

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1164**

Première édition
First edition
1995-06

**Croissance de la fiabilité –
Tests et méthodes d'estimation statistiques**

**Reliability growth –
Statistical test and estimation methods**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1164: 1995

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1164**

Première édition
First edition
1995-06

**Croissance de la fiabilité –
Tests et méthodes d'estimation statistiques**

**Reliability growth –
Statistical test and estimation methods**

© CEI 1995 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

AVA Documents
Document Sharing Hub

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application.....	8
2 Références normatives	8
3 Définitions.....	8
4 Symboles	10
5 Le modèle en puissance	12
6 Utilisation du modèle dans la planification des programmes d'amélioration de la fiabilité.....	14
7 Procédures de test et d'estimation statistiques.....	14
Tableaux	36
Annexes	
A Exemples numériques	42
B Modèle de loi en puissance pour la croissance de la fiabilité – Généralités complémentaires	58

WILDLIFE

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	9
4 Symbols	11
5 The power law model	13
6 Use of the model in planning reliability improvement programmes	15
7 Statistical test and estimation procedures	15
Tables	37
Annexes	
A Numerical examples	43
B The power law reliability growth model – Background information	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CROISSANCE DE LA FIABILITÉ – TESTS ET MÉTHODES D'ESTIMATION STATISTIQUES

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 les conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparées par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 1164 a été établie par le comité d'études 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
56(BC)150	56(BC)159

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 norme doit être utilisée conjointement avec la CEI 1014.

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RELIABILITY GROWTH –
STATISTICAL TEST AND ESTIMATION METHODS**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 1164 has been prepared by IEC technical committee No. 56: Dependability.

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

DIS	Report on voting
56(CO)150	56(CO)159

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 standard shall be used in conjunction with IEC 1014.

Annexes A and B are for information only.

INTRODUCTION

La présente Norme internationale décrit le modèle de croissance en puissance de la fiabilité ainsi qu'un modèle d'extrapolation connexe et donne les procédures d'utilisation pas à pas de ces modèles. Il existe plusieurs modèles de croissance; celui en puissance est l'un des plus utilisés. La présente norme donne des procédures d'estimation de quelques-unes ou de toutes les grandeurs évoquées dans l'article 9 de la CEI 1014. Comme données de départ, il est nécessaire de fournir les temps d'essai cumulés auxquels se sont produites, ou ont été observées pour un système, les défaillances à prendre en compte ainsi que le temps de fin de l'essai au cas où il serait différent de celui de la dernière défaillance. On suppose que la saisie des données à fournir au modèle commence après que le système a subi tous les tests nécessaires, par exemple les essais de déverminage, de telle sorte que l'intensité de défaillance du système soit stabilisée.

Les paramètres de croissance estimés à partir de résultats antérieurs peuvent être utilisés pour planifier et prévoir le déroulement de programmes futurs de croissance de la fiabilité si les conditions sont semblables.

Quelques-unes de ces procédures peuvent nécessiter des programmes informatiques, mais elles ne sont pas excessivement complexes. Cette norme présente des algorithmes pour lesquels des programmes informatiques devraient être facilement conçus.

Withdrawal

INTRODUCTION

This International Standard describes the power law reliability growth model and related projection model and gives step-by-step directions for their use. There are several reliability growth models available, the power law model being one of the most widely used. This standard provides procedures to estimate some or all of the quantities listed in clause 9 of IEC 1014. An input is required consisting of a data set of accumulated test times at which relevant failures occurred, or were observed, for a single system, and the time of termination of the test, if different from the time of the final failure. It is assumed that the collection of data as input for the model begins after the completion of any preliminary tests, such as environmental stress screening, intended to stabilize the system's initial failure intensity.

Model parameters estimated from previous results may be used to plan and predict the course of future reliability growth programmes, if the conditions are similar.

Some of the procedures may require computer programs, but these are not unduly complex. This standard presents algorithms for which computer programs should be easy to construct.

Withdrawn

CROISSANCE DE LA FIABILITÉ – TESTS ET MÉTHODES D'ESTIMATION STATISTIQUES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des modèles et méthodes numériques permettant d'effectuer des estimations de la croissance de la fiabilité basées sur des données de défaillance du système élaborées au cours d'un programme d'amélioration de la fiabilité. Ces procédures incluent des tests de croissance et l'estimation de la fiabilité du système ainsi que des intervalles de confiance et les tests d'adéquation.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(191): 1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service*

CEI 605-1: 1978, *Essais de fiabilité des équipements – Première partie: Prescriptions générales*

CEI 605-4: 1986, *Essais de fiabilité des équipements – Quatrième partie: Méthode de calcul des estimateurs ponctuels et des limites de confiance résultant d'essais de détermination de la fiabilité d'équipements*

CEI 605-6: 1986, *Essais de fiabilité des équipements – Sixième partie: Tests de validité de l'hypothèse d'un taux de défaillance constant*

CEI 1014: 1989, *Programmes de croissance de fiabilité*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les termes et définitions de la CEI 50(191) et de la CEI 1014 s'appliquent, conjointement aux termes et définitions suivants:

3.1 modification retardée: Modification corrective incorporée au système à la fin d'un essai.

NOTE – Une modification retardée n'est pas incorporée pendant l'essai.

3.2 facteur d'efficacité d'amélioration: Fraction par laquelle l'intensité des défaillances systématiques est réduite, suite à des modifications correctives.

RELIABILITY GROWTH – STATISTICAL TEST AND ESTIMATION METHODS

1 Scope

This International Standard gives models and numerical methods for reliability growth assessments based on failure data from a single system which were generated in a reliability improvement programme. These procedures deal with growth, estimation, confidence intervals for system reliability and goodness-of-fit tests.

2 Normative references

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

IEC 50(191): 1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 605-1: 1978, *Equipment reliability testing – Part 1: General requirements*

IEC 605-4: 1986, *Equipment reliability testing – Part 4: Procedures for determining point estimates and confidence limits from equipment reliability determination tests*

IEC 605-6: 1986, *Equipment reliability testing – Part 6: Tests for the validity of a constant failure rate assumption*

IEC 1014: 1989, *Programmes for reliability growth*

3 Definitions

For the purposes of this standard the terms and definitions of IEC 50(191) and IEC 1014 apply, together with the following additional terms and definitions:

3.1 delayed modification: A corrective modification which is incorporated into the system at the end of a test.

NOTE – A delayed modification is not incorporated during the test.

3.2 improvement effectiveness factor: The fraction by which the intensity of a systematic failure is reduced by means of corrective modification.

3.3 essai de type I: Essai terminé à un temps prédéterminé ou essai pour lequel les données existent jusqu'à un temps ne correspondant pas à une défaillance.

NOTE – Un essai de type I est parfois appelé essai terminé par le temps.

3.4 essai de type II: Essai de croissance de la fiabilité terminé après l'accumulation d'un nombre prédéterminé de défaillances ou essai pour lequel les données existent jusqu'à un temps correspondant à une défaillance.

NOTE – Un essai de type II est parfois appelé essai terminé par une défaillance.

4 Symboles

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les symboles suivants sont applicables:

λ, β	paramètres d'échelle et de forme du modèle de loi en puissance
CV	valeur critique pour un test d'hypothèse
d	nombre d'intervalles pour l'analyse de données groupées
$\bar{E}, E_i, E_j$	moyenne et facteurs d'efficacité d'amélioration individuels
I	nombre de types différents de défaillances de catégorie B observés
i, j	indices à usage général
K_A	nombre de défaillances de catégorie A
K_B	nombre de défaillances de catégorie B
K_i	nombre de défaillances observées de i -ème type, Catégorie B; $K_B = \sum_{i=1}^k K_i$
M	paramètre du test (statistique) de Cramér-von Mises
N	nombre de défaillances à prendre en compte
N_i	nombre de défaillances dans l' i -ème intervalle
$N(T)$	nombre cumulé de défaillances jusqu'au temps d'essai T
$E[N(T)]$	espérance mathématique du nombre cumulé de défaillances jusqu'au temps d'essai T
$t(i-1), t(i)$	points extrêmes du i -ème intervalle de temps d'essai pour l'analyse de données groupées
T	temps d'essai cumulé courant à prendre en compte
T_i	temps d'essai cumulé à prendre en compte au moment de la i -ème défaillance
T_N	temps d'essai cumulé total à prendre en compte pour un essai de type II
T^*	temps d'essai cumulé total à prendre en compte pour un essai de type I
$\chi^2_\gamma(v)$	fractile γ de la distribution du χ^2 avec v degrés de liberté
z	symbole général pour l'intensité de défaillances
u_γ	fractile γ de la distribution normale réduite
z_p	intensité de défaillance extrapolée
$z(T)$	intensité de défaillances courantes à l'instant T
$\theta(T)$	temps moyen instantané courant entre défaillances
θ_p	temps moyen entre défaillances extrapolé

3.3 type I test: A test which is terminated at a predetermined time or test with data available through a time which does not correspond to a failure.

NOTE – Type I test is sometimes called time terminated test.

3.4 type II test: A reliability growth test which is terminated upon the accumulation of a specified number of failures, or test with data available through a time which corresponds to a failure.

NOTE – Type II test is sometimes called failure terminated test.

4 Symbols

For the purpose of this international standard, the following symbols apply:

λ, β	scale and shape parameters for the power law model
CV	critical value for hypothesis test
d	number of intervals for grouped data analysis
$\bar{E}, E_i, E_j$	mean and individual improvement effectiveness factors
I	number of distinct types of category B failures observed
i, j	general purpose indices
K_A	number of category A failures
K_B	number of category B failures
K_i	number of i -th type category B failures observed; $K_B = \sum_{i=1}^k K_i$
M	parameter of the Cramér-von Mises test (statistical)
N	number of relevant failures
N_i	number of relevant failures in i -th interval
$N(T)$	accumulated number of failures up to test time T
$E[N(T)]$	expected accumulated number of failures up to test time T
$t(i-1); t(i)$	endpoints of i -th interval of test time for grouped data analysis
T	current accumulated relevant test time
T_i	accumulated relevant test time at the i -th failure
T_N	total accumulated relevant test times for type II test
T^*	total accumulated relevant test times for type I test
$\chi^2_\gamma(v)$	γ fractile of the χ^2 distribution with v degrees of freedom
z	general symbol for failure intensity
u_γ	γ fractile of the standard normal distribution
z_p	projected failure intensity
$z(T)$	current failure intensity at time T
$\theta(T)$	current instantaneous mean time between failures
θ_p	projected mean time between failures

5 Le modèle en puissance

Les procédures statistiques pour le modèle de loi en puissance pour la croissance de la fiabilité utilisent les données originales issues de l'essai concernant les défaillances à prendre en compte et les données temporelles. Sauf dans le cas de la technique d'extrapolation (voir 7.6), le modèle s'applique à l'ensemble complet de défaillances à prendre en compte (comme dans la courbe 3 de la figure 2 de la CEI 1014), sans les sous-diviser en catégories.

Les équations de base pour le modèle de loi en puissance sont données dans cet article. Des généralités complémentaires sur ce modèle se trouvent dans l'annexe B.

L'espérance mathématique du nombre cumulé de défaillances jusqu'au temps d'essai T est donnée par:

$$E[N(T)] = \lambda T^\beta, \text{ avec } \lambda > 0, \beta > 0, T > 0$$

où

λ est le paramètre d'échelle

β est le paramètre de forme (fonction de l'efficacité générale des améliorations; $0 < \beta < 1$, correspond à une croissance de la fiabilité; $\beta = 1$ correspond à l'absence de croissance de la fiabilité; $\beta > 1$ correspond à une croissance négative de la fiabilité).

L'intensité de défaillances courante, après T heures d'essai, est donnée par:

$$z(T) = \frac{d}{dT} E[N(T)] = \lambda \beta T^{\beta-1}, \text{ avec } T > 0$$

Ainsi, les deux paramètres λ et β ont une influence sur l'intensité de défaillances atteinte au bout d'un temps donné. Cette équation représente, en fait, la pente de la tangente à la courbe caractéristique de $N(T)$ au temps T , comme l'illustre la figure 6 de la CEI 1014.

Le temps moyen entre défaillances courant après T heures d'essai est donné par:

$$\theta(T) = \frac{1}{z(T)}$$

Les paragraphes 7.1 et 7.2 donnent des méthodes pour obtenir les estimations de maximum de vraisemblance des paramètres λ et β . Le paragraphe 7.3 donne des tests d'adéquation pour le modèle et les paragraphes 7.4 et 7.5 présentent des procédures pour les intervalles de confiance. Une extension du modèle pour l'extrapolation de la croissance de la fiabilité est donnée en 7.6.

Ce modèle a les caractéristiques particulières suivantes:

- il est simple à calculer;
- lorsque les paramètres ont été estimés par des programmes précédents, il constitue un outil pratique pour la planification de futurs programmes utilisant des conditions d'essai semblables et une égale efficacité d'amélioration (voir l'article 5 et la CEI 1014, article 6);
- le modèle implique, de façon irréaliste, que $z(T) = \infty$, lorsque $T = 0$ et que la croissance peut se poursuivre sans fin, c'est-à-dire que $z(T)$ tend vers zéro lorsque T tend vers l'infini. Cependant ces limitations n'affectent pas son utilisation pratique;
- il est relativement lent et insensible dans son indication de la croissance, immédiatement après une action corrective et, par conséquent, il peut donner des estimations trop faibles (c'est-à-dire pessimistes) du $\theta(T)$ final à moins d'utiliser des extrapolations (voir 7.6);

5 The power law model

The statistical procedures for the power law reliability growth model use the original relevant failure and time data from the test. Except in the projection technique (see 7.6), the model is applied to the complete set of relevant failures (as in IEC 1014, figure 2, characteristic (3)) without subdivision into categories.

The basic equations for the power law model are given in this clause. Background information on the model is given in annex B.

The expected accumulated number of failures up to test time T is given by:

$$E[N(T)] = \lambda T^\beta, \text{ with } \lambda > 0, \beta > 0, T > 0$$

where

λ is the scale parameter

β is the shape parameter (a function of the general effectiveness of the improvements; $0 < \beta < 1$, corresponds to reliability growth; $\beta = 1$ corresponds to no reliability growth; $\beta > 1$ corresponds to negative reliability growth).

The current failure intensity after T h of testing is given by:

$$z(T) = \frac{d}{dT} E[N(T)] = \lambda \beta T^{\beta-1}, \text{ with } T > 0$$

Thus, parameters λ and β both affect the failure intensity achieved in a given time. The equation represents in effect the slope of a tangent to the $N(T)$ vs. T characteristic at time T as shown in IEC 1014, figure 6.

The current mean time between failures after T h of testing is given by:

$$\theta(T) = \frac{1}{z(T)}$$

Methods are given in 7.1 and 7.2 for maximum likelihood estimation of the parameters λ and β . Subclause 7.3 gives goodness-of-fit tests for the model, and 7.4 and 7.5 discuss confidence interval procedures. An extension of the model for reliability growth projections is given in 7.6.

The model has the following characteristic features:

- it is simple to evaluate;
- when the parameters have been estimated from past programmes it is a convenient tool for planning future programmes employing similar conditions of testing and equal improvement effectiveness (see clause 5, and IEC 1014, clause 6);
- it gives the unrealistic indications that $z(T) = \infty$ at $T = 0$ and that growth can be unending, that is $z(T)$ tends to zero as T tends to infinity; however, these limitations do not generally affect its practical use;
- it is relatively slow and insensitive in indicating growth immediately after a corrective modification, and so may give a low (that is, pessimistic) estimate of the final $\theta(T)$, unless projection is used (see 7.6);

- la méthode d'estimation normale suppose que les temps observés correspondent exactement aux temps de défaillances mais une autre approche est possible pour des groupes de défaillances à l'intérieur d'une période de temps connue (voir 7.2.2).

6 Utilisation du modèle dans la planification des programmes d'amélioration de la fiabilité

Deux grandeurs doivent être calculées au moyen de modèles de croissance de la fiabilité en tant que données à introduire dans la procédure décrite en 6.3 de la CEI 1014:

- le temps cumulé d'essai à prendre en compte prévu, exprimé en heures, qui sera nécessaire pour atteindre les objectifs du programme;
- le nombre de défaillances à prendre en compte auquel on s'attend pendant cette période.

Le temps cumulé d'essai prévu est alors transformé en temps calendaire du temps d'essai planifié par semaine ou par mois, en tenant compte du temps d'indisponibilité prévu (voir ci-après) et d'autres facteurs, et le nombre de défaillances correspondant est augmenté par jugement de l'ingénieur pour considérer des défaillances non pertinentes et utilisé afin de prévoir le temps total d'indisponibilité.

Les données à introduire dans le modèle pour ces calculs seront les paramètres supposés du modèle provenant d'un ou plusieurs programmes précédents et jugés valables pour des applications futures en raison de la similitude des entités en essai, de l'environnement d'essai, des procédures de gestion et d'autres influences significatives.

7 Procédures de test et d'estimation statistiques

7.1 Généralités

Les procédures décrites en 7.2 utilisent les données de défaillance du système pendant un programme de tests pour permettre le calcul de la croissance de fiabilité et, en particulier, donnent la fiabilité du système à la fin de l'essai. La croissance de fiabilité évaluée résulte des modifications correctives appliquées au système pendant l'essai. Les procédures présentées en 7.2.1 supposent que le temps d'essai cumulé jusqu'à chacune des pannes correspondante est connu. Le paragraphe 7.2.2 considère la situation dans laquelle les temps de défaillance eux-mêmes sont inconnus et les défaillances sont groupées en intervalles de temps d'essai.

Les essais de type I, terminés au temps T^* , ne correspondant pas à une défaillance, et ceux de type II, terminés au temps T_N , correspondant à une défaillance, utilisent des formules légèrement différentes, comme indiqué en 7.2.1 ci-après.

Un test d'adéquation approprié, tel que décrit en 7.3, doit être effectué après les procédures de test de croissance de 7.2.1 et 7.2.2.

Le paragraphe 7.6 considère la situation dans laquelle les modifications correctives sont incorporées au système à la fin de l'essai comme modifications retardées. La technique d'extrapolation permet l'estimation de la fiabilité du système résultant de ces modifications correctives.

7.2 Tests de croissance et estimation des paramètres

7.2.1 Cas 1 – Données temporelles pour chaque défaillance à prendre en compte

Cette méthode s'applique seulement lorsque le temps de défaillance a été consigné pour chaque défaillance.

- the normal evaluation method assumes the observed times to be exact times of failure, but an alternative approach is possible for groups of failures within a known time period (see 7.2.2).

6 Use of the model in planning reliability improvement programmes

As inputs to the procedure described in 6.3 of IEC 1014, two quantities have to be predicted by means of reliability growth models:

- the accumulated relevant test time in hours expected to be necessary to meet the aims of the programme;
- the number of relevant failures expected to occur during this time period.

The accumulated relevant test time is then converted to calendar time from the planned test time per week or month, making allowance for the predicted total downtime (see below) and other contingencies, and the number of relevant failures is increased by judgment to include non-relevant failures and used to predict total downtime.

The inputs to the model for these calculations will be the assumed parameters for the model, as already estimated from one or more previous programmes, and judged to be valid for the future application by similarity of the test items, test environment, management procedures and other significant influences.

7 Statistical test and estimation procedures

7.1 Overview

The procedures in 7.2 utilize system failure data during a test programme to estimate the progress of reliability growth, and to estimate, in particular, the final system reliability at the end of the test. The reliability growth which is assessed is the result of corrective modifications incorporated into the system during test. The procedures discussed in 7.2.1 assume that the accumulated test time to each relevant failure is known. Subclause 7.2.2 addresses the situation where actual failure times are not known and failures are grouped in intervals of test time.

Type I tests, which are concluded at T^* , which is not a failure time, and type II tests, which are concluded at failure time T_N , use slightly different formulae, as indicated in 7.2.1.

An appropriate goodness-of-fit test, as described in 7.3, shall be performed after the growth test procedures of 7.2.1 and 7.2.2.

Subclause 7.6 addresses the situation where the corrective modifications are incorporated into the system at the end of the test as delayed modifications. The projection technique estimates the system reliability resulting from these corrective modifications.

7.2 Growth tests and parameter estimation

7.2.1 Case 1 – Time data for every relevant failure

This method applies only where the time of failure has been logged for every failure.

Etape 1: exclure les défaillances à ne pas prendre en compte référencées en 7.1 de la CEI 1014 et/ou toute autre documentation pertinente.

Etape 2: rassembler dans un fichier de données les temps d'essai cumulés à prendre en compte (définis en 9.5 de la CEI 605-1) auxquels ont eu lieu chacune des défaillances à prendre en compte. Pour les essais de type I, noter aussi le temps d'arrêt de l'essai.

Etape 3: calculer la statistique d'essai

$$U = \frac{\sum_{i=1}^N T_i - N \frac{T^*}{2}}{T^* \sqrt{\frac{N}{12}}} \quad [\text{type I}]$$

ou

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} T_i - (N-1) \frac{T_N}{2}}{T_N \sqrt{\frac{N-1}{12}}} \quad [\text{type II}]$$

où

N est le nombre de défaillances à prendre en compte;

T^* est le temps d'essai cumulé total à prendre en compte pour un essai de type I;

T_N est le temps d'essai cumulé total à prendre en compte pour un essai de type II;

T_i est le temps d'essai cumulé au moment de la i -ème défaillance.

Si on admet l'hypothèse d'absence de croissance, c'est-à-dire que les temps des défaillances suivent un processus de Poisson homogène, la statistique U est distribuée approximativement selon la distribution normale réduite, de moyenne 0 et d'écart-type 1. Ainsi la statistique U peut être utilisée pour tester s'il y a une preuve de croissance de la fiabilité, positive ou négative, indépendamment du modèle de croissance de la fiabilité.

Les valeurs critiques d'un test bilatéral de croissance positive ou négative au niveau de signification α sont, $u_{1-\alpha/2}$ et $-u_{1-\alpha/2}$, où $u_{1-\alpha/2}$ est le fractile $(1-\alpha/2) \cdot 100$ % de la distribution normale réduite.

Si $U < -u_{1-\alpha/2}$ ou $U > u_{1-\alpha/2}$

alors il y a preuve de croissance de la fiabilité, positive ou négative respectivement, et l'analyse peut continuer par l'étape 4.

Si, toutefois $-u_{1-\alpha/2} < U < u_{1-\alpha/2}$

alors il n'y a pas de preuve de croissance de la fiabilité, positive ou négative, au niveau α de signification et l'analyse de la croissance est terminée. Dans ce cas l'hypothèse de temps exponentiels entre défaillances successives est admise (soit un processus de Poisson homogène) au niveau α de signification. Les valeurs critiques $u_{1-\alpha/2}$ ($-u_{1-\alpha/2}$) correspondent à un test unilatéral de croissance positive (négative) au niveau de signification $\alpha/2$.

Au niveau de signification de 0,20 les valeurs critiques pour un test bilatéral sont 1,28 et -1,28. La valeur critique 1,28 correspond à un test unilatéral de croissance positive au niveau de signification de 0,10. Pour d'autres niveaux de signification, choisir les valeurs critiques appropriées dans une table des fractiles de la distribution normale réduite.

Step 1: exclude non-relevant failures by reference to 7.1 of IEC 1014, and/or other appropriate documentation.

Step 2: assemble into a data set the accumulated relevant test times (as defined in 9.5 of IEC 605-1) at which each relevant failure occurred. For type I tests, note also the time of termination of the test.

Step 3: Calculate the test statistic

$$U = \frac{\sum_{i=1}^N T_i - N \frac{T^*}{2}}{T^* \sqrt{\frac{N}{12}}} \quad [\text{type I}]$$

or

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} T_i - (N-1) \frac{T_N}{2}}{T_N \sqrt{\frac{N-1}{12}}} \quad [\text{type II}]$$

where

- N is the total number of relevant failures;
- T^* is the total accumulated relevant test times for type I test;
- T_N is the total accumulated relevant test times for type II test;
- T_i is the accumulated relevant test time at the i -th failure.

Under the hypothesis of zero growth, that is, the failure times follow a homogeneous Poisson process, the statistic U is approximately distributed as a standard normal random variable with mean 0 and standard deviation 1. The statistic U can be used to test if there is evidence of reliability growth, positive or negative, independent of the reliability growth model.

A two-sided test for positive or negative growth at the α significance level has critical values $u_{1-\alpha/2}$ and $-u_{1-\alpha/2}$, where $u_{1-\alpha/2}$ is the $(1-\alpha/2) \cdot 100$ -th fractile of the standard normal distribution.

If $U < -u_{1-\alpha/2}$ ou $U > u_{1-\alpha/2}$

then there is evidence of positive or negative reliability growth, respectively, and the analysis is continued with Step 4.

If, however, $-u_{1-\alpha/2} < U < u_{1-\alpha/2}$

then there is not evidence of positive or negative reliability growth at the α significance level and the growth analysis is terminated. In this case, the hypothesis of exponential times between successive failures (or a homogeneous Poisson process) is accepted at the α significance level. The critical values $u_{1-\alpha/2}$ and $-u_{1-\alpha/2}$ correspond to a one-sided test for positive or negative growth, respectively, at the $\alpha/2$ significance level.

At the 0,20 significance level, the critical values for a two-sided test are 1,28 and -1,28. The critical value 1,28 corresponds to a one-sided test for positive growth at the 10 % significance level. For other levels of significance, choose the appropriate critical values from a table of fractiles for the standard normal distribution.

Etape 4: calculer les sommes:

$$S_1 = \sum_{i=1}^N \ln(T^* / T_i) \quad [\text{type I}]$$

ou

$$S_1 = \sum_{i=1}^N \ln(T_N / T_i) \quad [\text{type II}]$$

Etape 5: calculer l'estimateur (non biaisé) du paramètre β par la formule:

$$\hat{\beta} = \frac{N-1}{S_1} \quad [\text{type I}]$$

ou

$$\hat{\beta} = \frac{N-2}{S_1} \quad [\text{type II}]$$

Etape 6: calculer l'estimateur du paramètre λ par la formule:

$$\hat{\lambda} = N / (T^*)^{\hat{\beta}} \quad [\text{type I}]$$

ou

$$\hat{\lambda} = N / (T_N)^{\hat{\beta}} \quad [\text{type II}]$$

Etape 7: calculer l'intensité de défaillances $\hat{z}(T)$, et le temps moyen entre défaillance $\hat{\theta}(T)$ estimés pour n'importe quel temps $T > 0$ par les formules:

$$\hat{z}(T) = \hat{\lambda} \hat{\beta} T^{\hat{\beta}-1}$$

$$\hat{\theta}(T) = 1 / \hat{z}(T)$$

NOTES

1 $\hat{z}(T)$ et $\hat{\theta}(T)$ sont des estimateurs de l'intensité de défaillances et du MTBF «courants» au temps $T > 0$, pour T appartenant aux temps représentatifs des données. Des estimations «extrapolées» pour un temps futur T pendant la phase d'essai ou jusqu'au temps attendu pour son achèvement peuvent être obtenues également mais utilisées avec les précautions d'usage associées aux extrapolations. Il est recommandé de ne pas étendre des estimations extrapolées au-delà du temps attendu pour l'achèvement de l'essai.

2 Si le programme d'essai est terminé alors $\hat{\theta}(T)$, pour $T=T^*$ ou $T=T_N$, selon le cas, est une estimation du MTBF de la configuration du système en essai à la fin de la phase d'essai.

7.2.2 Cas 2 – Données temporelles pour des groupes de défaillances à prendre en compte

Cette autre méthode alternative correspond au cas où les données consisteraient en intervalles de temps connus, chacun contenant un nombre de défaillances connu. Il est important de noter que les longueurs de ces intervalles ainsi que le nombre des défaillances par intervalles n'ont pas besoin d'être constants.

La période d'essai s'étend sur l'intervalle de temps $(0; T)$ et est divisée en d intervalles correspondant aux instants $0 < t(1) < t(2) < \dots < t(d)$. Le i -ème intervalle est la période de temps située entre $t(i-1)$ et $t(i)$, avec $i = 1, 2, \dots, d$, $t(0) = 0$, $t(d) = T$. Les instants de division $t(i)$ peuvent prendre toute valeur comprise entre 0 et T .

Etape 1: exclure les défaillances à ne pas prendre en compte selon 7.1 de la CEI 1014, et/ou toute autre documentation pertinente.