

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
61586**

Première édition
First edition
1997-02

**Estimation de la fiabilité
des connecteurs électriques**

**Estimation of the reliability
of electrical connectors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61586: 1997

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

RAPPORT TECHNIQUE – TYPE 2

**CEI
IEC**

TECHNICAL REPORT – TYPE 2

61586

Première édition
First edition
1997-02

Estimation de la fiabilité des connecteurs électriques

Estimation of the reliability of electrical connectors

© IEC 1997 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
 Articles	
1 Domaine d'application.....	12
2 Considérations générales	12
2.1 Mécanismes de dégradation intrinsèque.....	12
2.2 Mécanismes de dégradation extrinsèque.....	12
2.3 Maîtrise de la dégradation extrinsèque	12
2.4 Modes de défaillance et mécanismes de défaillance.....	14
2.5 Mécanismes de dégradation	14
3 Méthodes d'essais et facteurs d'accélération.....	14
4 Statistique sur la fiabilité.....	16
5 Critères d'acceptation	18
6 Estimation de la fiabilité des connecteurs multicontacts	18
6.1 Estimation de la fiabilité d'un connecteur à partir de la fiabilité d'un contact si les performances des contacts sont statistiquement indépendantes.....	18
6.2 Estimation de la fiabilité d'un connecteur à l'aide de distributions asymptotiques de valeurs extrêmes	20
7 Résumé et conclusions.....	22
 Annexes	
A Exemple détaillé d'un calcul de fiabilité de valeurs extrêmes	24
B Bibliographie	36

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope	13
2 General considerations	13
2.1 Intrinsic degradation mechanisms	13
2.2 Extrinsic degradation mechanisms	13
2.3 Control of extrinsic degradation	13
2.4 Failure modes and failure mechanisms	15
2.5 Degradation mechanisms	15
3 Test methods and acceleration factors	15
4 Reliability statistics	17
5 Acceptance criteria	19
6 Estimation of the reliability of multi-position connectors	19
6.1 Estimation of connector reliability from contact reliability when the contacts in a connector perform statistically independently	19
6.2 Estimation of connector reliability using asymptotic extreme-value distributions ..	21
7 Summary and conclusions	23
Annexes	
A Detailed example of an extreme value reliability calculation	25
B Bibliography	36

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESTIMATION DE LA FIABILITÉ DES CONNECTEURS ÉLECTRIQUES

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 les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, 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 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 tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de type 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 61586, rapport technique de type 2, a été établie par le sous-comité 48B: Connecteurs, du comité d'études 48 de la CEI: Composants électromécaniques et structures mécaniques pour équipements électroniques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ESTIMATION OF THE RELIABILITY
OF ELECTRICAL CONNECTORS**

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 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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 61586, which is a technical report of type 2, has been prepared by subcommittee 48B: Connectors, of IEC technical committee 48: Electromechanical components and mechanical structures for electronic equipment.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
48B/466/CDV	48B/512/RVC

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.3.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine de l'estimation de la fiabilité des connecteurs électriques car il est urgent d'avoir des indications dans ce domaine d'application.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61586-1997

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Report on voting
48B/466/CDV	48B/512/RVC

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

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.3.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a “prospective standard for provisional application” in the field of estimating the reliability of electrical connectors because there is an urgent requirement for guidance in this field of application.

This document is not to be regarded as an “International Standard”. It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the contents of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for another three years, conversion into an International Standard, or withdrawal.

Annexes A and B are for information only.

INTRODUCTION

La fiabilité des ensembles électroniques dépend de celle des connexions électriques, composants passifs intercalés entre des composants actifs, aussi bien que de celle de ces composants eux-mêmes. On s'accorde à penser que les connexions, et particulièrement les connecteurs, sont une cause importante de défaillance des ensembles électroniques, souvent du type panne inexplicée. Dire si c'est justifié n'est pas le sujet du présent rapport, mais la fiabilité des connecteurs électriques consiste en la question fondamentale de savoir comment déterminer de façon significative la fiabilité des contacts électriques et des connecteurs.

La définition de la fiabilité qui est adoptée dans le présent rapport est la suivante:

probabilité pour qu'un produit assure une fonction spécifique dans des conditions de fonctionnement définies et pour une durée spécifiée.

Le présent rapport examine certains facteurs dont la prise en compte est indispensable en ce qui concerne cette définition. La méthodologie d'évaluation de la fiabilité qui va être examinée consiste surtout en une analyse statistique appropriée des résultats d'essais, en considérant bien les points suivants.

- a) Identifier les mécanismes de dégradation en cause, et les ranger selon leur importance pour l'application considérée.
- b) Déterminer les essais d'environnement appropriés pour chacun de ces mécanismes de dégradation, ainsi que les facteurs d'accélération et les durées d'exposition.
- c) La méthode statistique d'estimation de la fiabilité à partir des résultats d'essais doit être appropriée.
- d) Etablir un critère d'acceptation approprié à l'application envisagée.

Les points a) et b) concernent l'aptitude du produit à continuer de remplir la fonction prévue, en présence des mécanismes de dégradation auxquels il est exposé dans son environnement de fonctionnement. En outre, on ne peut se passer d'un facteur d'accélération pour apprécier la durée de vie en fonctionnement du produit.

Le point c) est indispensable puisque la fiabilité est définie comme une probabilité, ce qui exige le traitement statistique des résultats appropriés.

Enfin, le point d) traduit le fait que la fiabilité à apprécier est celle d'un produit remplissant une fonction définie.

Le niveau des connaissances et le degré de compréhension disponibles pour aborder ces différents points sont très variables. Chaque sujet est considéré dans une section distincte.

On n'oubliera pas que plusieurs autres facteurs ont une influence sur la fiabilité des connecteurs. Nous citerons parmi ces facteurs:

- a) le procédé de fabrication du connecteur;
- b) les procédures d'assemblage ou de mise en oeuvre de l'équipementier;
- c) les utilisations abusives ou inadéquates par l'utilisateur final.

Bien que l'importance de ces facteurs liés à la mise en oeuvre, ou autres facteurs extrinsèques, ne puisse être niée, car ils peuvent être déterminants pour la fiabilité des connecteurs, ils sont éminemment variables, et leur prise en compte est difficile dans toute estimation de la fiabilité. C'est pourquoi le présent rapport est axé sur la fiabilité intrinsèque des connecteurs, la fiabilité liée à la conception et aux matériaux du connecteur lui-même, telle qu'elle est évaluée par les procédures définies précédemment. Cette fiabilité intrinsèque représente la meilleure fiabilité possible du connecteur; les facteurs extrinsèques se traduiront par une réduction de fiabilité.

INTRODUCTION

The reliability of electronic assemblies depends on the reliability of the passive electrical connections between the active components, as well as on the reliability of the components themselves. There is a common perception that interconnections, specifically connectors, are a major source of failures, often of the "no fault found" variety, in electronic assemblies. Whether this perception is true is not the subject of this technical report, but connector reliability is a concern. Much of the increasing attention being given to reliability of electrical connectors focuses on the basic question of how the reliability of electrical contacts and connectors can be meaningfully determined.

The definition of reliability which will be assumed in this report is the following:

the probability of a product performing a specific function under defined operating conditions for a specified period of time.

Some factors which are to be taken into account in addressing this definition are the subject of this report. The reliability assessment methodology to be discussed centres on appropriate statistical analysis of test data, based on proper consideration of the following issues.

- a) The active degradation mechanisms are to be identified and categorized by their importance for the application.
- b) Appropriate environmental tests, with corresponding acceleration factors and exposures, are to be determined for these degradation mechanisms.
- c) The statistical approach to estimating reliability from the test data is to be agreed upon.
- d) An acceptance criterion appropriate for the application of interest is to be established.

Items a) and b) relate to the ability of the product to continue to perform its designated function under the degradation mechanisms it is subjected to in its operating environment. In addition, the need for an acceleration factor is fundamental to assessing the operating life of the product.

Item c) is necessary, since the reliability definition is based on probability which requires statistical treatment of appropriate data.

Finally, item d) reflects that fact that the reliability to be assessed is based on the product performing a defined function.

The level of knowledge and understanding available to address these issues varies appreciably. Each topic is considered in a separate section.

It is to be noted that there are a number of other factors which have an impact on connector reliability. Among these are:

- a) the connector manufacturing process;
- b) assembly/application procedures of the equipment manufacturer;
- c) abuse/misuse of the equipment by the end user.

While the importance of these application or extrinsic factors cannot be denied, and may well be the determinants of connector reliability, they are highly variable and, therefore, difficult to account for in any estimation of reliability. For that reason, this report will focus on intrinsic connector reliability, the reliability of the design/materials of the connector itself as evaluated by the procedures listed previously. This intrinsic reliability represents the greatest reliability which the connector can achieve; extrinsic factors will result in a reduction in reliability.

On notera également que, dans ce rapport, la méthode d'estimation de la fiabilité est sensiblement différente de celle reposant sur un taux de défaillance élémentaire susceptible d'être modifié par des facteurs spécifiques de la mise en oeuvre, comme par exemple dans la CEI 863 ou le MIL Handbook 217.

Ces deux méthodes sont liées par le taux de défaillance élémentaire qui pourrait être déterminé, grâce à un traitement statistique différent, à partir des mêmes résultats qui servent à apprécier la fiabilité par la méthode qui va être présentée. Les essais d'environnement et leur durée détermineraient les conditions normales servant à définir le taux de défaillance élémentaire. En outre, les facteurs de réduction utilisés dans la méthode des taux de défaillance peuvent, en principe, se déduire des mêmes données servant à déterminer les facteurs d'accélération dans la méthode statistique proposée.

La méthode recommandée dans le présent rapport a pour avantage que les conditions normales, les critères d'acceptation, et le traitement statistique sont explicitement définis pour la mise en oeuvre considérée. Ce n'est pas le cas lorsqu'on part d'un taux de défaillance élémentaire qui, le plus souvent, est mal défini et mal documenté.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 61586:1997

It is also to be noted that the approach to reliability estimation in this report differs significantly from that based on a base failure rate which is modified by application-specific factors as, for example, in IEC 863 or MIL Handbook 217.

The two approaches are related in that the base failure rate could be determined by a different statistical treatment from the same data which are used in assessing reliability by the method to be discussed. The test environments and exposures would determine the standard conditions which are defined for the base failure rate. In addition, the derating factors used in the failure rate approach can, in principle, be derived from the same data used to determine acceleration factors in the proposed statistical method.

The advantage of the approach recommended in this report is that the standard conditions, acceptance criteria, and statistical treatment are specifically defined for the application under consideration. This is in contrast to a base failure rate starting point which is frequently poorly defined and documented.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 61586:1997

ESTIMATION DE LA FIABILITÉ DES CONNECTEURS ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

Ce rapport technique traite de l'estimation de la fiabilité des connecteurs électriques par la définition et le développement de programmes d'essais accélérés appropriés. Les mécanismes de dégradation intrinsèque élémentaire des connecteurs sont examinés afin de fournir un contexte pour le développement des programmes d'essais désirés.

2 Considérations générales

La dégradation, ou la défaillance, d'un contact ou d'un connecteur peut se produire de nombreuses façons. Pour notre propos, il est commode de diviser les mécanismes de dégradation en deux catégories, intrinsèque et extrinsèque.

2.1 Mécanismes de dégradation intrinsèque

Comme on l'a dit ci-dessus, les mécanismes de dégradation intrinsèque sont ceux liés à la conception et aux matériaux entrant dans la fabrication du contact ou du connecteur. Il s'agit par exemple de la corrosion, de la réduction de la force normale par relaxation, de l'échauffement excessif par effet Joule amenant une dégradation liée à la température.

2.2 Mécanismes de dégradation extrinsèque

Les mécanismes de dégradation extrinsèque sont liés à l'utilisation du contact ou du connecteur. Il s'agit par exemple de procédé de fabrication du connecteur mal maîtrisé, de processus d'assemblage inapproprié au cours de la fabrication de l'équipement, de contamination pendant la mise en œuvre, de dégradation due à l'emploi du connecteur en dehors de sa plage de températures assignées (relatives à l'ambiance comme au confinement) ou due à l'application de courants excédant la spécification du produit (tant en mode individuel que globalement), et de sollicitation abusive du contact par l'utilisateur final par des accouplements inappropriés (tels qu'accouplements sous un angle excessif, traction sur le câble, etc.).

2.3 Maîtrise de la dégradation extrinsèque

On peut maîtriser la dégradation extrinsèque en dotant le connecteur, dès sa conception, de caractéristiques réduisant les possibilités d'une telle dégradation, en veillant à ce que le fabricant du connecteur spécifie correctement les performances de son produit, et en veillant à ce que l'équipementier comme l'utilisateur final fassent un usage convenable de l'information disponible. Cette responsabilité partagée mérite qu'on s'y arrête. Le fabricant du connecteur peut prévoir un serre-câble, un traitement de surface des contacts, des sertissages améliorés et d'autres dispositifs augmentant la robustesse face aux dégradations extrinsèques, mais ces mesures peuvent toujours être déjouées, en cas d'une utilisation excessive ou inappropriée, par l'utilisateur. Par *utilisateur* on désigne aussi bien l'équipementier que l'utilisateur final de l'équipement. Toutefois, les mécanismes de dégradation extrinsèque, de par leur variété et leur dépendance de la mise en œuvre, ne se prêtent pas facilement à l'analyse directe, à la modélisation ou à la simulation. Cette limitation rend problématique l'estimation des effets des mécanismes de dégradation extrinsèque sur la fiabilité des connecteurs, bien que, comme on l'a dit plus haut, ces types de mécanismes puissent influencer de façon majeure sur cette fiabilité.

ESTIMATION OF THE RELIABILITY OF ELECTRICAL CONNECTORS

1 Scope

This technical report deals with the estimation of the reliability of electrical connectors through the definition and development of an appropriate accelerated testing programme. The basic intrinsic degradation mechanisms of connectors are reviewed to provide a context for the development of the desired test programme.

2 General considerations

Degradation, or failure, of a contact or connector can occur in many ways. For our purpose, it is convenient to divide the mechanisms into two categories, intrinsic and extrinsic.

2.1 *Intrinsic degradation mechanisms*

As mentioned previously, intrinsic degradation mechanisms are those related to the design and materials of manufacture of the contact or connector. Examples are corrosion, loss of normal force through stress relaxation, and excessive Joule heating leading to temperature-related degradation.

2.2 *Extrinsic degradation mechanisms*

Extrinsic degradation mechanisms are related to the application of the contact or connector. Examples are inadequate controls during manufacture of the connector, improper assembly processes during equipment manufacture, contamination during application, degradation caused by use of the connector outside its rated temperature range (both ambient and enclosure-related) or by application of currents exceeding the product specification (in both single and distributed modes), and contact abuse resulting from improper mating practices (mating at excessive angles, pulling on cables, etc.) by the end user.

2.3 *Control of extrinsic degradation*

Extrinsic degradation can be taken into account by incorporating design features in the connector to reduce the potential for such degradation by proper specification of product performance by the connector manufacturer, and by proper use of the available information by the equipment manufacturer and end user. This is a joint responsibility which merits attention. The connector manufacturer can include strain relief for cables, finishes on contacts, improved crimps and other features intended to provide robustness against extrinsic degradation, but these can always be overcome through abuse or misapplication by the user. The concept of *user* includes the electrical equipment manufacturer as well as the ultimate user of the equipment. However, extrinsic degradation mechanisms, due to their variety and application dependence, are not something which can be straightforwardly analyzed, modelled or simulated. This limitation makes estimation of the effects of extrinsic degradation mechanisms on connector reliability problematic despite the fact that, as mentioned, such degradation mechanisms may be the major determinant of connector reliability.

2.4 Modes de défaillance et mécanismes de défaillance

Compte tenu des remarques précédentes, le présent rapport se limite à considérer un petit nombre d'aspects de la dégradation intrinsèque, afin de décrire une méthode d'évaluation de la fiabilité des connecteurs. Il est important de distinguer les *modes* de défaillance et les *mécanismes* de défaillance. Un *mode* de défaillance est l'effet qui permet d'observer la défaillance. Un *mécanisme* de défaillance est le processus physique, chimique ou autre qui est la cause de la défaillance.

2.4.1 Modes de défaillance

On ne considère, dans le présent rapport, qu'un seul mode de défaillance, la variation de la résistance de contact, bien qu'il en existe bien d'autres, tant mécaniques (systèmes de verrouillage cassés, broches déformées, etc.) qu'électriques (diaphonie, courant de fuite entre contacts, etc.).

2.4.2 Mécanismes de défaillance

On considère trois mécanismes de défaillance (dégradation) qui influent beaucoup sur la stabilité de la résistance de contact:

- la corrosion;
- la relaxation;
- l'usure du revêtement.

La corrosion de l'interface de contact provoque un accroissement de la résistance de contact. La relaxation entraîne une diminution de la force normale du contact qui, à son tour, peut augmenter la résistance de contact, soit directement, soit par une sensibilité accrue aux modes de dégradation mécanique ou par corrosion. L'usure du revêtement peut conduire à l'augmentation de la résistance de contact si cette usure atteint le matériau élastique du contact qui est peut être sujet à la corrosion. Ces mécanismes de dégradation provoquent, en général, un accroissement de la résistance de contact. Le degré de dégradation acceptable avant que la fiabilité soit affectée dépend de l'application dans laquelle le connecteur est utilisé, et est donc qualifié d'application spécifique, comme on va le voir.

2.5 Mécanismes de dégradation

Ces mécanismes de dégradation et le mode de défaillance associé (augmentation de la résistance de contact) sont des facteurs bien connus de la fiabilité des contacts. Aussi possédons-nous des informations s'appliquant à notre première préoccupation, les mécanismes de dégradation.

L'expérience sur le produit, ou sur des produits ou des utilisations similaires, nous permet de classer par catégories et par ordre d'importance les mécanismes de dégradation. Ces deux notions sont indispensables pour définir un programme d'essais approprié, et pour identifier, quand c'est possible, comment les conditions d'essais sont en relation avec la durée de vie et le fonctionnement sur site.

3 Méthodes d'essais et facteurs d'accélération

L'objectif des essais de fiabilité est de définir ou d'identifier une relation entre les méthodes et les résultats d'essais et l'expérience sur site. Pour être concret, l'objectif est de pouvoir établir que X jours d'exposition à l'essai A, qui simulent un mécanisme de dégradation donné, sont équivalents aux effets de ce mécanisme de dégradation en Y années de service pour l'application B. C'est-à-dire que nous désirons un facteur d'accélération entre les conditions d'essai et le fonctionnement sur site. Malheureusement, il n'existe que peu d'essais pour lesquels on a pu développer ou déterminer de tels facteurs d'accélération.

2.4 Failure modes and failure mechanisms

Given the context of the previous remarks, in this report discussion is limited to a few aspects of intrinsic degradation, in order to describe an approach to connector reliability evaluation. It is important to distinguish between failure *modes* and failure *mechanisms*. A failure *mode* is the effect by which failure is observed. A failure *mechanism* is the physical, chemical or other process which causes failure.

2.4.1 Failure modes

Only one failure mode, the variation in contact resistance, will be considered in this report, although many others exist, both mechanical (broken latches, bent pins, etc.) and electrical (crosstalk, leakage between contacts, etc.).

2.4.2 Failure mechanisms

Three failure (degradation) mechanisms which have a major impact on contact resistance stability are considered:

- corrosion;
- stress relaxation;
- plating wear.

Corrosion of the contact interface causes an increase in contact resistance. Stress relaxation results in loss of contact normal force which in turn can lead to increased contact resistance, either directly or through increased susceptibility to mechanical or corrosive degradation. Plating wear can lead to increased contact resistance if wear-through occurs to the contact spring material which may be susceptible to corrosion. These degradation mechanisms result, generally, in increases in contact resistance. The amount of degradation which occurs before reliability is affected depends on the application in which the connector is used and is, therefore, application specific, as will be discussed.

2.5 Degradation mechanisms

These degradation mechanisms and the failure mode (increased contact resistance) associated with them are well-known factors in contact reliability. Thus, we have information relevant to our first concern, degradation mechanisms.

Experience with the product, or with similar products or applications, allows us to categorize and rank the degradation mechanisms. Such categorization and ranking is necessary to define an appropriate testing programme and identify, when possible, how the test conditions relate to field performance and lifetime.

3 Test methods and acceleration factors

The objective of accelerated reliability testing is to define or identify a relationship between test methods, test data, and field experience. In simple terms, the objective is to be able to state that *X* days of exposure to test A, which simulates a given degradation mechanism, are equivalent to the effects of that degradation mechanism in *Y* years of service in application B. That is, we want an acceleration factor between the test exposure and field performance. Unfortunately, there are only a few tests for which such acceleration factors have been developed or determined.

Exemples

a) Essais de corrosion par exposition dans un flux de mélange de gaz (MFG)

Des travaux effectués dans plusieurs laboratoires de différents pays sont susceptibles de fournir une base de données d'où l'on pourra déduire des facteurs d'accélération pour les essais, afin de simuler les effets des environnements industriels sur les connecteurs.

b) Relaxation de contraintes par essais de durée de vie en température

Des données de relaxation sont disponibles pour une grande variété d'alliages de cuivre utilisés dans les connecteurs. L'examen de ces données permettra de définir un facteur d'accélération pour les essais de durée de vie en température. Il convient toutefois de noter que la relaxation influe seulement sur la force normale des contacts, et non pas directement sur la fiabilité. Les effets de la relaxation sur la stabilité de la résistance de contact doivent être révélés par l'exposition à d'autres essais.

Parmi d'autres essais appliqués aux connecteurs électriques, on trouve

- les essais cycliques de chaleur humide;
- les cycles d'accouplement et désaccouplement ou d'endurance;
- les essais de chocs et/ou de vibrations;
- les essais de brouillard salin.

On ne dispose pas en général de facteurs d'accélération pour ces essais. Ces essais ne font qu'indiquer les performances *relatives* des connecteurs. Les résultats obtenus indiquent *seulement* le comportement de la connectique soumise à ces essais-là. Ce ne sont pas des essais de fiabilité fournissant des résultats sur lesquels l'on pourra fonder des estimations de comportement dans les *conditions de fonctionnement*.

Quant aux essais pour lesquels on dispose d'un facteur d'accélération, l'essentiel est de savoir comment utiliser les résultats des essais pour quantifier la fiabilité, c'est-à-dire quel traitement statistique appliquer à ces résultats.

4 Statistique sur la fiabilité

L'attention est attirée ici sur deux types connus de résultats, les résultats par attributs et les résultats par variables. Les résultats par *attributs* supposent qu'un article ne peut prendre que deux états (par exemple, bon ou mauvais, accepté ou rejeté). Le traitement statistique de tels résultats est assez sommaire, et de grandes tailles d'échantillons sont nécessaires pour donner confiance dans les conclusions. Les résultats par *variables* ont une distribution à laquelle on peut appliquer divers traitements statistiques. Malheureusement, leur distribution est rarement connue. On dispose de traitements mathématiques pour apprécier l'ajustement des résultats à un modèle de distribution et pour transformer les résultats, mais cela dépasse le cadre de notre propos.

Dans un essai de corrosion, tel que celui du flux de mélange de gaz, la résistance de contact peut être mesurée directement – résultats par variables – et l'on peut ajuster une loi de distribution statistique à ces résultats. Autre alternative, la résistance de contact peut être comparée à un critère d'acceptation et le résultat enregistré sous la forme bon/mauvais – résultats par attributs. Comme on l'a dit, le traitement statistique des résultats et la taille de l'échantillon nécessaire pour un certain niveau de confiance ne sont pas du tout les mêmes dans ces deux cas.

Un paramètre qui concerne les deux méthodes de traitement des résultats est le critère d'*acceptation* appliqué aux résultats. Pour les résultats par attributs, il apparaît directement dans la comparaison. Pour les résultats par variables, il peut apparaître, par exemple, dans l'estimation d'un facteur de limite de tolérance de nature statistique dans ce contexte (calculé à partir des résultats d'essais et du critère connu), représentant la relation entre la taille de l'échantillon, la fiabilité et le niveau de confiance avec laquelle la fiabilité peut être avancée, à partir de ces résultats d'essais. Pour les résultats par variables qui suivent une loi de

Examples

a) Corrosion testing via mixed flowing gas (MFG) exposures

Work done at several laboratories in different countries may provide a data base from which acceleration factors can be derived for testing to simulate the effects of industrial environments on connectors.

b) Stress relaxation via temperature life testing

Stress relaxation data are available for a broad range of copper alloys used in connectors. Consideration of these data will allow an acceleration factor to be defined for temperature life testing. It should be noted, however, that stress relaxation relates only to the contact normal force and not directly to reliability. The effects of stress relaxation on contact resistance stability shall be monitored through other test exposures.

Other tests applied to electrical connectors include

- temperature cycling with high humidity;
- mating/unmating or durability cycling;
- mechanical shock and/or vibration;
- salt spray.

No acceleration factors are generally available for these tests. As a result, these tests can indicate only the *relative* performance of connectors. The resulting data indicate *only* the behaviour of the connector system under the tests. They are not reliability tests yielding data on which estimates of behaviour under *operating conditions* can be based.

For those tests for which acceleration factors are available, the concern becomes how to use the test data to quantify reliability; in other words, the appropriate statistical treatment of the data.

4 Reliability statistics

Attention here will focus on two general types of data, attribute, and variables. *Attribute* data assume that an item is in either of only two states (that is, good or not-good, or pass/fail). The statistical treatment of such data is rather limited, and large sample sizes are needed to provide confidence in the conclusions. *Variables* data have a distribution to which a variety of statistical treatments can be applied. Unfortunately, the distribution is rarely known. Mathematical treatments to assess the fit of the data to a given distribution and to transform the data are available, but are outside the scope of this discussion.

In a corrosion test, such as mixed flowing gas, contact resistance can be directly measured – variables data – and a statistical distribution can be fitted to the data. Alternatively, the contact resistance can be compared to some acceptance criterion and recorded as pass or not-pass – attribute data. As mentioned, the statistical treatment of the data and the sample size needed for a given statistical confidence level vary appreciably for these two options.

One parameter which enters into both methods of data handling is the *acceptance* criterion applied to the data. For attribute data, it appears directly in the comparison. For variables data, it may appear, for example, in the estimate of a tolerance-limit factor, which in this context is a statistic (calculated from the test data and the known criterion) that reflects the relationship between sample size, reliability and the statistical confidence with which the reliability may be stated, based on the test data. For variables data that follow a normal (Gaussian) statistical distribution, useful discussion and tables of tolerance-limit factors are given by Odeh and Owen

distribution normale (gaussienne), Odeh et Owen (référence [6] de l'annexe B) donnent des tables de facteurs de limite de tolérance et une explication intéressante. Mais dans l'un et l'autre cas, le choix du critère d'acceptation influe directement et de façon sensible sur la fiabilité calculée. Alors, comment choisir la valeur de ce critère ?

5 Critères d'acceptation

Quelle valeur appropriée de la résistance de contact doit-on utiliser pour calculer la fiabilité d'un contact? Deux cas sont possibles: la spécification du produit, ou une valeur propre à l'application. Nous pensons qu'il est peu judicieux de choisir la résistance de contact figurant dans la spécification du produit. La valeur de cette résistance inclut un aspect de fiabilité, en ce sens que le fabricant a conçu et essayé le produit pour garantir la résistance de contact spécifiée dans tout la gamme d'applications visée. Ainsi, la valeur figurant dans la spécification du produit inclut-elle un coefficient de sécurité et d'incertitude technique.

Au contraire, pour une application particulière, un utilisateur aura défini une valeur de résistance de contact à partir de laquelle le système cesse de fonctionner correctement. Cette valeur peut dépasser 100 mΩ dans l'application d'un signal, ou être inférieure à 0,5 mΩ pour un contact de puissance. Il convient que le critère d'acceptation de la résistance de contact se fonde sur cette valeur propre à l'application, et non sur la valeur de la résistance de contact figurant dans la spécification du produit. Il convient donc que, pour cette application particulière, l'exigence sur la limite de confiance statistique et sur la fiabilité ait comme limite d'acceptation la valeur de résistance particulière à cette application.

Ce traitement statistique et la méthode coefficient de sécurité et d'incertitude technique s'excluent mutuellement. La méthode statistique, qui s'appuie sur un critère d'acceptation propre à une application, inclut un coefficient de sécurité et d'incertitude statistique en fournissant une limite de confiance statistique plus faible sur la fiabilité. Combiner cela avec le coefficient de sécurité et d'incertitude technique figurant dans la spécification du produit reviendrait à superposer deux facteurs de sécurité ou d'incertitude, et donc à imposer sans raison des prescriptions restrictives sur la stabilité de la résistance de contact.

6 Estimation de la fiabilité des connecteurs multicontacts

Ce qui précède concernait la fiabilité d'un contact, le mode de dégradation étant l'augmentation de la résistance de contact. Mais ce qui nous intéresse en définitive, c'est la fiabilité du connecteur, qui comporte plusieurs contacts sujets à divers modes de dégradation. On a besoin d'une méthodologie pour transformer en fiabilité de connecteur cette fiabilité d'un contact, telle qu'elle est déterminée pour la plage voulue de mécanismes de dégradation. Le problème est compliqué par l'interaction entre ces deux facteurs:

- a) les résultats de résistance s'obtiennent pour des contacts individuels;
- b) le fait que les contacts sont généralement montés dans un connecteur influence l'effet de l'essai sur la résistance de contact.

En d'autres termes, la conception du connecteur influence les résultats de résistance de contact, de sorte que ces résultats et la fiabilité calculée sont propres à cette configuration de connecteur et n'indiquent pas une fiabilité générique du contact lui-même. Il n'est pas exclu que la fiabilité d'un contact soit différente si l'arrangement et la forme des boîtiers sont différentes.

6.1 Estimation de la fiabilité d'un connecteur à partir de la fiabilité d'un contact si les performances des contacts sont statistiquement indépendantes

Hypothèses

- a) Tous les mécanismes de dégradation et toutes les fiabilités individuelles d'un contact sont statistiquement indépendants.

(reference [6] of annex B). In either case, the choice of *acceptance* criterion directly and appreciably influences the calculated reliability. How, then, should this value be selected?

5 Acceptance criteria

What is the appropriate value of contact resistance to use in calculating contact reliability? Consider two possibilities: the product specification and an application-related value. We suggest that the product specification contact resistance is **not** the proper choice. The product specification resistance value has a reliability aspect to it in the sense that the manufacturer has tested the product design to ensure that the specified contact resistance will be maintained in its intended range of applications. Thus the product specification value includes an engineering safety/ignorance factor.

In a particular application, on the other hand, a user will have established a value of contact resistance at which the system ceases to function properly. The value might be over 100 mΩ in a signal application, or under 0,5 mΩ for a power contact. The acceptance criterion for contact resistance should be based on this application-specific value and not the product-specification contact resistance. The requirement on statistical confidence limit and reliability in the particular application should then be applied with this application-specific resistance value as the acceptance limit.

This statistical treatment and the engineering safety/ignorance factor approach are mutually exclusive. The statistical approach, based on an application-specific acceptance criterion, includes a statistical safety/ignorance factor by providing a lower statistical confidence limit on the reliability. To couple this with the engineering safety/ignorance factor inherent in the product specification acceptance criterion would impose one safety/ignorance factor on top of the other, and thereby place unduly restrictive requirements on contact-resistance stability.

6 Estimation of the reliability of multi-position connectors

The preceeding discussion concerned contact reliability with contact resistance as a degradation mode. The ultimate concern, however, is with connector reliability, which would generally include several contacts and degradation modes. A methodology for translating contact reliability, as determined for the desired range of degradation mechanisms, into connector reliability is required. The issue is complicated by two interacting factors:

- a) the resistance data are obtained for individual contacts;
- b) the effect of the test on contact resistance is influenced by the fact that the contacts are generally in a connector.

In other words, the effects of the connector design on contact resistance influence the data, so the data and the calculated reliability are specific to that particular connector configuration and do not indicate a generic reliability of the contact itself. The contact reliability may not be the same in a different housing geometry or configuration.

6.1 *Estimation of connector reliability from contact reliability when the contacts in a connector perform statistically independently*

Assumptions

- a) All the degradation mechanisms and individual contact reliabilities are statistically independent.

- b) Une défaillance survenant en l'une des positions du connecteur entraîne la défaillance du connecteur.

La fiabilité d'un contact est le produit des fiabilités des modes de dégradation individuels déduits des résultats d'essais appropriés. La fiabilité du connecteur s'obtient en élevant cette fiabilité de contact à une puissance égale au nombre de positions du connecteur. Par exemple, on calcule par la formule suivante la fiabilité d'un connecteur à seize positions qu'il faut qualifier pour cinq mécanismes de dégradation:

$$R = [R(t_1) R(t_2) R(t_3) R(t_4) R(t_5)]^{16} \quad (1)$$

où

$R(t_n)$ est la fiabilité de contact telle que déterminée par l'essai n relatif au mécanisme de dégradation n (peu importe la forme exacte de $R(t_n)$);

Si $R(t_n)$ est indépendant de n , soit $R(t_n) = R_c$, la fiabilité du connecteur vaut alors:

$$R = [R_c^5]^{16} = R_c^{80} \quad (2)$$

où

R_c est la fiabilité d'un contact dans le cas particulier où les durées de vie des contacts sont statistiquement indépendantes et distribuées à l'identique.

Une telle élévation à la puissance quatre-vingt a une répercussion sensible sur au moins deux aspects des programmes de qualification: leur coût et les exigences de fiabilité de contact. Pour une fiabilité de connecteur de l'ordre de 0,9999, l'exigence de fiabilité de contact est de l'ordre de 0,999 999. Atteindre une fiabilité de cet ordre de grandeur est déjà un réel problème, mais vérifier qu'elle est atteinte en constitue un autre qui n'est pas moindre. La taille de l'échantillon nécessaire pourrait être très élevée, et alourdirait le coût du programme. Aussi est-il intéressant d'envisager un traitement statistique.

6.2 Estimation de la fiabilité d'un connecteur à l'aide de distributions asymptotiques de valeurs extrêmes

Hypothèses

- Les mécanismes de dégradation et les fiabilités individuelles de contact ne sont pas forcément tous statistiquement indépendants.
- Une défaillance survenant en l'une des positions du connecteur entraîne la défaillance du connecteur.

La défaillance du connecteur dépend seulement de la valeur extrême des mesures de performance sur tous les contacts du connecteur, par exemple, pour l'un des contacts, la plus petite durée de fonctionnement avant défaillance ou l'accroissement maximal de résistance de l'interface de contact. La procédure ici décrite repose sur la mesure directe des valeurs extrêmes et sur leur ajustement (leur nombre peut être assez restreint) à une loi de distribution asymptotique de valeurs extrêmes. La fiabilité de la population des connecteurs s'estime alors directement à partir de cette distribution ajustée, sans tenter d'estimer individuellement la fiabilité des contacts.

Pour la plupart des distributions statistiques qui s'appliquent à divers phénomènes physiques, la distribution des valeurs extrêmes (minimales ou maximales) parmi N mesures tend vers l'un de trois seuls types de distributions asymptotiques, lorsque N tend vers l'infini.

Ces distributions asymptotiques diffèrent à la fois par le domaine de la variable de valeur extrême et par la forme de l'extrémité supérieure (pour les valeurs extrêmes maximales) ou inférieure (pour les valeurs extrêmes minimales) de la distribution d'origine. Ces distributions asymptotiques ont chacune une forme très simple et peuvent s'exprimer chacune sous forme normalisée non paramétrée, comme la loi de distribution normale. On dispose ainsi de tables numériques et d'imprimés gradués en probabilité pour les représentations graphiques.

- b) A failure in any position in the connector results in connector failure.

The contact reliability is the product of the reliabilities for the individual degradation modes as determined from the appropriate test data. The connector reliability, in turn, is this previously-determined contact reliability raised to a power equal to the number of positions in the connector. For example, the reliability for a sixteen-position connector which is to be qualified for five degradation mechanisms is as follows:

$$R = [R(t_1) R(t_2) R(t_3) R(t_4) R(t_5)]^{16} \quad (1)$$

where

$R(t_n)$ is the contact reliability as determined for test n with respect to degradation mechanism n (we are not concerned here with the exact form of $R(t_n)$);

If $R(t_n) = R_c$ (independent of n), then the connector reliability is as follows:

$$R = [R_c^5]^{16} = R_c^{80} \quad (2)$$

where

R_c is the contact reliability for the special case of statistically independent and identically distributed contact lives.

This 80th power dependence appreciably impacts at least two aspects of qualification programmes: cost and contact-reliability requirements. For a connector reliability of the order of 0,9999, the contact reliability requirement is of the order of 0,999 999. Achieving a reliability of this magnitude is one problem, an important one indeed, but another is verifying that it has been achieved. The sample size for such a verification could be very large, and would impact programme cost. An alternative statistical approach merits attention.

6.2 Estimation of connector reliability using asymptotic extreme-value distributions

Assumptions

- The degradation mechanisms and individual contact reliabilities are not necessarily all statistically independent.
- A failure in any position in the connector results in connector failure.

Connector failure depends only on the extreme value of the performance measurements over all contacts in the connector, for example, the shortest time to failure for any of the contacts, or the maximum increase in contact interface resistance for any of the contacts. The procedure described here depends on measuring the extreme values directly, and fitting (what can be a relatively small number of) them to an asymptotic distribution for extreme values. The connector population reliability is then estimated directly from this fitted distribution, without any attempt to estimate reliability of the contacts individually.

For a great many statistical distributions which apply to a variety of physical phenomena, the distribution of the extreme value (minimum or maximum) among N measurements tends to one of only three types of asymptotic distributions, as N goes to infinity.

These asymptotic distributions differ both in the domain of the extreme-value variable, and in the form of the upper tail (for maximum extremes) or lower tail (for minimum extremes) of the parent (original) distribution. These asymptotic distributions are each of a fairly simple form, and are each expressible in a parameter-free standardized form, analogous to the standardized normal distribution. Thus, numerical tables and/or appropriate probability graph papers are available for them.

Si l'on effectue des mesures, soit de la durée de fonctionnement avant défaillance, soit de toute autre caractéristique continue des performances (telle que la variation de la résistance de contact), sur tous les contacts d'un petit nombre de connecteurs (de quatre à 10 par exemple) soumis aux essais de fiabilité, et que la valeur extrême appropriée pour chaque connecteur est déterminée, on peut utiliser ces mesures, en nombre relativement faible, pour estimer la fiabilité de la population de ces connecteurs en fonction du critère d'acceptation retenu.

Il convient d'apporter un soin tout particulier à l'extrapolation de toute distribution à des valeurs en dehors de l'étendue des résultats recueillis. Il convient de calculer l'incertitude statistique sur la réponse (dans l'hypothèse où le modèle est correct), et d'évaluer par toute méthode raisonnable disponible l'incertitude technique (car le modèle peut ne pas être correct), par exemple en comparant les résultats d'analyses paramétriques et non paramétriques (indépendantes de la distribution). L'annexe A donne un exemple d'emploi de cette méthode statistique.

7 Résumé et conclusions

On a présenté plusieurs méthodes d'estimation de la fiabilité des contacts et des connecteurs électriques. Il y a au moins deux raisons pour lesquelles l'estimation de la fiabilité des connecteurs est une affaire complexe. En premier lieu, les mécanismes de dégradation extrinsèque ou liée à l'application, facteurs importants de cette fiabilité, sont très variables et difficiles à identifier et à quantifier. En second lieu, les mécanismes de dégradation intrinsèque, qui définissent la fiabilité fondamentale d'un connecteur donné défini par sa conception et par ses matériaux de fabrication, exigent de définir un facteur d'accélération pour relier l'exposition en laboratoire à la durée de vie dans l'application. Un tel facteur ne peut être déterminé pour de nombreux mécanismes possibles de dégradation. Face à ces limitations, un programme d'estimation de fiabilité qui en tient compte est proposé. La méthode recommandée comporte l'analyse statistique des résultats d'essais, et considère les mécanismes actifs de dégradation, la détermination d'essais d'environnement appropriés avec les facteurs d'accélération et de durées d'exposition correspondants, les analyses statistiques appropriées aux résultats d'essais, ainsi que l'établissement des critères d'acceptation appropriés. Chacun de ces points a été traité séparément. On a enfin traité le cas des connecteurs multicontacts.

Le programme de qualification de fiabilité qui est recommandé comprend les éléments suivants:

- a) Déterminer un critère d'acceptation propre à l'application pour la résistance de contact. Un critère est exigé aussi pour tout autre mode de défaillance susceptible d'être inclus dans le programme de qualification.
- b) Développer un programme d'essais visant les mécanismes de dégradation auxquels on s'attend pour cette application. Dans ce processus, il convient de classer les modes de défaillance par ordre d'importance.
- c) Etablir des facteurs d'accélération, si possible, pour les essais spécifiés. Si un facteur d'accélération ne peut être défini, aucune valeur de fiabilité ne peut être avancée, puisqu'on ne peut déterminer la durée de vie en fonctionnement qui est simulée par l'exposition aux essais.
- d) Choisir, selon le programme de qualification, le traitement statistique convenable pour les résultats.
- e) Estimer la fiabilité du composant.

Toutes ces considérations font appel au plus haut point au bon sens technique. Il convient d'obtenir l'accord, tant du fabricant du connecteur que de l'utilisateur, sur le contenu et les méthodes à spécifier pour ces points en particulier, et sur le programme de qualification en général, afin de garantir que les résultats obtenus s'appliquent bien à l'application considérée.

If measurements of either time-to-failure or some continuous performance characteristic (such as change in contact resistance) are made on all contacts of a few connectors (for example four to 10) subjected to reliability testing, and the appropriate extreme value for each connector is determined, then these relatively few extreme measurements can be used to estimate the population reliability of the connectors relative to the acceptance criterion.

Extreme caution should be used in extrapolating any distribution to values outside the range of the data. The statistical uncertainty (assuming the model is correct) in the answer should be calculated, and the engineering uncertainty (because the model might not be correct) should be estimated by any reasonable method available, such as by comparing results from parametric and non-parametric (distribution-free) analyses. An example of the use of this statistical method is provided in annex A.

7 Summary and conclusions

Some approaches to estimating the reliability of electrical contacts and connectors have been discussed. Estimation of connector reliability is a complex issue for at least two reasons. First, extrinsic or application-related degradation mechanisms, which may be the major factors in determining connector reliability, are highly variable and difficult to identify and quantify. Second, the intrinsic degradation mechanisms which define the fundamental reliability of a given connector, determined by its design and materials of manufacture, require the definition of an acceleration factor to relate laboratory exposure to application lifetime. Such a factor cannot be determined for many potential connector degradation mechanisms. Given these limitations, a reliability estimation programme to work within these limitations is suggested. The recommended approach includes statistical analysis of test data, and considers the active degradation mechanisms, determination of appropriate environmental tests with corresponding acceleration factors and exposures, statistical analyses appropriate for the test data, and establishment of appropriate acceptance criteria. Each of these issues was treated separately. Finally, multiposition connectors were discussed.

The recommended reliability qualification programme consists of the following:

- a) Determining an application-specific acceptance criterion for contact resistance. A criterion is also required for every other failure mode to be included in the qualification programme.
- b) Developing a test programme to address the anticipated degradation mechanisms operative in the application. Ranking of failure modes should be part of this process.
- c) Deriving acceleration factors, when possible, for the specified tests. If an acceleration factor cannot be defined, no reliability statement can be made, since the operating lifetime simulated by the test exposure cannot be determined.
- d) Deciding on the statistical treatment appropriate to the data from the qualification programme.
- e) Estimating the component reliability.

All of these considerations depend heavily on engineering judgment. Both the connector manufacturer and the user should agree on the content and approaches to be specified in these steps, in particular, and the qualification programme, in general, to ensure that the results obtained are relevant to the application under consideration.

Annexe A (informative)

Exemple détaillé d'un calcul de fiabilité de valeurs extrêmes

A.1 Exposé des données

Quatre connecteurs de 25 positions sont soumis à un essai de flux de mélange de gaz, avec pour résultat des variations maximales de résistance de contact de

0,150; 0,153; 0,170; 0,176 mΩ,

classées par ordre croissant. (Chacune de ces valeurs est la plus grande variation observée parmi les 25 contacts d'un connecteur). La figure A.1 est une représentation graphique de ces quatre valeurs sur un papier gradué en probabilité pour une distribution asymptotique de valeurs extrêmes de type I.

Sur la figure A.1, les emplacements des points sur l'axe des probabilités cumulées sont donnés par la formule $(i - 0,44)/(n + 0,12)$, dans laquelle i est le rang dans l'échantillon de la donnée statistique i , et n est la taille de l'échantillon. Ces emplacements sont ceux recommandés par King [13], qui les attribue à Cunnane [14].

On doit à N. R. Mann [17] (essentiellement) et à d'autres auteurs les procédures d'estimation des paramètres de distribution, de calcul de l'intervalle de confiance statistique, et des essais de qualité d'ajustement, pour les lois de distribution de Weibull à deux paramètres et pour les lois de distribution asymptotique de valeurs extrêmes de type I. On trouvera dans Kapur et Lamberson [11] la présentation de ces procédures et d'autres procédures similaires, avec des exemples numériques, ainsi que les tableaux nécessaires et les références des publications originales.

Annex A (informative)

Detailed example of an extreme-value reliability calculation

A.1 Description of the data

Four 25-position connectors are subjected to mixed flowing gas testing, with resulting maximum changes in contact resistance of

0,150; 0,153; 0,170; 0,176 mΩ,

in ascending order. (Each of these values is the largest change observed among the 25 contacts in a connector). A plot of these four values on type I asymptotic extreme-value probability paper is shown in figure A.1.

The cumulative probability plotting positions used in figure A.1 are $(i - 0,44)/(n + 0,12)$, where i is the rank of sample order statistic i and n is the sample size. These plotting positions are recommended by King [13], who attributes them to Cunnane [14].

Procedures for estimating distributional parameters, for calculating statistical confidence limits, and for testing goodness-of-fit, for two-parameter Weibull distributions and for type I asymptotic extreme-value distributions were developed by N. R. Mann [17] (primarily) and others. These and related procedures are discussed and illustrated with numerical examples, and necessary tables are provided together with references to the original papers, in Kapur and Lamberson [11].

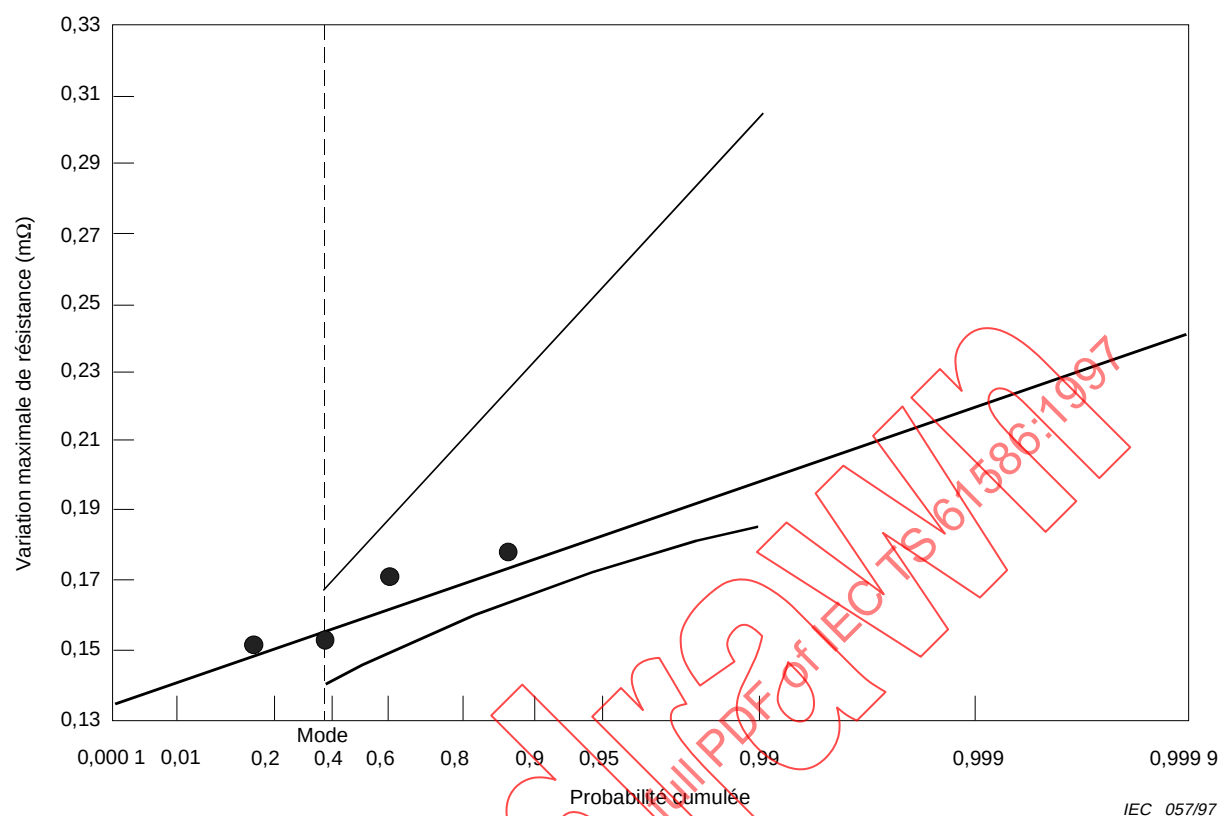
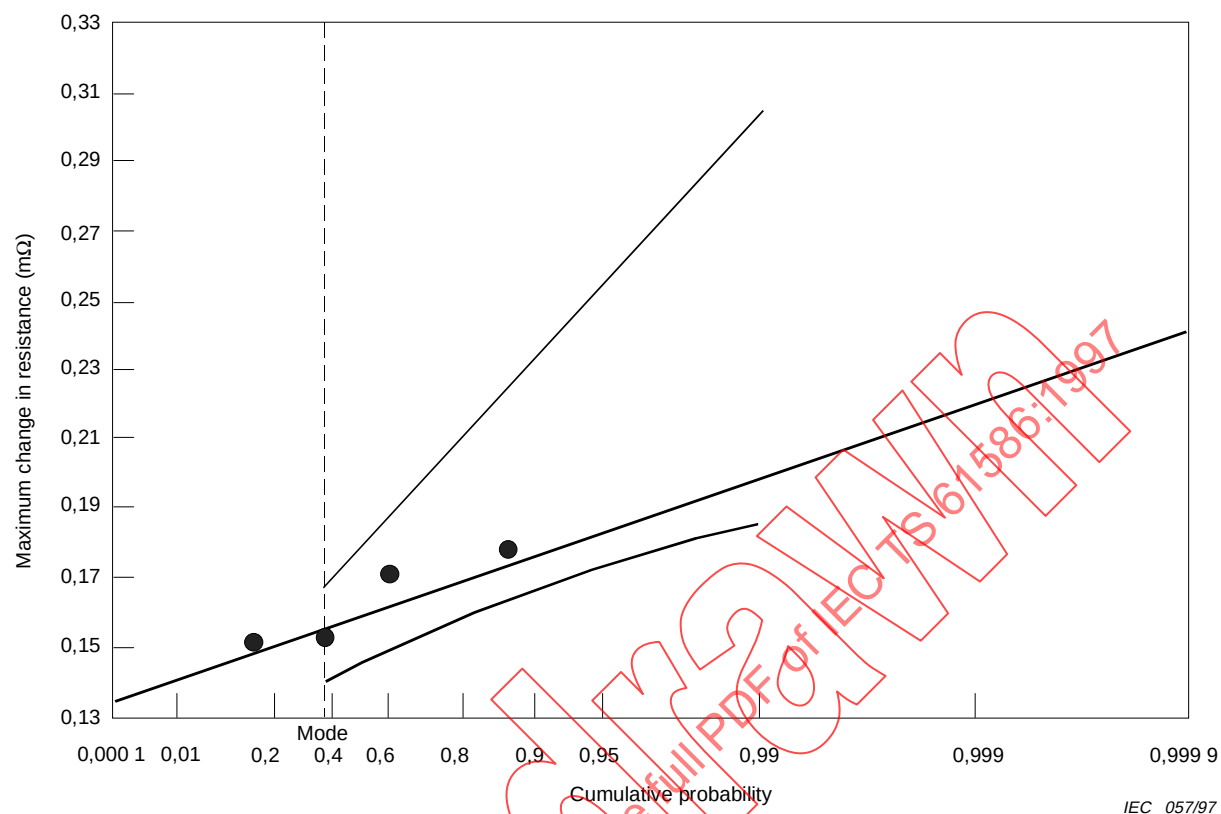


Figure A.1 – Graphique de probabilités de valeurs extrêmes



IEC 057/97

Figure A.1 – Extreme-value probability plot

A.2 Application des procédures

En appliquant convenablement ces procédures aux quatre valeurs ci-dessus, on obtient les résultats suivants.

a) Il n'y a pas de raison statistiquement significative pour rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle ces résultats sont issus d'une distribution asymptotique de valeurs extrêmes maximales de type I, même à un niveau de signification d'un test de 25 %.

b) Les meilleures estimations invariantes linéaires du mode, w , et du paramètre d'échelle, b , de la distribution correspondante asymptotique de valeurs extrêmes maximales de type I, sont respectivement: $\tilde{w} = 0,155 \text{ m}\Omega$ et $\tilde{b} = 0,00914 \text{ m}\Omega$.

c) Les intervalles de confiance à 90 % correspondants (probabilités bilatérales, avec des queues de distribution égales) sont respectivement les suivants:

$$(0,142 \text{ m}\Omega < w < 0,169 \text{ m}\Omega) \text{ et } (0,00598 \text{ m}\Omega < b < 0,03266 \text{ m}\Omega).$$

d) Les estimations ponctuelles et les intervalles de confiance à 90 % pour certains quantiles de la distribution sont donnés par le tableau A.1.

Tableau A.1 – Quantile estimé et intervalle de confiance

Probabilité cumulée	Quantile estimé mΩ	Intervalle de confiance à 90 % autour du quantile mΩ
0,0001	0,135	
$\exp(-1) = 0,3679$	$\tilde{w} = 0,155$	(0,142; 0,169)
0,90	0,176	(0,166; 0,232)
0,95	0,183	(0,171; 0,255)
0,99	0,197	(0,181; 0,307)
0,9999	0,240	

On obtient la droite d'ajustement en portant sur le graphique de la figure A.1 chaque quantile estimé en fonction de la probabilité cumulée correspondante. On voit aussi sur la figure A.1 l'intervalle de confiance représentant les intervalles de confiance à 90 %.

Cet exemple illustre certaines difficultés qui peuvent intervenir dans ces analyses.

a) Il n'est pas exclu que la droite de régression, déduite des valeurs estimées des paramètres de la distribution, ne soit pas la droite de meilleur ajustement apparent avec les résultats.

b) Bien plus grave est l'étendue excessive de l'intervalle de confiance, qui est due à la faible taille de l'échantillon ($n = 4$). Si on obtenait les mêmes estimations, $\tilde{w}$ et $\tilde{b}$ avec un échantillon de 10 connecteurs, l'intervalle de confiance à 90 % du centile 99 vaudrait (0,185 mΩ et 0,234 mΩ) au lieu de (0,181 mΩ et 0,307 mΩ) obtenu avec notre échantillon de quatre. Mais chacune des valeurs de l'échantillon est onéreuse à obtenir, car elle exige dans notre exemple la préparation et la mesure de 25 contacts. Il est nécessaire de trouver un compromis acceptable entre le coût des essais et le critère d'acceptation des résultats d'essais.

Les techniques de cet exemple sont développées en supposant que les résultats d'origine étaient issus d'une distribution de Weibull à deux paramètres, le paramètre d'échelle δ et le paramètre de forme β ; appelons t_i les valeurs des résultats pour $i = 1, 2, \dots, n$. Dans le développement les valeurs (t_i) sont remplacées par de nouvelles valeurs (disons x_i) telles que $x_i = \ln(t_i)$. Les valeurs x_i obéissent alors à une distribution asymptotique de valeurs extrêmes minimales de type I, avec un mode $u = \ln(\delta)$ et un paramètre d'échelle $b = 1/\beta$.

A.2 Applying procedures

Appropriately applying these procedures to the four given data values provides the following results.

a) There is no statistically significant basis to reject the null hypothesis that these data came from a type I asymptotic maximum-extreme-value distribution, even at the 25 % level of statistical significance.

b) The best linear invariant estimates of the mode, w , and scale parameter, b , of the corresponding type I asymptotic maximum-extreme-value distribution are $\tilde{w} = 0,155 \text{ m}\Omega$ and $\tilde{b} = 0,00914 \text{ m}\Omega$, respectively.

c) Corresponding 90 % (two-sided, equal tail probabilities) statistical confidence intervals are

$(0,142 \text{ m}\Omega < w < 0,169 \text{ m}\Omega)$ and $(0,00598 \text{ m}\Omega < b < 0,03266 \text{ m}\Omega)$, respectively.

d) Point estimates and 90 % statistical confidence intervals for some percentile points of the distribution are given in table A.1.

Table A.1 – Estimated percentile points and confidence limits

Cumulative probability	Estimated percentile point mΩ	90% statistical confidence interval for the percentile point mΩ
0,0001	0,135	
$\exp(-1) = 0,3679$	$\tilde{w} = 0,155$	(0,142; 0,169)
0,90	0,176	(0,166; 0,232)
0,95	0,183	(0,171; 0,255)
0,99	0,197	(0,181; 0,307)
0,9999	0,240	

Plotting each estimated percentile point vs its corresponding cumulative probability produces the fitted straight line in figure A.1. Plotting each statistical confidence interval at its corresponding cumulative probability produces the 90 % statistical confidence band in figure A.1.

This example demonstrates some of the difficulties that can occur in such analyses.

a) The fitted line, based on the estimated values of the distribution parameters, may not be the line of apparent best fit for the data.

b) Much more serious is the excessive width of the statistical confidence band, which reflects the small sample size ($n = 4$). If a sample of 10 connectors had yielded the same estimates, $\tilde{w}$ and $\tilde{b}$ then, for example the 90 % statistical confidence interval for the 99-percentile point would have been (0,185 mΩ and 0,234 mΩ) instead of (0,181 mΩ and 0,307 mΩ) as found from our sample of four. However, each of these sample values is costly, since (in this example) each one requires the preparation and measuring of 25 contacts. Some compromise between testing expense and acceptance criterion for the test results is needed.

The techniques in this example are developed assuming the original data came from a two-parameter Weibull distribution with scale parameter δ and shape parameter β ; denote these data values by t_i for $i = 1, 2, \dots, n$. In the development, the data values (t_i) are transformed into new values (say, x_i) by $x_i = \ln(t_i)$. The x_i -values then follow a type I asymptotic minimum-extreme-value distribution with mode $u = \ln(\delta)$ and scale parameter $b = 1/\beta$.

Les calculs sont menés avec les valeurs x_i . Comme nos valeurs de résultats (disons y_i) obéissent à une distribution asymptotique de valeurs extrêmes maximales de type I, leur transformation vers les valeurs correspondantes de x_i se fait en les multipliant par -1 . Et comme les valeurs x_i s'utilisent dans l'ordre croissant pendant les calculs, l'ordre de nos valeurs y_i est à inverser. Ainsi, $x_i = -y_{n+1-i}$ pour $i = 1, 2, \dots, n$. Les estimations du mode, u , et du paramètre d'échelle, b , de la distribution des valeurs x_i fournissent des estimations du mode, w , et du même paramètre d'échelle, b , de la distribution des valeurs y_i , avec $w = -u$.

Essai de qualité d'ajustement

Tableau A.2 – Essai de qualité d'ajustement

Rang i	Graphique de probabilité des valeurs extrêmes		Transformation des résultats	Essai de qualité d'ajustement pages 329-331 *	
	y_i mΩ	$p_i = (i - 0,44) / 4,12$		$x_{i+1} - x_i$	M_i page 566 *
1	0,150	0,1359	-0,176	0,006	1,150 727
2	0,153	0,3786	-0,170	0,017	0,706 698
3	0,170	0,6214	-0,153	0,003	0,679 596
4 = n	0,176	0,8641	-0,150		

* Tous les numéros de page mentionnés se rapportent à la référence [11], sauf mention contraire.

$$\sum_{i=1}^3 \left[\frac{x_{i+1} - x_i}{M_i} \right] = 0,005\,214 + 0,024\,056 + 0,004\,414 = 0,033\,684$$

$$S = 0,004\,414 / 0,033\,684 = 0,131$$

La valeur critique de S pour un niveau de signification d'un test de 25 % est égale à 0,50 ([11] page 566). Puisque S est inférieure à cette valeur critique, il n'y a pas de raison statistiquement significative de rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle ces résultats $\{y_i\}$ sont issus d'une distribution asymptotique de valeurs extrêmes maximales de type I, même à un niveau de signification d'un test de 25 %.

Estimation des paramètres

Tableau A.3 – Estimation des paramètres

Rang i	Résultats y_i mΩ	Transformation des résultats $x_i = -y_{5-i}$	Estimation des paramètres pages 324-326 et 499 *	
			a_i	c_i
1	0,150	-0,176	0,064 336	-0,203 052
2	0,153	-0,170	0,147 340	-0,182 749
3	0,170	-0,153	0,261 510	-0,070 109
4 = n	0,176	-0,150	0,526 813	+0,455 910

* Tous les numéros de page mentionnés se rapportent à la référence [11], sauf mention contraire.

$$\tilde{u} = -\tilde{w} = \sum_{i=1}^4 a_i x_i = -0,155\,40, \text{ on a donc } \tilde{w} = 0,155\,40 \text{ m}\Omega$$

$$\tilde{b} = \sum_{i=1}^4 c_i x_i = 0,009\,14 \text{ m}\Omega$$