

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61238-1

Deuxième édition
Second edition
2003-05

**Raccords sertis et à serrage mécanique
pour câbles d'énergie de tensions assignées
inférieures ou égales à 30 kV ($U_m = 36$ kV) –**

**Partie 1:
Méthodes et prescriptions d'essais**

**Compression and mechanical connectors
for power cables for rated voltages
up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) –**

**Part 1:
Test methods and requirements**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61238-1:2003

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- IEC Just Published

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

- Service clients

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

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

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

- IEC Just Published

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

- Customer Service Centre

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

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61238-1

Deuxième édition
Second edition
2003-05

**Raccords sertis et à serrage mécanique
pour câbles d'énergie de tensions assignées
inférieures ou égales à 30 kV ($U_m = 36$ kV) –**

**Partie 1:
Méthodes et prescriptions d'essais**

**Compression and mechanical connectors
for power cables for rated voltages
up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) –**

**Part 1:
Test methods and requirements**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XA

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
1 Domaine d'application et objet.....	12
2 Références normatives	14
3 Définitions.....	14
4 Symboles.....	18
5 Généralités	20
5.1 Ame.....	20
5.2 Raccords et outils de mise en œuvre.....	20
5.3 Etendue de l'acceptation	20
6 Essais électriques	22
6.1 Installation	22
6.2 Mesures.....	24
6.3 Essai de cycles thermiques.....	26
6.4 Evaluation des résultats	32
6.5 Prescriptions.....	34
7 Essais mécaniques	34
7.1 Méthode	34
7.2 Prescriptions.....	34
8 Rapport d'essai.....	36
Annexe A (normative) Egaliseurs et leur préparation.....	50
Annexe B (normative) Mesures.....	54
Annexe C (informative) Recommandations pour améliorer la précision des mesures	56
Annexe D (informative) Détermination de la valeur du courant de court-circuit.....	58
Annexe E (normative) Méthode de calcul	60
Annexe F (informative) Explications de la méthode de calcul	70
Annexe G (informative) Explications du profil de température.....	104
Annexe H (informative) Explications de la méthode statistique d'évaluation des résultats d'essai sur les raccords électriques	108
Figure 1 – Circuits d'essai typiques pour raccords de jonction et cosses d'extrémité	38
Figure 2 – Circuit d'essai typique pour les raccords de dérivation.....	40
Figure 3 – Cas typiques de mesures de résistance	46
Figure 4 – Deuxième cycle thermique	48
Figure A.1 – Préparation des égaliseurs	52
Figure E.1 – Exemple graphique d'évaluation d'un raccord individuel de Classe A.....	64
Figure F.1 – Courbe des facteurs de résistance et du paramètre δ avant le cycle thermique 1	80
Figure F.2 – Courbe des facteurs de résistance k^{ij} , des facteurs de résistance moyens estimés $\bar{k}_i$, et de la moyenne globale estimée $\bar{k}$	84

CONTENTS

FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
1 Scope and object	13
2 Normative references	15
3 Definitions	15
4 Symbols	19
5 General	21
5.1 Conductor	21
5.2 Connectors and tooling	21
5.3 Range of approval	21
6 Electrical tests	23
6.1 Installation	23
6.2 Measurements	25
6.3 Heat cycle test	27
6.4 Assessment of results	33
6.5 Requirements	35
7 Mechanical tests	35
7.1 Method	35
7.2 Requirements	35
8 Test report	37
Annex A (normative) Equalizers and their preparation	51
Annex B (normative) Measurements	55
Annex C (informative) Recommendations to improve accuracy of measurement	57
Annex D (informative) Determination of the value of the short-circuit-current	59
Annex E (normative) Calculation method	61
Annex F (informative) Explanation of the calculation method	71
Annex G (informative) Explanation of the temperature profile	105
Annex H (informative) Explanation of the statistical method of assessing results of tests on electrical connectors	109
Figure 1 – Typical test circuit for through connectors and terminal lugs	39
Figure 2 – Typical test circuit for branch connectors	41
Figure 3 – Typical cases of resistance measurements	47
Figure 4 – Second heat cycle	49
Figure A.1 – Preparation of equalizers	53
Figure E.1 – Graphic example of assessment of an individual connector for Class A	65
Figure F.1 – Plot of connector resistance factors and parameter δ before heat cycle 1	81
Figure F.2 – Plot of resistance factors k_{ij} , estimated mean resistance factors $\bar{k}_i$ and estimated overall mean $\bar{k}$	85

Figure F.3 – Tracé des facteurs de résistance moyens estimés $\bar{k}_i$, de la moyenne globale estimée $\bar{k}$ et du paramètre β	86
Figure F.4 – Vieillessement typique d'un raccord électrique (k_{lim} facteur limite de résistance; t_L durée de vie).....	88
Figure F.5 – Tracé des facteurs de résistance, des valeurs ajustées, ordonnée à l'origine et pente estimées.....	90
Figure F.6 – Tracé des valeurs ajustées, des résiduels et du paramètre M^i	92
Figure F.7 – Tracé de l'intervalle de confiance à 90 % pour la réponse moyenne et le paramètre S^i	96
Figure F.8 – Tracé des paramètres M^i , S^i et D^i et de la droite de régression.....	98
Tableau 1 – Durée minimale de chauffage sous intensité élevée.....	30
Tableau 2 – Prescriptions pour l'essai électrique.....	34
Tableau 3 – Effort de traction pour les essais mécaniques.....	34
Tableau A.1 – Dimensions des égaliseurs.....	50
Tableau F.1 – Indices.....	70
Tableau F.2 – Variables mesurées.....	70
Tableau F.3 – Constantes.....	70
Tableau F.4 – Calcul des variables.....	72
Tableau F.5 – Paramètres mesurés régulièrement.....	74
Tableau F.6 – Nombre de facteurs de résistance k_{ij} pour les raccords de Classe A.....	76
Tableau F.7 – Facteurs de résistance des raccords k_i , pour la Classe A, en fonction de la variable intermédiaire x , de la dispersion initiale δ , et de la dispersion moyenne β	82
Tableau F.8 – Nombre de rapports de facteurs de résistance pour les raccords de Classe A.....	100
Tableau F.9 – Températures maximales enregistrées pendant les cycles thermiques.....	102
Tableau H.1 – Résumé des prescriptions.....	112

Figure F.3 – Plot of estimated mean resistance factors $\bar{k}_i$, estimated overall mean $\bar{k}$ and parameter β	87
Figure F.4 – Typical ageing behaviour of an electrical connector (k_{lim} limiting resistance factor; t_L lifetime).....	89
Figure F.5 – Plot of the resistance factors, fitted values, estimated intercept and estimated slope.....	91
Figure F.6 – Plot of the fitted values, residuals and parameter M^i	93
Figure F.7 – Plot of the pointwise 90 % confidence interval for the mean response and parameter S^i	97
Figure F.8 – Plot of parameters M^i , S^i and D^i with regression line.....	99
Table 1 – Minimum elevated current heating time.....	31
Table 2 – Electrical test requirements.....	35
Table 3 – Tensile force for mechanical tests.....	35
Table A.1 – Equalizer dimensions.....	51
Table F.1 – Indices.....	71
Table F.2 – Measured variables.....	71
Table F.3 – Constants.....	71
Table F.4 – Calculated variables.....	73
Table F.5 – Repeatedly measured parameters.....	75
Table F.6 – Number of calculated connector resistance factors k^{ij} for Class A connectors.....	77
Table F.7 – Connector resistance factors k^{ij} for Class A connectors related to the dummy variable x , the initial scatter δ and the mean scatter β	83
Table F.8 – Number of resistance factor ratios for connectors of Class A.....	101
Table F.9 – Recorded maximum temperatures during heat cycling.....	103
Table H.1 – Summary of requirements.....	113

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RACCORDS SERTIS ET À SERRAGE MÉCANIQUE POUR CÂBLES D'ÉNERGIE DE TENSIONS ASSIGNÉES INFÉRIEURES OU ÉGALES À 30 kV ($U_m = 36$ kV) –

Partie 1: Méthodes et prescriptions d'essais

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant des 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 61238-1 a été établie par le comité d'études 20 de la CEI: Câbles électriques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1993, et constitue une révision technique.

Par rapport à l'édition précédente, les modifications techniques majeures sont les suivantes:

- a) Le domaine d'application est désormais restreint aux raccords destinés aux câbles d'énergie de tension assignée inférieure ou égale à 30 kV ($U_m = 36$ kV);
- b) La notion de mesure directe de résistance a été introduite, en variante de la mesure indirecte, avec des tolérances associées;
- c) Des limites de température ont été indiquées pour les raccords à perforation d'isolant, en fonction de la nature de l'enveloppe isolante;
- d) Pour les essais de court-circuit, des tolérances sur la durée ont été indiquées et des recommandations ont été introduites pour les fortes sections;
- e) Certains critères d'acceptation ont été révisés et harmonisés entre les raccords à serrage mécanique et les raccords sertis;
- f) L'information devant figurer dans le rapport d'essai a été ajoutée;
- g) Des annexes informatives ont été introduites, donnant des indications sur la précision des mesures, la méthode de calcul, le profil de température et la méthode d'évaluation statistique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**COMPRESSION AND MECHANICAL CONNECTORS
FOR POWER CABLES FOR RATED VOLTAGES
UP TO 30 kV ($U_m = 36$ kV) –****Part 1: Test methods and requirements**

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 61238-1 has been prepared by IEC technical committee 20: Electric cables.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1993 and constitutes a technical revision.

Significant technical changes with respect to the previous edition are as follows:

- a) The scope is now restricted to connectors to be used on power cables for rated voltages up to 30 kV ($U_m = 36$ kV);
- b) The concept of direct measurement of resistance has been introduced as an alternative to the indirect measurement, with associated tolerances;
- c) Temperature limits have been given for insulation piercing connectors, depending on the type of cable insulation;
- d) For short-circuit tests, tolerances have been given on the duration and recommendations have been given for large cross-sections;
- e) Some approval criteria have been revised and harmonized between mechanical connectors and compression connectors;
- f) The information to be included in the test report has been added;
- g) Informative annexes have been added, with information on measuring accuracy, the calculation method, the temperature profile and the statistical method.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
20/599/FDIS	20/632/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 2.

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

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61238-1:2003

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

FDIS	Report on voting
20/599/FDIS	20/632/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 2.

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

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

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 61238 traite des essais de type pour les raccords sertis et à serrage mécanique, utilisables sur les âmes en cuivre ou en aluminium de câbles d'énergie de tensions assignées inférieures ou égales à 30 kV ($U_m = 36$ kV). Quand un type de connexion répond aux prescriptions de cette norme, il est attendu qu'en service:

- a) la résistance de la connexion reste stable;
- b) la température du raccord soit du même ordre de grandeur ou inférieure à celle de l'âme;
- c) la tenue mécanique soit adéquate pour l'utilisation envisagée;
- d) si l'utilisation prévue nécessite l'application de courants de court-circuit, celle-ci n'affecte ni a), ni b).

Il convient de signaler que, si les essais électriques et mécaniques spécifiés dans la présente norme doivent prouver l'adéquation des raccords pour la plupart des conditions de fonctionnement, ils ne s'appliquent pas nécessairement aux situations dans lesquelles un raccord peut être porté à une température élevée du fait de la connexion à des équipements subissant des contraintes très sévères, ou si le raccord est soumis à des vibrations ou à des chocs mécaniques excessifs ou à des conditions de corrosion. Dans ces différents cas, il peut être nécessaire que les essais de la présente norme soient complétés par des essais spéciaux définis d'un commun accord entre le fournisseur et l'acheteur.

INTRODUCTION

This part of IEC 61238 deals with type tests for compression and mechanical connectors for use on copper or aluminium conductors of power cables for rated voltages up to 30 kV ($U_m = 36$ kV). When a design of connector meets the requirements of this standard, then it is expected that in service:

- a) the resistance of the connection will remain stable;
- b) the temperature of the connector will be of the same order or less than that of the conductor;
- c) the mechanical strength will be fit for the purpose;
- d) if the intended use demands it, application of short-circuit currents will not affect a) and b).

It should be stressed that, although the electrical and mechanical tests specified in this standard are to prove the suitability of connectors for most operating conditions, they do not necessarily apply to situations where a connector may be raised to a high temperature by virtue of connection to highly rated plant, or where the connector is subjected to excessive mechanical vibration or shock or to corrosive conditions. In these instances, the tests in this standard may need to be supplemented by special tests agreed between supplier and purchaser.

RACCORDS SERTIS ET À SERRAGE MÉCANIQUE POUR Câbles D'Énergie DE TENSIONS ASSIGNÉES INFÉRIEURES OU ÉGALES À 30 kV ($U_m = 36$ kV) –

Partie 1: Méthodes et prescriptions d'essais

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61238 est applicable aux raccords sertis et à serrage mécanique pour câbles d'énergie de tensions assignées inférieures ou égales à 30 kV ($U_m = 36$ kV), par exemple pour les câbles enterrés ou ceux installés à l'intérieur des bâtiments, ayant

- a) des âmes conformes aux prescriptions de la CEI 60228 et de la CEI 60228A, de section nominale au moins égale à 10 mm² pour le cuivre et au moins égale à 16 mm² pour l'aluminium,
- b) une température maximale de fonctionnement en service permanent au plus égale à 90 °C.

La présente norme n'est pas applicable aux raccords pour conducteurs aériens, qui sont conçus pour des prescriptions mécaniques spécifiques, ni aux raccords des connecteurs séparables équipés d'un contact glissant, ni aux raccords multipolaires (c'est-à-dire les connecteurs à arceau).

Bien qu'il ne soit pas possible de définir avec précision les conditions d'utilisation pour toutes les applications, deux grandes classes de raccords ont été définies.

Classe A

Il s'agit des raccords destinés à la distribution d'électricité ou aux réseaux industriels, dans lesquels ils peuvent être soumis à des courts-circuits d'intensité et de durée relativement élevées. En conséquence, les raccords de Classe A sont adaptés à la majorité des applications.

Classe B

Il s'agit des raccords destinés aux réseaux dans lesquels les surcharges ou les courts-circuits sont rapidement éliminés par des dispositifs de protection installés, par exemple des fusibles à coupure rapide.

Selon leur application, les raccords sont soumis aux essais suivants:

Classe A: cycles thermiques et essais de court-circuit;

Classe B: cycles thermiques uniquement.

L'objet de la présente norme est de définir les méthodes d'essais de type et les prescriptions à appliquer aux raccords sertis et à serrage mécanique utilisables sur les câbles d'énergie à conducteurs en cuivre ou en aluminium.

Antérieurement, les acceptations des produits ont été prononcées sur la base de normes et spécifications nationales et/ou la démonstration d'un comportement satisfaisant en service. La publication de la présente norme CEI ne rend pas caduques les acceptations existantes. Toutefois, les produits acceptés selon les normes ou spécifications antérieures ne peuvent se prévaloir d'une acceptation selon la présente norme CEI que s'ils ont été essayés spécifiquement selon les modalités qui y sont indiquées.

COMPRESSION AND MECHANICAL CONNECTORS FOR POWER CABLES FOR RATED VOLTAGES UP TO 30 kV ($U_m = 36$ kV) –

Part 1: Test methods and requirements

1 Scope and object

This part of IEC 61238 applies to compression and mechanical connectors for power cables for rated voltages up to 30 kV ($U_m = 36$ kV), e.g. buried cables or cables installed in buildings, having

- a) conductors complying with IEC 60228 and IEC 60228A with cross-sectional areas 10 mm² and greater for copper and 16 mm² and greater for aluminium,
- b) a maximum continuous conductor temperature not exceeding 90 °C.

This standard is not applicable to connectors for overhead conductors, which are designed for special mechanical requirements, or to separable connectors with a sliding contact or multi-core connectors (i.e. ring connectors).

Although it is not possible to define precisely the service conditions for all applications, two broad classes of connectors have been identified.

Class A

These are connectors intended for electricity distribution or industrial networks in which they can be subjected to short-circuits of relatively high intensity and duration. As a consequence, Class A connectors are suitable for the majority of applications.

Class B

These are connectors for networks in which overloads or short-circuits are rapidly cleared by the installed protective devices, e.g. fast-acting fuses.

Depending on the application, the connectors are subjected to the following tests:

Class A: heat cycle and short-circuit tests;

Class B: heat cycle tests only.

The object of this standard is to define the type test methods and requirements, which apply to compression and mechanical connectors for power cables with copper or aluminium conductors.

Formerly, approval for such products has been achieved on the basis of national standards and specifications and/or the demonstration of satisfactory service performance. The publication of this IEC standard does not invalidate existing approvals. However, products approved according to these earlier standards or specifications cannot claim approval to this IEC standard unless specifically tested to it.

Une fois ces essais effectués, il n'est pas nécessaire de les répéter, à moins que des modifications n'aient été introduites dans le matériau du raccord, dans sa conception ou dans son procédé de fabrication, susceptibles d'en modifier les caractéristiques de fonctionnement.

2 Références normatives

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

CEI 60050(461):1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 461: Câbles électriques*
Amendement 1 (1993)

CEI 60228:1978, *Ames des câbles isolés*

CEI 60228A:1982, Premier supplément – *Ames des câbles isolés – Guide pour les limites dimensionnelles des âmes circulaires*

CEI 60493-1:1974, *Guide pour l'analyse statistique de données d'essai de vieillissement – Première partie: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61238, les définitions suivantes s'appliquent. Lorsque cela est possible, les définitions utilisées sont conformes à la CEI 60050(461).

3.1

raccord de connexion (de câbles)

pièce métallique permettant de raccorder une âme à une partie d'équipement ou pour raccorder entre elles deux ou plusieurs âmes les unes aux autres

[VEI 461-17-03 modifiée]

3.2

raccord de jonction

pièce métallique permettant de raccorder les âmes de deux longueurs successives de câble

[VEI 461-17-04]

3.3

raccord de dérivation

pièce métallique permettant de raccorder l'âme d'un câble dérivé à celle d'un câble principal en un point intermédiaire de celui-ci

[VEI 461-17-05]

3.4

cosse d'extrémité

pièce métallique permettant de raccorder l'âme d'un câble à un autre élément d'équipement électrique

[VEI 461-17-01]

After they have been made, these tests need not be repeated unless changes are made in the connector material, design or manufacturing process which might affect the performance characteristics.

2 Normative references

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

IEC 60050(461):1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 461: Electric cables*
Amendment 1 (1993)

IEC 60228:1978, *Conductors of insulated cables*

IEC 60228A:1982, First supplement – *Conductors of insulated cables – Guide to the dimensional limits of circular conductors*

IEC 60493-1:1974, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*

3 Definitions

For the purposes of part of IEC 61238, the following definitions apply. Where possible, the definitions used are in accordance with IEC 60050(461).

3.1

connector (of cables)

metallic device for connecting a conductor to an equipment terminal or for connecting two or more conductors to each other

[IEV 461-17-03, modified]

3.2

through connector

metallic device for connecting two consecutive lengths of conductor

[IEV 461-17-04]

3.3

branch connector

metallic device for connecting a branch conductor to a main conductor at an intermediate point on the latter

[IEV 461-17-05]

3.4

(terminal) lug

metallic device to connect a cable conductor to other electrical equipment

[IEV 461-17-01]

3.5

plage de raccordement (d'une cosse d'extrémité)

partie de la cosse assurant le raccordement à un élément d'équipement électrique

[VEI 461-17-07]

3.6

fût (d'une cosse d'extrémité, d'un raccord...)

partie de la pièce dans laquelle est introduite l'âme à raccorder

[VEI 461-17-06]

3.7

conducteur de référence

longueur d'âme nue ou dénudée, sans raccordement, insérée dans la boucle d'essai et utilisée pour déterminer la température et les résistances électriques de référence

3.8

égaliseur

dispositif utilisé dans la boucle d'essai pour assurer un point equipotentiel dans une âme câblée

3.9

raccordement par sertissage

méthode consistant à fixer un raccord à une âme par déformation permanente du raccord et de l'âme, au moyen d'un outil approprié

3.10

raccordement par serrage mécanique

méthode destinée à fixer un raccord à une âme, par exemple au moyen d'un boulon ou d'une vis agissant sur celle-ci, ou par tout autre moyen

3.11

raccord médian

raccord qui, parmi les six de la boucle d'essai et au cours du premier cycle thermique, atteint la température de rang trois en partant de la plus élevée

3.12

raccord à perforation d'isolant

raccord dans lequel le contact électrique avec l'âme est réalisé par des dents métalliques traversant l'isolation du conducteur

[VEI 461-11-08 modifiée]

NOTE En français, il n'existe pas d'abréviation pour désigner un raccord à perforation d'isolant.

3.5**palm (of terminal lug)**

part of a terminal lug used to make the connection to electrical equipment

[IEV 461-17-07]

3.6**barrel (of terminal lug, of connector, etc.)**

part of a device into which the conductor to be connected is introduced

[IEV 461-17-06]

3.7**reference conductor**

length of unjointed bare conductor or conductor with the insulation removed, which is included in the test loop and which enables the reference temperature and reference resistance to be determined

3.8**equalizer**

arrangement used in the test loop to ensure a point of equipotential in a stranded conductor

3.9**compression jointing**

method of securing a connector to a conductor by using a special tool to produce permanent deformation of the connector and the conductor

3.10**mechanical jointing**

method of securing a connector to a conductor, for example by means of a bolt or screw acting on the latter or by alternative methods

3.11**median connector**

connector which during the first heat cycle records the third highest temperature of the six connectors in the test loop

3.12**insulation piercing connector (IPC)**

connector in which electrical contact with the conductor is made by metallic protrusions which pierce the insulation of the cable core

[IEV 461-11-08]

NOTE The abbreviation IPC will be used throughout the standard.

4 Symboles

A	section nominale de l'âme
D	variation du facteur de résistance du raccord
I	courant continu de mesure traversant une connexion pendant la mesure de la résistance
I_{eff}	valeur efficace équivalente du courant de court-circuit
I_N	courant alternatif nécessaire à maintenir le conducteur de référence à la température d'équilibre
I_r	courant continu de mesure traversant le ou les conducteurs de référence pendant la mesure de la résistance
k	facteur de résistance du raccord: rapport entre la résistance du raccord et celle du conducteur de référence de longueur équivalente
ℓ_a, ℓ_b, ℓ_j	longueurs de l'ensemble de connexion après raccordement, associées aux points de mesure
ℓ_r	longueur du conducteur de référence entre les points de mesure
t_1	durée de chauffage
t_2	durée nécessaire aux raccords et au conducteur de référence pour se refroidir jusqu'à une température inférieure ou égale à 35 °C
U	différence de potentiel entre points de mesure lorsque le courant I circule
U_r	différence de potentiel entre points de mesure sur un conducteur de référence lorsque le courant I_r circule
α	coefficient de température de la résistance à 20 °C
β	dispersion moyenne des facteurs de résistance d'un raccord
δ	dispersion initiale des facteurs de résistance d'un raccord
λ	rapport du facteur de résistance: variation relative du facteur de résistance du raccord par rapport à sa valeur initiale
θ	température d'un raccord
θ_{max}	température maximale enregistrée sur un raccord pendant la totalité de la période d'essai
θ_R	température du conducteur de référence déterminée pendant le premier cycle
θ_{ref}	température du conducteur de référence au moment de la mesure de θ_{max}

NOTE Des indices peuvent être utilisés pour désigner des valeurs relatives à un raccord donné, voir Annexe F.

4 Symbols

A	nominal cross-sectional area of the conductor
D	change in the resistance factor of the connector
I	direct current flowing through a connection during resistance measurement
I_{rms}	equivalent r.m.s. short-circuit current
I_{N}	alternating current necessary to maintain the reference conductor at its equilibrium temperature
I_{r}	direct current flowing through the reference conductor/conductors during resistance measurement
k	connector resistance factor: ratio of the resistance of a connector to that of the resistance of the equivalent length of the reference conductor
$\ell_{\text{a}}, \ell_{\text{b}}, \ell_{\text{j}}$	lengths of the connector assembly associated with the measurement points after joining
ℓ_{r}	length of the reference conductor between measurement points
t_1	heating time
t_2	time necessary for the connectors and the reference conductor to cool to a value equal to or less than 35 °C
U	potential difference between measurement points when current I is flowing
U_{r}	potential difference between measuring points on a reference conductor when current I_{r} is flowing
α	temperature coefficient of resistance at 20 °C
β	mean scatter of the connector resistance factors
δ	initial scatter of the connector resistance factors
λ	resistance factor ratio: change in the resistance factor of the connector, relative to its initial resistance factor
θ	temperature of a connector
θ_{max}	maximum temperature recorded on a connector over the total period of test
θ_{R}	temperature of the reference conductor determined in the first heat cycle
θ_{ref}	temperature of the reference conductor at the moment of measuring θ_{max}

NOTE Suffixes may be used to indicate values for the individual connector, see Annex F.

5 Généralités

5.1 Ame

Les informations suivantes doivent figurer dans le rapport d'essai:

- matériau de l'âme;
- section nominale, dimensions et forme. Il est recommandé que la section réelle soit aussi indiquée;
- type d'âme, c'est-à-dire massive ou câblée. Si l'âme est câblée, des détails de constitution doivent être donnés lorsqu'ils sont connus ou déterminés par examen, par exemple:
 - rétreinte;
 - non rétreinte;
 - souple (Classe 5 ou 6, selon la CEI 60228);
 - nombre et disposition des brins;
 - type de revêtement, le cas échéant;
 - type d'imprégnation, étanchéité, etc., le cas échéant;
- indication approximative sur la dureté, c'est-à-dire recuit, demi-dur, dur;
- dans le cas de raccords à perforation d'isolant, matériau et épaisseur d'isolant.

5.2 Raccords et outils de mise en œuvre

Les informations suivantes doivent figurer dans le rapport d'essai:

- la technique de montage à utiliser;
- les outils, matrices et équipements nécessaires;
- les boulons, écrous, rondelles, couples de serrage, etc.;
- la préparation des surfaces de contact, le cas échéant;
- les type, numéro de référence et toutes marques d'identification figurant sur le raccord;
- dans le cas des raccords à perforation d'isolant, nature de l'enveloppe isolante et température lors du montage.

5.3 Etendue de l'acceptation

En général, les essais effectués sur un type de combinaison raccord/âme s'appliquent seulement à cet ensemble. Cependant, pour limiter le nombre d'essais, les règles suivantes sont admises:

- un raccord utilisable sur des âmes circulaires câblées ou sectoriales câblées qui ont été mises au rond est conforme pour les deux types si des résultats satisfaisants sont obtenus sur une âme circulaire rétreinte;
- un raccord qui couvre une gamme de sections est conforme si des résultats satisfaisants sont obtenus sur la plus faible et la plus forte de ces sections (voir Note 2 ci-dessous);
- s'il s'agit d'un raccord de jonction entre deux âmes de sections ou de formes différentes, ou de nature de matériaux différents, et si la technique et les fûts utilisés ont déjà été essayés séparément pour chaque section, aucun essai supplémentaire n'est nécessaire. Dans le cas contraire, et si cela est prescrit pour des raccords de jonction bimétalliques, des essais supplémentaires doivent être effectués en utilisant l'âme ayant la température la plus élevée des deux comme conducteur de référence;

5 General

5.1 Conductor

The following information shall be recorded in the test report:

- conductor material;
- nominal cross-sectional area, dimensions and shape. It is recommended that the actual cross-sectional area should also be given;
- type of conductor, i.e. solid or stranded. In the case of stranded conductors, details of conductor constructions shall be given when known, or can be determined by inspection, e.g.:
 - compacted;
 - non-compacted;
 - flexible (Class 5 and 6, according to IEC 60228);
 - number and arrangement of strands;
 - type of plating, if applicable;
 - type of impregnation, water blocking, etc., if applicable;
- approximate indication of hardness, e.g. annealed, half-hard, hard;
- in the case of insulation-piercing connectors, material and thickness of insulation.

5.2 Connectors and tooling

The following information shall be recorded in the test report:

- the assembly technique that is to be used;
- tooling, dies and necessary setting;
- bolts, nuts, washers, torque, etc.;
- preparation of contact surfaces, if applicable;
- type, reference number and any other identification of the connector;
- in the case of insulation-piercing connectors, type of insulation and installation temperature.

5.3 Range of approval

In general, tests made on one type of connector/conductor combination apply to that arrangement only. However, to limit the number of tests the following is permitted:

- a connector which can be used on stranded round conductors or on stranded sector-shaped conductors which have been rounded, is approved for both types if satisfactory results are obtained on a compacted round conductor;
- a connector which covers a range of cross-sectional areas shall be approved, if satisfactory results are obtained on the smallest and the largest cross-sectional area (see Note 2 below);
- if a connector is a through connector for two conductors of different cross-sectional areas, shapes, or materials, and if the technique and the connector barrels used have already been tested separately for each cross-sectional area, no additional test is necessary. If not, and if it is required for bimetallic through connectors, additional tests shall be made using the conductor having the highest temperature of the two conductors, as reference conductor;

- si un fabricant peut apporter clairement la preuve que pour une famille de raccords les mêmes critères de conception ont été utilisés, la conformité à la présente norme est établie en réalisant les essais avec succès sur le plus grand et sur le plus petit des raccords, et sur deux tailles intermédiaires;

Exception n° 1: pour une famille de raccords comprenant cinq modèles, il est suffisant d'essayer le plus grand, le plus petit, ainsi qu'un raccord intermédiaire.

Exception n° 2: pour une famille de raccords comprenant quatre modèles au plus, il est suffisant d'essayer le plus grand et le plus petit des raccords.

- dans le cas de raccords couvrant plusieurs sections d'âme, le modèle de raccord sur les sections d'âme maximale et minimale doit être essayé;
- des résultats satisfaisants obtenus sur des raccords à perforation d'isolant essayés sur une enveloppe isolante en PVC à des températures de cycles thermiques et de court-circuit plus faibles ne donnent la conformité de ces raccords que pour des enveloppes isolantes en PVC;
- des résultats satisfaisants obtenus sur un raccord monté sur une âme de type sec donnent la conformité pour son utilisation sur une âme de même type provenant d'un câble isolé au papier imprégné;
- dans le cas des raccords dont une ou deux extrémités sont conçues pour couvrir une gamme de sections, et pour lesquels le même outillage de raccordement est utilisé pour ces différentes sections, des essais mécaniques doivent être réalisés pour la plus petite et la plus grande des sections d'âme, comme indiqué à l'Article 7.

NOTE 1 Des exemples de critères de conception appropriés sont

- taux de compression,
- nombre de vis de contact ou de rétreints,
- effort par unité de surface de vis de contact ou de sertissage,
- rapport du volume de matériau du raccord à celui de l'âme.

NOTE 2 Différents types d'étanchéité d'âme peuvent affecter la performance.

6 Essais électriques

6.1 Installation

Dans la boucle d'essai, toutes les âmes de même section doivent provenir du même conducteur.

Pour chaque série d'essais, six raccords doivent être montés en suivant les instructions du fabricant, sur une âme nue ou préalablement dénudée avant montage, afin de constituer une boucle d'essai avec le conducteur de référence correspondant.

Pour les âmes câblées, les potentiels entre les brins aux points de mesure peuvent causer une erreur sur la mesure de la résistance électrique. Des égaliseurs (voir Annexe A) doivent être utilisés pour pallier ce problème et pour s'assurer de l'uniformité de la répartition du courant dans le conducteur de référence et entre les raccords aux points d'équipotentialité.

Dans le cas de raccords à perforation d'isolant, l'isolant doit être conservé sur l'âme à l'endroit du raccord et sur une distance d'au moins 100 mm à l'extérieur de celui-ci. Dans la boucle d'essai, un ou des conducteurs de référence isolés doivent également être inclus. Lorsque le raccord doit être essayé selon la Classe B, il n'est pas nécessaire d'utiliser des conducteurs de référence nus.

La boucle d'essai doit être installée dans un endroit où l'air est calme. La température ambiante du local d'essais doit être comprise entre 15 °C et 30 °C.

Pour le montage des raccords à perforation d'isolant, la température doit être de $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$.

- if a manufacturer can clearly demonstrate that common and relevant connector design criteria were used for a family of connectors, conformity to this standard is achieved by successfully testing the largest, the smallest and two intermediate connector sizes;

Exception no.1: for a family of connectors consisting of five sizes, only the largest connector, the smallest connector, and one connector of a representative intermediate size need to be tested.

Exception no.2: for a family of connectors consisting of four sizes or less, only the largest connector and the smallest connector need to be tested.

- in the case of range-taking connectors, the maximum and minimum conductor cross-sectional area for the selected connectors shall be tested;
- satisfactory test results on insulation piercing connectors tested on PVC insulation at lower temperatures for heat cycles and for short-circuits shall give approval of such connectors for PVC insulation only;
- satisfactory test results of a connector on dry conductor shall give approval for its use on a conductor of the same type from an impregnated paper insulated cable;
- for connectors where one or both sides are designed for a range of cross-sectional areas, and a common clamping or crimping arrangement serves for the connection of the different cross-sectional areas, then mechanical tests on conductors with the largest and smallest cross-sectional areas shall be carried out according to Clause 7.

NOTE 1 Examples of relevant design criteria include

- compression reduction,
- number of contact screws or crimps,
- force per unit area of contact screw or crimp,
- ratio of amount of material of connector to that of conductor.

NOTE 2 Different types of water blocking may affect the performance.

6 Electrical tests

6.1 Installation

All conductors of the same cross-sectional area in the test loop shall be taken from the same continuous core.

For each series of tests, six connectors shall be fitted in accordance with the manufacturer's instructions, on a bare conductor or on a conductor that has had the insulation removed before assembly, to form a test loop together with the corresponding reference conductor.

For stranded conductors, potential between the strands at measuring points can cause errors in measuring electrical resistance. Equalizers (see Annex A) shall be used to overcome this problem and to ensure uniform current distribution in the reference conductor and between connectors at the equalizer points.

In the case of insulation piercing connectors, the insulation shall be retained on the conductor under the connector and for a distance of at least 100 mm outside the connector. Reference conductor(s) with the insulation retained shall also be included in the test loop. If the connector is to be tested according to Class B, there is no need for bare reference conductors.

The test loop shall be installed in a location where the air is calm. The ambient temperature of the test location shall be between 15 °C and 30 °C.

For assembly of the IPC, the temperature shall be $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$.

Dans le cas d'âmes massives, les points de mesure des potentiels doivent être aussi proches que possible du raccord, de façon à réduire les distances ℓ_a et ℓ_b à une valeur presque nulle.

La forme de la boucle d'essai est indifférente, à condition que sa disposition soit telle qu'il n'y ait pas d'effet nuisible du sol, des parois et du plafond.

Pour faciliter la réalisation des essais de court-circuit (raccords de la Classe A uniquement), la boucle peut être démontable. Dans ce cas, la technologie des points de sectionnement doit être telle qu'elle n'influence pas les mesures, en particulier celles des températures.

Le resserrage des boulons ou des vis des raccords en essai n'est pas admis.

6.1.1 Raccords de jonction et cosses d'extrémité

Le schéma de la boucle d'essai est indiqué à la Figure 1, qui donne les dimensions à respecter.

Pour les essais de cosses d'extrémité, les plages doivent être boulonnées aux barres de liaison selon les instructions du fabricant. A l'endroit du raccordement, ces barres doivent avoir les mêmes dimensions et la même épaisseur que la plage de la cosse et être réalisées dans le même matériau.

Il peut s'avérer nécessaire d'ajuster les caractéristiques thermiques de la barre de liaison en dehors du point de connexion, afin d'atteindre les températures spécifiées en 6.3. En variante des barres de liaison, l'essai peut être pratiqué en raccordant les deux plages l'une à l'autre. En cas de désaccord, la méthode avec les barres de liaison doit être utilisée.

S'il est toutefois nécessaire que l'essai des cosses d'extrémité comprenne une évaluation de la performance de la plage avec son système de serrage relié à l'équipement, il faut alors utiliser les extrémités des barres de liaison, ou une pièce intermédiaire, dont le matériau, les dimensions et le revêtement de surface font l'objet d'un accord entre les parties concernées.

6.1.2 Raccords de dérivation

Lorsque le raccord de dérivation est destiné à une section de câble dérivé égale ou immédiatement inférieure ou supérieure à celle du câble principal, il est traité comme un raccord de jonction entre principal et dérivé, et la méthode d'essai pour les raccords de jonction est applicable. Pour les autres cas, la boucle d'essai doit être celle indiquée à la Figure 2. Si le type de raccord impose de couper le conducteur principal, la partie du raccord qui se comporte comme un raccord de jonction doit être également essayée comme un raccord de jonction.

6.2 Mesures

6.2.1 Mesures de la résistance électrique

Les mesures de la résistance électrique doivent être effectuées durant les essais, à différentes étapes, comme indiqué en 6.3.

Ces mesures de résistances doivent être effectuées dans des conditions de température stables tant de la boucle d'essai que de l'ambiance du local. La température ambiante doit être comprise entre 15 °C et 30 °C.

In the case of solid conductors, the potential measuring points shall be as close as possible to the connector in order to reduce ℓ_a and ℓ_b close to zero.

The test loop may be of any shape provided that it is arranged in such a way that there is no adverse affect from the floor, walls and ceiling.

To permit the short-circuit tests (Class A connectors only) to be made easily, the loop can be made dismantable. In this case, the technology of the sectioning connections shall be such that they do not influence the measurements, particularly from the point of view of temperature.

Retightening of bolts or screws of the connectors under test is not permitted.

6.1.1 Through connectors and terminal lugs

The test loop is shown in Figure 1, which indicates the dimensions that shall be used.

Where terminal lugs are to be tested, the palms shall be bolted to linking bars in accordance with the manufacturer's instructions. These linking bars shall, at the point of connection, be of the same dimensions and thickness as the palm, and also of the same material.

It may be necessary to adjust the thermal characteristics of the linking bar outside the point of connection, to achieve the temperatures specified in 6.3. As an alternative to linking bars, tests can be made on terminal lugs with palm connected direct to palm. In case of disagreement, the method with linking bars shall be used.

If however it is requested that the terminal lug test includes an evaluation of the performance of the bolted palm when connected to a plant terminal, then linking bar ends, or an intermediate piece, shall be used of a material, size and surface coating agreed between the parties.

6.1.2 Branch connectors

When the branch connector is intended for a branch cross-sectional area equal to the main, or a cross-sectional area immediately above or below the main, it is treated as a through connector between the main and the branch, and the test method for through connectors is applicable. In other cases, the test loop shall be as shown in Figure 2. Where a type of connector makes it necessary for the main conductor to be cut, that part of the connector which acts as a through connector, shall also be tested as for through connectors.

6.2 Measurements

6.2.1 Electrical resistance measurements

Measurements of electrical resistance shall be made at stages throughout the test as specified in 6.3.

These measurements of resistance shall be made under steady temperature conditions of both the test loop and test location. The ambient temperature shall be between 15 °C and 30 °C.

La méthode recommandée consiste à faire passer, dans les raccords et dans le conducteur de référence, un courant continu ne dépassant pas 10 % du courant déterminé lors des cycles thermiques, sans augmentation de la température, et à mesurer la différence de potentiel entre deux points spécifiques. Le rapport de la différence de potentiel et du courant continu constitue alors la résistance entre ces deux points.

NOTE Afin d'augmenter la précision de la mesure des résistances, il est recommandé d'utiliser la même valeur de courant continu pendant toute la durée de l'essai.

Pour des raccords de dérivation montés comme indiqué à la Figure 2, la totalité du courant de mesure doit traverser la partie du raccord dont on veut mesurer la différence de potentiel. Des interrupteurs ou des points de sectionnement peuvent être disposés dans ce but.

Les tensions thermoélectriques peuvent affecter la précision des mesures de faibles résistances (de l'ordre de $10 \mu\Omega$). Si cela est à craindre, on doit procéder à deux mesures de résistance en inversant le sens du courant continu entre deux lectures. La moyenne des deux lectures effectuées constitue alors la résistance réelle de l'échantillon.

Les points de mesure des potentiels doivent être conformes aux dispositions de la Figure 3 et de l'Annexe B, et les différentes longueurs indiquées doivent être mesurées afin de pouvoir déterminer les résistances réelles des raccords. On doit enregistrer la température du raccord et celle du conducteur de référence au moment où les mesures de résistances sont effectuées. Afin de permettre les comparaisons, les valeurs de résistance doivent être ramenées à 20 °C. Des renseignements sur la méthode de référence sont également donnés dans l'Annexe B. Des mesures de température en ces points doivent aussi être effectuées durant l'essai de cycles thermiques.

Mesures indirectes de résistance:

- la précision des mesures de tension doit être de $\pm 0,5 \%$ ou $\pm 10 \mu V$, en prenant la plus grande des deux valeurs;
- la précision des mesures de courant doit être de $\pm 0,5 \%$ ou $\pm 0,1 A$, en prenant la plus grande des deux valeurs.

Mesures directes de résistance:

La précision des mesures de résistance doit être de $\pm 1 \%$ ou $\pm 0,5 \mu\Omega$, en prenant la plus grande des deux valeurs, lorsque l'instrument de mesure est calibré sur une résistance d'étalonnage certifiée.

6.2.2 Mesures de température

Les mesures de température doivent être effectuées durant les essais, à différentes étapes, comme indiqué en 6.3.

Les températures des raccords et des conducteurs de référence doivent être mesurées aux points indiqués à la Figure 3. La méthode de mesure recommandée de la température consiste à utiliser des thermocouples. La précision des mesures de température doit être de $\pm 2 K$.

6.3 Essai de cycles thermiques

L'essai de cycles thermiques doit être réalisé en courant alternatif.

6.3.1 Premier cycle thermique

Le but du premier cycle thermique est de déterminer la température du conducteur de référence à utiliser pour les cycles ultérieurs et d'identifier le raccord médian.

a) Raccords de jonction et cosses d'extrémité autres qu'à perforation d'isolant

On applique à la boucle un courant portant le conducteur de référence à 120 °C à l'équilibre.

The recommended method is to pass a direct current of up to 10 % of the heat cycling current, through the connectors and the reference conductor, without increasing the temperature and to measure the potential difference between specific potential points. The ratio of potential difference and direct current is the resistance between those points.

NOTE To improve the accuracy of the resistance measurement, it is recommended that the same direct current is used throughout the test programme.

For branch conductors assembled in accordance with Figure 2, the whole of the measuring current shall flow through that part of the connector whose potential difference is being measured. Switches or disconnect points may be provided for this purpose.

Thermoelectric voltages may affect the accuracy of low resistance measurements (of the order of $10\ \mu\Omega$). If this is suspected, two resistance measurements shall be taken with the direct measuring current reversed between readings. The mean of the two readings is then the actual resistance of the sample.

The potential points shall be as indicated in Figure 3, and Annex B, and the various lengths shown shall also be measured to enable the actual connector resistances to be determined. The temperature of connector and reference conductor shall be recorded when resistance measurements are made. For direct comparison, the resistance values shall be corrected to $20\ ^\circ\text{C}$. Information on the recommended method is also given in Annex B. Temperature measurements at these locations shall be made during the heat cycling test.

Indirect resistance readings:

- voltage measurements shall have an accuracy within $\pm 0,5\ \%$ or $\pm 10\ \mu\text{V}$, whichever is the greater;
- current measurements shall have an accuracy within $\pm 0,5\ \%$ or $\pm 0,1\ \text{A}$, whichever is the greater.

Direct resistance readings:

Resistance measurements shall have an accuracy within $\pm 1\ \%$ or $\pm 0,5\ \mu\Omega$, whichever is the greater when the instrument is calibrated against a certified standard resistance.

6.2.2 Temperature measurements

The temperature measurements shall be made at stages throughout the test, as specified in 6.3.

Temperatures of both connectors and reference conductors shall be measured at the points indicated in Figure 3. The recommended method of temperature measurement is to use thermocouples. Temperature readings shall have an accuracy within $\pm 2\ \text{K}$.

6.3 Heat cycle test

The heat cycling test shall be made with alternating current.

6.3.1 First heat cycle

The object of the first heat cycle is to determine the reference conductor temperature to be used for subsequent cycles and also to identify the median connector.

a) Non-IPC through connectors and terminal lugs

Current is circulated in the test loop, bringing the reference conductor to $120\ ^\circ\text{C}$ at equilibrium.

Le point d'équilibre correspond au moment où la température du conducteur de référence et celle des raccords ne varie pas de plus de ± 2 K pendant 15 min.

Si la température du raccord médian (voir 3.11) est égale ou supérieure à 100 °C, on doit considérer que la température du conducteur de référence, lors des cycles thermiques suivants, est de 120 °C. Dans le cas contraire, le courant doit être augmenté jusqu'à ce que la température du raccord médian atteigne 100 °C à l'équilibre, à condition que la température du conducteur de référence n'excède pas 140 °C. Si le raccord médian n'atteint pas 100 °C, même lorsque le conducteur de référence est à 140 °C, l'essai doit être poursuivi à cette température. La température mesurée sur le conducteur de référence θ_R doit alors être utilisée pour les cycles thermiques suivants ($120\text{ °C} \leq \theta_R \leq 140\text{ °C}$). Le courant I_N à la température d'équilibre doit être consigné dans le rapport d'essai.

NOTE 1 Lorsqu'on utilise des barres de liaison pour les cosses d'extrémité, il convient également de mesurer la température au point milieu de la barre reliant les plages. Il convient que cette température soit égale à celle du conducteur de référence θ_R , avec une tolérance de ± 5 K.

b) Raccords de dérivation autres qu'à perforation d'isolant

Lorsqu'il est nécessaire d'utiliser la boucle d'essai décrite à la Figure 2, on doit faire passer un courant dans la boucle portant le conducteur principal de référence et les trois conducteurs dérivés de référence à 120 °C à l'équilibre. Pour cela, on doit ajuster les courants dans les trois dérivation par injection de courant ou par adaptation d'impédance. Si la température du raccord médian (voir 3.11) est égale ou supérieure à 100 °C, on doit considérer que la température des conducteurs de référence, lors des cycles thermiques suivants, est de 120 °C. Dans le cas contraire, le courant doit alors être augmenté jusqu'à ce que la température du raccord médian atteigne 100 °C à l'équilibre, à condition que la température des conducteurs de référence n'excède pas 140 °C. A ce stade, et aussi à intervalles durant l'essai, il peut être nécessaire d'ajuster le courant dans un circuit dérivé pour s'assurer que la température y est bien la même que celle du conducteur principal de référence. La température mesurée sur le conducteur principal de référence θ_R doit alors être utilisée pour les cycles thermiques suivants ($120\text{ °C} \leq \theta_R \leq 140\text{ °C}$). Le ou les courants I_N à la température d'équilibre dans les conducteurs principal et dérivé doivent être consignés dans le rapport d'essai.

c) Raccords à perforation d'isolant

Pour les essais des raccords à perforation d'isolant, on doit utiliser la même boucle d'essai que celle indiquée aux Figures 1 ou 2, sauf qu'on doit inclure un ou des conducteurs de référence isolés dans le circuit. Pendant les cycles, la température du raccord médian doit être modifiée pour qu'elle dépasse de 10 K la température maximale de l'âme en service normal à laquelle ces raccords sont destinés. Toutefois, le courant doit être limité de façon telle que la température à l'équilibre du conducteur de référence isolé ne dépasse pas de plus de 10 K à 15 K la température maximale de l'âme en service normal. Dans le cas de raccords de dérivation, au cours de l'essai, il peut être nécessaire d'ajuster le courant dans une dérivation individuelle de façon à s'assurer que chaque température de référence du dérivé soit la même que la température de référence du principal. Les courants I_N à la température d'équilibre dans le conducteur principal et dans le conducteur dérivé éventuel doivent être notés dans le rapport d'essai.

NOTE 2 Si un raccord est utilisé dans des conditions telles qu'on puisse atteindre des températures nettement supérieures à la température maximale de l'âme en service normal, on peut effectuer des essais complémentaires à des températures plus élevées de la boucle d'essai, après accord entre le fabricant et l'utilisateur. Il convient que l'échauffement complémentaire de la boucle d'essai soit obtenu au moyen d'isolation thermique.

6.3.2 Deuxième cycle thermique

Le but du second cycle thermique est de définir la durée du cycle thermique et le profil de température qui seront ensuite utilisés sur la boucle d'essai pour tous les cycles thermiques suivants. On fait passer le courant dans la boucle jusqu'à ce que la température du conducteur principal de référence atteigne la valeur θ_R déterminée en 6.3.1, avec une tolérance de $^{+6}_0$ K et que la température du raccord médian reste stable dans une bande de 2 K sur une période de 10 min.

Equilibrium is defined as the moment when the reference conductor and the connectors do not vary in temperature by more than ± 2 K for 15 min.

If the temperature of the median connector (see 3.11) is equal to or greater than $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, the reference conductor temperature for subsequent heat cycles shall be deemed to be $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. If not, then the current shall be increased until the median connector temperature reaches $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ at equilibrium, subject to the reference conductor temperature not exceeding $140\text{ }^{\circ}\text{C}$. If the temperature of the median connector does not reach $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, even with a reference conductor temperature of $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, the test shall be continued at that temperature. The measured reference conductor temperature θ_R shall then be used for subsequent heat cycles ($120\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_R \leq 140\text{ }^{\circ}\text{C}$). The current I_N at equilibrium temperature shall be recorded in the test report.

NOTE 1 Where linking bars are used for terminal lugs, the temperature at the midpoint of the bar linking the palms should also be measured. This temperature should be equal to the temperature of the reference conductor θ_R , with a tolerance of ± 5 K.

b) Non-IPC branch connectors

Where it is necessary to use the circuit shown in Figure 2, current shall be circulated in the test loop, bringing the main reference conductor and the three branch reference conductors to $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ at equilibrium. To achieve this, the currents in the three branches shall be adjusted by current injection or impedance control. If the median connector temperature (see 3.11) is then equal to or greater than $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, the reference conductor temperature for subsequent heat cycles shall be deemed to be $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. If not, then the current shall be increased in the loop until the median connector temperature reaches $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ at equilibrium, provided the reference conductors do not exceed $140\text{ }^{\circ}\text{C}$. It may be necessary at this stage, and also at intervals throughout the test, to adjust the current in an individual branch so as to ensure that each branch reference temperature is the same as the main reference temperature. The measured reference conductor temperature θ_R on the main and branch conductors, shall then be used for subsequent heat cycles ($120\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_R \leq 140\text{ }^{\circ}\text{C}$). The current(s) I_N at equilibrium temperature in the main and branch conductors shall be recorded in the test report.

c) IPC

For tests of IPCs, the same test loop as in Figure 1 or 2 shall be used except that the insulated reference conductor(s) is (are) added in the circuit. During cycling, the temperature on the median connector shall be modified to be 10 K higher than the maximum conductor temperature in normal operation for which these type of connectors are intended. However, the circulated current shall be limited so that the temperature of the insulated reference conductor at equilibrium is not more than 10 K to 15 K above the maximum conductor temperature in normal operation. In the case of branch connectors, it may be necessary at intervals throughout the test, to adjust the current in an individual branch so as to ensure that each branch reference temperature is the same as the main reference temperature. The current(s) I_N at equilibrium temperature in the main and possible branch conductors shall be recorded in the test report.

NOTE 2 If a connector is used in an application where considerably higher temperatures are reached than the maximum conductor temperature in normal operation, additional tests at higher temperature of the test loop may be made, after agreement between manufacturer and user. The additional increase in temperature of the test loop should be achieved by the application of thermal insulation.

6.3.2 Second heat cycle

The object of this second heat cycle is to determine the heat cycle duration and temperature profile which will be used on the test loop for all subsequent heat cycles. Current is circulated in the loop until the main reference conductor temperature reaches the value θ_R determined in 6.3.1, with a tolerance of ${}^{+6}_0$ K and the median connector temperature is stable within a band of 2 K over a 10 min period.

Il est possible d'utiliser un courant d'intensité élevée afin de réduire la durée du chauffage. La durée du passage de ce courant est indiquée au Tableau 1. Le courant doit ensuite être diminué ou régulé à une intensité moyenne proche de I_N pour garantir le maintien de conditions stables durant la période de suivi du raccord médian. Il peut être nécessaire d'effectuer plus d'un cycle pour la détermination du deuxième cycle.

La température du conducteur de référence constitue le paramètre de contrôle, de façon à respecter le profil de température pendant l'essai de cycles thermiques. Ainsi, les variations de température ambiante n'affectent pas le profil de température du conducteur de référence.

Tableau 1 – Durée minimale de chauffage sous intensité élevée

Section nominale de l'âme A mm ²	Al	$16 \leq A \leq 50$	$50 < A \leq 150$	$150 < A \leq 630$	$A > 630$
	Cu	$10 \leq A \leq 35$	$35 < A \leq 95$	$95 < A \leq 400$	$A > 400$
Durée	min	5	10	15	20

La courbe de température du conducteur de référence en fonction du temps (t_1) ainsi déterminée, voir Figure 4, doit être enregistrée et être utilisée pour tous les cycles ultérieurs.

Après la période t_1 suit une période t_2 de refroidissement pour amener la température de tous les raccords et celle du conducteur de référence à une valeur ≤ 35 °C.

Pour les cycles suivants, il peut être nécessaire d'ajuster t_2 pour s'assurer que les conditions de température sont atteintes.

Si un refroidissement accéléré est utilisé, il doit agir sur l'ensemble de la boucle et utiliser de l'air dont la température est comprise dans les limites de la température ambiante.

La période totale $t_1 + t_2$ constitue un cycle thermique (voir Figure 4).

6.3.3 Cycles thermiques suivants

Un total de 1 000 cycles thermiques (comme définis en 6.3.2) doit être effectué. A l'issue de la période de refroidissement des cycles indiqués ci-dessous, on doit mesurer la résistance et la température de chaque raccord et celles de chaque conducteur de référence, comme indiqué en 6.2. On doit également mesurer la température maximale de chaque raccord pendant le cycle, juste avant ou juste après les mesures de résistance.

Les mesures doivent être effectuées aux cycles suivants:

Classe A	Classe B
0 (avant le premier cycle, voir 6.3.1)	0 (avant le premier cycle, voir 6.3.1)
200, avant court-circuit	250
200, après court-circuit	puis tous les 75 cycles
250	(au total 12 mesures)
puis tous les 75 cycles	
(au total 14 mesures)	

Une tolérance de ± 10 cycles peut être appliquée.

An elevated current may be used to reduce the heating period. The duration of this elevated current is given in Table 1. The current shall thereafter be decreased or regulated to a mean value of the current close to I_N to ensure stable conditions during the median-conductor control period. It may be necessary to use more than one cycle to determine the second heat cycle.

The reference conductor temperature shall be the control parameter, in order to keep the temperature profile during the heat cycle test. In this way, the fluctuation of the ambient temperature will not affect the temperature profile of the reference conductor.

Table 1 – Minimum elevated current heating time

Nominal conductor cross-sectional area, A	mm ²	Al	$16 \leq A \leq 50$	$50 < A \leq 150$	$150 < A \leq 630$	$A > 630$
		Cu	$10 \leq A \leq 35$	$35 < A \leq 95$	$95 < A \leq 400$	$A > 400$
Time	min		5	10	15	20

The reference temperature time (t_1) heating profile, see Figure 4, determined in this way shall be recorded and used for all subsequent cycles.

After the period t_1 , follows a period t_2 of cooling to bring the temperature of all connectors and the reference conductor to a value ≤ 35 °C.

It may be necessary in subsequent heat cycles to adjust t_2 to ensure that the temperature conditions are reached.

If accelerated cooling is used, it shall act on the whole of the loop, and use air within ambient temperature limits.

The total period $t_1 + t_2$ constitutes a heat cycle (see Figure 4).

6.3.3 Subsequent heat cycles

A total of 1000 heat cycles (as defined in 6.3.2) shall be made. After the cooling period of the cycles indicated below, the resistance and temperature of each connector and each reference conductor shall be recorded as indicated in 6.2. The maximum temperature of each connector during the cycle just prior to or following the resistance measurements shall also be recorded.

Measurements shall be made at the following cycles:

Class A

0 (before the first heat cycle, see 6.3.1)
 200, before short-circuit
 200, after short-circuit
 250
 Then every 75 cycles
 (in total 14 measurements)

Class B

0 (before the first heat cycle, see 6.3.1)
 250
 then every 75 cycles
 (in total 12 measurements)

A tolerance of ± 10 cycles may be used.

6.3.4 Essais de court-circuit (pour les raccords de Classe A uniquement)

Six courts-circuits sont appliqués après le 200^{ème} cycle thermique.

L'intensité du courant de court-circuit doit être telle que la température du conducteur de référence nu soit portée entre 250 °C et 270 °C à partir d'une température inférieure ou égale à 35 °C.

Toutefois, pour les raccords à perforation d'isolant, le courant de court-circuit doit être limité de façon telle que la température du conducteur de référence isolé ne dépasse pas la température maximale admissible par l'enveloppe isolante.

NOTE 1 Le courant de court-circuit peut être calculé selon l'Article 3 de la CEI 60949, ou être déterminé selon l'Annexe D de la présente norme comme méthode de détermination du courant nécessaire pour obtenir l'échauffement requis, à condition que la section réelle de l'âme soit vérifiée.

La température maximale, la durée et le courant approximatif, ou le courant et la durée réels, utilisés pour l'essai de court-circuit, doivent être consignés dans le rapport d'essai.

La durée du courant de court-circuit doit être de $(1 \pm 0,1)$ s avec un courant maximal de 25 kA.

Si le courant de court-circuit nécessaire dépasse cette valeur, on doit appliquer une durée inférieure ou égale à 5 s, et une intensité comprise entre 25 kA et 45 kA.

A l'issue de chaque court-circuit, la boucle d'essai doit revenir à une température ≤ 35 °C.

NOTE 2 Pour les fortes sections d'âme, on peut préchauffer la boucle jusqu'à 90 °C. Toutefois, pour les sections d'âme dépassant 630 mm² en cuivre ou 1 000 mm² en aluminium, les paramètres ci-dessus (45 kA et 5 s) sont insuffisants pour atteindre 250 °C.

Comme indiqué en 6.1, la boucle d'essai peut être démontée pour ces essais. Comme l'essai de court-circuit vise seulement à reproduire les effets thermiques de courants élevés, la méthode recommandée consiste à utiliser un conducteur de retour concentrique afin de réduire les efforts électrodynamiques. Le dispositif d'essai doit être noté.

NOTE 3 Il convient de noter que le pliage ou les vibrations pendant le montage, le transport et les manutentions peuvent occasionner des efforts mécaniques affectant la résistance de contact des raccords et il convient donc de les éviter. Lorsqu'il est prévu que les essais reproduisent des contraintes telles que celles qui se produisent sur des cosses d'extrémité fixées sur des équipements terminaux, il convient que la disposition mécanique de la boucle d'essai fasse l'objet d'un accord entre les parties concernées.

NOTE 4 Pour des applications spéciales, d'autres conditions de court-circuit peuvent être adoptées.

NOTE 5 Pour les raccords de dérivation, le conducteur de référence est celui du dérivé.

6.4 Evaluation des résultats

Le calcul d'un facteur k de résistance propre à chaque raccord fournit une méthode commune d'évaluation des raccords pour toute la gamme de sections d'âme applicables à la présente norme. On calcule alors les paramètres énumérés ci-dessous (voir Annexe E).

- Le facteur k de résistance du raccord doit être calculé conformément à l'Article E.2, pour chacun des six raccords à tous les intervalles de mesures indiqués en 6.3.3.
- La dispersion initiale δ , entre les six valeurs initiales de k mesurées au cycle 0 doit être déterminée selon l'Article E.3.
- La dispersion moyenne β , entre les six valeurs de k moyennées sur les 11 derniers intervalles de mesure, doit être déterminée selon l'Article E.4.
- La variation du facteur de résistance D pour chacun des six raccords doit être calculée selon l'Article E.5. D est la variation de la valeur de k obtenue pour les 11 derniers intervalles de mesure, rapportée à la valeur moyenne de k dans cet intervalle.
- Le rapport du facteur de résistance λ doit être déterminé selon l'Article E.6.
- La température maximale $\theta_{\max}$ sur chaque raccord doit être enregistrée selon l'Article E.7.

6.3.4 Short-circuit tests (for Class A connectors only)

Six short-circuits are applied after the 200th heat cycle.

The short-circuit current level shall be such that it raises the bare reference conductors from a temperature of ≤ 35 °C to a temperature between 250 °C and 270 °C.

However, for IPC connectors the short-circuit current shall be limited so that the temperature of the insulated reference conductor does not exceed the maximum permissible temperature of the insulation.

NOTE 1 The short-circuit current may be calculated according to Clause 3 of IEC 60949 and may be determined in accordance with Annex D of this standard as a method for selecting the current needed for a certain temperature rise, providing the actual conductor cross-sectional area is verified.

The maximum temperature, time and approximate current, or the actual current and time, used for the short-circuit test, shall be recorded and stated in the test report.

The duration of the short-circuit current shall be $(1_{-0,1}^{+0,5})$ s with a maximum current of 25 kA.

If the required short-circuit current exceeds this value a longer duration ≤ 5 s with a current between 25 kA and 45 kA shall be used.

After each short-circuit, the test loop shall be cooled to a temperature ≤ 35 °C.

NOTE 2 For large cross-sectional areas, pre-heating up to 90 °C may be used. However, for cross-sectional areas exceeding 630 mm² copper or 1000 mm² aluminium, the above parameters (45 kA and 5 s) are insufficient to reach 250 °C.

As stated in 6.1, the test loop may be dismantled for these tests. Since the short-circuit test is intended to reproduce the thermal effects of high currents only, the recommended method is to use a concentric return conductor in order to reduce the electro-dynamic forces. The test arrangements shall be recorded.

NOTE 3 It should be noted that bending or vibrations during assembly, transport and handling may give rise to mechanical forces which affect the contact resistance of the test objects and should thus be avoided. Where tests are required to reproduce, e.g. forces that occur on terminal lugs bolted to a terminal plant, then the mechanical arrangement of the test loop should be agreed between the parties concerned.

NOTE 4 For special applications, other short-circuit conditions may be adopted.

NOTE 5 For branch connectors, the reference conductor is that associated with the branch.

6.4 Assessment of results

An individual connector resistance factor k enables a common method of connector assessment to be made over the range of conductor cross-sectional areas applicable to this standard. The parameters listed below are calculated (see Annex E).

- The connector resistance factor k shall be calculated according to Clause E.2, for each of the six connectors at all the measurement intervals listed in 6.3.3.
- The initial scatter δ , between the six initial values of k , measured at heat cycle 0, shall be calculated according to Clause E.3.
- The mean scatter β , between the six values of k , averaged over the last 11 measurement intervals, shall be calculated according to Clause E.4.
- The change in resistance factor D for each of the six connectors shall be calculated according to Clause E.5. D is the change in the value of k taken over the last 11 measurement intervals, calculated as a fraction of the mean value of k in this interval.
- The resistance factor ratio λ shall be calculated according to Clause E.6.
- The maximum temperature $\theta_{\max}$ on each connector shall be recorded according to Clause E.7.

6.5 Prescriptions

Les six raccords doivent satisfaire aux prescriptions indiquées dans le Tableau 2. Si l'un des six raccords essayés ne satisfait pas à une ou plusieurs des prescriptions, un contre-essai est autorisé. Dans ce cas, les six nouveaux échantillons doivent être conformes aux prescriptions.

Si plus d'un raccord sur les six essayés ne satisfait pas à une ou plusieurs des prescriptions, aucun contre-essai ne doit être admis et le type de raccord n'est pas conforme à la présente norme.

Tableau 2 – Prescriptions pour l'essai électrique

Paramètre	Désignation	Référence du texte	Valeur maximale
Dispersion initiale	δ	E.3	0,30
Dispersion moyenne	β	E.4	0,30
Variation du facteur de résistance	D	E.5	0,15
Rapport du facteur de résistance	λ	E.6	2,0
Température maximale	$\theta_{\max}$	E.7	θ_{ref}
NOTE Les valeurs de ce tableau sont basées sur l'expérience			

7 Essais mécaniques

Ces essais ont pour but de s'assurer de la bonne tenue mécanique des raccords sur les âmes des câbles d'énergie.

NOTE L'essai de traction ne donne pas une indication fiable quant à la qualité électrique du raccord.

7.1 Méthode

L'essai doit être effectué sur trois raccords supplémentaires, identiques à ceux utilisés pour les essais électriques. Les raccords sont montés comme dans l'essai électrique de 6.1. Les longueurs d'âme entre raccords ou entre le raccord et les mâchoires de la machine de traction doivent être ≥ 500 mm. La vitesse d'augmentation de la force doit être au plus égale à 10 N par millimètre carré de section d'âme et par seconde, jusqu'à la valeur du Tableau 3 et maintenue pendant 1 min.

Si le raccord a subi l'essai électrique avec des âmes de sections différentes, les divers raccords doivent être essayés individuellement, selon les prescriptions du Tableau 3.

Tableau 3 – Effort de traction pour les essais mécaniques

Matériau de l'âme	Effort de traction N
Aluminium	$40 \times A^a$; maximum 20 000
Cuivre	$60 \times A^a$; maximum 20 000
^a A = section nominale de l'âme (mm ²).	

7.2 Prescriptions

Aucun glissement ne doit se produire au cours de la dernière minute de l'essai.

6.5 Requirements

The six connectors shall satisfy the requirements shown in Table 2. If one connector out of the six does not satisfy one or more of the requirements, a re-test may be carried out. In this event, all six new connectors shall satisfy the requirements.

If more than one connector out of the six do not satisfy one or more of the requirements, no re-test is permitted and the type of connector shall be deemed as not conforming to this standard.

Table 2 – Electrical test requirements

Parameter	Designation	Text reference	Maximum value
Initial scatter	δ	E.3	0,30
Mean scatter	β	E.4	0,30
Change in resistance factor	D	E.5	0,15
Resistance factor ratio	λ	E.6	2,0
Maximum temperature	$\theta_{\max}$	E.7	θ_{ref}
NOTE Values given in this table are based on experience.			

7 Mechanical tests

The purpose of these tests is to ensure an acceptable mechanical strength for the connections to the conductors of power cables.

NOTE The pull-out force does not give any reliable indication of the electrical quality of the connector.

7.1 Method

The test shall be made on three additional connectors identical to those used for the electrical test. The connectors are fitted as for the electrical test of 6.1. The conductor lengths, between connectors or between connector and tensile test machine jaws, shall be ≥ 500 mm. The rate of application of the load shall not exceed 10 N per square millimetre of cross-sectional area and per second up to the value in Table 3, which is then maintained for 1 min.

If the connector is tested electrically for conductors with a different cross-sectional area, the different connectors shall be tested individually, in accordance with Table 3.

Table 3 – Tensile force for mechanical tests

Conductor material	Tensile force N
Aluminium	$40 \times A^a$; maximum 20 000
Copper	$60 \times A^a$; maximum 20 000
^a A = nominal cross-sectional area (mm ²).	

7.2 Requirements

No slipping shall occur during the last minute of the test.

8 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes:

- la classe du raccord (voir Article 1);
- l'âme utilisée (voir 5.1);
- le raccord et les outils de mise en œuvre (voir 5.2);
- l'installation (voir l'exemple en 6.1.1);
- le courant à la température d'équilibre (voir 6.3.1);
- pour la Classe A, les paramètres de court-circuit (voir 6.3.4);
- les résultats des essais électriques;
- les résultats des essais mécaniques.

NOTE Il est recommandé de présenter des courbes indiquant le facteur de résistance k en fonction du nombre de cycles, la température en fonction du nombre de cycles, ainsi qu'une courbe indiquant le profil de température.

8 Test report

The test report shall include the following information:

- connector class (see Clause 1);
- conductor used (see 5.1);
- connector and tooling (see 5.2);
- installation (for example see 6.1.1);
- current at equilibrium temperature (see 6.3.1);
- for Class A, the short-circuit parameters (see 6.3.4);
- electrical test results;
- mechanical test results.

NOTE It is advisable to show a graph of the connector resistance factor k versus the cycle number, a graph of temperature versus the cycle number and also a graph of the temperature profile.

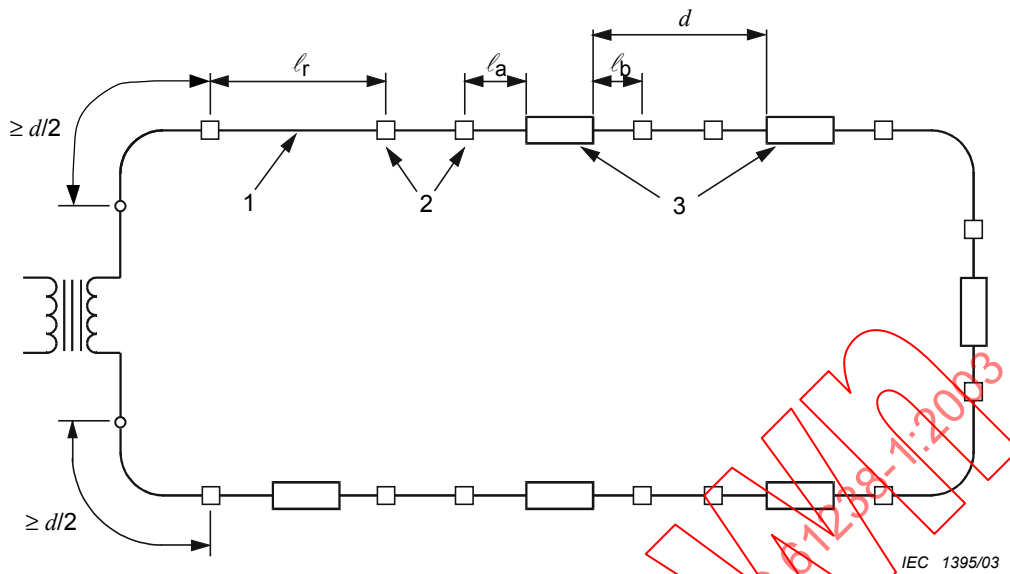


Figure 1a – Raccords de jonction

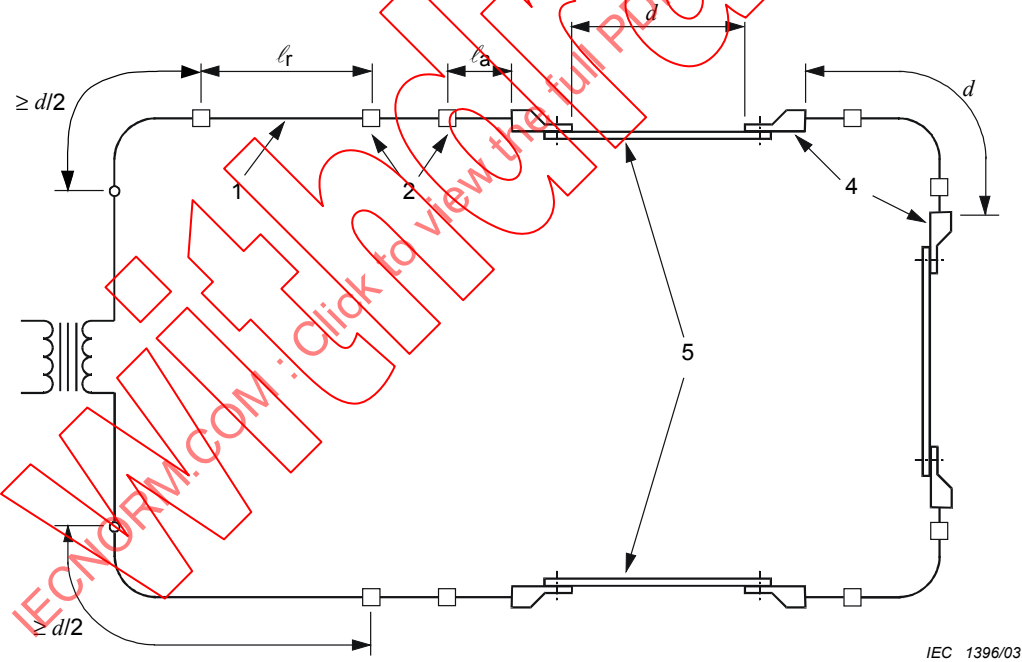


Figure 1b – Cosses d'extrémité

où

$d \geq 80 \sqrt{A}$ ou 500 mm, en prenant la plus grande des deux valeurs

A est la section de l'âme correspondante en mm^2 ;

$\ell_r \geq \ell_a + \ell_b + \ell_j$ (pour ℓ_j voir Figure 3)

Pour les âmes câblées:

$\ell_a, \ell_b \approx 15 \sqrt{A}$ ou 150 mm, en prenant la plus grande des deux valeurs

Légende

- 1 conducteur de référence
- 2 égaliseurs (pour les âmes câblées)
- 3 raccords de jonction
- 4 cosses d'extrémité
- 5 barres de liaison

Figure 1 – Circuits d'essai typiques pour raccords de jonction et cosses d'extrémité

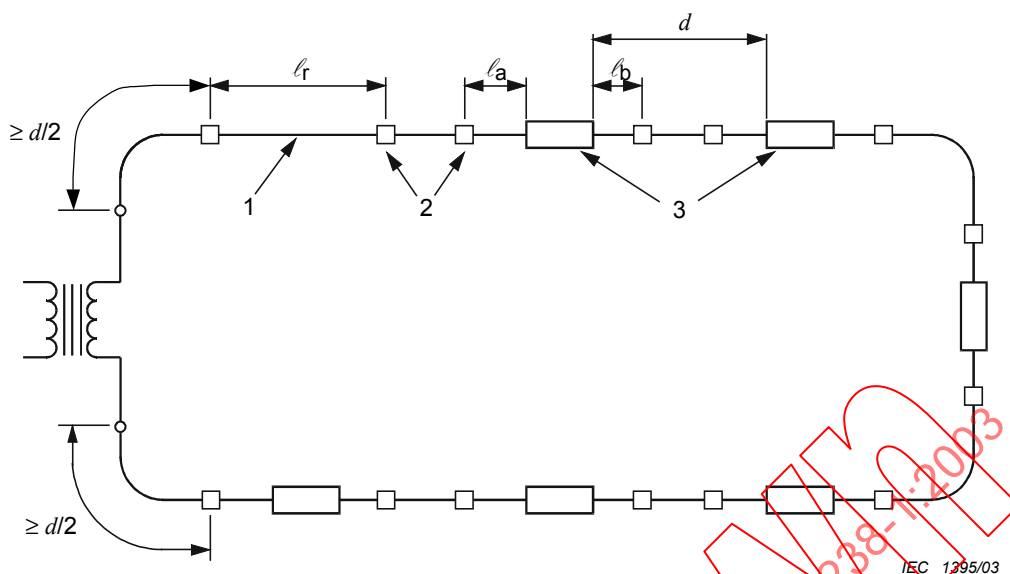


Figure 1a – Through connectors

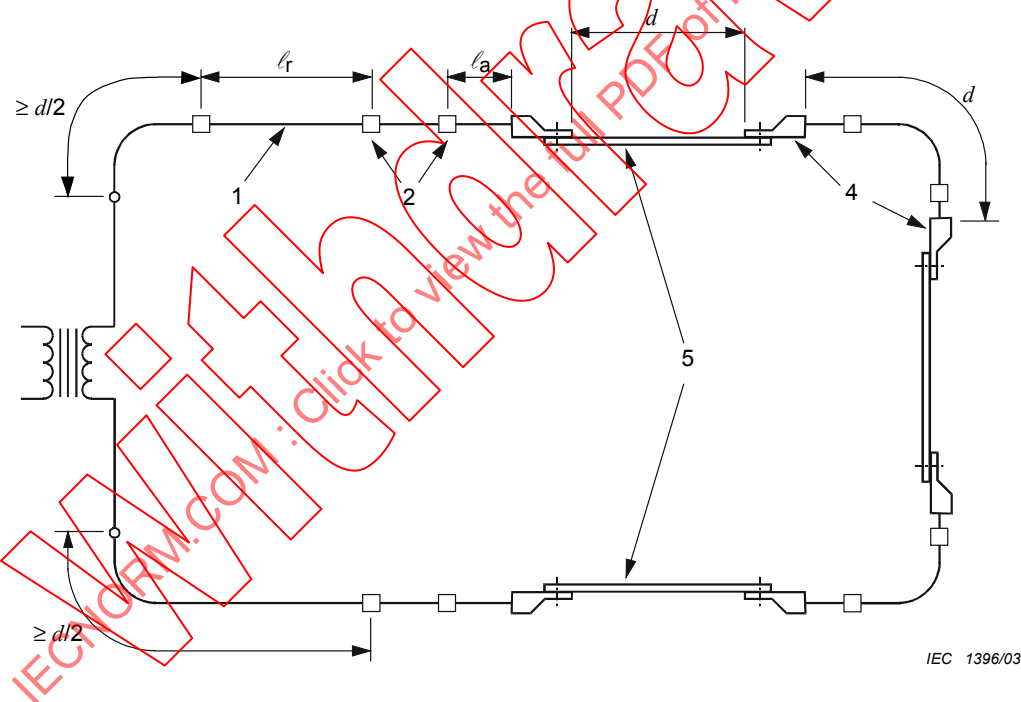


Figure 1b – Terminal lugs

where

$d \geq 80 \sqrt{A}$ or 500 mm, whichever is the greater

A is the corresponding conductor cross-sectional area, in mm²

$l_r \geq l_a + l_b + l_j$ (for l_j , see Figure 3)

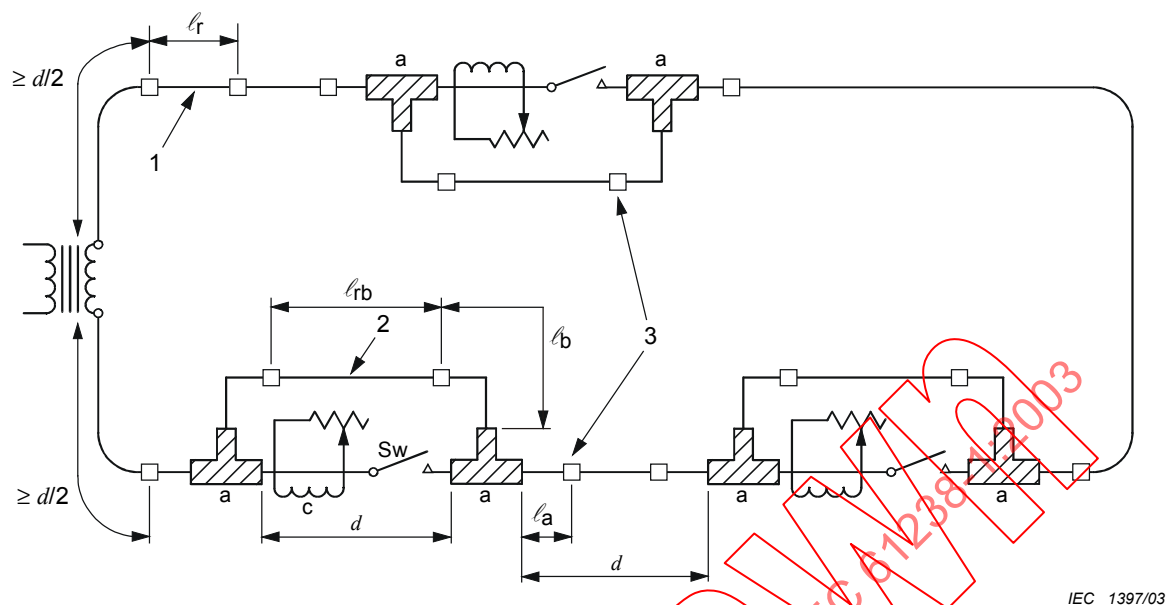
For stranded conductors:

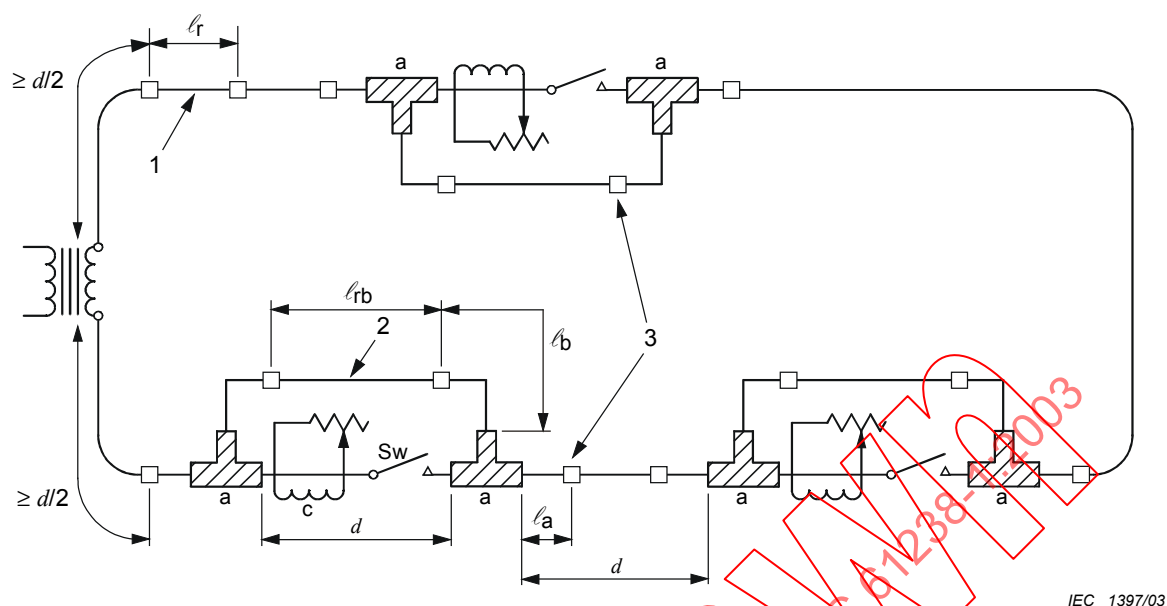
$l_a, l_b \approx 15 \sqrt{A}$ or 150 mm, whichever is the greater

Key

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 | reference conductor |
| 2 | equalizers (for stranded conductors) |
| 3 | through connectors |
| 4 | terminal lugs |
| 5 | linking bars |

Figure 1 – Typical test circuit for through connectors and terminal lugs





IEC 1397/03

where

$d \geq 80 \sqrt{A}$ or 500 mm, whichever is the greater

A is the main conductor sectional area, in mm²

$l_r, l_{rb} \geq d$

For stranded conductors:

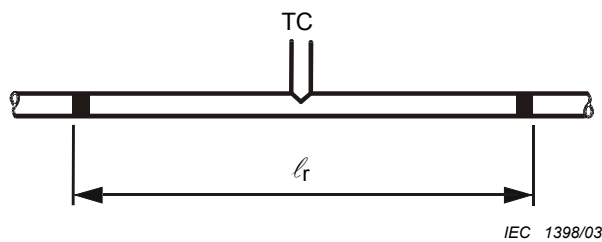
$l_a, l_b \approx 15 \sqrt{A}$ or 150 mm, whichever is the greater

NOTE For IPC l_a, l_b may be increased if necessary.

Key

- | | |
|----|--|
| 1 | main reference conductor |
| 2 | branch reference conductor |
| 3 | equalizer (for stranded conductors) |
| a | branch connector |
| c | current control; |
| Sw | switch (for branch resistance measurement) |

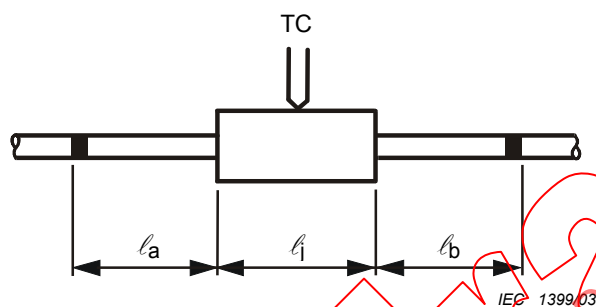
Figure 2 – Typical test circuit for branch connectors



Formule:

$$R_r = \frac{U_r}{I_r} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta_r - 20)}$$

Figure 3a – Conducteur de référence



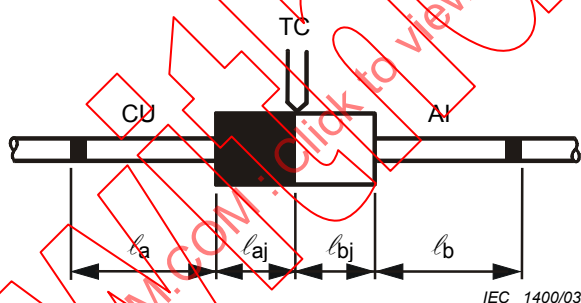
Formules:

$$R_j = R - R_r \times \frac{(l_a + l_b)}{l_r}$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{l_r}{l_j}$$

Figure 3b – Raccord de jonction

Référence: conducteur principal



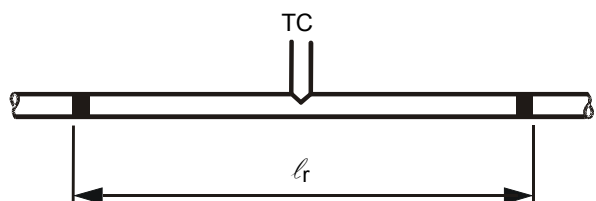
Formules:

$$R_j = R - \left[\frac{R_r \text{ Cu}}{l_r \text{ Cu}} \times l_a + \frac{R_r \text{ Al}}{l_r \text{ Al}} \times l_b \right]$$

$$k = \frac{R_j}{\frac{R_r \text{ Cu}}{l_r \text{ Cu}} \times l_{aj} + \frac{R_r \text{ Al}}{l_r \text{ Al}} \times l_{bj}}$$

Figure 3c – Raccord de jonction bimétallique

Référence: conducteur cuivre et aluminium

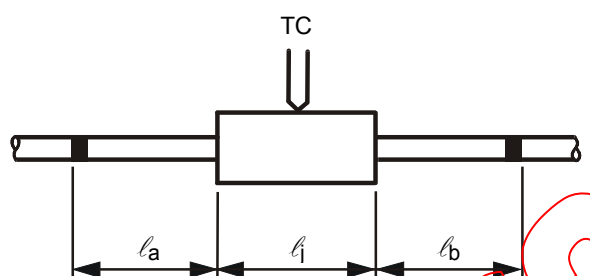


IEC 1398/03

Figure 3a – Reference conductor

Formulas:

$$R_r = \frac{U_r}{I_r} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta_r - 20)}$$



IEC 1399/03

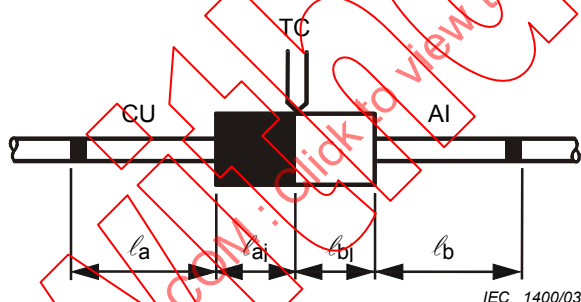
Figure 3b – Through connector

Formulas:

$$R_j = R - R_r \times \frac{(l_a + l_b)}{l_r}$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{l_r}{l_j}$$

Reference: main conductor



IEC 1400/03

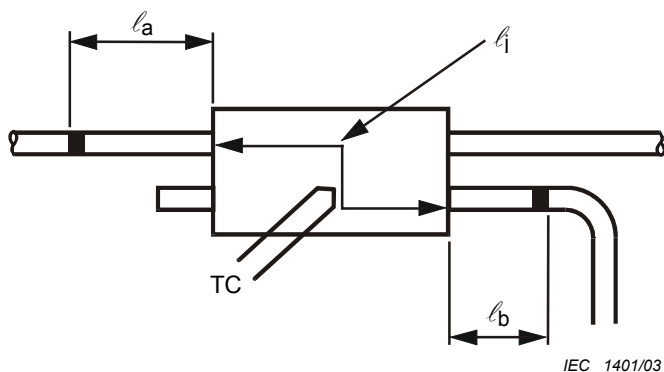
Figure 3c – Bimetallic through connector

Formulas:

$$R_j = R - \left[\frac{R_r \text{Cu}}{l_r \text{Cu}} \times l_a + \frac{R_r \text{Al}}{l_r \text{Al}} \times l_b \right]$$

$$k = \frac{R_j}{\frac{R_r \text{Cu}}{l_r \text{Cu}} \times l_{aj} + \frac{R_r \text{Al}}{l_r \text{Al}} \times l_{bj}}$$

Reference: copper and aluminium conductor



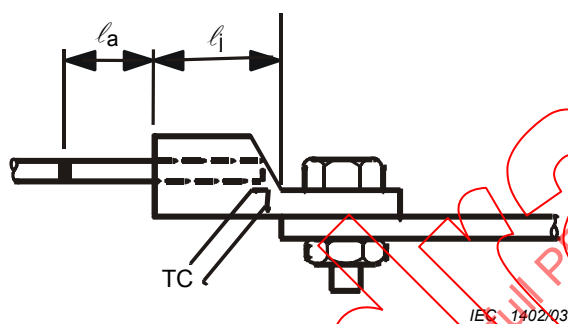
Formules:

$$R_j = R - \left(\frac{R_r \text{ principal}}{\ell_r \text{ principal}} \times \ell_a + \frac{R_r \text{ dérivé}}{\ell_r \text{ dérivé}} \times \ell_b \right)$$

$$k = \frac{R_j}{R_r \text{ dérivé}} \times \frac{\ell_r \text{ dérivé}}{\ell_j}$$

Figure 3d – Raccord de dérivation

Référence: conducteur principal et dérivé



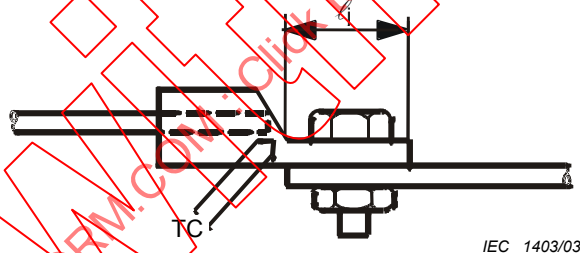
Formules:

$$R_j = R - R_r \times \frac{\ell_a}{\ell_r}$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{\ell_r}{\ell_j}$$

Figure 3e – Fût de cosse d'extrémité

Référence: conducteur principal



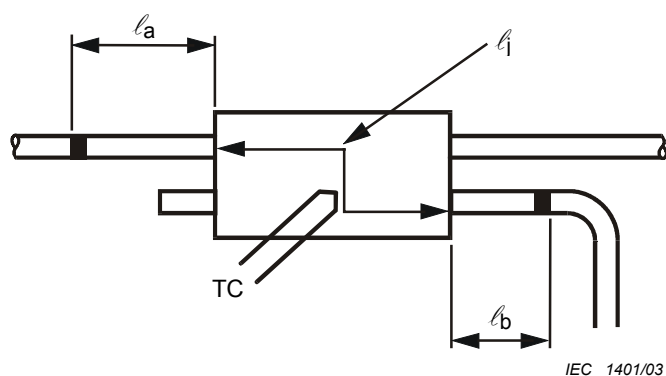
Formules:

$$R_j = R$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{\ell_r}{\ell_j}$$

Figure 3f – Plage de cosse d'extrémité

Référence: conducteur principal



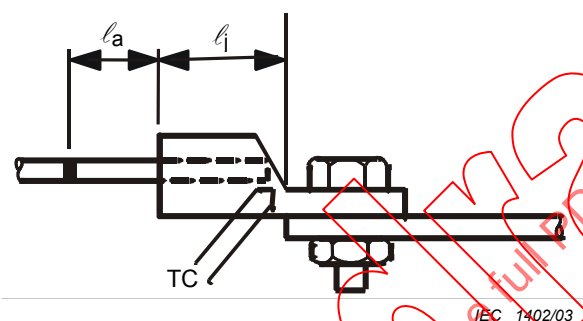
Formulas:

$$R_j = R - \left(\frac{R_{r \text{ main}}}{\ell_{r \text{ main}}} \times \ell_a + \frac{R_{r \text{ branch}}}{\ell_{r \text{ branch}}} \times \ell_b \right)$$

$$k = \frac{R_j}{R_{r \text{ branch}}} \times \frac{\ell_{r \text{ branch}}}{\ell_j}$$

Reference: main and branch conductor

Figure 3d – Branch connector



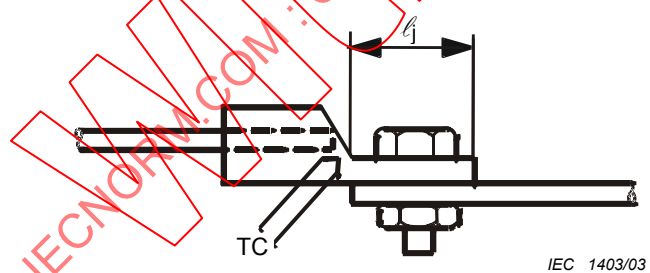
Formulas:

$$R_j = R - R_r \times \frac{\ell_a}{\ell_r}$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{\ell_r}{\ell_j}$$

Reference: main conductor

Figure 3e – Barrel of terminal lug



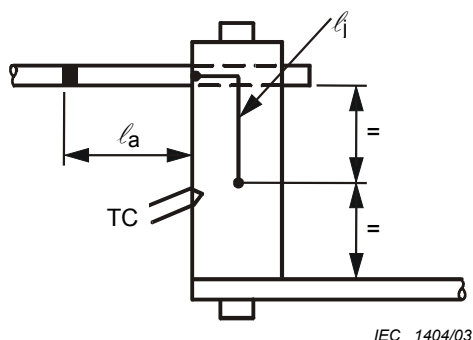
Formulas:

$$R_j = R$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{\ell_r}{\ell_j}$$

Reference: main conductor

Figure 3f – Palm of terminal lug



IEC 1404/03

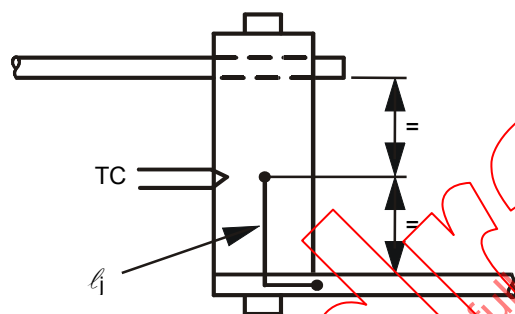
Figure 3g – Raccordement à l'âme pour un raccord à serrage mécanique

Formules:

$$R_j = R - R_r \times \frac{l_a}{l_r}$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{l_r}{l_j}$$

Référence: conducteur principal



IEC 1405/03

Figure 3h – Raccordement à une barre de liaison pour un raccord à serrage mécanique

Formules:

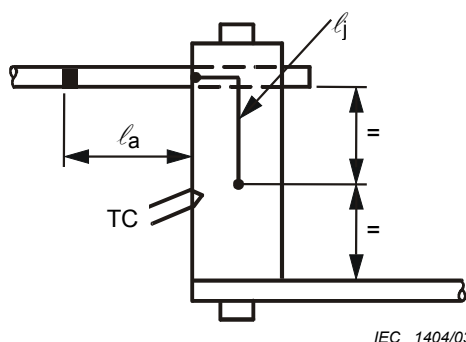
$$R_j = R$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{l_r}{l_j}$$

Référence: conducteur principal

TC = Points de mesure des températures

Figure 3 – Cas typiques de mesures de résistance



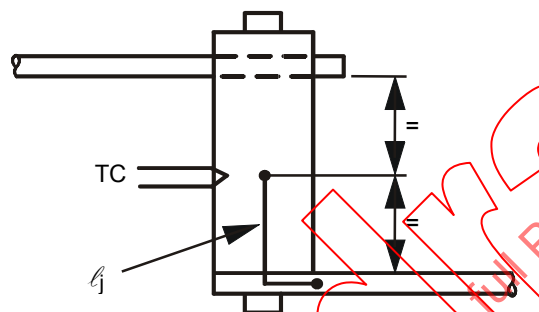
IEC 1404/03

Formulas:

$$R_j = R - R_r \times \frac{\ell_a}{\ell_r}$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{\ell_r}{\ell_j}$$

Reference: main conductor

Figure 3g – Connection to the conductor for a mechanical connector

IEC 1405/03

Formulas:

$$R_j = R$$

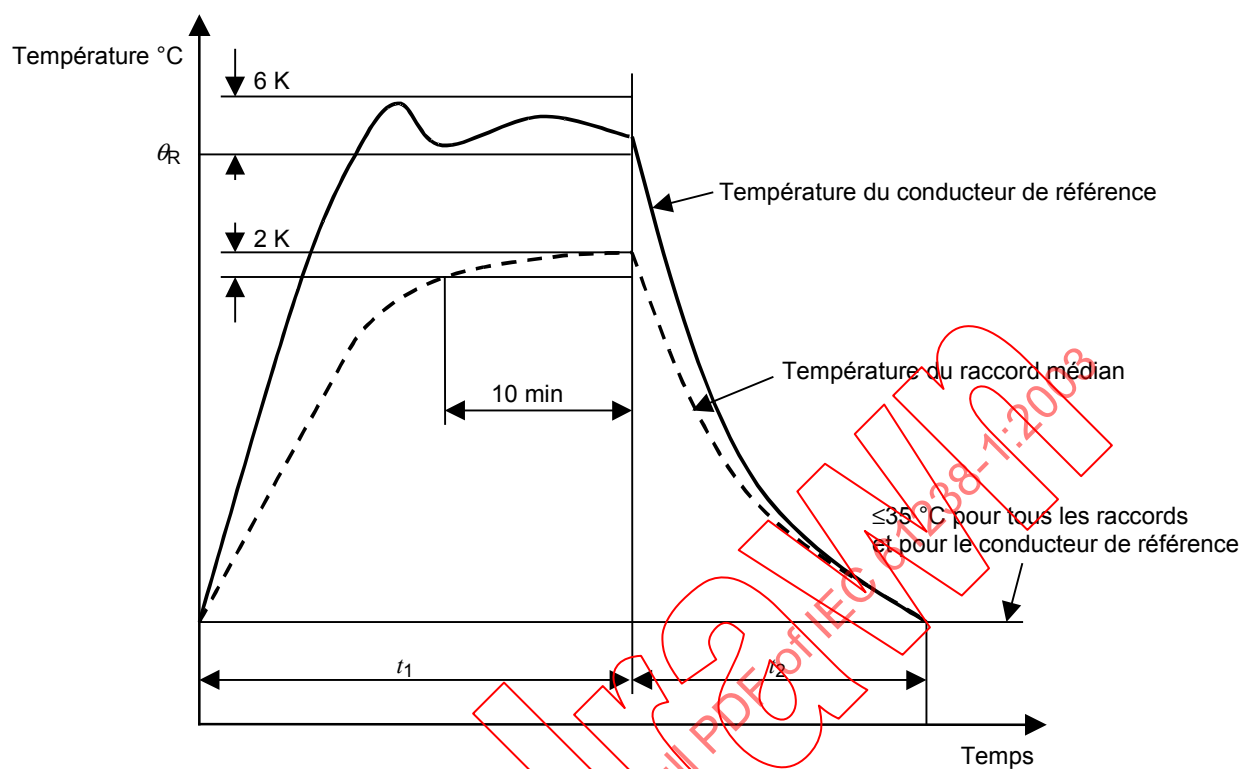
$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{\ell_r}{\ell_j}$$

Reference: main conductor

Figure 3h – Connection to a terminal bar for a mechanical connector

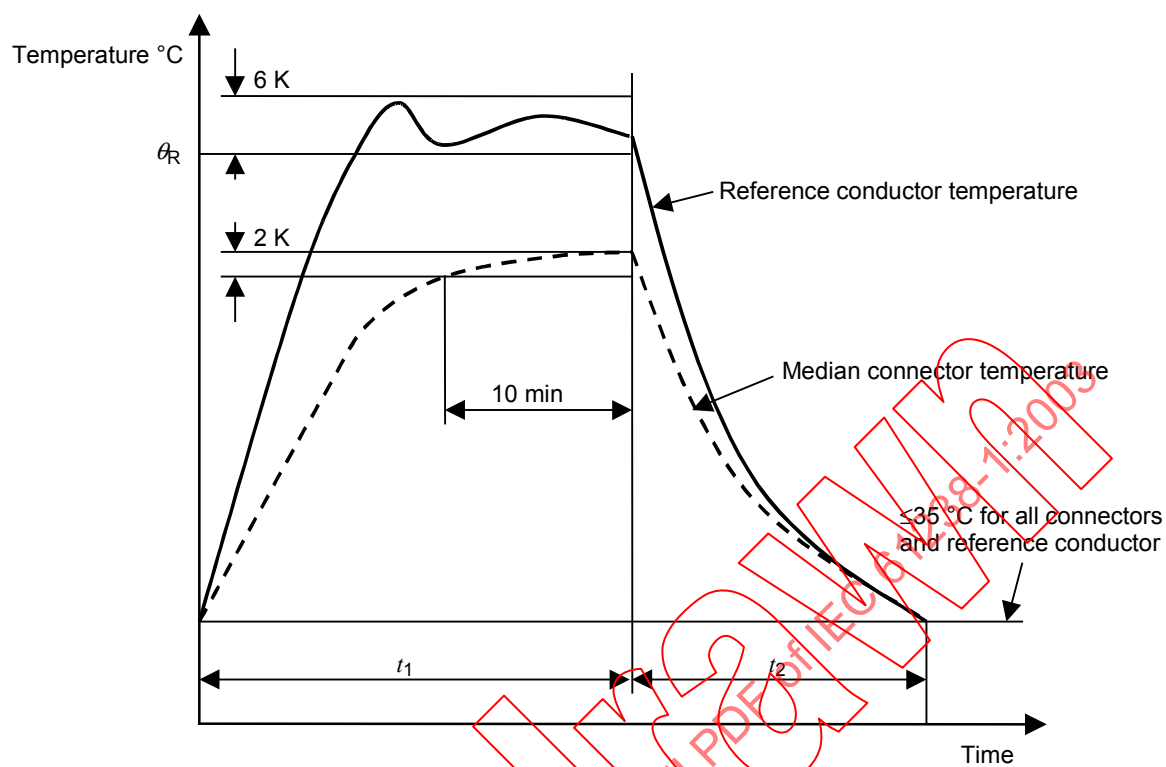
TC = Temperature measurement points

Figure 3 – Typical cases of resistance measurements



IEC 1406/03

Figure 4 – Deuxième cycle thermique



IEC 1406/03

Figure 4 – Second heat cycle

Annexe A (normative)

Egaliseurs et leur préparation

Pour les âmes câblées, le potentiel entre les brins aux points de mesure peut engendrer des erreurs sur la mesure de la résistance électrique.

Des égaliseurs soudés (soudure autogène ou hétérogène) peuvent être utilisés pour pallier ce problème et assurer une répartition uniforme du courant dans le conducteur de référence. Les égaliseurs soudés autogène/hétérogène constituent la méthode recommandée assurant des mesures fiables.

D'autres méthodes peuvent être utilisées à condition qu'elles donnent des résultats comparables et n'affectent pas la température des raccords ou celle du conducteur de référence.

A.1 Ames en cuivre

L'équipement particulier requis pour les conducteurs en cuivre comprend:

- soudure à l'argent;
- support;
- refroidisseurs;
- élément de chauffage.

Effectuer une coupe droite des âmes, nettoyer les extrémités et placer celles-ci sur le support. Souder les extrémités avec une soudure à l'argent, en s'assurant que l'âme éloignée des extrémités est suffisamment refroidie pour ne pas être affectée.

A.2 Ames câblées en aluminium (Figure A.1)

L'équipement particulier requis pour les conducteurs câblés en aluminium comprend:

- appareillage nécessaire pour soudure TIG (tungsten inert gas) ou MIG (metal inert gas);
- support de soudure;
- baguette de soudure A5 (1 100), baguette de soudure A5 (1 050) ou équivalent.

Effectuer une coupe droite des âmes, nettoyer les extrémités et fondre celles-ci à l'aide d'un chalumeau (pour les sections de câble supérieures à 95 mm², fondre d'abord la périphérie puis ajouter du métal d'apport au centre pour parfaire le chanfrein). La longueur du chanfrein, a , et l'écartement entre les âmes conductrices, b , au moment d'effectuer la soudure finale sont comme cela est indiqué ci-après:

Tableau A.1 – Dimensions des égaliseurs

Section A mm ²	$A \leq 95$	$95 < A \leq 240$	$A > 240$
a (mm)	3 à 5	5 à 10	7 à 12
b (mm)	1 à 2	2 à 5	4 à 6

Les âmes étant sur le support et séparées de la cote b , ajouter du métal d'apport au centre et tourner les âmes afin d'obtenir une soudure uniforme et circulaire. S'assurer que l'âme éloignée des extrémités est suffisamment refroidie afin de ne pas modifier ses caractéristiques mécaniques dans la partie où le contact sera réalisé.

Annex A (normative)

Equalizers and their preparation

For stranded conductors, the potential between the strands at measuring points may cause errors in measuring electrical resistance.

Welded or soldered equalizers may be used to overcome this problem and to ensure uniform current distribution in the reference conductor. Welded or soldered equalizers are the recommended methods to ensure reliable measurements.

Other methods may be used provided they give comparable results and do not affect the temperature of the connectors or the reference conductor.

A.1 Copper conductors

Special equipment required for copper conductors includes:

- silver solder;
- support;
- cooling plates;
- heating equipment.

Cut the conductors square and clean the ends. Place the ends in contact in a support. Solder the ends with a silver solder, ensuring that the conductor remote from the ends is kept sufficiently cool so as not to be affected.

A.2 Stranded aluminium conductors (Figure A.1)

Special equipment required for stranded aluminium conductors includes:

- apparatus for TIG (tungsten inert gas) or MIG (metal inert gas) welding;
- welding support;
- welding rod A5 (1 100), welding rod A5 (1 050) or equivalent.

Cut the conductors square, clean the ends, and melt them with the welding torch. (For cable cross-sectional areas greater than 95 mm², melt the periphery first and then add weld metal to the centre to complete the chamfer.) The length of the chamfer, a , and the separation between the conductors for final welding b are as follows:

Table A.1 – Equalizer dimensions

Cross-sectional area A mm ²	$A \leq 95$	$95 < A \leq 240$	$A > 240$
a (mm)	3 to 5	5 to 10	7 to 12
b (mm)	1 to 2	2 to 5	4 to 6

With the conductors supported and spaced by dimensions b , build weld metal up at the centre and turn the conductors so as to obtain a uniform circular weld profile. Ensure that the conductor remote from the ends is kept sufficiently cool in order not to change the mechanical properties of the conductor in the region where the contact will be made.

A.3 Dimensions

Les dimensions de l'égaliseur doivent être celles indiquées à la Figure A.1.

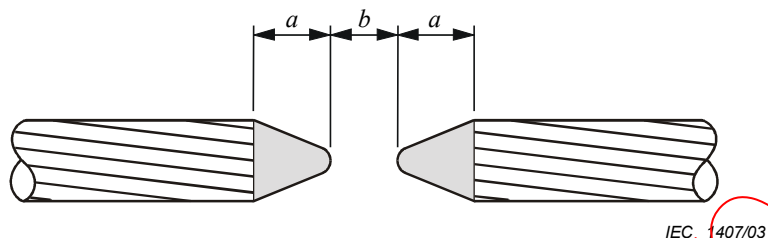


Figure A.1a – Extrémités préparées

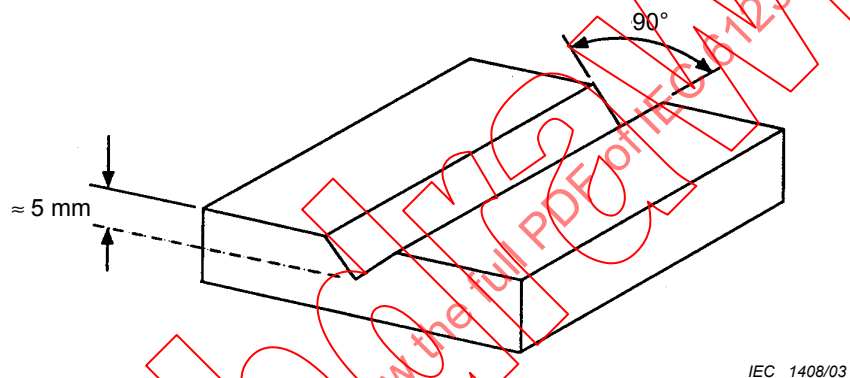
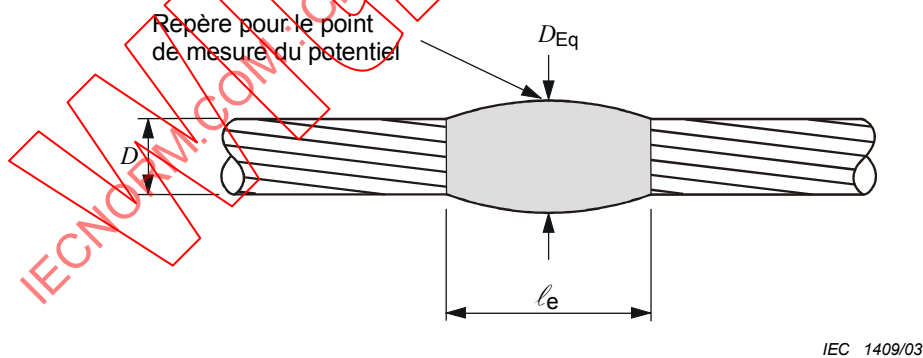


Figure A.1b – Support de soudure autogène/hétérogène



où

$$D \leq D_{Eq} \leq 1,2 D$$

$$l_e = 10 \text{ mm à } 15 \text{ mm pour section } A \leq 95 \text{ mm}^2;$$

$$l_e = 15 \text{ mm à } 25 \text{ mm pour section } 95 \text{ mm}^2 < A \leq 240 \text{ mm}^2;$$

$$l_e = 25 \text{ mm à } 35 \text{ mm pour section } A > 240 \text{ mm}^2.$$

Figure A.1c – Egaliseur soudé autogène/hétérogène

Figure A.1 – Préparation des égaliseurs

A.3 Dimensions

The dimensions of the equalizer shall be as indicated in Figure A.1.

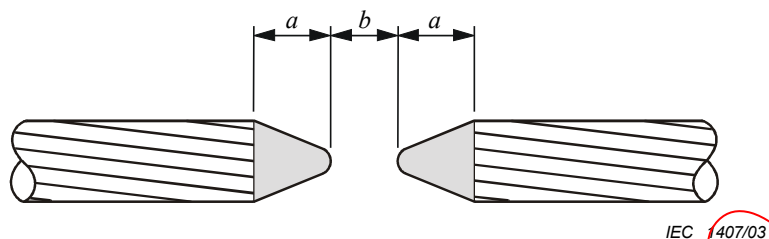


Figure A.1a – Ends prepared

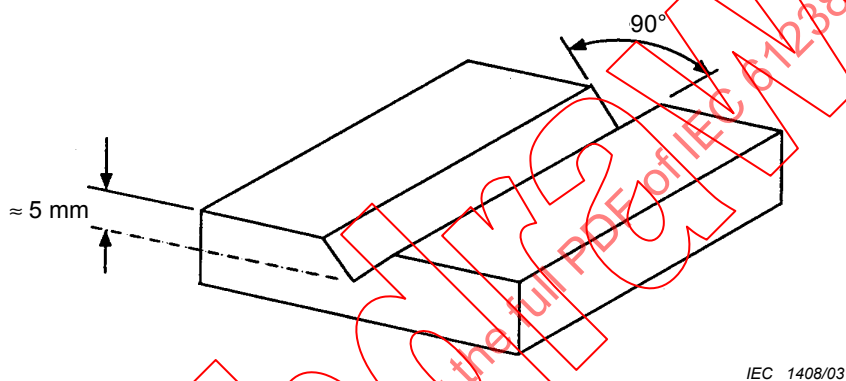
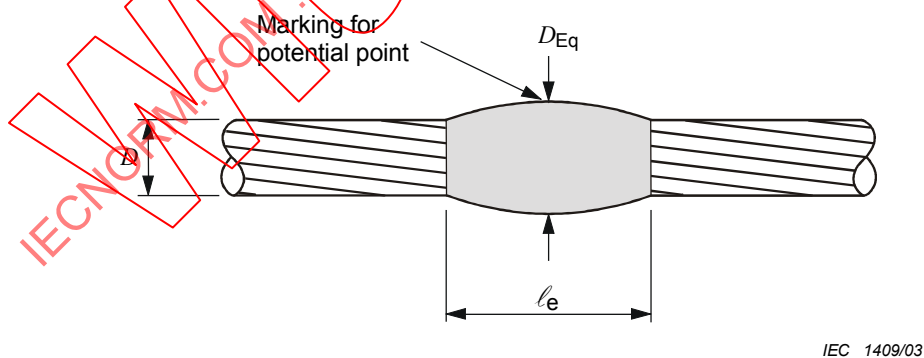


Figure A.1b – Welding/soldering support



where

$$D \leq D_{Eq} \leq 1,2 D$$

$l_e = 10 \text{ mm to } 15 \text{ mm}$ for cross-sectional area $A \leq 95 \text{ mm}^2$;

$l_e = 15 \text{ mm to } 25 \text{ mm}$ for cross-sectional area $95 \text{ mm}^2 < A \leq 240 \text{ mm}^2$;

$l_e = 25 \text{ mm to } 35 \text{ mm}$ for cross-sectional area $A > 240 \text{ mm}^2$.

Figure A.1c – Welded/soldered equalizer

Figure A.1 – Preparation of equalizers

Annexe B (normative)

Mesures

B.1 Points de mesure des potentiels pour raccords typiques

Les points de mesure des potentiels pour la mesure de résistance sont indiqués aux Figures 3a, 3b, 3c, 3d, 3e et 3g. Les prises de potentiel sur les âmes massives doivent être adjacentes aux raccords, sans toutefois les toucher. Pour les âmes câblées, les prises de potentiel doivent être au milieu de chaque égaliseur, ces derniers étant distants du raccord de $15\sqrt{A}$ mm ou 150 mm, en prenant la plus grande des deux valeurs. Au niveau de chaque raccord, les distances ℓ_a et ℓ_b peuvent varier dans un montage réel. Il est donc nécessaire de prendre en compte les distances réelles pour le calcul de la résistance de chacun des raccords. Bien que la présente norme ne prescrive pas d'effectuer des mesures de résistance sur le raccord boulonné à l'extrémité de l'équipement, il est possible d'inclure ce point dans l'évaluation en effectuant de telles mesures soit directement, soit par l'ajout de prises de potentiel supplémentaires (voir Figures 3f, 3g et 3h).

B.2 Mesures de température

Il est nécessaire d'avoir un bon contact thermique entre la jonction du thermocouple et le point de mesure.

Pour le conducteur de référence (voir Figure 3a), le thermocouple doit être placé au point milieu et maintenu, soit dans une petite cavité percée dans le cas d'une âme massive, soit en le glissant sous les brins de la couche externe dans le cas d'une âme câblée.

Pour les raccords (voir Figures 3b à 3h), le thermocouple peut être soit introduit dans une petite cavité percée dans le corps principal du raccord, soit fixé à la surface extérieure. Dans ce dernier cas, le thermocouple doit être protégé des courants d'air par un petit revêtement qui n'altère pas sensiblement la dissipation thermique du raccord.

B.3 Résistance du conducteur équivalent

Il est nécessaire de mesurer la résistance d'une longueur donnée du conducteur de référence et sa température (voir Figure 3a), afin de pouvoir calculer la résistance réelle du raccord R_j , en soustrayant la résistance due aux longueurs d'âme ℓ_a et ℓ_b . Les différentes longueurs, qui doivent être notées, sont indiquées à la Figure 3.

Il convient de noter que, dans le cas des raccords de dérivation, la résistance du conducteur de référence principal et celle du conducteur de référence dérivé sont toutes deux utilisées lors du calcul de la résistance réelle du raccord (voir Figure 3d).

Il est nécessaire de mesurer la résistance du conducteur de référence chaque fois que la résistance du raccord est mesurée. Toutes les mesures de résistance du conducteur de référence, corrigées en température, doivent être stables tout au long de l'essai pour être sûr que celles des raccords est stable en principe. Pour la détermination du paramètre k (voir l'Annexe E), il est essentiel que le conducteur de référence et tous les raccords soient à la température ambiante pendant les mesures de résistance.

Annex B (normative)

Measurements

B.1 Potential points for typical connectors

Potential points for the purpose of resistance measurement are shown in Figures 3a, 3b, 3c, 3d, 3e and 3g. Potential points on solid conductors shall be adjacent to, but not touching, the connector. For stranded conductors, the potential points are the mid-point of the equalizers, which shall be $15\sqrt{A}$ mm or 150 mm, whichever is the larger, away from the connector. The actual lengths of ℓ_a and ℓ_b can vary in a real test set-up at each connector. It is therefore necessary to take these individual readings for the calculation of the resistance for every individual connector. Although it is not a requirement of this standard that resistance measurements be made of the bolted connection to terminal equipment, it is possible to include this in the assessment by making such measurements either directly or by the addition of extra potential points (Figures 3f, 3g and 3h).

B.2 Temperature measurement

A good thermal contact between the thermocouple junction and the measuring object shall be established.

In the case of the reference conductor (Figure 3a), the thermocouple shall be positioned at the mid-point and securely located either in a small hole drilled in a solid conductor, or by sliding it under the strands of the outer layer of a stranded conductor.

In the case of connectors (Figures 3b to 3h), the thermocouple may either be inserted in a small hole drilled into the main body of the connector, or be secured to the outside surface. In the latter case, the thermocouple shall be protected from the effect of draughts by a small covering which does not significantly alter the thermal dissipation of the connector.

B.3 Equivalent conductor resistance

It is necessary to measure the resistance of a known length of the reference conductor and its temperature (Figure 3a), so that the actual connector resistance R_j may be calculated, by subtracting the resistance due to the conductor lengths ℓ_a and ℓ_b . The various lengths, which need to be recorded, are shown in Figure 3.

It should be noted that in the case of branch connectors, resistances of both the main and the branch reference conductors are used when calculating the actual connector resistance (see Figure 3d).

It is necessary to measure the resistance of the reference conductor on each occasion that the connector resistance measurement is made. All measured resistance values of the reference conductor (corrected by temperature) shall be stable throughout the complete test to show that the equalizers are stable in principle. For the determination of the parameter k (see Annex E) it is essential that during resistance measurement the reference conductor and all connectors are at ambient temperature.

Annexe C (informative)

Recommandations pour améliorer la précision des mesures

C.1 Manipulation de la boucle d'essai

Il convient d'éviter les courbures ou les vibrations pendant le transport et les manipulations car cela peut conduire à des efforts mécaniques affectant la résistance de contact des objets en essai.

Il convient d'utiliser les mêmes points de mesure tout au long de l'essai car les calculs se réfèrent toujours à l'état initial. Il est conseillé de vérifier les points de mesure, en particulier après l'essai de court-circuit.

C.2 Mesures, instrumentation et lecture

Dans le cas d'âmes câblées, les distances entre tout égaliseur et la partie du montage où aucun raccord n'est installé peuvent être utilisées pour la vérification des mesures de résistance.

Il convient que toutes les valeurs enregistrées indiquent que les égaliseurs ont une stabilité acceptable tout au long de l'essai.

Vérifier la validité de l'étalonnage ou effectuer un étalonnage de chaque appareil avant l'essai. Si possible, réaliser l'étalonnage de toute la chaîne de mesure.

Les lectures de température peuvent aisément être vérifiées à une température de 100 °C dans l'eau bouillante et à 0 °C dans la glace fondante.

Pour la mesure des courants, un shunt étalonné peut être introduit dans la boucle d'essai.

Si possible, utiliser le même appareil pour les mesures de tension (ΔU c.c.), de courant (ΔU c.c. aux bornes d'un shunt) et de température (ΔU c.c. en sortie du thermocouple).

Une résistance étalon ayant une valeur du même ordre que celle indiquée par les lectures peut être utilisée pour l'étalonnage des mesures de tension ou pour la mesure directe des résistances. Il convient d'effectuer une vérification avant, pendant et après les essais.

Il est recommandé:

- d'utiliser les mêmes appareils tout au long de l'essai;
- dans la mesure du possible, d'éviter le remplacement de tout appareil, sinon la modification d'erreur systématique peut influencer l'évaluation des résultats de mesure;
- d'utiliser le stockage automatique des valeurs mesurées pour éviter les erreurs de recopie;
- d'utiliser un programme informatique reconnu pour les calculs pour éviter les erreurs accidentelles.

Lorsqu'on calcule la valeur de k , il est possible d'utiliser les valeurs mesurées de la résistance du conducteur de référence et celles des raccords sans correction de température, à condition que la résistance du conducteur de référence ne change pas au cours de l'essai et que les températures de toutes les parties de la boucle d'essai soient les mêmes et soient stables lorsque les mesures de résistance sont effectuées.

Il convient de prendre toute disposition pour éviter les lectures erronées. Il convient d'indiquer les caractéristiques de l'instrumentation dans le rapport d'essai.

Annex C (informative)

Recommendations to improve accuracy of measurement

C.1 Handling the test loop

Bending or vibrations during transport and handling may give rise to mechanical forces, which affect the contact resistance of the test objects and should be avoided.

The same measuring points should be used throughout the test, since calculation always refers to the initial situation. Verification of measuring points, especially after the short-circuit test, is advised.

C.2 Measurements, instruments and readings

For stranded conductors, the distances between any equalizer in the test set-up where no connectors are installed may be used for verification of resistance measurements.

All recorded values should show that the equalizers have acceptable stability throughout the test.

Check the validity of calibration or make a calibration of each instrument prior to the test. If possible, calibrate the whole measuring chain.

Temperature readings may easily be checked at a temperature of 100 °C in boiling water and at 0 °C in ice water.

For measuring the current, a calibrated shunt may be introduced into the test loop.

If possible, use the same instrument for voltage (ΔU_{DC}), current (ΔU_{DC} of a shunt) and temperature (ΔU_{DC} of thermocouple-voltage output) measurement.

A calibrated resistance with a value in the same order as the readings may be used for the calibration of the voltage measurement or a direct measurement of the resistance. A check should be made before during and after the test.

It is recommended:

- to use the same instruments throughout the whole test;
- to avoid, whenever possible, the replacement of any instrument, since the change in the systematic uncertainty may influence the assessment of the measuring results;
- to use automatic storage of the measured values to avoid copy errors;
- to use a validated computer program for the calculation to avoid errors by accident.

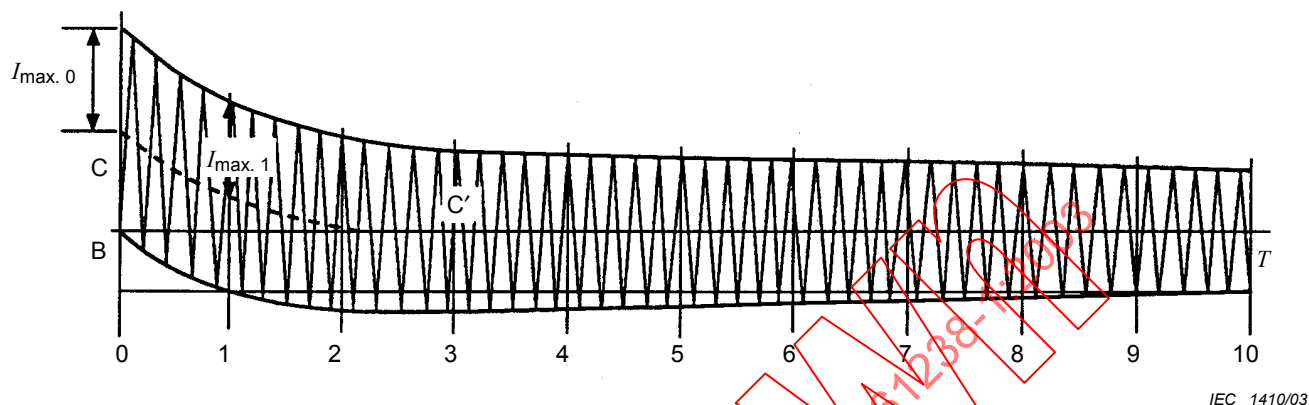
When calculating the k value, it is possible to use the measured resistance values of the reference conductor and the connectors without any temperature correction, provided that the resistance of the reference conductor does not change during the test and the temperatures of all parts of the test loop are the same and in stable conditions when resistance measurements are made.

Every effort should be made to avoid spurious readings.

Data of instrument performance should be given in the test report.

Annexe D (informative)

Détermination de la valeur du courant de court-circuit



Sur le diagramme donnant le courant en fonction du temps, on divise le temps total BT en 10 parties égales et la valeur de la composante alternative du courant est mesurée à la verticale des points 0, 1, 2 10.

Ces valeurs sont désignées par $I_{\max 0}$, $I_{\max 1}$, $I_{\max 2}$, ... $I_{\max 10}$.

Les valeurs efficaces sont alors $I_i = I_{\max i} / \sqrt{2}$

et $I_{\max}$ est la valeur de crête de la composante alternative du courant à chaque point.

La valeur efficace équivalente du courant durant le temps BT est donnée par:

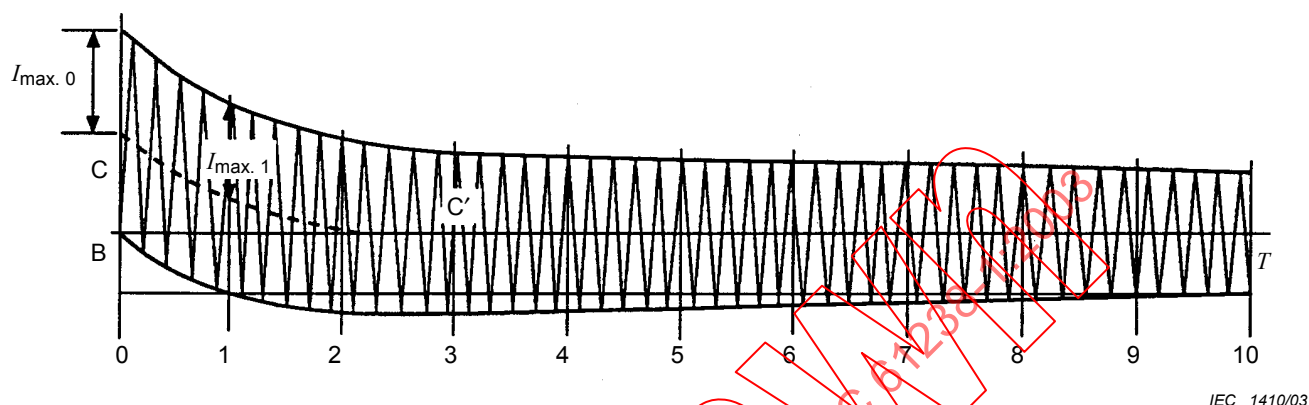
$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{30} [I_0^2 + 4(I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2) + 2(I_2^2 + I_4^2 + I_6^2 + I_8^2) + I_{10}^2]}$$

NOTE 1 La composante du courant continu (CC') est négligée.

NOTE 2 Cette annexe provient de l'Annexe B de la CEI 60694.

Annex D (informative)

Determination of the value of the short-circuit current



On the diagram giving the current as a function of time, the total time BT is divided into 10 equal parts and the value of the alternating current component is measured at the verticals at points 0, 1, 2, ... , 10.

These values are designated by $I_{\max 0}$, $I_{\max 1}$, $I_{\max 2}$, ... $I_{\max 10}$.

The effective values are then $I_i = I_{\max i} / \sqrt{2}$.

and $I_{\max}$ is the maximum value of the alternating component of the current at each point.

The equivalent r.m.s. current during this time BT is given by:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{30} [I_0^2 + 4(I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2) + 2(I_2^2 + I_4^2 + I_6^2 + I_8^2) + I_{10}^2]}$$

NOTE 1 The direct current component (CC') is neglected.

NOTE 2 This annex is consistent with Annex B of IEC 60694.

Annexe E (normative)

Méthode de calcul

Cette évaluation statistique est basée sur la CEI 60493-1.

E.1 Mesures effectuées

Aux cycles indiqués en 6.3.3, on doit effectuer les mesures suivantes, la boucle d'essai étant à température ambiante (voir 6.2 et Annexe B).

- U différence de potentiel entre deux points de mesure de part et d'autre de chaque raccord;
- I courant continu au moment de la mesure de U ;
- θ température de chaque raccord au moment de la mesure de U ;
- U_r différence de potentiel entre points de mesure sur le conducteur de référence;
- I_r courant continu au moment de la mesure de U_r ;
- θ_r température du conducteur de référence au moment de la mesure de U_r .

Cela constitue la méthode de référence et on peut, en variante, utiliser des mesures directes de la résistance pour n'importe laquelle des valeurs U et I ci-dessus.

En outre, les mesures de températures auront été enregistrées sur chaque raccord et sur le conducteur de référence lors du cycle précédent ou suivant les mesures de résistance.

Les distances ℓ_a , ℓ_b , ℓ_j , ℓ_r , définies à la Figure 3, sont mesurées et sont applicables à la totalité de l'essai. Elles doivent être mesurées avec une tolérance de ± 2 mm pour les longueurs égales ou supérieures à 40 mm, ou ± 5 % pour les longueurs inférieures à 40 mm.

E.2 Facteur de résistance k du raccord

La résistance entre les points de mesure de part et d'autre du raccord, ramenée à 20 °C, est:

$$R = \frac{U}{I} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta - 20)}$$

où le coefficient de température de la résistance α est, pour les besoins de cette norme, considéré comme étant le même tant pour l'aluminium que pour le cuivre:

$$\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$$

La résistance du conducteur de référence, ramenée à 20 °C, est:

$$R_r = \frac{U_r}{I_r} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta_r - 20)}$$

Annex E (normative)

Calculation method

This statistical evaluation follows IEC 60493-1.

E.1 Measurements made

To the cycles listed in 6.3.3, the following measurements with the test loop at ambient temperature shall be taken (see 6.2 and Annex B):

- U potential difference between measurement points spanning each connector;
- I direct current at the moment of measuring U ;
- θ temperature of each connector at the moment of measuring U ;
- U_r potential difference between measurement points on the reference conductor;
- I_r direct current at the moment of measuring U_r ;
- θ_r temperature of the reference conductor at the moment of measuring U_r .

The above is the recommended method. Direct measurements of resistance may, alternatively, be used for any of the above U/I values.

In addition, temperature measurements will have been recorded on each connector and on the reference conductor on the cycle prior to, or following the resistance measurements.

Distances ℓ_a , ℓ_b , ℓ_j , ℓ_r defined in Figure 3, are measured and are applicable for the whole test. The distances shall be measured with a tolerance of ± 2 mm for lengths ≥ 40 mm, or ± 5 % for lengths < 40 mm.

E.2 Connector resistance factor k

The resistance, referred to 20 °C, between measuring points spanning a connector is as follows:

$$R = \frac{U}{I} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta - 20)}$$

where the temperature coefficient of resistance α , for the purposes of this standard, is regarded as equal for copper and aluminium:

$$\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$$

The resistance of the reference conductor, referred to 20 °C, is as follows:

$$R_r = \frac{U_r}{I_r} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta_r - 20)}$$

La résistance R_j du raccord est alors:

$$R_j = R - R_r \times \frac{(\ell_a + \ell_b)}{\ell_r}$$

et le facteur k de résistance du raccord vaut:

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{\ell_r}{\ell_j} \quad (\text{E.1})$$

E.3 Dispersion initiale δ

La dispersion entre les six valeurs de k (une valeur pour chaque raccord) au cycle zéro est calculée comme suit:

calculer la valeur moyenne:

$$\bar{K}_0 = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 k_i$$

puis l'écart-type:

$$s_0 = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^6 (k_i - \bar{K}_0)^2}$$

et enfin la dispersion:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{6}} \times \frac{s_0}{\bar{K}_0} \times t_s$$

où

t_s est le coefficient de Student;

$t_s = t_{5;0,995} = 4,032$ pour un niveau de confiance bilatéral de 99 % et cinq degrés de liberté;

en conséquence:

$$\delta = 1,65 \times \frac{s_0}{\bar{K}_0} \quad (\text{E.2})$$

E.4 Dispersion moyenne β

Cette dispersion doit être déterminée en utilisant les 11 dernières mesures de résistance relevées. Ces 11 lectures commencent au moment du 250^{ème} cycle, et ensuite tous les 75 cycles jusqu'à 1000 cycles. Une tolérance de ± 10 cycles est autorisée sur le temps de chaque lecture et, dans ce cas, les formules statistiques énoncées dans cette norme sont applicables. En dehors de cette tolérance, un traitement statistique détaillé est nécessaire. Pour la facilité des calculs, l'origine est transférée au point milieu des 11 lectures et la variable statistique x est introduite (voir Figure E.1). Le symbole x a les valeurs 0, ± 1 , ± 2 , ..., ± 5 .

The connector resistance R_j is then:

$$R_j = R - R_r \times \frac{(\ell_a + \ell_b)}{\ell_r}$$

and the connector resistance factor k :

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{\ell_r}{\ell_j} \quad (\text{E.1})$$

E.3 Initial scatter δ

The scatter between the six values of k (one value for each connector) at cycle zero is calculated as follows:

calculate the mean value:

$$\bar{K}_0 = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 k$$

then the standard deviation:

$$s_0 = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^6 (k - \bar{K}_0)^2}$$

and finally the scatter:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{s_0}{\bar{K}_0} t_s$$

where

t_s is the Student coefficient;

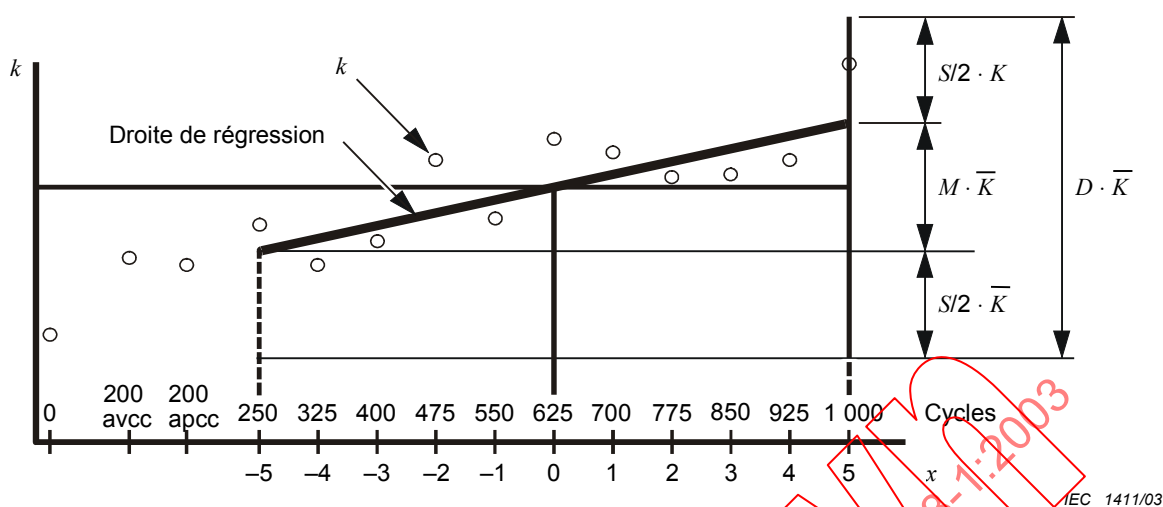
$t_s = t_{5;0,995} = 4,032$ for 99 % two-sided confidence level and five degrees of freedom;

hence:

$$\delta = 1,65 \frac{s_0}{\bar{K}_0} \quad (\text{E.2})$$

E.4 Mean scatter β

This scatter shall be determined using the last 11 measurement readings of resistance. These 11 readings start at the 250th cycle point, and then every 75 cycles up to 1000 cycles. A tolerance of ± 10 cycles is permitted on the timing of any reading, and in this case, the statistical formulae listed in this standard are applicable. Outside this tolerance, a detailed statistical treatment is necessary. For convenience of calculation, the origin is transferred to the mid-point of the 11 readings and the statistical variable x is introduced (see Figure E.1). The symbol x has the values 0, ± 1 , ± 2 , ... , ± 5 .



avcc = avant court-circuit
apcc = après court-circuit

Figure E.1 – Exemple graphique d'évaluation d'un raccord individuel de Classe A

Pour chaque raccord, la valeur moyenne sur l'intervalle $x = -5$ à $+5$ doit être calculée.

$$\bar{k} = \frac{1}{11} \times \sum_{-5}^{+5} k \quad (\text{E.3})$$

En conséquence, on obtient six valeurs, dont la moyenne est alors:

$$\bar{K} = \frac{1}{6} \times \sum_1^6 \bar{k}$$

L'écart-type vaut:

$$s = \sqrt{\frac{1}{5} \times \sum_1^6 (\bar{k} - \bar{K})^2}$$

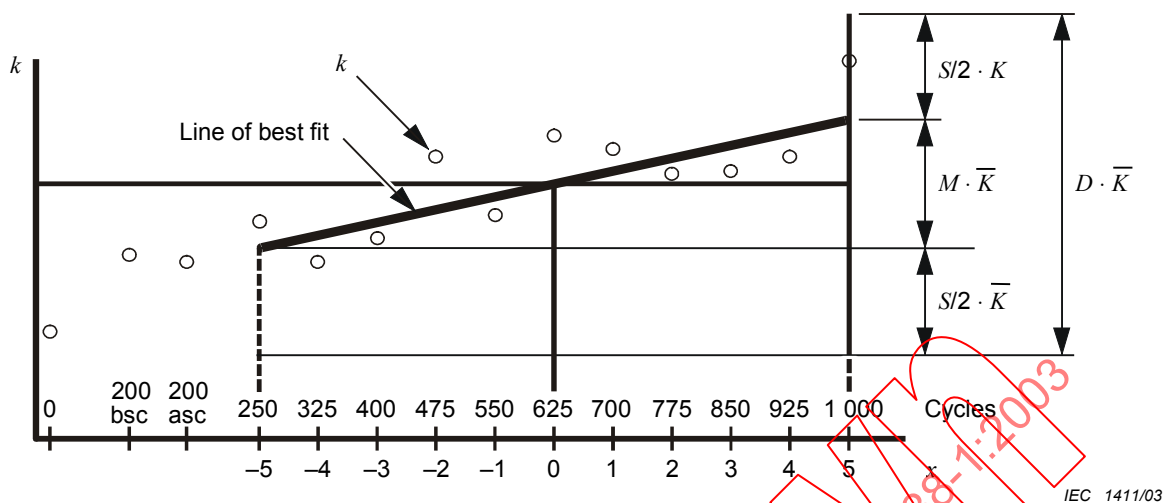
et la dispersion:

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{6}} \times \frac{s}{K} \times t_s$$

où $t_s = 4,032$ comme précédemment.

En conséquence:

$$\beta = 1,65 \times \frac{s}{K} \quad (\text{E.4})$$



bsc = before short-circuit

asc = after short-circuit

Figure E.1 – Graphic example of assessment of an individual connector for Class A

For each connector, its mean value over the interval $x = -5$ to $+5$ shall be calculated.

$$\bar{k} = \frac{1}{11} \sum_{-5}^{+5} k \quad (\text{E.3})$$

Hence six values are obtained. The mean of these six values is then:

$$\bar{K} = \frac{1}{6} \sum_1^6 \bar{k}$$

The standard deviation:

$$s = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_1^6 (\bar{k} - \bar{K})^2}$$

and the scatter:

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{s}{\bar{K}} t_s$$

where $t_s = 4,032$ as before.

Hence:

$$\beta = 1,65 \frac{s}{\bar{K}} \quad (\text{E.4})$$

E.5 Variation du facteur de résistance de chaque raccord

Pour calculer la variation possible du facteur de résistance d'un raccord au cours des 11 dernières mesures, la méthode des moindres carrés doit être utilisée pour déterminer la droite de régression. A la variation du facteur de résistance de cette droite s'ajoute une quantité dont l'amplitude dépend de l'intervalle de confiance de la dispersion des valeurs du facteur de résistance sur la droite de régression.

E.5.1 Droite de régression

La pente de la droite de régression dans la plage $x = -5$ à $+5$ est donnée par:

$$b = \frac{\sum_{-5}^{+5} x \cdot k}{\sum_{-5}^{+5} x^2}$$

Ainsi la variation unitaire du facteur de résistance est:

$$M = 10 \times \frac{b}{k} \quad (\text{E.5})$$

où $\bar{k}$ a la valeur donnée par l'équation (E.3).

Le paramètre M est évalué pour chacun des six raccords.

E.5.2 Intervalle de confiance δ_i

L'intervalle de confiance δ_i de la variation du facteur de résistance est:

$$\delta_i = t_s \times \sigma$$

où

t_s est le coefficient de Student;

$t_s = t_{9;0,95} = 1,833$ pour un niveau de confiance bilatéral de 90 % et $(11 - 2) = 9$ degrés de liberté;

σ est l'erreur estimée à partir de la droite de régression à $x = +5$ ou $x = -5$.

On peut montrer que, pour 11 mesures, σ vaut:

$$\sigma = 0,564 \times \sqrt{\sum_{-5}^{+5} \frac{(k - \bar{k} - b \cdot x)^2}{9}}$$

$$\sigma = 0,564 \times s_j$$

L'expression sous le radical est l'écart-type du raccord déduit de la droite de régression. On définit cette valeur s_j car elle concerne un raccord individuel et elle ne doit pas être confondue avec l'écart-type des six raccords, s , calculé comme étant la position de mesure moyenne $x = 0$ et utilisé pour déterminer la dispersion β .

E.5 Change in resistance factor of each connector

To calculate the possible variation in the resistance factor of a connector over the last 11 measurement readings, the method of least squares shall be used to determine the line of best fit. To the change in resistance factor of this line is added a quantity, the magnitude of which depends upon the confidence interval of scatter of resistance factor values about the line of best fit.

E.5.1 Line of best fit

The slope of the line of best fit over the range $x = -5$ to $+5$ is given by:

$$b = \frac{\sum_{-5}^{+5} x k}{\sum_{-5}^{+5} x^2}$$

Hence, the per-unit change in resistance factor is:

$$M = 10 \frac{b}{\bar{k}} \quad (\text{E.5})$$

where $\bar{k}$ has the value given by equation (E.3).

The parameter M is evaluated for each of the six connectors.

E.5.2 Confidence interval δ_i

The confidence interval δ_i for the change in resistance factor is:

$$\delta_i = t_s \sigma$$

where

t_s is the Student coefficient;

$t_s = t_{9;0,95} = 1,833$ for a 90 % two-sided confidence level and $(11 - 2) = 9$ degrees of freedom;

σ is the standard error estimated from the line of best fit at $x = +5$ or $x = -5$.

It can be shown that σ , for 11 measurements, is:

$$\sigma = 0,564 \times \sqrt{\sum_{-5}^{+5} \frac{(k - \bar{k} - b \cdot x)^2}{9}}$$

$$\sigma = 0,564 \times s_j$$

The expression under root sign is the standard deviation of the connector from the line of best fit. We define this value s_j since it relates to an individual connector and it should not therefore be confused with the standard deviation of the six connectors, s , calculated at the mean measurement position $x = 0$ and used for determining the scatter β .

Il convient de noter que l'expression ci-dessus pour s_j peut aussi être déterminée en simplifiant:

$$s_j = \frac{1}{3} \times \sqrt{11[(\bar{k}^2) - (\bar{k})^2] - 110 b^2}$$

où $\bar{k}$ a la valeur donnée par l'équation (E.3)

et

$$(\bar{k}^2) = \frac{1}{11} \times \sum_{-5}^{+5} k^2$$

La déviation relative totale par rapport à la droite de régression est alors:

$$S = \frac{2 \times t_s \times \sigma}{\bar{k}} = \frac{2 \times 1,833 \times 0,564 \times s_j}{\bar{k}} = \frac{2,07 \times s_j}{\bar{k}}$$

Le paramètre S est évalué pour chacun des six raccords.

E.5.3 Variation totale estimée D

A partir de E.5.1 et E.5.2, la variation estimée de la valeur de k pour chaque raccord au cours des 11 dernières mesures est:

$$D = |M| + S = \frac{|10b|}{\bar{k}} + \frac{2,07 \times s_j}{\bar{k}} \quad (\text{E.6})$$

E.6 Rapport du facteur de résistance λ

$$\lambda = \frac{k}{k_0}$$

où

k est le facteur de résistance de chaque raccord trouvé à chaque étape des séries de mesure,

k_0 est le facteur de résistance du même raccord mesuré au cycle zéro.

E.7 Températures maximales $\theta_{\max}$

Pour chaque raccord, la valeur de $\theta_{\max}$ doit être notée. C'est la valeur maximale de température du raccord atteinte à un moment quelconque de l'essai. Au même moment, la valeur de θ_{ref} doit également être notée.

It should be noted that the above expression for s_j can also be determined by simplifying to:

$$s_j = \frac{1}{3} \sqrt{11[(\bar{k}^2) - (\bar{k})^2] - 110 b^2}$$

where $\bar{k}$ has the value given in Equation (E.3)

and

$$(\bar{k}^2) = \frac{1}{11} \sum_{-5}^{+5} k^2$$

The total per-unit deviation from the line of best fit is then:

$$S = \frac{2 \cdot t_s \cdot \sigma}{\bar{k}} = \frac{2 \cdot 1,833 \cdot 0,564 \cdot s_j}{\bar{k}} = \frac{2,07 \cdot s_j}{\bar{k}}$$

The parameter S is evaluated for each of the six connectors.

E.5.3 Change in resistance factor D

From E.5.1 and E.5.2, the estimated change in the value of k for each connector over the last 11 measurements is

$$D = |M| + S = \frac{|10b|}{\bar{k}} + \frac{2,07 s_j}{\bar{k}} \quad (\text{E.6})$$

E.6 Resistance factor ratio λ

$$\lambda = \frac{k}{k_0}$$

where

k is the connector resistance factor for each connector found at any stage of the measurement series;

k_0 is the connector resistance factor of the same connector measured at cycle zero.

E.7 Maximum temperatures $\theta_{\max}$

For each connector, the value of $\theta_{\max}$ shall be recorded. This is the maximum value of the connector temperature reached during any stage of the test. Simultaneously, the value of θ_{ref} shall also be recorded.

Annexe F (informative)

Explications de la méthode de calcul

Les symboles utilisés dans cette annexe sont présentés dans les tableaux suivants:

Tableau F.1 – Indices

Symboles		Indices
Annexe E	Annexe F	
-	i	Raccord numéroté de 1 à 6
-	j	Numéro de la mesure de 1 à 14
x	x	Variable statistique pour la transformation du système de coordonnées des 11 dernières mesures qui varie de $j = 4$, équivalent à $x = -5$, à $j = 14$, équivalent à $x = +5$, dans le cas de raccords de Classe A

Tableau F.2 – Variables mesurées

Symboles		Variables mesurées
Article 4	Annexe F Paramètres	
I	I_{ij}	Courant continu (en A) traversant le raccord i pendant la mesure j
I_r	I_r	Courant continu correspondant (en A) traversant le conducteur de référence pendant la mesure j
U	U_{ij}	Différence de potentiel (en V) entre les deux points de mesure du raccord i pendant la mesure j
U_r	U_r	Différence de potentiel correspondante (en V) entre les deux points de mesure du conducteur de référence
θ	θ_{ij}	Température (en °C) du raccord i pendant la mesure j
-	θ_r	Température correspondante (en °C) du conducteur de référence pendant la mesure j

Les valeurs considérées comme constantes pendant le vieillissement électrique sont indiquées dans le Tableau F.3.

Tableau F.3 – Constantes

Symboles		Constantes
Article 4	Annexe F constantes	
ℓ_a	ℓ_a^i	Longueur mesurée comptée à partir du raccord i jusqu'à son premier point de mesure (en mm)
ℓ_b	ℓ_b^i	Longueur comptée à partir du raccord i jusqu'à son deuxième point de mesure (en mm)
ℓ_j	ℓ_{con}	Longueur virtuelle de tous les raccords définie selon la Figure 3 (en mm). L'indice a été changé pour éviter toute confusion avec le numéro de la mesure
ℓ_r	ℓ_r	Longueur mesurée (en mm) du conducteur de référence
α	α	Coefficient de température (en K ⁻¹), dépendant du matériau de l'âme

Annex F (informative)

Explanation of the calculation method

Symbols used in this annex are given in the following tables:

Table F.1 – Indices

Symbols		Indices
Annex E	Annex F	
-	i	Connector number from 1 to 6
-	j	Measurement number from 1 to 14
x	x	Statistical variable for the transformation of the coordination system for the last 11 measurements starting from $j = 4$ equal to $x = -5$ to $j = 14$ equal to $x = +5$ in the case of connectors according to Class A

Table F.2 – Measured variables

Symbols		Measured variables
Clause 4	Annex F parameter	
I	I_{ij}	Direct current (in A) flowing through connector i during the measurement j
I_r	I_{i_r}	Corresponding direct current (in A) flowing through the reference conductor during the measurement j
U	U_{ij}	Potential difference (in V) between the two measuring points of connector i during the measurement j
U_r	U_{i_r}	Corresponding potential difference (in V) between the two measuring points of the reference conductor
θ	θ_{ij}	Temperature (in °C) of connector i during the measurement j
-	θ_{i_r}	Corresponding temperature (in °C) of the reference conductor during the measurement j

Values regarded as constant during the electrical testing procedure are given in Table F.3.

Table F.3 – Constants

Symbols		Constants
Clause 4	Annex F constants	
ℓ_a	ℓ_a^i	Measured length spanning from connector i to its first measuring point (in mm)
ℓ_b	ℓ_b^i	Length spanning from connector i to its second measuring point (in mm)
ℓ_j	ℓ_{con}	Virtual length of all connectors defined in accordance with Figure 3 (in mm). The index has been changed to avoid confusion with the measurement number
ℓ_r	ℓ_r	Measured length (in mm) of the reference conductor
α	α	Temperature coefficient (in K ⁻¹), depending on the material of the conductor

En utilisant ces variables mesurées et ces constantes, les quantités suivantes, présentées dans le Tableau F.4, peuvent être calculées.

Tableau F.4 – Calcul des variables

Symboles		Variables calculées
Article 4	Annexe F variables	
R_j	R_{con}^{ij}	Résistance pure du raccord i , ramenée à 20 °C, pendant la mesure j
R	R^{ij}	Résistance entre les points de mesure du raccord i , ramenée à 20 °C, pendant la mesure j
R_r	R_r^j	Résistance du conducteur de référence, ramenée à 20 °C, pendant la mesure j
k	k^{ij}	Facteur de résistance du raccord i pendant la mesure j
$\bar{K}_0$	$\bar{k}_1$	Moyenne du facteur de résistance des six raccords immédiatement après installation, avant le premier cycle thermique, représentant un estimateur de la valeur réelle inconnue
s_0	$s_{.1}$	Ecart-type des facteurs de résistance des six raccords avant le premier cycle thermique, représentant un estimateur de l'écart-type statistique inconnu σ_k
δ	δ	Dispersion initiale relative de la moyenne des facteurs de résistance des six raccords, avant le premier cycle thermique
$\bar{k}$	$\bar{k}_i$	Moyenne des facteurs de résistance du raccord i , calculée sur les 11 dernières mesures
$\bar{K}$	$\bar{k}$	Moyenne globale de tous les facteurs de résistance, calculée sur les 11 dernières mesures
s	s	Ecart-type des moyennes des facteurs de résistances des six raccords, calculé sur les 11 dernières mesures, à partir de la moyenne globale
β	β	Dispersion moyenne relative des facteurs de résistance des six raccords, calculée sur les 11 dernières mesures, à partir de la moyenne globale
b	b_i	Pente estimée de la droite de régression, calculée à partir d'une régression linéaire simple sur les facteurs de résistance du raccord i , sur les 11 dernières mesures
M	M^i	Variation relative estimée des facteurs de résistance du raccord i , sur les 11 dernières mesures
s_j	s^i	Ecart-type des résiduels par rapport à la droite de régression, pour le raccord i
-	s_{b_i}	Ecart-type de la pente estimée de la droite de régression pour le raccord i
σ	σ^i	Ecart unilatéral maximal par rapport à la droite de régression pour le raccord i
δ_i	δ^i	Dispersion unilatérale maximale à partir de la droite de régression pour le raccord i
S	S^i	Dispersion totale maximale relative par rapport à la droite de régression pour le raccord i
D	D^i	Variation totale statistique relative du raccord i sur les 11 dernières mesures
λ	λ^{ij}	Rapport entre le facteur de résistance du raccord i pendant la mesure j et de facteur de résistance initial de ce raccord

Les grandeurs suivantes sont calculées et utilisées pour décider si un type de raccord répond aux prescriptions de la présente norme. Le but est de définir des critères de stabilité de la résistance d'un type de raccord lors de l'essai de cycles thermiques. Les courbes des exemples sont tracées en utilisant des données relatives à un comportement extrême pour démontrer les effets de la méthode statistique.

Using these measured variables and constants, the following quantities, shown in Table F.4, can be calculated.

Table F.4 – Calculated variables

Symbols		Calculated variables
Clause 4	Annex F variables	
R_j	R_{ij}^{con}	Pure resistance of connector i during measurement j , adjusted to 20 °C
R	R_{ij}	Resistance between measuring points of connector i during measurement j , adjusted to 20 °C
R_r	R_r^j	Resistance of the reference conductor during measurement j , adjusted to 20 °C
k	k_{ij}	Resistance factor of connector i during measurement j
$\bar{K}_0$	$\bar{k}_{.1}$	Mean of the resistance factors of the six connectors immediately after installation, before heat cycle 1, representing an estimator for the unknown true value
s_0	$s_{.1}$	Standard deviation of the resistance factors of the six connectors before heat cycle 1, representing an estimator for the unknown statistical standard deviation σ_k
δ	δ	“Relative initial scatter” of the mean of the resistance factors of the six connectors, before heat cycle 1
$\bar{k}$	$\bar{k}_i$	Mean of the resistance factors of connector i , calculated over the last 11 measurements
$\bar{K}$	$\bar{k}$	Overall mean of all resistance factors, calculated over the last 11 measurements
s	s	Standard deviation of the means of the resistance factors of the six connectors (calculated over the last 11 measurements) from the overall mean
β	β	Relative mean scatter of the resistance factors of the six connectors (calculated over the last 11 measurements) from the overall mean
b	$\hat{b}_i$	Estimated slope of the regression line, calculated from a simple linear regression on the resistance factors of connector i over the last 11 measurements
M	M^i	Estimated relative change of the resistance factors of connector i over the last 11 measurements
s_j	s^i	Standard deviation of the residuals from the regression line, for connector i
-	$\hat{s}_{\hat{b}_i}$	Standard deviation of the estimated slope of the regression line for connector i
σ	σ^i	Maximum one-sided deviation from the regression line for connector i
δ_i	δ^i	Maximum one-sided scatter from the regression line for connector i
S	S^i	Relative maximum overall scatter from the regression line for connector i
D	D^i	Relative statistical overall change of connector i over the last 11 measurements
λ	λ_{ij}	Resistance factor ratio of connector i during measurement j related to the initial resistance factor of this connector

The following quantities are calculated and used to decide whether a type of connector will satisfy the requirements of this standard. The aim is to define criteria for the resistance stability of a tested connector type during the heat cycle period of the test. The graphs in the examples are made using simulated data showing extreme behaviour to demonstrate the effects on the statistical method.

F.1 Mesures effectuées

A certains intervalles j lors des essais de cycles thermiques, il convient de calculer le facteur de résistance de chaque raccord. Pour chaque facteur de résistance, il convient d'enregistrer une série de mesures à température ambiante (voir Tableau F.5).

Tableau F.5 – Paramètres mesurés régulièrement

Emplacement	Raccord 1	Raccord 2	Raccord 3	Raccord 4	Raccord 5	Raccord 6	Conducteur de référence
Mesure j	$U^{1j}, I^{1j}, \theta^{1j}$	$U^{2j}, I^{2j}, \theta^{2j}$	$U^{3j}, I^{3j}, \theta^{3j}$	$U^{4j}, I^{4j}, \theta^{4j}$	$U^{5j}, I^{5j}, \theta^{5j}$	$U^{6j}, I^{6j}, \theta^{6j}$	U_r^j, I_r^j, θ_r^j

Chaque mesure de résistance est normalement réalisée en mesurant la chute de tension entre les points de mesure de chaque raccord. Cette chute de tension est générée par le courant continu injecté; elle est mesurée à une certaine température. Il convient que la température de tous les éléments mesurés soit au même niveau que la température ambiante. Lorsque la mesure de toutes les chutes de tension est réalisée automatiquement, presque en même temps, le courant peut être considéré comme constant.

Il convient que les points de mesure soient clairement marqués et ne soient pas changés au cours de l'essai. Les distances peuvent alors être considérées comme constantes tant qu'aucune modification n'intervient dans le montage d'essai. Selon les conditions d'installation réelles, les longueurs ℓ_a et ℓ_b peuvent être légèrement différentes. C'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser des longueurs individuelles pour tous les raccords. ℓ_{con} dépend de la conception du raccord. Il convient d'utiliser la longueur après installation comme indiqué à la Figure 3.

F.2 Facteur de résistance k du raccord

Le facteur de résistance k^{ij} du raccord est un paramètre multiple normalisé pour obtenir une caractérisation universelle de tous les types de raccords. La première normalisation est faite en rapportant la résistance du raccord à sa longueur. La deuxième est faite en rapportant cette résistance linéique ajustée du raccord à la résistance linéique ajustée du conducteur utilisé. La troisième normalisation est nécessaire pour la température, car la résistance mesurée est fonction du coefficient de température du matériau utilisé, et la température peut varier entre 15 °C et 30 °C au cours de la longue période d'essai.

Le calcul des facteurs de résistance k^{ij} est réalisé en divisant la résistance R_{con}^{ij} rapportée à sa longueur ℓ_{con} , par la résistance R_r^j , rapportée à sa longueur ℓ_r .

$$k^{ij} = \frac{\frac{R_{con}^{ij}}{\ell_{con}}}{\frac{R_r^j}{\ell_r}}$$

R_r^j représente la résistance, ramenée à 20 °C, du conducteur de référence pendant le cycle thermique j .

$$R_r^j = \frac{U_r^j}{I_r^j} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta_r^j - 20)}$$

F.1 Measurements made

At certain j intervals throughout the heat cycle tests, the resistance factor of each connector should be calculated. For each resistance factor, a series of measurements at ambient temperature should be recorded, see Table F.5.

Table F.5 – Repeatedly measured parameters

Location	Connector 1	Connector 2	Connector 3	Connector 4	Connector 5	Connector 6	Reference conductor
Measurement j	$U^{1j}, I^{1j}, \theta^{1j}$	$U^{2j}, I^{2j}, \theta^{2j}$	$U^{3j}, I^{3j}, \theta^{3j}$	$U^{4j}, I^{4j}, \theta^{4j}$	$U^{5j}, I^{5j}, \theta^{5j}$	$U^{6j}, I^{6j}, \theta^{6j}$	U_r^j, I_r^j, θ_r^j

Each resistance measurement normally consists of an individual measurement of the value for the voltage drop between the measuring points caused by the related DC-current-value measured at a certain temperature. The temperature on all measured elements should be at the same level at ambient temperature. When measuring the voltage drop at all measuring points automatically, almost at the same time, the current can be regarded as constant.

The measuring points should be marked clearly and should not be changed during the test. Then the distances can be regarded as constant as long as there was no modification of the test set-up. Depending on actual installation conditions, the lengths ℓ_a and ℓ_b can be slightly different. Therefore it is necessary to use individual lengths for all connectors. ℓ_{con} depends on the design of the connector. The length after installation should be used according to Figure 3.

F.2 Connector resistance factor k

The connector resistance factor k^{ij} is a multiple standardized parameter to acquire a universal description for all kind of connectors. The first standardization is made by relating the connector resistance to its length. The second standardization is made by relating this length adjusted resistance of the connector to the length adjusted resistance of the used conductor. The third standardization is necessary for the temperature, because the measured resistance is a function of the temperature characteristic of the used material, and temperature can vary between 15 °C and 30 °C during the long period of testing.

The calculation of the resistance factor k^{ij} is made by dividing resistance R_{con}^{ij} , adjusted to its length ℓ_{con} , by resistance R_r^j adjusted to its length ℓ_r .

$$k^{ij} = \frac{\frac{R_{con}^{ij}}{\ell_{con}}}{\frac{R_r^j}{\ell_r}}$$

R_r^j represents the resistance (referred to 20 °C) spanning the reference conductor during the heat cycle j .

$$R_r^j = \frac{U_r^j}{I_r^j} \frac{1}{1 + \alpha(\theta_r^j - 20)}$$

R_{con}^{ij} représente la résistance théorique du raccord i , ramenée à 20 °C, pendant le cycle thermique j . Cette résistance est égale à la résistance R^{ij} entre les points de mesure diminuée de la résistance du conducteur concerné, qui est prise comme égale à la résistance du conducteur de référence de même longueur.

$$R_{\text{con}}^{ij} = R^{ij} - R_r^j \times \frac{\ell_a^i + \ell_b^i}{\ell_r} \quad \text{avec} \quad R^{ij} = \frac{U^{ij}}{I^{ij}} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta^{ij} - 20)}$$

On calcule ainsi 72 facteurs de résistance pour les raccords de Classe B, et 84 facteurs de résistance pour les raccords de Classe A (voir Tableau F.6) à partir des données enregistrées pour l'évaluation des résultats.

Tableau F.6 – Nombre de facteurs de résistance k^{ij} pour les raccords de Classe A

Mesure j pour la Classe A	Raccord 1	Raccord 2	Raccord 3	Raccord 4	Raccord 5	Raccord 6
1	$k^{1,1}$	$k^{2,1}$	$k^{3,1}$	$k^{4,1}$	$k^{5,1}$	$k^{6,1}$
2	$k^{1,2}$	$k^{2,2}$	$k^{3,2}$	$k^{4,2}$	$k^{5,2}$	$k^{6,2}$
3	$k^{1,3}$	$k^{2,3}$	$k^{3,3}$	$k^{4,3}$	$k^{5,3}$	$k^{6,3}$
4	$k^{1,4}$	$k^{2,4}$	$k^{3,4}$	$k^{4,4}$	$k^{5,4}$	$k^{6,4}$
5	$k^{1,5}$	$k^{2,5}$	$k^{3,5}$	$k^{4,5}$	$k^{5,5}$	$k^{6,5}$
6	$k^{1,6}$	$k^{2,6}$	$k^{3,6}$	$k^{4,6}$	$k^{5,6}$	$k^{6,6}$
7	$k^{1,7}$	$k^{2,7}$	$k^{3,7}$	$k^{4,7}$	$k^{5,7}$	$k^{6,7}$
8	$k^{1,8}$	$k^{2,8}$	$k^{3,8}$	$k^{4,8}$	$k^{5,8}$	$k^{6,8}$
9	$k^{1,9}$	$k^{2,9}$	$k^{3,9}$	$k^{4,9}$	$k^{5,9}$	$k^{6,9}$
10	$k^{1,10}$	$k^{2,10}$	$k^{3,10}$	$k^{4,10}$	$k^{5,10}$	$k^{6,10}$
11	$k^{1,11}$	$k^{2,11}$	$k^{3,11}$	$k^{4,11}$	$k^{5,11}$	$k^{6,11}$
12	$k^{1,12}$	$k^{2,12}$	$k^{3,12}$	$k^{4,12}$	$k^{5,12}$	$k^{6,12}$
13	$k^{1,13}$	$k^{2,13}$	$k^{3,13}$	$k^{4,13}$	$k^{5,13}$	$k^{6,13}$
14	$k^{1,14}$	$k^{2,14}$	$k^{3,14}$	$k^{4,14}$	$k^{5,14}$	$k^{6,14}$

F.3 Dispersion initiale δ

La dispersion initiale fournit une information sur le comportement de la conception d'un système de contact sur un conducteur donné immédiatement après installation, avant tout effet de vieillissement. On considère que les six échantillons essayés sont suffisants pour estimer l'identification d'une «famille» de raccords. Si les facteurs de résistance pour le type de raccord essayé sont presque égaux, on peut supposer que l'on aura le même résultat en utilisant un raccord de même conception sur le même type de conducteur. Pour ce calcul, on utilise les facteurs k de la première campagne de mesure (voir Tableau F.6, ligne 1, $j = 1$). On fait l'hypothèse que les facteurs de résistance suivent une loi de distribution normale avec une valeur réelle inconnue et une variance inconnue σ_k^2 :

- $\bar{k}_{.1}$ Moyenne empirique des facteurs de résistance des six raccords avant le cycle thermique 1

$$\bar{k}_{.1} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 k^{i1} = \frac{1}{6} (k^{1,1} + k^{2,1} + k^{3,1} + k^{4,1} + k^{5,1} + k^{6,1})$$

R_{con}^{ij} represents the pure connector resistance (referred to 20 °C) of connector i during the heat cycle j . This is the resistance R^{ij} between the measuring points subtracted by the involved conductor resistance, which is set equal to the reference conductor resistance of the same length.

$$R_{\text{con}}^{ij} = R^{ij} - R_r^j \cdot \frac{\ell_a^i + \ell_b^i}{\ell_r} \quad \text{with} \quad R^{ij} = \frac{U^{ij}}{I^{ij}} \frac{1}{1 + \alpha(\theta^{ij} - 20)}$$

Thus 72 resistance factors for connectors of Class B and 84 resistance factors for connectors of Class A (see Table F.6) should be calculated from the recorded data for the assessment of results.

Table F.6 – Number of calculated connector resistance factors k^{ij} for Class A connectors

Measurement j of Class A	Connector 1	Connector 2	Connector 3	Connector 4	Connector 5	Connector 6
1	$k^{1,1}$	$k^{2,1}$	$k^{3,1}$	$k^{4,1}$	$k^{5,1}$	$k^{6,1}$
2	$k^{1,2}$	$k^{2,2}$	$k^{3,2}$	$k^{4,2}$	$k^{5,2}$	$k^{6,2}$
3	$k^{1,3}$	$k^{2,3}$	$k^{3,3}$	$k^{4,3}$	$k^{5,3}$	$k^{6,3}$
4	$k^{1,4}$	$k^{2,4}$	$k^{3,4}$	$k^{4,4}$	$k^{5,4}$	$k^{6,4}$
5	$k^{1,5}$	$k^{2,5}$	$k^{3,5}$	$k^{4,5}$	$k^{5,5}$	$k^{6,5}$
6	$k^{1,6}$	$k^{2,6}$	$k^{3,6}$	$k^{4,6}$	$k^{5,6}$	$k^{6,6}$
7	$k^{1,7}$	$k^{2,7}$	$k^{3,7}$	$k^{4,7}$	$k^{5,7}$	$k^{6,7}$
8	$k^{1,8}$	$k^{2,8}$	$k^{3,8}$	$k^{4,8}$	$k^{5,8}$	$k^{6,8}$
9	$k^{1,9}$	$k^{2,9}$	$k^{3,9}$	$k^{4,9}$	$k^{5,9}$	$k^{6,9}$
10	$k^{1,10}$	$k^{2,10}$	$k^{3,10}$	$k^{4,10}$	$k^{5,10}$	$k^{6,10}$
11	$k^{1,11}$	$k^{2,11}$	$k^{3,11}$	$k^{4,11}$	$k^{5,11}$	$k^{6,11}$
12	$k^{1,12}$	$k^{2,12}$	$k^{3,12}$	$k^{4,12}$	$k^{5,12}$	$k^{6,12}$
13	$k^{1,13}$	$k^{2,13}$	$k^{3,13}$	$k^{4,13}$	$k^{5,13}$	$k^{6,13}$
14	$k^{1,14}$	$k^{2,14}$	$k^{3,14}$	$k^{4,14}$	$k^{5,14}$	$k^{6,14}$

F.3 Initial scatter δ

The initial scatter gives information as to how the design of a contact system will behave on a certain conductor immediately after installation before any ageing effect starts. The six tested samples are considered to be enough to estimate the identification of a connector “family”. If the resistance factors for the tested connector type are almost equal, it may be assumed that one will get the same result when using the described design and assembling method on the same related type of conductor. For this calculation the k factors of the first measurement campaign (Table F.6, row 1, $j = 1$) are used. The assumption is made that the resistance factors follow a normal distribution with an unknown true value and an unknown variance σ_k^2 :

- $\bar{k}_1$ Empirical mean of the resistance factors of the six connectors before heat cycle 1

$$\bar{k}_1 = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 k^{i1} = \frac{1}{6} (k^{1,1} + k^{2,1} + k^{3,1} + k^{4,1} + k^{5,1} + k^{6,1})$$

Ce paramètre est un estimateur de la moyenne statistique inconnue de ce facteur de résistance qui représente le type de raccord avant le cycle thermique 1.

- s_1 Écart-type empirique des facteurs de résistance des six raccords avant le cycle thermique 1.

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^6 (k^{i1} - \bar{k}_{.1})^2}$$

Ce paramètre est un estimateur de l'écart-type statistique inconnu σ_k obtenu à partir de la moyenne des six raccords avant le cycle thermique 1.

- δ Dispersion initiale relative de la moyenne des facteurs de résistance des six raccords, avant le cycle thermique 1 rapporté à la moyenne

$$\delta = \frac{\frac{1}{\sqrt{6}} \times s_1 \times t_{5,0,995}}{\bar{k}_{.1}} = \frac{1,65 \times s_1}{\bar{k}_{.1}}$$

La normalisation, souvent utilisée dans ce développement, permet une comparaison directe avec d'autres types de raccords. Ce paramètre est une quantité sans dimension, qui représente un pourcentage de l'écart par rapport au facteur de résistance moyen estimé et indique que, pour une probabilité donnée, un facteur de résistance ne doit pas être trop élevé. Il est basé sur un intervalle de confiance de 99 % pour la moyenne réelle inconnue avant le cycle thermique 1. Le quantile $t_{5,0,995}$ indique ici que l'intervalle de confiance de

99 % $\bar{k}_{.1} \pm t_{5,0,995} \cdot \frac{s_1}{\sqrt{6}}$ couvrira la moyenne réelle inconnue des facteurs de résistance avec

une probabilité de 99 % avant le cycle thermique 1. Il n'est donc pas possible de conclure que chaque facteur de résistance sera couvert par cet intervalle de confiance avec une probabilité de 99 %.

Une hypothèse nécessaire et réaliste pour cette grandeur consiste à dire que les facteurs de résistance des six raccords suivent de façon indépendante la même distribution normale avec une moyenne inconnue et un écart-type inconnu.

La Figure F.1 donne un exemple pour les facteurs de résistance initiaux du raccord et la dispersion initiale relative calculée. Les facteurs de résistance $k^{1,1}$ à $k^{6,1}$ des raccords 1 à 6 (repérés ici sous C1 à C6) sont représentés par des cercles et le facteur de résistance moyen estimé $\bar{k}_{.1}$ est représenté par une croix. Les lignes verticales pointillées montrent les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance de 99 % pour une moyenne réelle inconnue et la ligne horizontale discontinue représente la dispersion initiale $\delta \times \bar{k}_{.1}$. Les facteurs de résistance initiaux étant supposés suivre une loi de distribution normale, la densité de cette distribution est également indiquée à la Figure F.1.

This parameter is an estimator for the unknown statistical mean of that resistance factor which represents the connector type before heat cycle 1.

- s_1 Empirical standard deviation of the resistance factors of the six connectors before heat cycle 1:

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^6 (k^{i1} - \bar{k}_{.1})^2}$$

This parameter estimates the unknown statistical standard deviation σ_k from the mean of the six connectors before heat cycle 1.

- δ Relative initial scatter of the mean of the resistance factors of the six connectors, before heat cycle 1 standardized by the mean:

$$\delta = \frac{\frac{1}{\sqrt{6}} \times s_1 \times t_{5,0,995}}{\bar{k}_{.1}} = \frac{1,65 \times s_1}{\bar{k}_{.1}}$$

The standardization, often used in this assessment, allows direct comparability with other connector types. This parameter is a dimensionless quantity, which stands for a percentage of deviation from the estimated mean resistance factor and indicates that, for a given probability, a resistance factor is not expected to exceed. It is based on a 99 % confidence interval for the unknown true mean before heat cycle 1. The $t_{5,0,995}$ quantile here indicates

that the 99 % confidence interval $\bar{k}_{.1} \pm t_{5,0,995} \cdot \frac{s_1}{\sqrt{6}}$ will cover the unknown true mean of the

resistance factors with a probability of 99 % before heat cycle 1. It is not possible though to conclude that each resistance factor will be covered by this confidence interval with a probability of 99 %.

A necessary and realistic assumption for this quantity is that the resistance factors of the six connectors independently and identically follow a normal distribution with unknown mean and unknown standard deviation.

Figure F.1 gives an example for initial connector resistance factors and the calculated relative initial scatter. The resistance factors $k^{1,1}$ to $k^{6,1}$ of connectors 1 to 6 (labelled here as C1 to C6) are plotted as circles and the estimated mean resistance factor $\bar{k}_{.1}$ is represented by a cross. The vertical dotted lines show the upper and lower bounds for a 99 % confidence interval (C.I.) for the unknown true mean and the horizontal discontinued line represents the initial scatter $\delta \cdot \bar{k}_{.1}$. Since the initial resistance factors are assumed to follow a normal distribution, the density of this distribution is also given in Figure F.1.

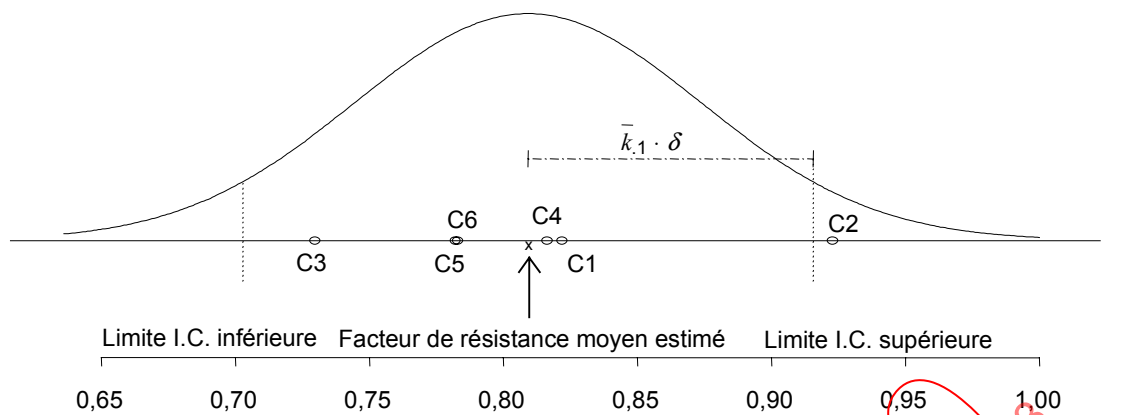


Figure F.1 – Courbe des facteurs de résistance et du paramètre δ avant le cycle thermique 1

F.4 Dispersion moyenne β

La dispersion moyenne β indique si les facteurs de résistance de tous les raccords réagissent de la même manière quand ils sont soumis aux cycles thermiques, et qu'ils peuvent donc être considérés comme représentatifs d'une même conception. Cette dispersion est déterminée en utilisant les 11 derniers facteurs de résistance des raccords calculés à partir des relevés de mesure. Ces 11 relevés de mesure commencent au 250^{ème} cycle, puis tous les 75 cycles jusqu'au 1000^{ème} cycle. Pour faciliter le calcul, l'origine est déplacée sur le point milieu des 11 relevés de mesure, et une variable intermédiaire x est introduite (voir Tableau F.7).

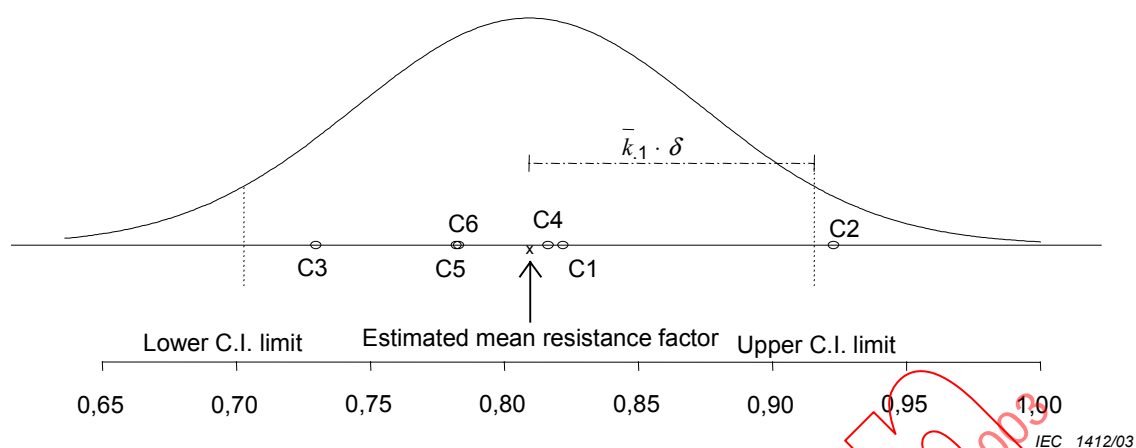


Figure F.1 – Plot of connector resistance factors and parameter δ before heat cycle 1

F.4 Mean scatter β

The mean scatter β shows if all connectors react with the same behaviour of their resistance factors to the heat cycling test and therefore can be identified as representative of the same tested design. This scatter is determined using the last 11 connector resistance factors calculated from the measurement readings. These 11 readings start at the 250th cycle point, and then every 75 cycles up to 1000 cycles. For convenience of calculation, the origin is transferred to the mid-point of the 11 readings and the statistical dummy variable 'x' is introduced, see Table F.7.

Tableau F.7 – Facteurs de résistance des raccords k^{ij} , pour la Classe A, en fonction de la variable intermédiaire x , de la dispersion initiale δ , et de la dispersion moyenne β

Numéro du cycle	x	$i \rightarrow$ $\downarrow j$	Raccord 1	Raccord 2	Raccord 3	Raccord 4	Raccord 5	Raccord 6	Dispersion	
0		1	$k_{1,1}$	$k_{2,1}$	$k_{3,1}$	$k_{4,1}$	$k_{5,1}$	$k_{6,1}$	δ	
200 (avcc) ^a		2	$k_{1,2}$	$k_{2,2}$	$k_{3,2}$	$k_{4,2}$	$k_{5,2}$	$k_{6,2}$	β	
200 (apcc) ^b		3	$k_{1,3}$	$k_{2,3}$	$k_{3,3}$	$k_{4,3}$	$k_{5,3}$	$k_{6,3}$		
250	+5	4	$k_{1,4}$	$k_{2,4}$	$k_{3,4}$	$k_{4,4}$	$k_{5,4}$	$k_{6,4}$		
325	+4	5	$k_{1,5}$	$k_{2,5}$	$k_{3,5}$	$k_{4,5}$	$k_{5,5}$	$k_{6,5}$		
400	+3	6	$k_{1,6}$	$k_{2,6}$	$k_{3,6}$	$k_{4,6}$	$k_{5,6}$	$k_{6,6}$		
475	+2	7	$k_{1,7}$	$k_{2,7}$	$k_{3,7}$	$k_{4,7}$	$k_{5,7}$	$k_{6,7}$		
550	+1	8	$k_{1,8}$	$k_{2,8}$	$k_{3,8}$	$k_{4,8}$	$k_{5,8}$	$k_{6,8}$		
625	0	9	$k_{1,9}$	$k_{2,9}$	$k_{3,9}$	$k_{4,9}$	$k_{5,9}$	$k_{6,9}$		
700	-1	10	$k_{1,10}$	$k_{2,10}$	$k_{3,10}$	$k_{4,10}$	$k_{5,10}$	$k_{6,10}$		
775	-2	11	$k_{1,11}$	$k_{2,11}$	$k_{3,11}$	$k_{4,11}$	$k_{5,11}$	$k_{6,11}$		
850	-3	12	$k_{1,12}$	$k_{2,12}$	$k_{3,12}$	$k_{4,12}$	$k_{5,12}$	$k_{6,12}$		
925	-4	13	$k_{1,13}$	$k_{2,13}$	$k_{3,13}$	$k_{4,13}$	$k_{5,13}$	$k_{6,13}$		
1 000	-5	14	$k_{1,14}$	$k_{2,14}$	$k_{3,14}$	$k_{4,14}$	$k_{5,14}$	$k_{6,14}$		
^a avcc = avant essai de court-circuit.										
^b apcc = après essai de court-circuit.										

- $\bar{k}_i$ Moyenne empirique des facteurs de résistance du raccord i , calculée sur les 11 dernières mesures:

$$\bar{k}_i = \frac{1}{11} \sum_{j=4}^{14} k^{ij}$$

Cette moyenne empirique est un estimateur de la moyenne statistique inconnue du facteur de résistance d'un raccord i donné, calculée sur les 11 dernières mesures.

- $\bar{k}$ Moyenne empirique globale de tous les facteurs de résistance:

$$\bar{k} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \bar{k}_i = \frac{1}{6} \times \frac{1}{11} \times \sum_{i=1}^6 \sum_{j=4}^{14} k^{ij} = \frac{1}{6} \times \frac{1}{11} \times \sum_{i=1}^6 \sum_{x=-5}^{x=+5} k^{ix}$$

Cette moyenne empirique est un estimateur de la moyenne statistique inconnue des facteurs de résistance de tous les raccords, calculé sur les 11 dernières mesures, et représente le comportement typique du modèle de raccord en essai au cours des cycles de vieillissement.

Table F.7 – Connector resistance factors k^{ij} for Class A connectors related to the dummy variable x , the initial scatter δ and the mean scatter β

Heat cycle no.	x	$i \rightarrow \downarrow j$	Con- nector 1	Con- nector 2	Connector 3	Con- nector 4	Con- nector 5	Con- nector 6	Scatter	
0		1	$k^{1,1}$	$k^{2,1}$	$k^{3,1}$	$k^{4,1}$	$k^{5,1}$	$k^{6,1}$	δ	
200 (bsc) ^a		2	$k^{1,2}$	$k^{2,2}$	$k^{3,2}$	$k^{4,2}$	$k^{5,2}$	$k^{6,2}$		
200 (asc) ^b		3	$k^{1,3}$	$k^{2,3}$	$k^{3,3}$	$k^{4,3}$	$k^{5,3}$	$k^{6,3}$		
250	+5	4	$k^{1,4}$	$k^{2,4}$	$k^{3,4}$	$k^{4,4}$	$k^{5,4}$	$k^{6,4}$		β
325	+4	5	$k^{1,5}$	$k^{2,5}$	$k^{3,5}$	$k^{4,5}$	$k^{5,5}$	$k^{6,5}$		
400	+3	6	$k^{1,6}$	$k^{2,6}$	$k^{3,6}$	$k^{4,6}$	$k^{5,6}$	$k^{6,6}$		
475	+2	7	$k^{1,7}$	$k^{2,7}$	$k^{3,7}$	$k^{4,7}$	$k^{5,7}$	$k^{6,7}$		
550	+1	8	$k^{1,8}$	$k^{2,8}$	$k^{3,8}$	$k^{4,8}$	$k^{5,8}$	$k^{6,8}$		
625	0	9	$k^{1,9}$	$k^{2,9}$	$k^{3,9}$	$k^{4,9}$	$k^{5,9}$	$k^{6,9}$		
700	−1	10	$k^{1,10}$	$k^{2,10}$	$k^{3,10}$	$k^{4,10}$	$k^{5,10}$	$k^{6,10}$		
775	−2	11	$k^{1,11}$	$k^{2,11}$	$k^{3,11}$	$k^{4,11}$	$k^{5,11}$	$k^{6,11}$		
850	−3	12	$k^{1,12}$	$k^{2,12}$	$k^{3,12}$	$k^{4,12}$	$k^{5,12}$	$k^{6,12}$		
925	−4	13	$k^{1,13}$	$k^{2,13}$	$k^{3,13}$	$k^{4,13}$	$k^{5,13}$	$k^{6,13}$		
1 000	−5	14	$k^{1,14}$	$k^{2,14}$	$k^{3,14}$	$k^{4,14}$	$k^{5,14}$	$k^{6,14}$		
^a bsc = before short-circuit test.										
^b asc = after short-circuit test.										

- $\bar{k}_i$ Empirical mean of the resistance factors of connector i , calculated over the last 11 measurements.

$$\bar{k}_i = \frac{1}{11} \sum_{j=4}^{14} k^{ij}$$

This empirical mean is an estimator for an unknown statistical mean of the resistance factors of one individual connector i , calculated over the last 11 measurements.

- $\bar{k}$ Empirical overall mean of all resistance factors:

$$\bar{k} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \bar{k}_i = \frac{1}{6} \times \frac{1}{11} \sum_{i=1}^6 \sum_{j=4}^{14} k^{ij} = \frac{1}{6} \times \frac{1}{11} \sum_{i=1}^6 \sum_{x=-5}^{x=+5} k^{ix}$$

This empirical mean estimates the unknown statistical mean of the resistance factors of all connectors, calculated over the last 11 measurements representing the typical behaviour of the tested connector family during heat cycling.

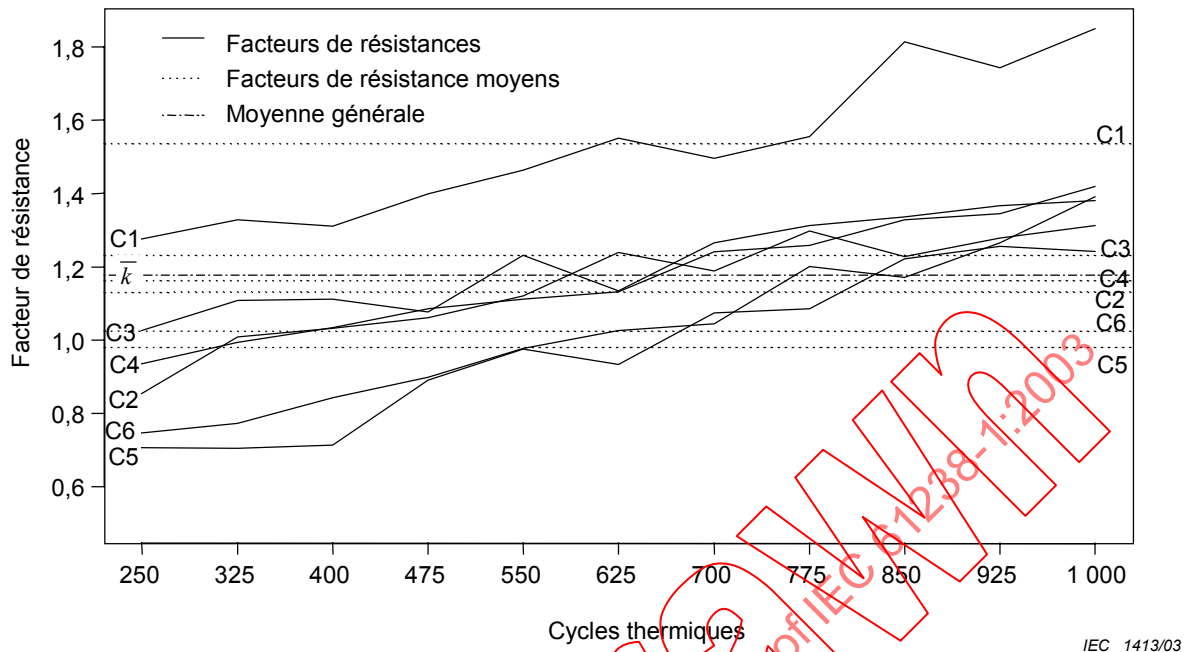


Figure F.2 – Courbe des facteurs de résistance k^{ij} , des facteurs de résistance moyens estimés $\bar{k}_i$, et de la moyenne globale estimée $\bar{k}$

La Figure F.2 donne un exemple de la progression des facteurs de résistance k^{ij} des six raccords (repérés C1 à C6 et tracés en ligne continue), et des six moyennes associées $\bar{k}_i$ (lignes pointillées), et de la moyenne globale $\bar{k}$ (ligne mixte).

- s Ecart-type empirique, par rapport à la moyenne globale, des moyennes $\bar{k}_i$ des facteurs de résistance des six raccords (calculées sur les 11 dernières mesures).

$$s = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^6 (\bar{k}_i - \bar{k})^2}$$

Cet écart-type empirique est un estimateur de l'écart-type statistique inconnu des moyennes $\bar{k}_i$ par rapport à leur moyenne globale.

- β Dispersion relative moyenne, par rapport à la moyenne globale, des moyennes des facteurs de résistance des six raccords calculées sur les 11 dernières mesures (cette dispersion est normalisée par rapport à la moyenne globale).

$$\beta = \frac{\frac{1}{\sqrt{6}} \times s \times t_{5;0,995}}{\bar{k}} = \frac{1,65 \times s}{\bar{k}}$$

Ce paramètre est une grandeur sans dimension, et s'interprète comme l'intervalle, exprimé en pourcentage de la moyenne globale, à l'intérieur duquel une moyenne de facteur de résistance $\bar{k}_i$ est supposée ne pas dépasser une certaine probabilité. Il est basé sur un intervalle de confiance de 99 % autour de la moyenne globale réelle, et inconnue, du facteur de résistance. Le quantile $t_{5;0,995}$ indique ici que l'intervalle de confiance à 99 %

$\bar{k} \pm t_{5;0,995} \times \frac{s}{\sqrt{6}}$ inclura la vraie valeur inconnue de la moyenne du facteur de résistance du raccord i avec une probabilité de 99 %. Cela n'implique pas cependant que l'ensemble des moyennes $\bar{k}_i$ des facteurs de résistance sera dans cet intervalle avec une probabilité de 99 %.

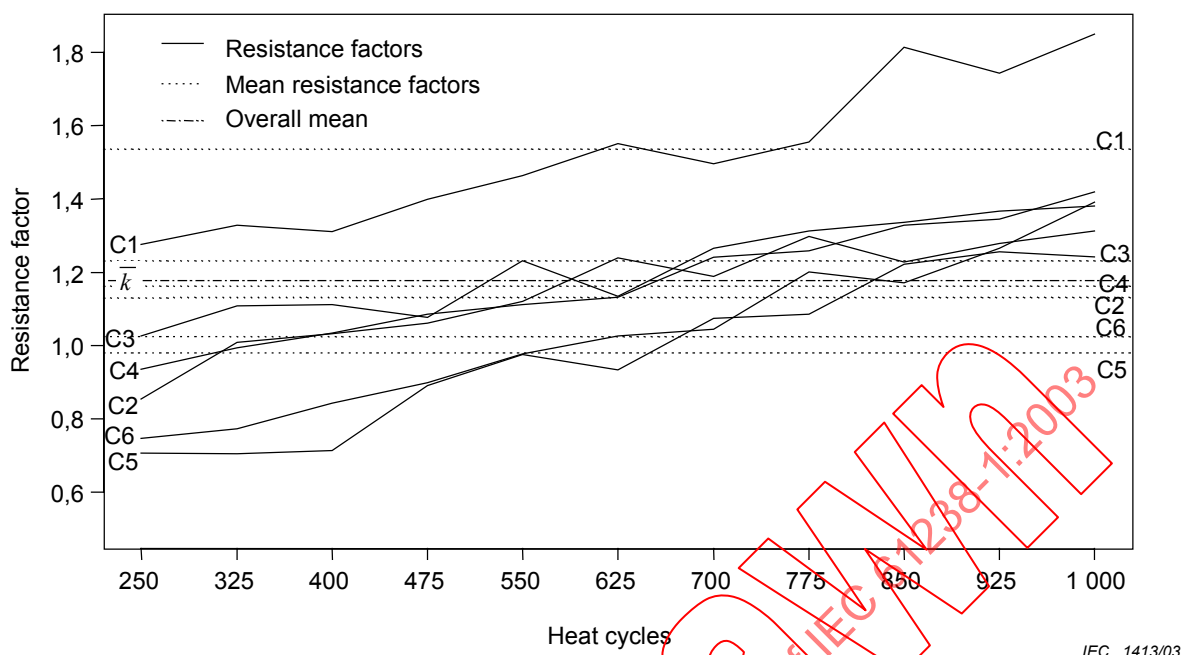


Figure F.2 – Plot of resistance factors k_{ij} , estimated mean resistance factors $\bar{k}_i$ and estimated overall mean $\bar{k}$

Figure F.2 gives an example for the progression of the resistance factors k_{ij} of all six connectors (labelled C1 to C6 and plotted using a solid line) as well as the six corresponding mean resistance factors $\bar{k}_i$ (dotted lines) and the overall mean $\bar{k}$ (discontinued line).

- s Empirical standard deviation of the means $\bar{k}_i$ of the resistance factors of the six connectors (calculated over the last 11 measurements) from the overall mean.

$$s = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^6 (\bar{k}_i - \bar{k})^2}$$

This empirical standard deviation is an estimator for the unknown statistical standard deviation of the means $\bar{k}_i$ from the overall mean.

- β Relative mean scatter of the mean resistance factors of the six connectors (calculated over the last 11 measurements) from the overall mean (standardized by the overall mean).

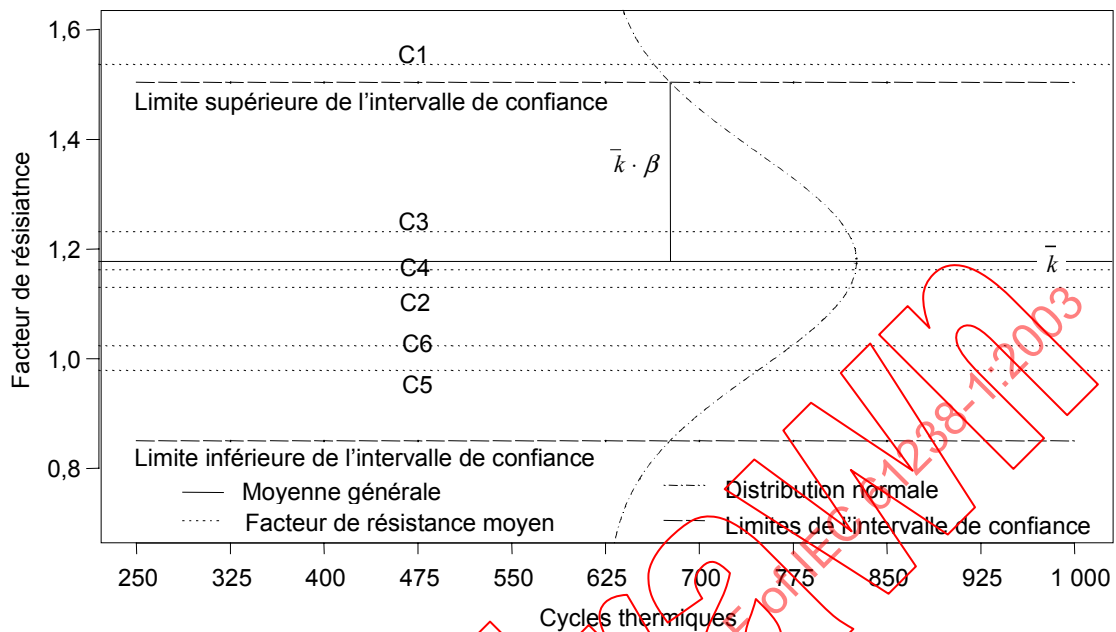
$$\beta = \frac{\frac{1}{\sqrt{6}} \times s \times t_{5;0,995}}{\bar{k}} = \frac{1,65 \times s}{\bar{k}}$$

This parameter is a dimensionless quantity, which stands for a percentage of deviation from the overall mean and indicates that a mean resistance factor $\bar{k}_i$ is not expected to exceed a certain probability. It is based on a 99 % confidence interval for the unknown true overall resistance factor. The $t_{5;0,995}$ -quantile here indicates, that the 99 % confidence interval

$\bar{k} \pm t_{5;0,995} \times \frac{s}{\sqrt{6}}$ will cover the unknown true overall resistance factor of connector i with a

probability of 99 %. It does not imply, however, that all mean resistance factors $\bar{k}_i$ will be covered by this confidence interval with a probability of 99 %.

Pour cette valeur, on peut supposer que les moyennes empiriques $\bar{k}_i$ de tous les raccords i suivent indépendamment la même distribution normale.



IEC 1414/03

Figure F.3 – Tracé des facteurs de résistance moyens estimés $\bar{k}_i$, de la moyenne globale estimée $\bar{k}$ et du paramètre β

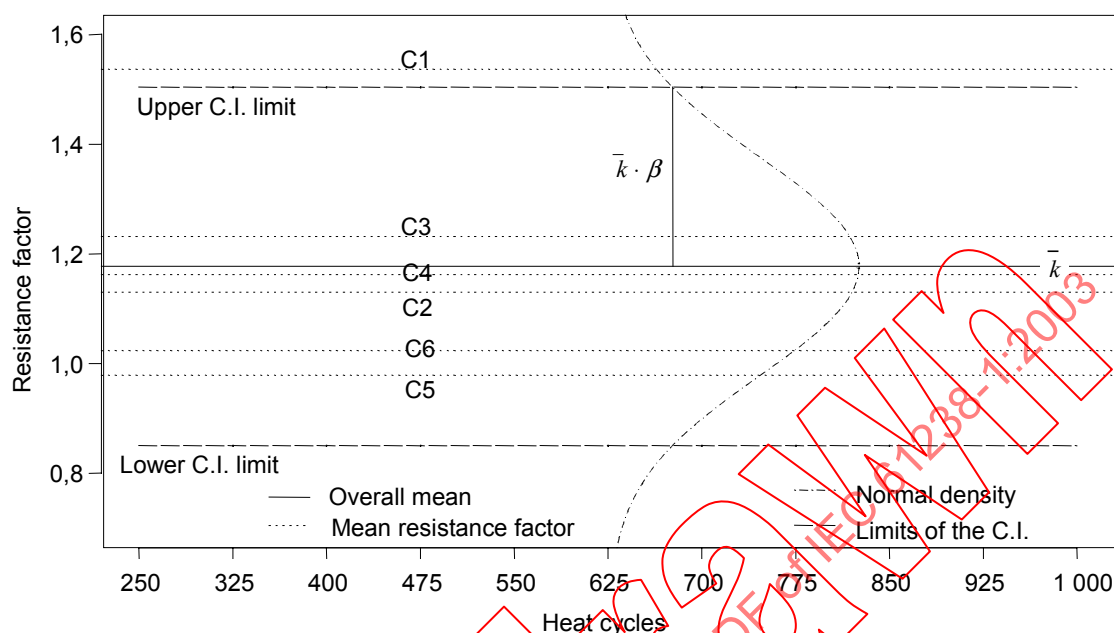
La Figure F.3 indique les facteurs de résistance moyens estimés $\bar{k}_i$ (tracés avec une ligne pointillée) des six raccords (repérés de C1 à C6) ainsi que la moyenne globale estimée $\bar{k}$ (ligne horizontale continue) et les limites de l'intervalle de confiance à 99 % pour le vrai, mais inconnu, facteur de résistance moyen (lignes mixtes). L'écart moyen calculé $\beta \times \bar{k}$ est indiqué par une ligne verticale continue. Et puisque les facteurs de résistance $\bar{k}_i$ moyens sont supposés suivre indépendamment une même distribution normale, celle-ci est également tracée.

F.5 Variation du facteur de résistance de chaque raccord

Le vieillissement des raccords électriques est causé par deux effets. Premièrement la force de contact peut diminuer par fluage du matériau conducteur dans la connexion. Si la force de contact est inférieure à la force de contact minimale, alors la résistance de la connexion sera sensiblement plus élevée. Le second effet qui influence le vieillissement des raccords concerne les réactions chimiques sur les surfaces de constriction. L'un et l'autre des effets de vieillissement agissent en parallèle mais avec des intensités différentes.

Au travers de ces deux effets, la résistance du raccord augmente (voir Figure F.4). Généralement, le comportement au vieillissement d'un contact électrique causé par des modifications chimiques et physiques aux surfaces de constriction peut être scindé en différentes phases. Pendant la formation, des surfaces de constriction stables sont développées. Dans la seconde phase de vieillissement, la stabilité relative, la résistance de contact n'augmente que très peu. C'est la phase que nous observons pendant l'essai de cycles thermiques. Un modèle mathématique de vieillissement de cette phase est créé et le comportement de chaque raccord est analysé. Néanmoins, la conséquence est que les pertes dans la connexion, ainsi que la température, deviennent plus élevées. Cela est observé selon l'évaluation présentée à l'Article E.7.

For this quantity, the assumption can be made that the empirical means $\bar{k}_i$ for all connectors i independently and identically follow a normal distribution.



IEC 1414/03

Figure F.3 – Plot of estimated mean resistance factors $\bar{k}_i$, estimated overall mean $\bar{k}$ and parameter β

Figure F.3 shows the estimated mean resistance factors $\bar{k}_i$ (plotted using a dotted line) of the six connectors (labelled as C1 to C6) as well as the estimated overall mean $\bar{k}$ (horizontal solid line) and also the upper and lower 99 % confidence limit for the unknown true overall resistance factor (discontinued lines). The calculated mean scatter $\beta \times \bar{k}$ is indicated by a vertical solid line. Since the mean resistance factors $\bar{k}_i$ are assumed to independently and identically follow a normal distribution, the density of this distribution is also plotted.

F.5 Change in resistance factor of each connector

The ageing of electrical connectors is caused by two processes. First the contact force can become smaller by the creeping of the conductor material in the connection. If the contact force is smaller than a minimal contact force then the joint resistance will be significantly higher. The second process which influences the ageing of connectors concerns chemical reactions on constriction areas. Both ageing processes occur in parallel but with different intensities.

Through both processes the connector resistance increases (see Figure F.4). Generally the ageing behaviour of an electrical contact caused by chemical and physical changes at the constriction areas can be divided into different phases: during formation, stable constriction areas are developed; in the second phase of ageing, relative stability, the connector resistance increases only very little. This is the phase in which the heat cycle test occurs. A mathematical ageing model for this phase is created and the behaviour of every connector is analysed. Nevertheless, as a result, the power loss in the joint increases, as does the connector temperature as well. This is observed following the assessment in E.7.

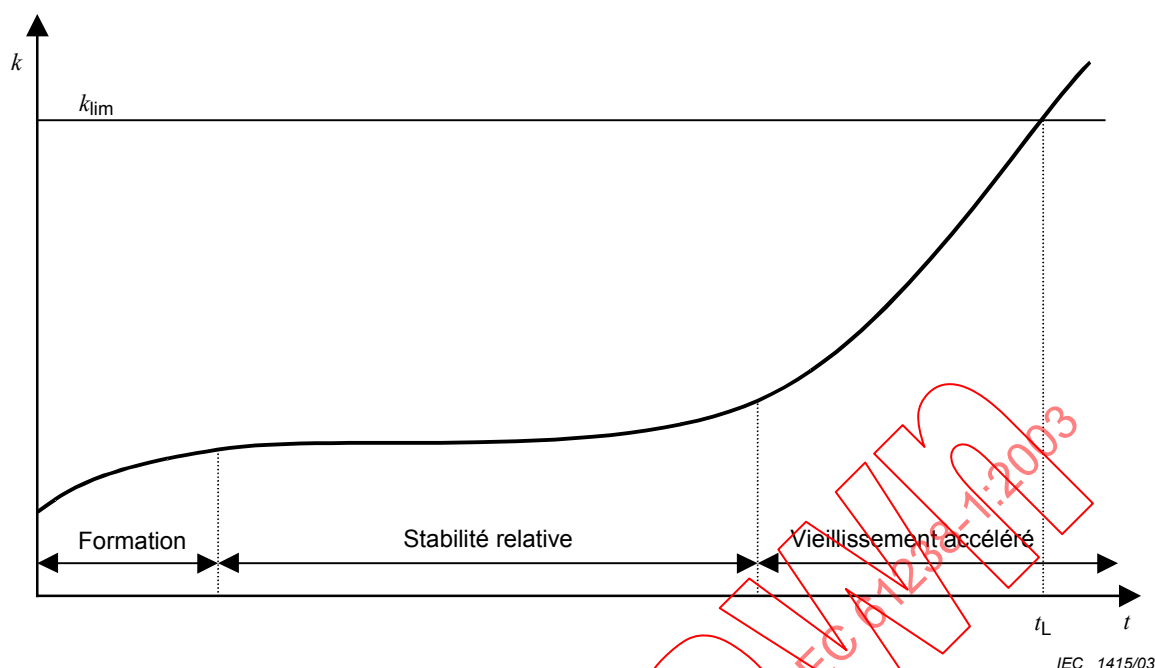


Figure F.4 – Vieillessement typique d'un raccord électrique
(k_{lim} facteur limite de résistance; t_L durée de vie)

Dans la troisième phase, celle du vieillissement accéléré, la vitesse de l'effet chimique augmente à cause de la température plus élevée. Pendant le vieillissement accéléré, la résistance de la connexion augmente considérablement. Il convient de ne pas atteindre cette phase pendant l'essai.

F.5.1 Droite de régression

Pour étudier le comportement au vieillissement de chaque raccord au cours des 11 dernières mesures, le modèle de vieillissement suivant est adopté. Chaque facteur de résistance k^{ij} dépend d'un effet inconnu $\tilde{a}_i$ «effet – raccord i » produit par le comportement de la résistance individuelle d'un raccord au regard de la procédure d'essai, augmenté d'un «effet de cycle thermique» $\tilde{b}_i \times j$, qui représente l'influence que le cycle thermique correspondant à la mesure j a sur le facteur de résistance du raccord i , augmenté d'une erreur inconnue ε_{ij} , qui représente la somme des informations dans la grandeur k^{ij} qui ne peuvent être expliquées par ce modèle et des erreurs additionnelles, comme celle des imprécisions de mesure.

$$k^{ij} = \tilde{a}_i + \tilde{b}_i \times j + \varepsilon_{ij}$$

Ainsi, on effectue une simple régression linéaire (droite de régression) sur tous les facteurs de résistance d'un raccord i au cours des 11 dernières mesures. Pour simplifier cela, on introduit la variable intermédiaire $x_j = -5, \dots, +5$ (une valeur pour chaque mesure j , représentant par exemple pour les raccords de Classe A, voir Tableau F.7, la mesure de $j = 4$ à la mesure $j = 14$) et le modèle est transformé en un modèle équivalent $k^{ij} = \tilde{a}_i + b_i \times x_j + \varepsilon_{ij}$.

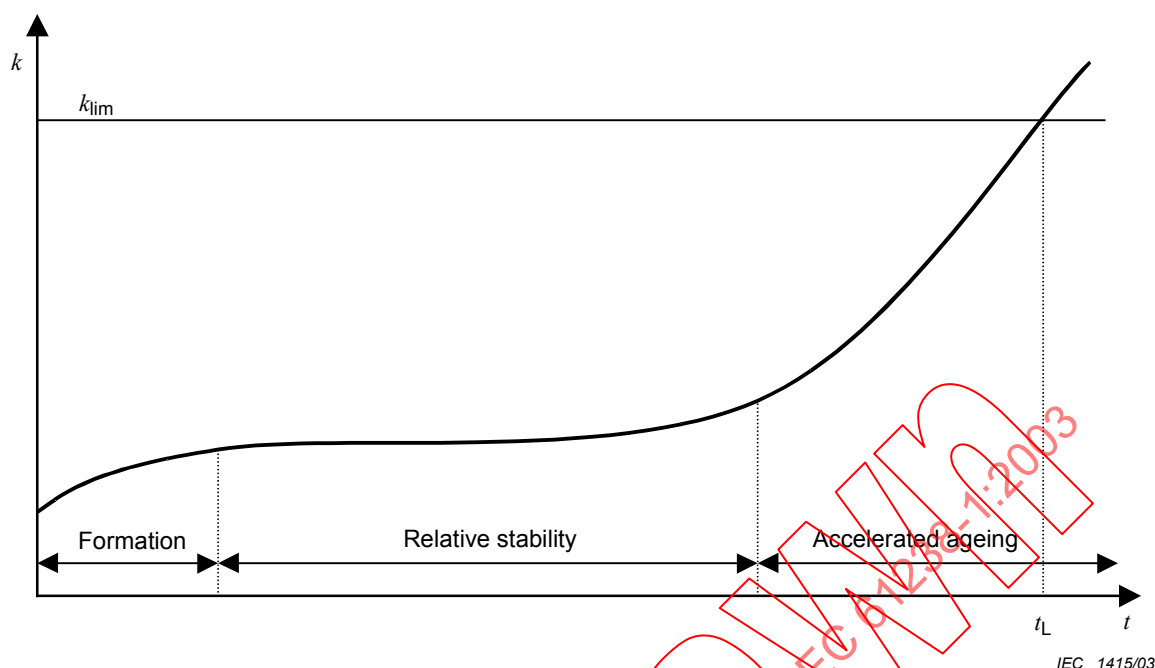


Figure F.4 – Typical ageing behaviour of an electrical connector
(k_{lim} limiting resistance factor; t_L lifetime)

In the third phase, accelerated ageing, the velocity of chemical processes increases due to the higher temperature. During accelerated ageing, the joint resistance increases considerably. This phase should not be reached during the test.

F.5.1 Line of best fit

To study the ageing behaviour of each connector during the last 11 measurements, the following ageing model is assumed. Each resistance factor k^{ij} depends on an unknown “connector i ’ effect”, $\tilde{a}_i$, caused by the individual resistance behaviour of a connector to the test procedure, plus a “heat cycle effect” $\tilde{b}_1 \times j$, which stands for the influence that the heat cycle corresponding to measurement j has on the resistance factor of connector i , plus an unknown error ε_{ij} , which represents both the amount of information in the data k^{ij} that cannot be explained by this model and additional errors, such as inaccuracies of measurement.

$$k^{ij} = \tilde{a}_i + \tilde{b}_1 \times j + \varepsilon_{ij}$$

So a simple linear regression (line of best fit) on all resistance factors of connector i over the last 11 measurements is conducted. To simplify this, the dummy variable $x_j = -5, \dots, +5$ (one value for each measurement j , e.g. representing measurement $j = 4$ to measurement 14 for connectors of Class A, see Table F.7) is introduced and the model is transformed into the equivalent model $k^{ij} = \tilde{a}_i + b_1 \times x_j + \varepsilon_{ij}$.

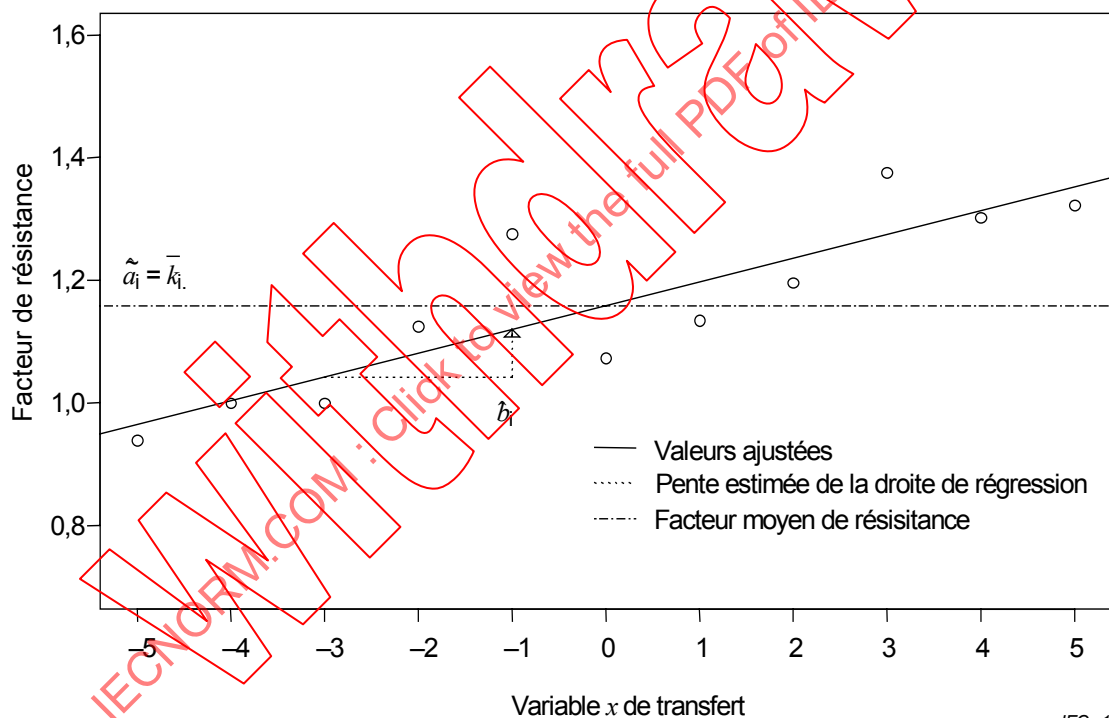
L'objet de cette modélisation est d'essayer d'estimer la réponse moyenne des facteurs de résistance, qui constitue la vraie valeur du facteur de résistance du raccord i pendant la mesure j . Ainsi la droite de régression, qui est tracée pour les valeurs ajustées $\hat{k}^{ij} = \hat{a}_i + \hat{b}_i \times j = \hat{a}_i + \hat{b}_i \times x_j$, est un estimateur de la réponse moyenne du facteur de résistance du raccord i pendant la mesure j .

- $\hat{b}_i$ Pente estimée de la droite de régression, calculée à partir d'une simple régression linéaire sur les facteurs de résistance du raccord i au cours des 11 dernières mesures, en utilisant la méthode des moindres carrés.

$$\hat{b}_i = \frac{1}{\sum_{j=4}^{14} x_j^2} \times \sum_{j=4}^{14} x_j \times k^{ij} = \frac{1}{110} \sum_{j=4}^{14} x_j \times k^{ij}, \quad \hat{a}_i = \bar{k}_i$$

La variable $\hat{b}_i$ est un estimateur de la pente inconnue de la droite de régression et sa valeur indique la valeur de l'effet que les cycles thermiques ont sur les facteurs de résistance du raccord i .

Le facteur moyen $\bar{k}_i$ du raccord i peut être pris comme l'estimateur de l'« effet – raccord i » $\hat{a}_i$.



IEC 1416/03

Figure F.5 – Tracé des facteurs de résistance, des valeurs ajustées, ordonnée à l'origine et pente estimées

La Figure F.5 donne un exemple de la pente estimée $\hat{b}_i$ et l'ordonnée à l'origine $\hat{a}_i$, qui représentent l'incidence de l'effet des cycles thermiques et de l'« effet – raccord i ».

- M^i Variation relative estimée des facteurs de résistance du raccord i au cours des 11 dernières mesures.

$$M^i = \frac{10 \times \hat{b}_i}{\bar{k}_i}$$

Cette grandeur représente la variation estimée totale des facteurs de résistance du raccord i , normalisée avec le facteur moyen de résistance du raccord i au cours des 11 dernières mesures.

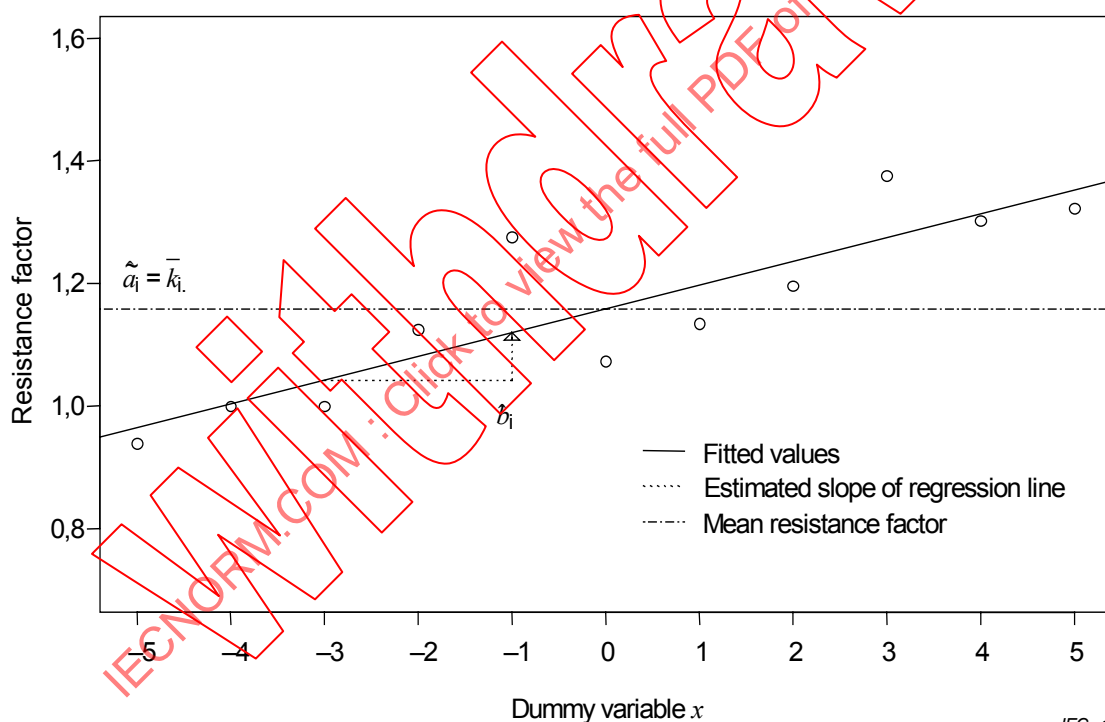
The purpose of this modeling is to try to estimate the mean response of the resistance factors, which is the true value of the resistance factor of connector i during measurement j . So the regression line, which is built by the fitted values $\hat{k}^{ij} = \hat{a}_i + \hat{b}_i \times j = \hat{\tilde{a}}_i + \hat{b}_i \times x_j$, is an estimator for the mean response of the resistance factor of connector i during measurement j .

- $\hat{b}_i$ Estimated slope of the regression line, calculated from a simple linear regression on the resistance factors of connector i over the last 11 measurements, using the least squares method.

$$\hat{b}_i = \frac{1}{\sum_{j=4}^{14} x_j^2} \times \sum_{j=4}^{14} x_j \times k^{ij} = \frac{1}{110} \sum_{j=4}^{14} x_j \times k^{ij}, \quad \hat{\tilde{a}}_i = \bar{k}_{i.}$$

The variable $\hat{b}_i$ is an estimator for the unknown slope of the regression line and its magnitude indicates the size of effect that the heat cycles have on the resistance factors of connector i .

The estimator for the “connector- i effect” $\hat{\tilde{a}}_i$ can be found as the mean resistance factor $\bar{k}_{i.}$ of connector i .



IEC 1416/03

Figure F.5 – Plot of the resistance factors, fitted values, estimated intercept and estimated slope

Figure F.5 gives an example for the estimated slope $\hat{b}_i$ and intercept $\hat{\tilde{a}}_i$, which represent the cross-sectional area of the “heat cycle effect” and the “connector effect” of connector i .

- M^i Estimated relative change of the resistance factors of connector i over the last 11 measurements:

$$M^i = \frac{10 \times \hat{b}_i}{\bar{k}_{i.}}$$

Ainsi, elle constitue la représentation sans dimension du pourcentage de la valeur des facteurs de résistance du raccord i , par rapport au facteur moyen de résistance $\bar{k}_i$, qui variera au cours des 11 dernières mesures.

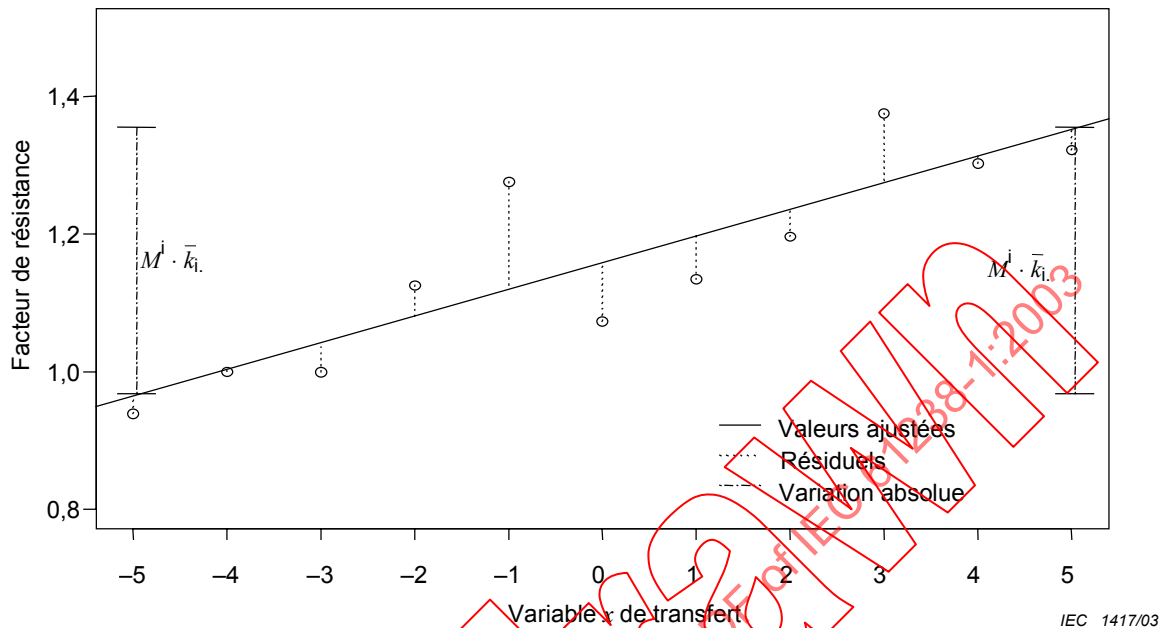


Figure F.6 – Tracé des valeurs ajustées, des résiduels et du paramètre M^i

La Figure F.6 donne un exemple de la variation absolue $M^i \times \bar{k}_i$, qui représente la différence entre la plus grande et la plus petite valeur ajustée du facteur de résistance du raccord i . Les valeurs ajustées sont tracées en ligne continue et les résiduels sont tracés en ligne pointillée.

F.5.2 Intervalle de confiance

- s^i Écart-type des résiduels par rapport à la droite de régression, pour le raccord i , calculé à partir de la régression linéaire

$$s^i = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{j=4}^{14} (k^{ij} - \bar{k}_i - \hat{b}_1 \times x_j)^2}$$

Ce paramètre indique l'écart des facteurs de résistance du raccord i par rapport à la régression linéaire.

- σ^i Écart-type maximal estimé de l'erreur de prédiction de la réponse moyenne du facteur de résistance pour le raccord i

$$\sigma^i = s^i \times \sqrt{\frac{1}{11} + \frac{\max(x_j^2)^i}{\sum_{j=4}^{14} x_j^2}} = \sqrt{\frac{1}{11} + \frac{25}{110}} \times s^i = 0,564 \times s^i$$

Cette grandeur est un estimateur du plus grand écart-type qui pourra être observé pendant l'estimation de la vraie valeur du facteur de résistance du raccord i , à toute mesure.

Pour les quantités suivantes, il est nécessaire et réaliste de supposer que les résiduels suivent indépendamment une même distribution normale.