        |
| 15            | 7,4               | 111                 | 19,7                                                | 1,02        |
| 16            | 7,0               | 113                 | 19,8                                                | 1,03        |
| 17            | 6,7               | 114                 | 20,2                                                | 1,04        |
| 18            | 6,4               | 116                 | 20,6                                                | 1,06        |
| 19            | 6,2               | 118                 | 20,8                                                | 1,08        |
| 20            | 6,0               | 120                 | 21,2                                                | 1,10        |
| 25            | 5,1               | 128                 | 22,6                                                | 1,17        |
| 30            | 4,5               | 134                 | 23,8                                                | 1,23        |

From the temperature rise data for the two sensors on each panel or the four sensors on each mannequin, create an average temperature-rise curve ( $rT_{avg}$ ). Compare this curve,  $rT_{avg}$  for each panel or mannequin with the Stoll curve.

For the  $rT_{avg}$  curves which are above the Stoll curve, record the maximum difference in degrees Celsius between the  $rT_{avg}$  curve and the Stoll curve. These values will be positive in sign indicating the  $rT_{avg}$  curves are above the Stoll curve. Label this positive value  $r_{Stoll,avg}$  for the maximum difference between the Stoll curve and the  $rT_{avg}$  curve.

Pour les courbes de  $rT_{avg}$  qui sont inférieures à la courbe de Stoll, consigner la différence minimale en degrés Celsius entre la courbe de  $rT_{avg}$  et la courbe de Stoll. Ces valeurs sont de signe négatif indiquant que les courbes de  $rT_{avg}$  sont inférieures à la courbe de Stoll. Etiqueter cette valeur négative  $r_{Stoll,avg}$  pour la différence minimale entre la courbe de Stoll et la courbe de  $rT_{avg}$ .

#### 12.1.4 Réponses du capteur de surveillance de l'énergie incidente ( $E_i$ )

Pour chaque panneau ou mannequin exposé à l'arc, calculer la moyenne de l'augmentation maximale,  $rT_{avg,max}$ , pour les deux capteurs de surveillance adjacents. Convertir  $rT_{avg,max}$  en  $kW \cdot s/m^2$  en multipliant par la constante de conversion du calorimètre de  $5,65 kW \cdot s/m^2 K$  pour déterminer l'énergie d'exposition incidente,  $E_i$ , pour chaque panneau ou mannequin exposé à l'arc.

#### 12.1.5 Détermination des valeurs de performances thermiques de l'arc

Pour chaque panneau ou mannequin, tracer la valeur positive ou la valeur négative de  $r_{Stoll,avg}$  en tant qu'axe horizontal et  $E_i$  en tant qu'axe vertical. Pour chaque exposition à l'arc, les trois panneaux fournissent trois points de données, les mannequins fournissent de un à trois points de données (en fonction du nombre de mannequins utilisés), de  $r_{Stoll,avg}$  en fonction de  $E_i$ . Afin de posséder des données suffisantes pour l'analyse, au moins 20 points de données, représentant 20 panneaux ou 20 mannequins, doivent être obtenus avec un pourcentage au moins égal à 20 % de données positives et au moins égal à 20 % de données représentant des valeurs négatives. Pas plus de 10 % des points de données ne doivent s'écarter de plus de 5 °C de la courbe de Stoll. Tous les points de données satisfaisant à ces critères doivent être utilisés dans le calcul de ATPV et HAF. Si ATPV ne peut être calculé du fait d'une éventration, utiliser la méthode d'analyse de données de 12.2.

#### 12.1.6 Calcul des intervalles de confiance

Créer la droite de régression pour les points de données de  $r_{Stoll,avg}$ , et déterminer les intervalles de confiance à 95 % pour la moyenne et pour les valeurs de points. Pour calculer les intervalles de confiance, estimer la variance (sigma au carré) par:

$$s^2 = \frac{S_R}{n - 2}$$

où  $S_R = \Sigma(y - \bar{y})^2 - b^2 \Sigma(x - \bar{x})^2 = \Sigma(y - \bar{y})^2 - b \Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})$

Ensuite la variance de l'estimation de  $y$  à un  $x_0$  particulier peut être calculée à partir des expressions suivantes:

$$\hat{V}(\hat{y}_0)_{\text{point}} = \left[ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\Sigma(x - \bar{x})^2} \right] s^2$$

$$\hat{V}(\hat{y}_0)_{\text{avg}} = \left[ \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\Sigma(x - \bar{x})^2} \right] s^2$$

For the  $rT_{avg}$  curves which are below the Stoll curve, record the minimum difference in degrees Celsius between the  $rT_{avg}$  curve and the Stoll curve. These values will be negative in sign indicating the  $rT_{avg}$  curves are below the Stoll curve. Label this negative value  $r_{Stoll,avg}$  for the minimum difference between the Stoll curve and the  $rT_{avg}$  curve.

#### 12.1.4 Incident energy ( $E_i$ ) monitor sensor responses

For each panel or mannequin in an arc exposure, calculate the average of the maximum rise,  $rT_{avg,max}$ , for the two adjacent monitor sensors. Convert this  $rT_{avg,max}$  into  $\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$  by multiplying by the copper calorimeter conversion constant of  $5,65 \text{ kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2 \text{ K}$  to determine the incident exposure energy,  $E_i$ , for each panel or mannequin in an arc exposure.

#### 12.1.5 Determining arc thermal performance values

For each panel or mannequin, plot the positive value or the negative value of  $r_{Stoll,avg}$  as the horizontal axis and  $E_i$  as the vertical axis. For each arc exposure, the three panels will create three data points, the mannequins will create from one to three data points (depending on the number of mannequins used), of  $r_{Stoll,avg}$  versus  $E_i$ . In order to have sufficient data for analysis, at least 20 data points, representing 20 panels or 20 mannequins, shall be obtained with not less than 20 % of the data being positive and not less than 20 % of the data being negative values. No more than 10 % of the data points shall deviate from the Stoll curve by more than  $5^\circ\text{C}$ . All data points meeting these criteria shall be used in the calculation of ATPV and HAF. If ATPV cannot be calculated due to breakopen, use the method of data analysis in 12.2.

#### 12.1.6 Calculating the confidence intervals

Create the best fit straight line for the  $r_{Stoll,avg}$  data points and determine the 95 % confidence intervals for average and for point values. To calculate the confidence intervals, estimate the variance (sigma squared) by:

$$s^2 = \frac{S_R}{n - 2}$$

where  $S_R = \Sigma(y - \bar{y})^2 - b^2 \Sigma(x - \bar{x})^2 = \Sigma(y - \bar{y})^2 - b \Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})$

Then the variance of the estimate of  $y$  at some particular  $x_0$  can be calculated from the expressions:

$$\hat{V}(\hat{y}_0)_{\text{point}} = \left[ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\Sigma(x - \bar{x})^2} \right] s^2$$

$$\hat{V}(\hat{y}_0)_{\text{avg}} = \left[ \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\Sigma(x - \bar{x})^2} \right] s^2$$

Un intervalle de confiance de  $1 - \alpha$  pour l'estimation de  $y$  à un  $x_0$  particulier est ensuite donné par:

$$\hat{y}_0 \pm t_{\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\hat{y}_0)_{\text{avg}}}$$

$$\hat{y}_0 \pm t_{\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\hat{y}_0)_{\text{point}}}$$

où  $t$  a  $n - 2$  degrés de liberté. Les progiciels peuvent être utilisés pour déterminer l'intervalle de confiance à 95 % pour la droite de régression à partir de 12.1.6.

### 12.1.7 Détermination de la valeur de performance thermique de l'arc (ATPV)

ATPV est la valeur  $E_i$  où  $r_{\text{Stoll,avg}}$  égal zéro et qui est basée sur la droite de régression obtenue en 12.1.6. L'intervalle de confiance à 95 % de ATPV est l'intervalle  $E_i$  formé par la bande de confiance de 95 % à  $r_{\text{Stoll,avg}}$  égal zéro.

### 12.1.8 Représentation graphique d'ATPV

Les programmes d'analyse statistiques aisément disponibles en vue de la détermination de l'intervalle de confiance à 95 % de ATPV nécessitent que  $E_i$  soit tracé sur l'axe vertical et  $r_{\text{Stoll,avg}}$  sur l'axe horizontal. Cependant, cette disposition des tracés tend à être contraire à l'intuition. En conséquence, une fois déterminée l'intervalle de confiance de 95 % selon 12.1.7, le tracé de  $r_{\text{Stoll,avg}}$  sur  $E_i$  doit être reconstruit en traçant  $r_{\text{Stoll,avg}}$  sur l'axe vertical et en traçant  $E_i$  sur l'axe horizontal.

### 12.1.9 Détermination du facteur d'atténuation de chaleur (HAF)

Déterminer le maximum  $rT_{\text{max}}$  pour les deux capteurs sur chaque panneau. Calculer la moyenne du  $rT_{\text{max}}$  pour les deux capteurs sur chaque panneau et lui attribuer l'étiquetage  $rT_{\text{avg,max}}$ . Pour chaque panneau de chaque exposition diviser  $rT_{\text{avg,max}}$  par le  $rT_{\text{max,min}}$  pour les deux capteurs de surveillance (à partir de 12.1.4) adjacents au panneau et identifier cette valeur en tant que  $E_t$  (fraction de l'énergie incidente qui est transmise à travers l'éprouvette). Un point de données HAF ( $haf$ ) pour chaque panneau est calculé selon la formule suivante:

$$haf = 100(1 - E_t)$$

La valeur HAF est ensuite déterminée en traçant toutes les valeurs  $haf$  pour chaque panneau sur l'axe vertical par rapport à  $E_i$  pour chaque panneau sur l'axe horizontal. On doit utiliser au moins 20 points de données représentant 20 panneaux. La droite de régression est tracée par ces points de données et l'intervalle de confiance à 95 % est déterminé pour la droite de régression. HAF est la valeur indiquée par la droite de régression à la valeur  $E_i$  égale à l'ATPV. L'intervalle de confiance à 95 % de HAF est déterminé par les valeurs d'intervalle de confiance à 95 % à  $E_i$  égal à ATPV.

Se reporter à l'annexe B en vue d'une étude et d'une explication des méthodes et formules destinées à déterminer l'ATPV et le HAF.

A  $1 - \alpha$  confidence interval for the estimate of  $y$  at some particular  $x_0$  is then given by:

$$\hat{y}_0 \pm t_{\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\hat{y}_0)_{\text{avg}}}$$

$$\hat{y}_0 \pm t_{\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\hat{y}_0)_{\text{point}}}$$

where  $t$  has  $n - 2$  degrees of freedom. Software packages may be used to determine the 95 % confidence interval band for the best fit line from 12.1.6.

### 12.1.7 Determination of the arc thermal performance value (ATPV)

ATPV is the  $E_i$  value where  $r_{\text{Stoll,avg}}$  equals zero based on the best fit line from 12.1.6. The ATPV 95 % confidence interval is the  $E_i$  interval formed by the 95 % confidence band at  $r_{\text{Stoll,avg}}$  equals zero.

### 12.1.8 Graphic depiction of ATPV

The readily available statistical analysis programs for determining the ATPV 95 % confidence interval require that  $E_i$  be plotted on the vertical axis and  $r_{\text{Stoll,avg}}$  on the horizontal axis. However, this plotting arrangement tends to be counter-intuitive. Consequently, once the 95 % confidence interval is determined according to 12.1.7, the plot of  $r_{\text{Stoll,avg}}$  on  $E_i$  shall be reconstructed with  $r_{\text{Stoll,avg}}$  plotted on the vertical axis and  $E_i$  plotted on the horizontal axis.

### 12.1.9 Determination of heat attenuation factor (HAF)

Determine the maximum  $rT_{\text{max}}$  for the two sensors on each panel. Calculate the average of the  $rT_{\text{max}}$  for the two sensors of each panel and label this as  $rT_{\text{avg,max}}$ . For each panel of each exposure divide  $rT_{\text{avg,max}}$  by the  $rT_{\text{max,min}}$  for the two monitor sensors (from 12.1.4) adjacent to the panel and identify this value as  $E_t$  (fraction of the incident energy which is transmitted through the specimen). A HAF data point ( $haf$ ) for each panel is calculated according to the formula:

$$haf = 100(1 - E_t)$$

The HAF value is then determined by plotting all the  $haf$  values for each panel on the vertical axis versus the  $E_i$  for each panel on the horizontal axis. At least 20 data points representing 20 panels shall be used. The best fit line is plotted through these data points and the 95 % confidence interval is determined for the best fit line. HAF is the value indicated by the best fit line at the  $E_i$  value equal to the ATPV. The HAF 95 % confidence interval is determined by the 95 % confidence interval values at the  $E_i$  equal to the ATPV.

Refer to annex B for a review and explanation of the methods and formulas for determining the ATPV and HAF.

## 12.2 Détermination de l'énergie de seuil d'éventration

Si les 20 % nécessaires des données supérieures à la courbe de Stoll ne peuvent être produites sans éventration, une valeur de protection thermique d'arc ne peut être produite.

Dans les éprouvettes à couches multiples de matériau résistant à la flamme, toutes les couches doivent être fracturées pour répondre à la définition en 3.7. Dans les éprouvettes à plusieurs couches, si certaines de ces couches sont inflammables, une éventration a lieu lorsque ces couches sont exposées.

A la valeur  $E_i$  la plus élevée au-dessous de la courbe de Stoll pour laquelle les éprouvettes ne présentent pas d'éventration, renouveler les essais pour obtenir six points de données de plus. Si aucune éventration ne se produit, la valeur de  $E_i$  est l'énergie de seuil d'éventration ( $E_{BT}$ ).

Si une éventration se produit, renouveler l'opération ci-dessus pour obtenir 10 points de données à la valeur  $E_i$  la plus élevée au-dessous de cette éventration  $E_i$ . Si aucune éventration ne se produit, cette valeur de  $E_i$  est l'énergie de seuil d'éventration ( $E_{BT}$ ), mais si une éventration se produit, une valeur pour l'énergie de seuil d'éventration ne peut être générée.

## 12.3 Examen visuel

Observer l'effet de l'exposition sur les éprouvettes de tissus et, après refroidissement des éprouvettes exposées, enlever avec précaution le tissu et d'autres couches du panneau en notant tous effets supplémentaires de l'exposition. La description peut en être faite par un ou plusieurs des termes suivants définis à l'article 3:

- l'éventration;
- la fusion;
- l'égouttement;
- la carbonisation;
- la fragilisation;
- le rétrécissement;
- l'inflammation.

## 13 Rapport d'essai

Indiquer que l'essai a été réalisé selon les directives de cette méthode d'essai, et consigner la méthode utilisée (méthode A ou méthode B) en complément des informations suivantes:

- données de montage de l'éprouvette, selon les indications de 11.4;
- données d'éprouvettes, selon les indications de 11.5;
- conditions de chaque essai, y compris
  - le numéro d'essai,
  - le courant d'arc efficace,
  - le courant d'arc de crête,
  - l'intervalle d'arc,
  - la durée d'arc,
  - l'énergie d'arc,
  - le tracé du courant d'arc;

## 12.2 Determination of breakopen threshold energy

If the required 20 % of the data over the Stoll curve cannot be generated without breakopen, an arc thermal protective value cannot be generated.

In multiple-layer specimens of flame-resistant material, all the layers shall break open to meet the definition in 3.7. In multiple-layer specimens, if some of the layers are ignitable, breakopen occurs when these layers are exposed.

At the highest  $E_i$  value below the Stoll curve for which the specimens did not exhibit breakopen, repeat the tests to obtain six more data points. If no breakopen occurs, this  $E_i$  value is the breakopen threshold energy ( $E_{BT}$ ).

If breakopen occurs, repeat the above to obtain 10 data points at the highest  $E_i$  value below this breakopen  $E_i$ . If no breakopen occurs, this  $E_i$  value is the breakopen threshold energy ( $E_{BT}$ ) but if breakopen occurs, a value for breakopen threshold energy cannot be generated.

## 12.3 Visual inspection

Observe the effect of the exposure on the fabric specimens and, after the exposed specimens have cooled, carefully remove the fabric and other layers from the panel noting any additional effects from the exposure. This may be described by one or more of the following terms which are defined in clause 3:

- breakopen;
- melting;
- dripping;
- charring;
- embrittlement;
- shrinkage;
- ignition.

## 13 Test report

State that the test has been performed in accordance with this test method, and report the method used (method A or method B) in addition to the following information:

- specimen mounting as indicated in 11.4;
- specimen data as indicated in 11.5;
- conditions of each test, including
  - test number,
  - r.m.s. arc current,
  - peak arc current,
  - arc gap,
  - arc duration,
  - arc energy,
  - plot of arc current;

– données d'essai comprenant

- le numéro d'essai,
- l'éprouvette ou les éprouvettes,
- l'ordre des couches,
- la distance de la ligne centrale d'arc à la surface du mannequin ou du panneau,
- l'examen visuel tel qu'il est exposé en 12.3,
- le tracé de la réponse des deux capteurs de surveillance et les deux capteurs de panneaux pour chaque essai de panneau, ou les quatre capteurs de mannequin pour chaque essai de mannequin,
- le tracé de la réponse moyenne des deux capteurs de panneau et des deux capteurs de surveillance pour chaque panneau d'essai (méthode A), ou la réponse moyenne des quatre capteurs de mannequin et les deux capteurs de surveillance pour chaque essai de mannequin (méthode B),
- ATPV et intervalles de confiance à 95 % de l'ATPV,
- le tracé de  $r_{\text{Stoll,avg}}$  sur  $E_i$ ,
- HAF et intervalles de confiance à 95 % de l'HAF,
- le tracé de l'HAF sur  $E_i$ ,
- le tracé de la distribution d'énergie incidente  $E_i$  (nu) à partir de l'analyse d'un tir à blanc (sans la présence de l'échantillon).

Consigner toutes les anomalies concernant l'appareillage d'essai.

Si des électrodes alternatives sont utilisées, consigner leur taille et leur type.

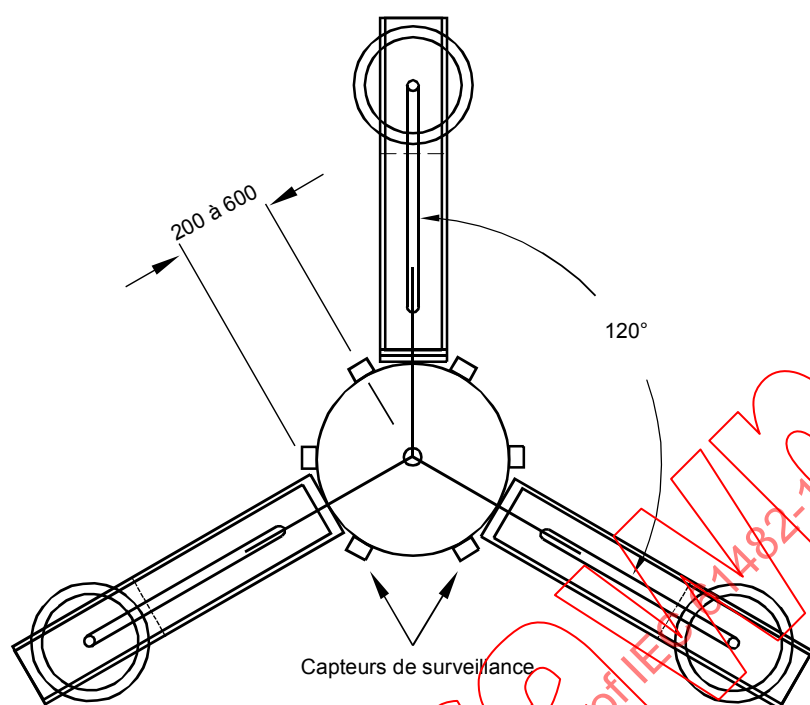
Restituer les éprouvettes soumises à l'exposition, les tracés, les données d'essai et les éprouvettes inutilisées à la personne demandant l'essai, conformément à toute disposition préalable. Toutes les éprouvettes d'essai doivent porter un marquage avec la mention du numéro d'essai, de la date, etc.

- test data including
  - test number,
  - specimen(s),
  - order of layers,
  - distance from the arc centre line to the panel or mannequin surface,
  - visual inspection as outlined in 12.3,
  - plot of the response of the two monitor sensors and the two panel sensors for each panel test, or the four mannequin sensors for each mannequin test,
  - plot of the average response from the two panel sensors and from the two monitor sensors for each panel test (method A), or the average response of the four mannequin sensors and the two monitor sensors for each mannequin test (method B),
  - ATPV and ATPV 95 % confidence intervals,
  - plot of  $r_{\text{Stoll,avg}}$  on  $E_i$ ,
  - HAF and HAF 95 % confidence intervals,
  - plot of HAF on  $E_i$ ,
  - plot of the incident energy distribution  $E_i$  (bare) from the bare shot analysis (without test specimen).

Report any abnormalities relating to the test apparatus.

If alternate electrodes are used, report size and type.

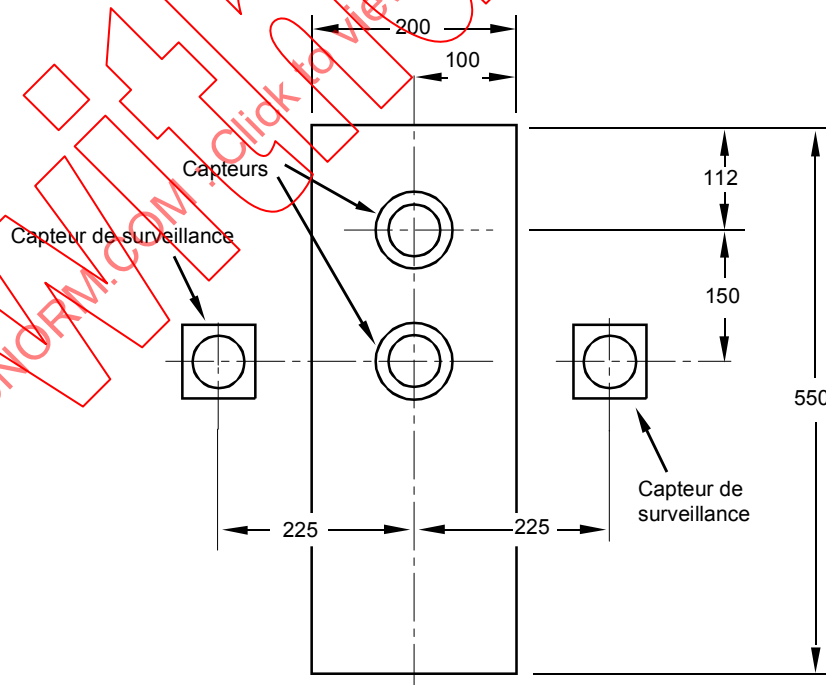
Return the exposed specimens, plots, test data, and unused specimens to the person requesting the test, in accordance with any prior arrangement. All test specimens shall be marked with a reference to the test number, date, etc.



Dimensions en millimètres

IEC 519/02

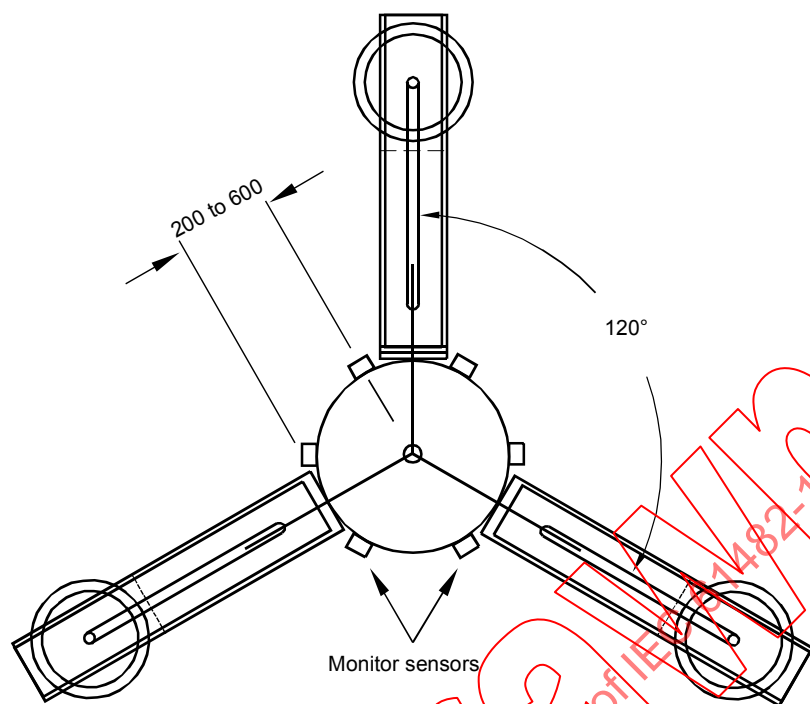
**Figure 1 – Méthode A – Disposition de trois panneaux de capteurs avec capteurs de surveillance (vue en plan)**



Dimensions en millimètres

IEC 520/02

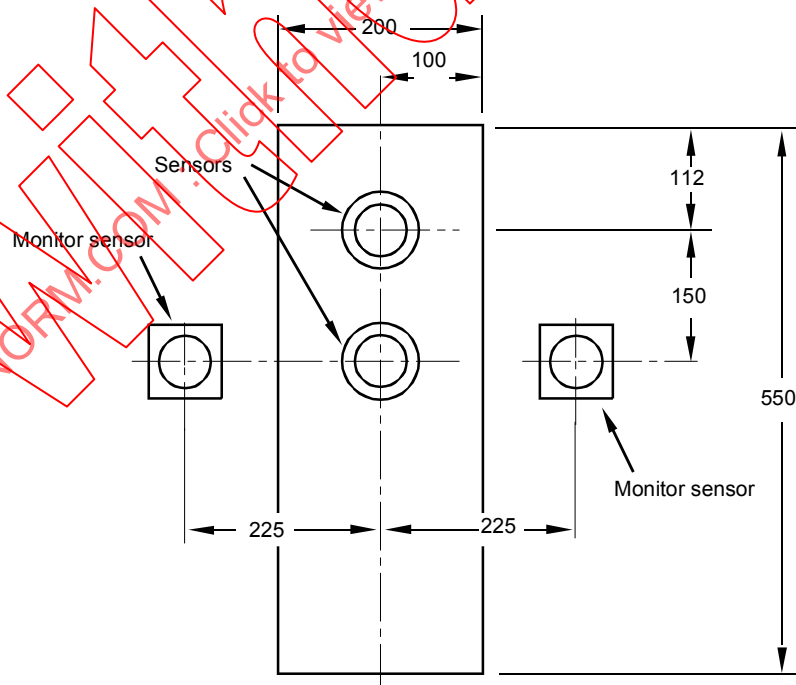
**Figure 2 – Méthode A – Panneau à deux capteurs (vue de face) avec capteurs de surveillance**



IEC 519/02

Dimensions in millimetres

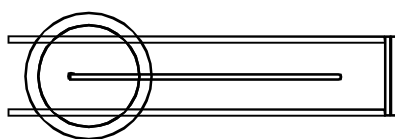
**Figure 1 – Method A – Arrangement of three-panel sensors with monitor sensors (plan view)**



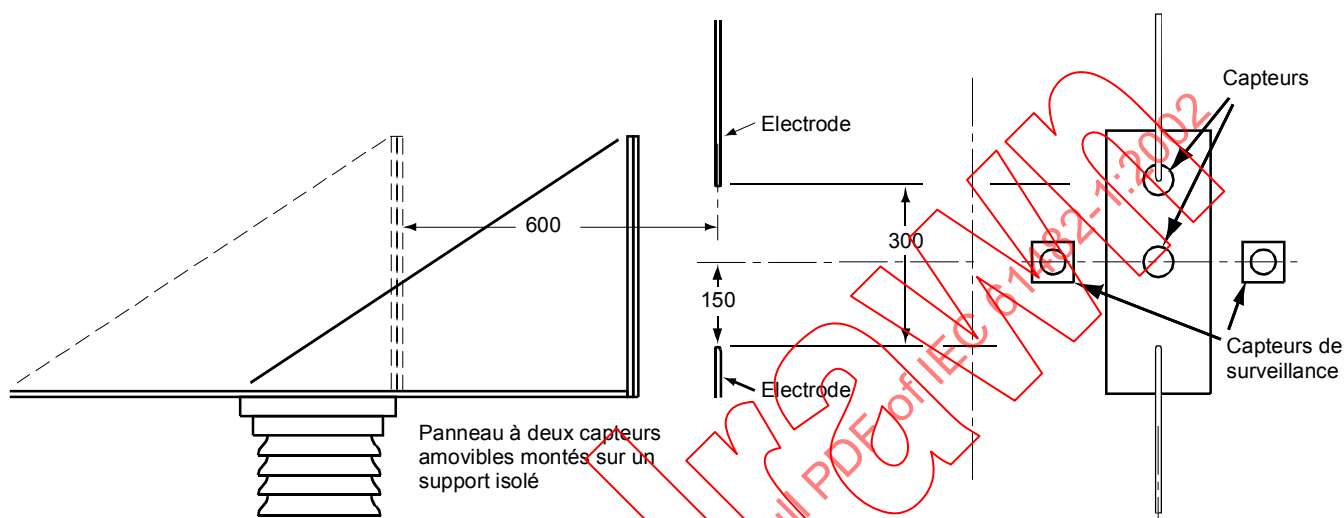
IEC 520/02

Dimensions in millimetres

**Figure 2 – Method A – Two-sensor panel (face view) with monitor sensors**



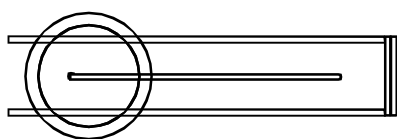
Le système de glissement fourni par l'utilisateur doit inclure un moyen pour maintenir l'alignement ainsi qu'un dispositif de verrouillage



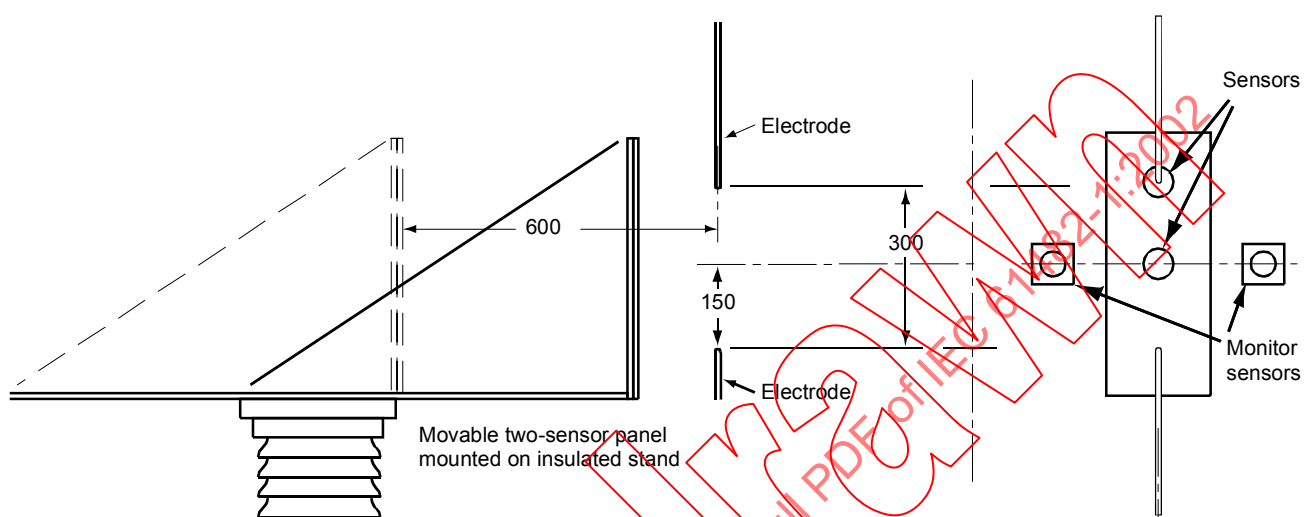
IEC 521/02

Dimensions en millimètres

Figure 3 – Méthode A – Glissement de panneau à deux capteurs



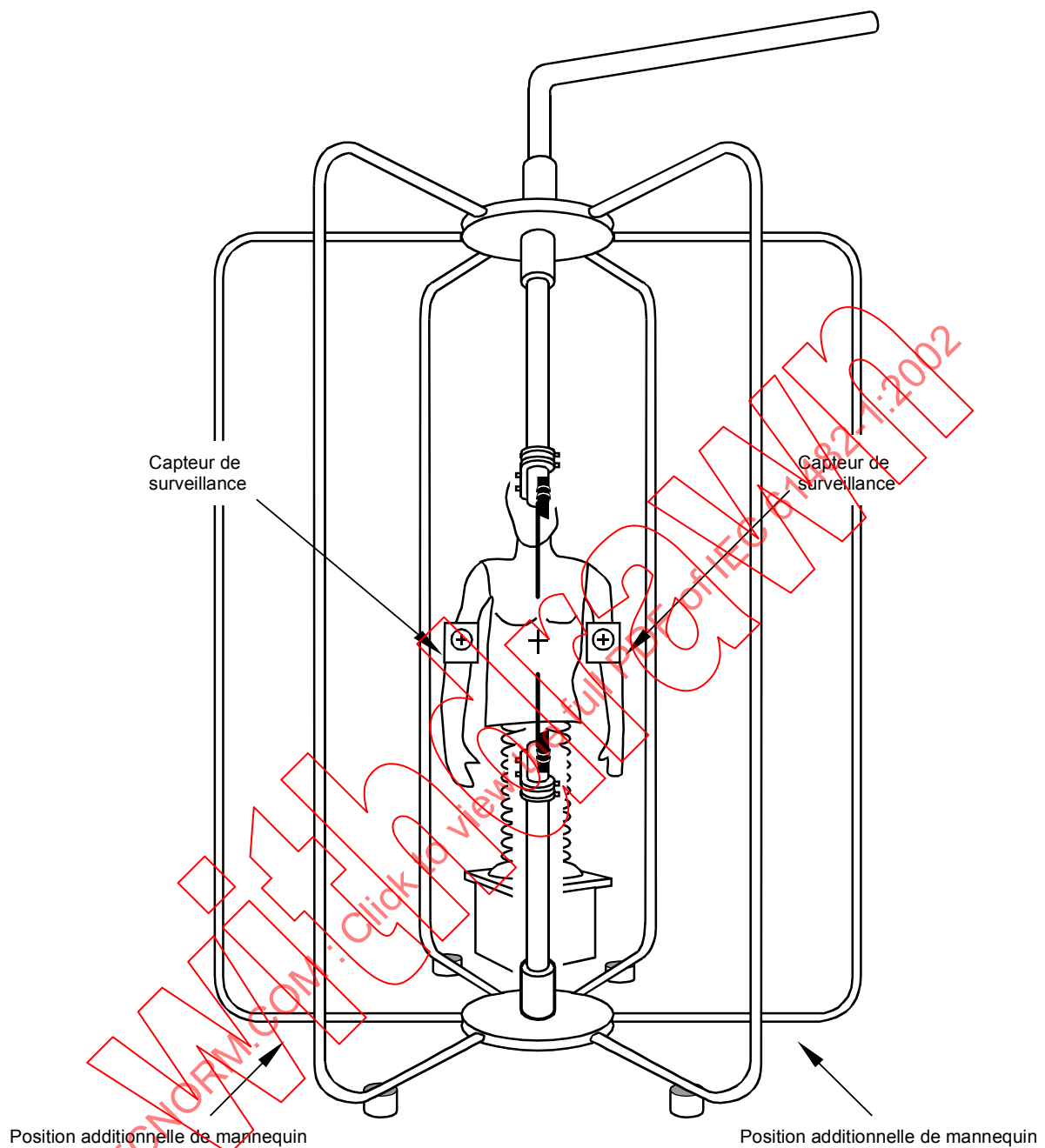
Slide system provided by user shall include method to maintain alignment and locking device



IEC 521/02

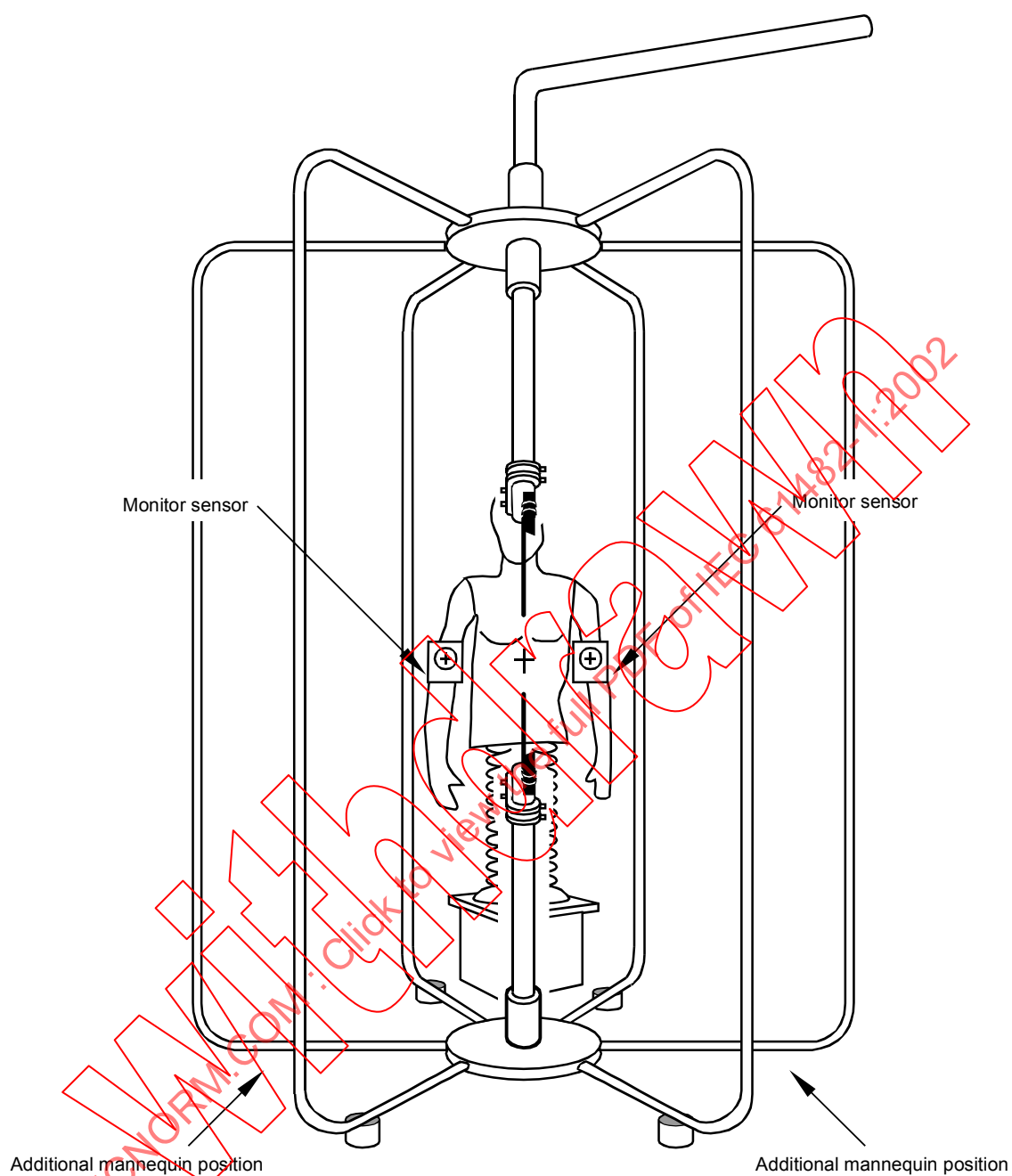
Dimensions in millimetres

**Figure 3 – Method A – Sliding two-sensor panel**



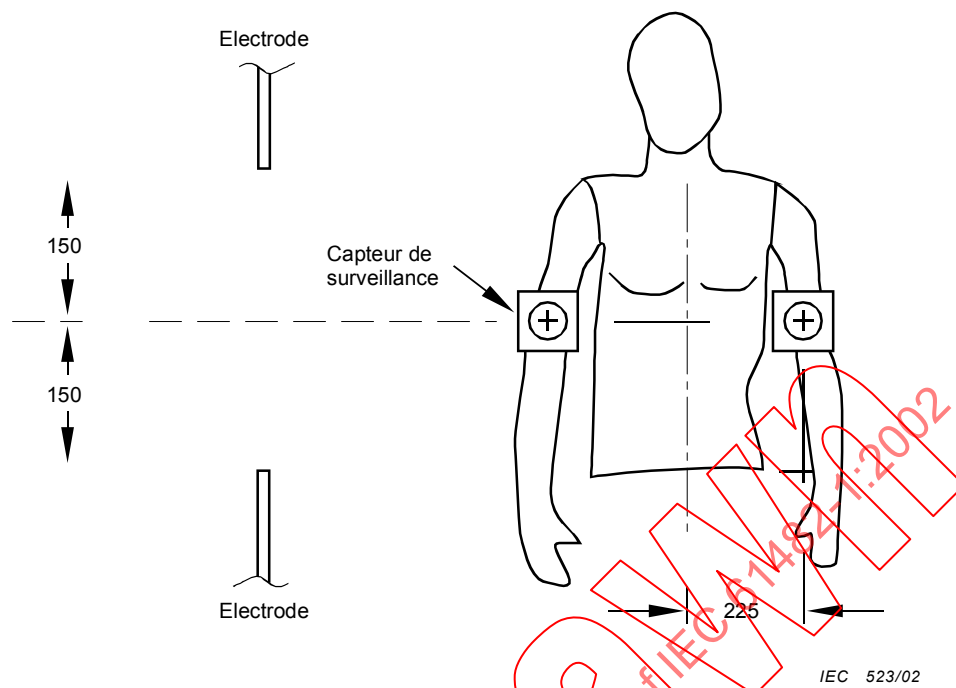
IEC 522/02

**Figure 4 – Barre d'alimentation et électrodes d'arc présentant une ou des positions de mannequin(s)**



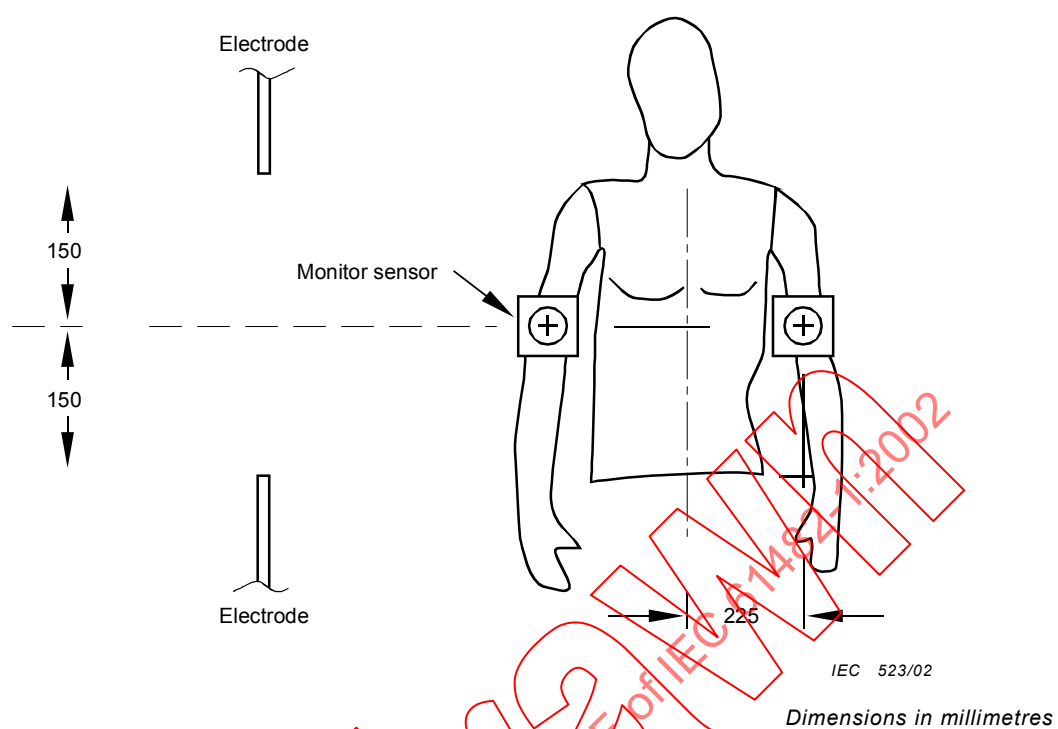
IEC 522/02

**Figure 4 – Supply bus and arc electrodes showing mannequin(s) position(s)**

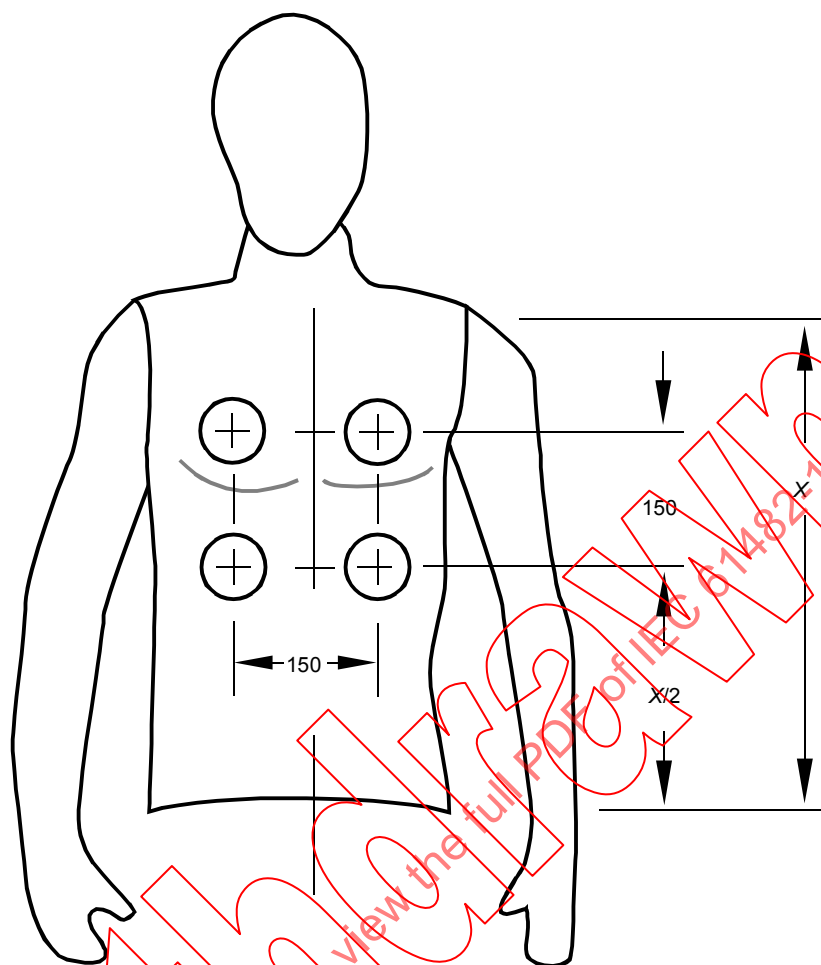


Dimensions en millimètres

Figure 5 – Mannequin avec capteurs de surveillance



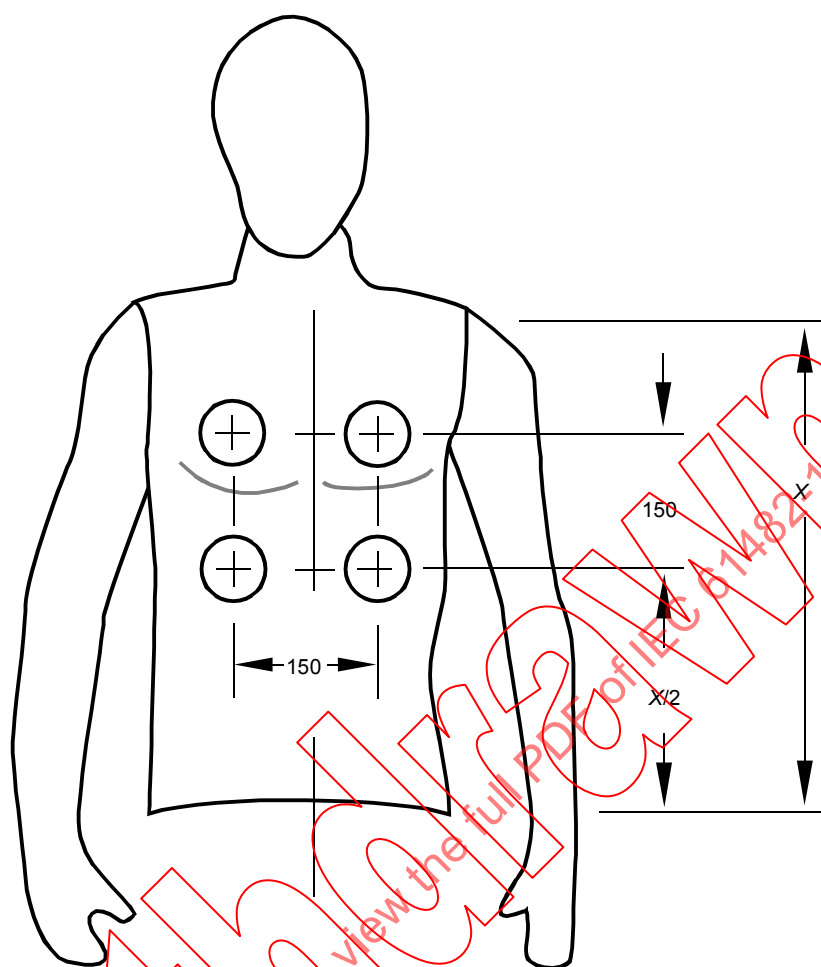
**Figure 5 – Mannequin with monitor sensors**



IEC 524/02

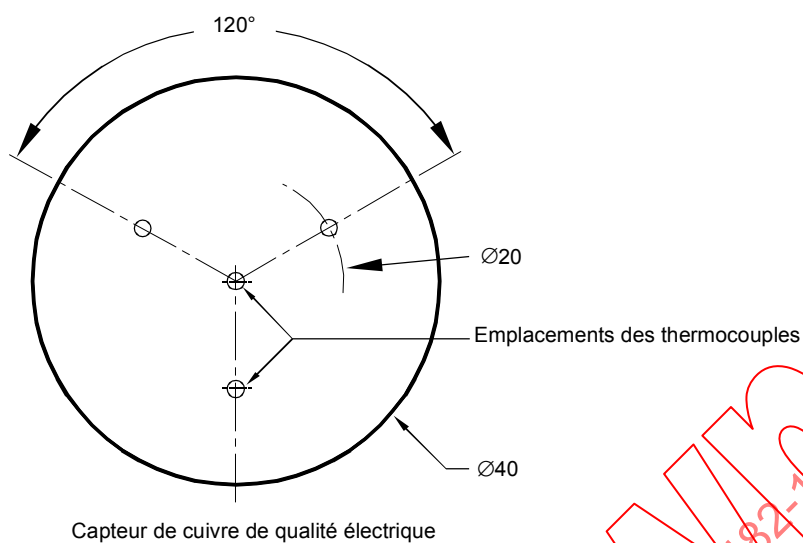
Dimensions en millimètres

Figure 6 – Vue de face de quatre capteurs



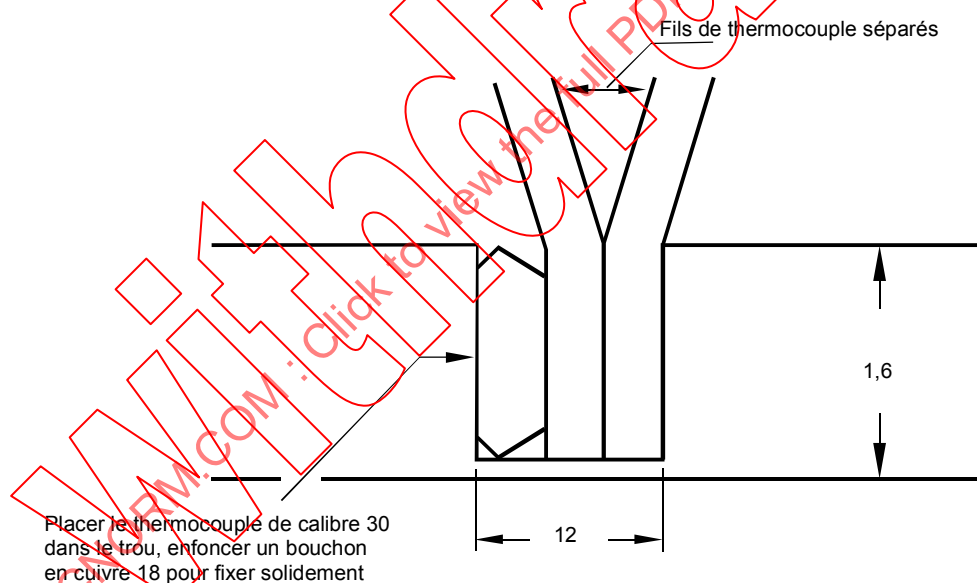
IEC 524/02

*Dimensions in millimetres***Figure 6 – Four-sensor face view**



Dimensions en millimètres

Figure 7a – Installation des thermocouples dans le calorimètre



IEC 526/02

Dimensions en millimètres

Flux thermique( $q$ )

$q = (\text{masse} \times \text{capacité thermique du cuivre} \times \text{augmentation de la température}) / (\text{surface du disque} \times \text{temps})$

$$q = \frac{m C_p \Delta T}{A \Delta \theta}$$

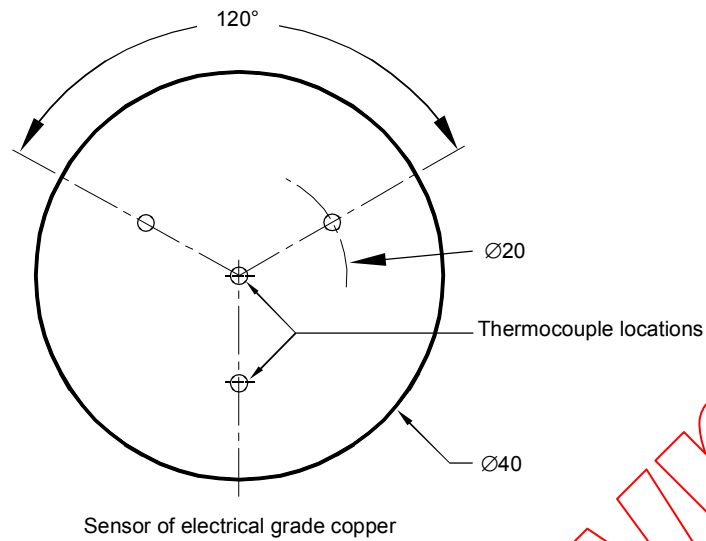
$$C_p = 0,394 \text{ 4 Ws/g } ^\circ\text{C}$$

Si le disque a une surface de 12,56 cm<sup>2</sup> et pèse 18 g,

$$q = (5,65 \Delta T) / \Delta \theta \text{ en kW/m}^2$$

Figure 7b – Installation du fil du thermocouple – Détail du trou et méthode de fixation du thermocouple

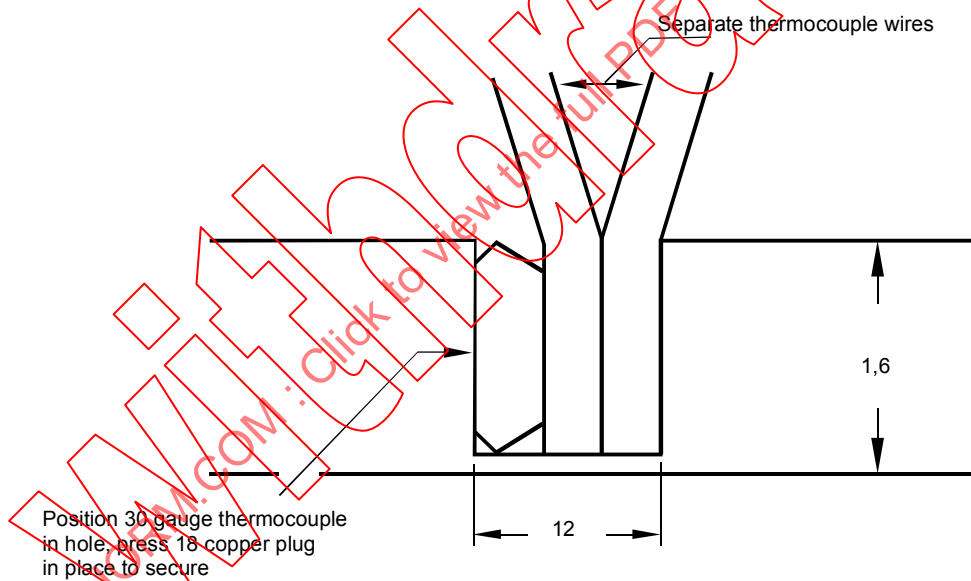
Figure 7 – Détails des thermocouple et calorimètre



IEC 525/02

Dimensions in millimetres

Figure 7a – Installation of thermocouples in the calorimeter



IEC 526/02

Dimensions in millimetres

Heat flux ( $q$ )
$$q = (\text{mass} \times \text{copper heat capacity} \times \text{temperature rise}) / (\text{area of disc} \times \text{time})$$

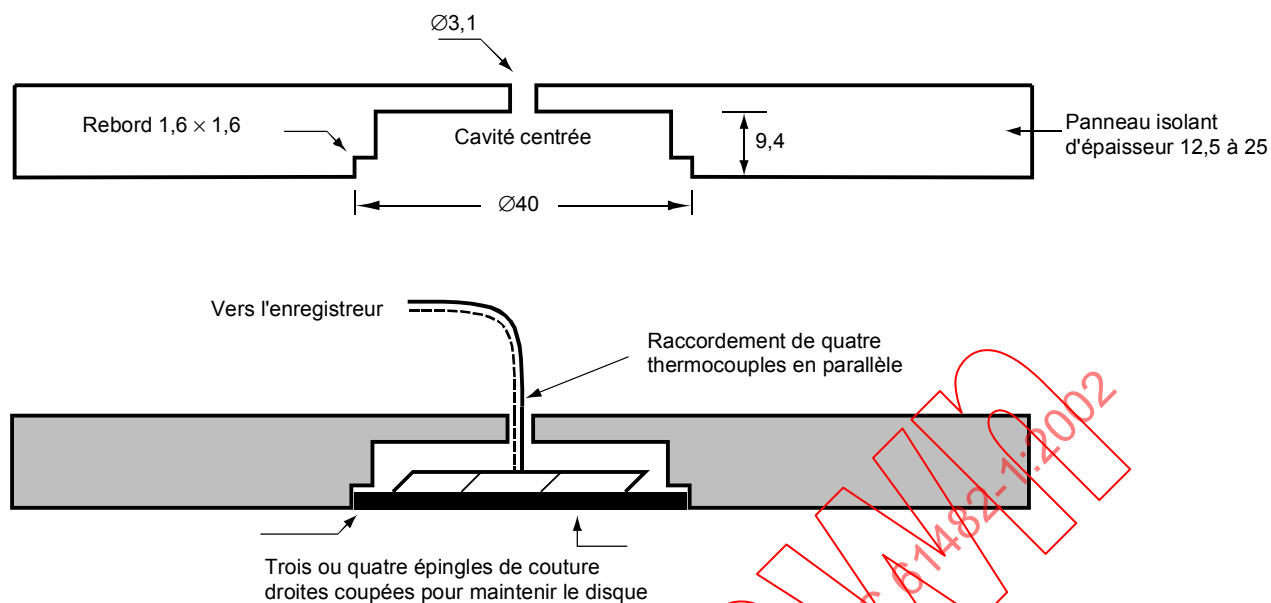
$$q = \frac{m C_p \Delta T}{A \Delta \theta}$$

 $C_p = 0,394 \text{ 4 Ws/g } ^\circ\text{C}$ 
For a disc area of 12,56 cm<sup>2</sup> and a disc weight of 18 g,

$$q = (5,65 \Delta T) / \Delta \theta \text{ in kW/m}^2$$

Figure 7b – Thermocouple wire installation – Hole detail and method of securing thermocouple

Figure 7 – Calorimeter and thermocouple details



IEC 527/02

Dimensions en millimètres

**Figure 8 – Installation type d'un calorimètre dans un capteur et dans un capteur de surveillance**

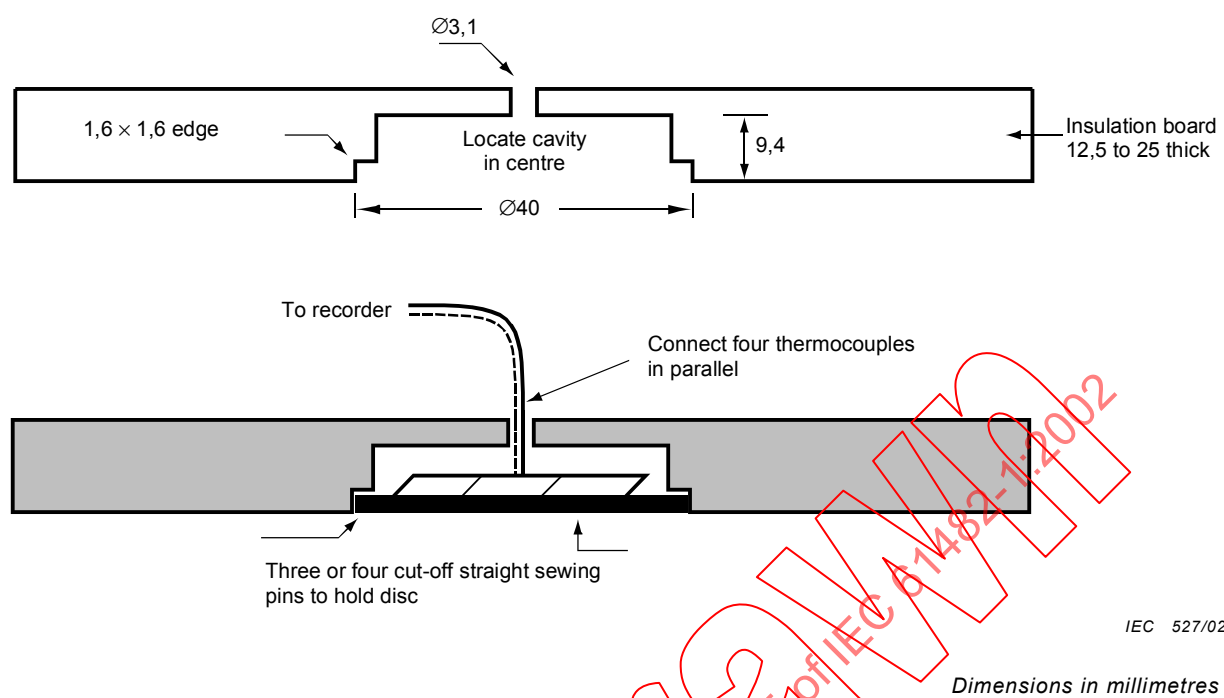
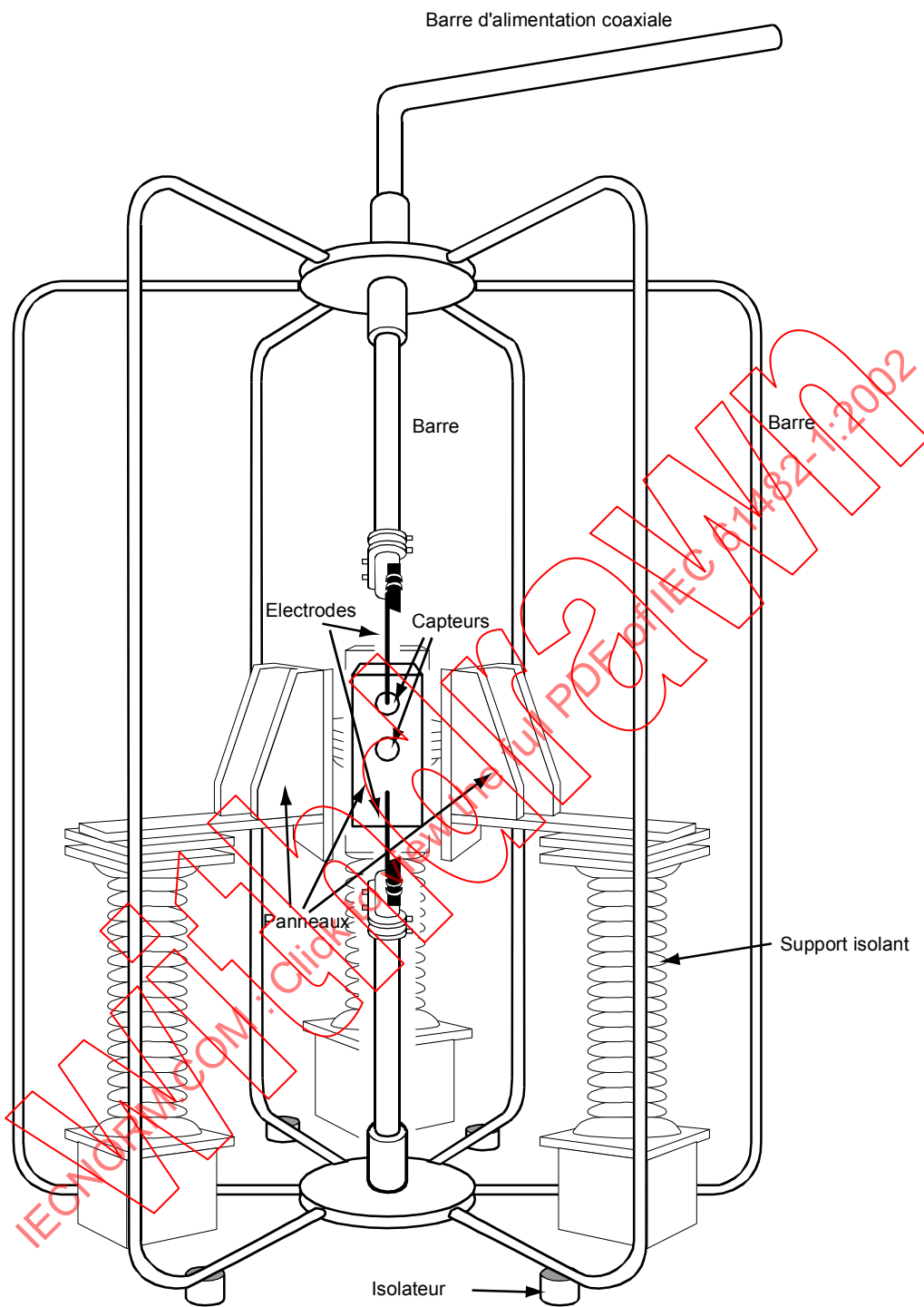


Figure 8 – Typical installation of the calorimeter in the sensor and monitor sensor



IEC 528/02

Figure 9 – Barre d'alimentation et électrodes d'arc pour panneaux