IEC 61649

Edition 2.0 2008-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Weibull analysis

Analyse de Weibull

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX XB

ICS 03.120.01; 03.120.30

ISBN 2-8318-9954-0

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 5
INTRODUCTION 7
1 Scope 8
2 Normative references 8
3 Terms, definitions, abbreviations and symbols 8
3.1 Terms and definitions 8
3.2 Abbreviations 10
3.3 Symbols 10
4 Application of the techniques 11
5 The Weibull distribution 11
5.1 The two-parameter Weibull distribution 11
5.2 The three-parameter Weibull distribution 13
6 Data considerations 13
6.1 Data types 13
6.2 Time to first failure 13
6.3 Material characteristics and the Weibull distribution 13
6.4 Sample size 13
6.5 Censored and suspended data 14
7 Graphical methods and goodness-of-fit 14
7.1 Overview 14
7.2 How to make the probability plot 14
7.2.1 Ranking 15
7.2.2 The Weibull probability plot 15
7.2.3 Dealing with suspensions or censored data 15
7.2.4 Probability plotting 17
7.2.5 Checking the fit 17
7.3 Hazard plotting 18
8 Interpreting the Weibull probability plot 19
8.1 The bathtub curve 19
8.1.1 General 19
8.1.2 β < 1 – Implies early failures 19
8.1.3 β = 1 – Implies constant instantaneous failure rate 20
8.1.4 β > 1 – Implies wear-out 20
8.2 Unknown Weibull modes may be "masked" 20
8.3 Small samples 21
8.4 Outliers 22
8.5 Interpretation of non-linear plots 22
8.5.1 Distributions other than the Weibull 25
8.5.2 Data inconsistencies and multimode failures 25
9 Computational methods and goodness-of-fit 25
9.1 Introduction 25
9.2 Assumptions and conditions 26
9.3 Limitations and accuracy 26
9.4 Input and output data 26

9.5 Goodness-of-fit test 27
9.6 MLE – point estimates of the distribution parameters β and η 27
9.7 Point estimate of the mean time to failure 28
9.8 Point estimate of the fractile (10 %) of the time to failure 28
9.9 Point estimate of the reliability at time t ($t \leq T$) 28
9.10 Software programs 28
10 Confidence intervals 28
10.1 Interval estimation of β 28
10.2 Interval estimation of η 29
10.3 MRR Beta-binomial bounds 30
10.4 Fisher's Matrix bounds 30
10.5 Lower confidence limit for B_{10} 31
10.6 Lower confidence limit for R 31
11 Comparison of median rank regression (MRR) and maximum likelihood (MLE) estimation methods 31
11.1 Graphical display 31
11.2 B life estimates sometimes known as B or L percentiles 31
11.3 Small samples 32
11.4 Shape parameter β 32
11.5 Confidence intervals 32
11.6 Single failure 32
11.7 Mathematical rigor 32
11.8 Presentation of results 32
12 WeiBayes approach 33
12.1 Description 33
12.2 Method 33
12.3 WeiBayes without failures 33
12.4 WeiBayes with failures 33
12.5 WeiBayes case study 34
13 Sudden death method 35
14 Other distributions 37
Annex A (informative) Examples and case studies 38
Annex B (informative) Example of computations 40
Annex C (informative) Median rank tables 42
Annex D (normative) Statistical Tables 47
Annex E (informative) Spreadsheet example 48
Annex F (informative) Example of Weibull probability paper 55
Annex G (informative) Mixtures of several failure modes 56
Annex H (informative) Three-parameter Weibull example 59
Annex I (informative) Constructing Weibull paper 61
Annex J (informative) Technical background and references 64
Bibliography 67

Figure 1 – The PDF shapes of the Weibull family for η = 1,0 12
Figure 2 – Total test time (in minutes) 16
Figure 3 – Typical bathtub curve for an item 19

Figure 4 – Weibull failure modes may be “masked” 21
Figure 5 – Sample size: 10 21
Figure 6 – Sample size: 100 22
Figure 7 – An example showing lack of fit with a two-parameter Weibull distribution 23
Figure 8 – The same data plotted with a three-parameter Weibull distribution shows a good fit with 3 months offset (location – 2,99 months) 24
Figure 9 – Example of estimating t_0 by eye 25
Figure 10 – New compressor design WeiBayes versus old design 35
Figure A.1 – Main oil pump low times 38
Figure A.2 – Augmenter pump bearing failure 39
Figure A.3 – Steep β values hide problems 39
Figure B.1 – Plot of computations 41
Figure E.1 – Weibull plot for graphical analysis 49
Figure E.2 – Weibull plot of censored data 51
Figure E.3 – Cumulative hazard plot for data of Table E.4 52
Figure E.4 – Cumulative hazard plots for Table E.6 54
Figure H.1 – Steel-fracture toughness – Curved data 59
Figure H.2 – t_0 improves the fit of Figure H.1 data 60

Table 1 – Guidance for using this International Standard 11
Table 2 – Ranked flare failure rivet data 15
Table 3 – Adjusted ranks for suspended or censored data 16
Table 4 – Subgroup size to estimate time to X % failures using the sudden death method 36
Table 5 – Chain data: cycles to failure 36
Table B.1 – Times to failure 40
Table B.2 – Summary of results 41
Table D.1 – Values of the gamma function 47
Table D.2 – Fractiles of the normal distribution 47
Table E.1 – Practical analysis example 48
Table E.2 – Spreadsheet set-up for analysis of censored data 50
Table E.3 – Example of Weibull analysis for suspended data 50
Table E.4 – Example of Spreadsheet application for censored data 51
Table E.5 – Example spreadsheet 52
Table E.6 – A relay data provided by ISO/TC94 and Hazard analysis for failure mode 1 53
Table I.1 – Construction of ordinate (Y) 62
Table I.2 – Construction of abscissa (t) 62
Table I.3 – Content of data entered into a spreadsheet 62

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

WEIBULL ANALYSIS

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61649 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1997, and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition are as follows:

– the title has been shortened and simplified to read "Weibull analysis";
– provision of methods for both analytical and graphical solutions have been added.

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

FDIS	Report on voting
56/1269/FDIS	56/1281/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

The Weibull distribution is used to model data regardless of whether the failure rate is increasing, decreasing or constant. The Weibull distribution is flexible and adaptable to a wide range of data. The time to failure, cycles to failure, mileage to failure, mechanical stress or similar continuous parameters need to be recorded for all items. A life distribution can be modelled even if not all the items have failed.

Guidance is given on how to perform an analysis using a spreadsheet program. Guidance is also given on how to analyse different failure modes separately and identify a possible weak population. Using the three-parameter Weibull distribution can give information on time to first failure or minimum endurance in the sample.

WEIBULL ANALYSIS

1 Scope

This International Standard provides methods for analysing data from a Weibull distribution using continuous parameters such as time to failure, cycles to failure, mechanical stress, etc.

This standard is applicable whenever data on strength parameters, e.g. times to failure, cycles, stress, etc. are available for a random sample of items operating under test conditions or in-service, for the purpose of estimating measures of reliability performance of the population from which these items were drawn.

This standard is applicable when the data being analysed are independently, identically distributed. This should either be tested or assumed to be true (see IEC 60300-3-5).

In this standard, numerical methods and graphical methods are described to plot data, to make a goodness-of-fit test, to estimate the parameters of the two- or three-parameter Weibull distribution and to plot confidence limits. Guidance is given on how to interpret the plot in terms of risk as a function of time, failure modes and possible weak population and time to first failure or minimum endurance.

2 Normative references

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

IEC 60050-191:1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 191: Dependability and quality of service*

IEC 60300-3-5:2001, *Dependability management – Part 3-5: Application guide – Reliability test conditions and statistical test principles*

IEC 61810-2, *Electromechanical elementary relays – Part 2: Reliability*

ISO 2854:1976, *Statistical interpretation of data – Techniques of estimations and tests relating to means and variances*

ISO 3534-1:2006, *Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: General statistical terms and terms in probability*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 73
INTRODUCTION 75
1 Domaine d'application 76
2 Références normatives 76
3 Termes, définitions, abréviations et symboles 76
3.1 Termes et définitions 76
3.2 Abréviations 78
3.3 Symboles 78
4 Application des techniques 79
5 La distribution de Weibull 79
5.1 La distribution de Weibull à deux paramètres 79
5.2 La distribution de Weibull à trois paramètres 81
6 Considérations sur les données 81
6.1 Types de données 81
6.2 Temps avant défaillance 81
6.3 Caractéristiques des matériaux et la distribution de Weibull 82
6.4 Taille d'échantillon 82
6.5 Données censurées et données suspendues 82
7 Méthodes graphiques et test d'adéquation 82
7.1 Vue d'ensemble 82
7.2 Comment réaliser le tracé de probabilité 83
7.2.1 Classement 83
7.2.2 Le tracé de la probabilité de Weibull 84
7.2.3 Travailler avec des données suspendues ou censurées 84
7.2.4 Traçage de probabilité 86
7.2.5 Vérification de l'adéquation 86
7.3 Tracé de risque 87
8 Interprétation du tracé de probabilité de Weibull 88
8.1 La courbe en baignoire 88
8.1.1 Généralités 88
8.1.2 β < 1 – implique des défaillances précoces 88
8.1.3 β = 1 – implique un taux de défaillance instantané constant 89
8.1.4 β > 1 – implique l'usure 89
8.2 Des modes de Weibull peuvent être "masqués" 89
8.3 Echantillons de petite taille 90
8.4 Points aberrants 91
8.5 Interprétation des tracés non-linéaires 91
8.5.1 Distributions autres que de Weibull 94
8.5.2 Incohérence de données et défaillances multi-modes 94
9 Méthodes de calcul et adéquation 95
9.1 Introduction 95
9.2 Hypothèses et conditions 95
9.3 Limitations et précisions 95
9.4 Données d'entrée et de sortie 95

9.5 Test d'adéquation 96
9.6 MLE – Estimation des paramètres β et η de la distribution 96
9.7 Estimation du temps moyen avant défaillance 97
9.8 Estimation du fractile (10 %) du temps avant défaillance 97
9.9 Estimation de la fiabilité à l'instant t ($t \leq T$) 97
9.10 Programmes logiciels 98
10 Intervalles de confiance 98
10.1 Estimation de l'intervalle de β 98
10.2 Estimation de l'intervalle de η 98
10.3 Bornes d'une régression de rang médian Bêta-binomiale 99
10.4 Bornes de la matrice de Fisher 100
10.5 Limite de confiance inférieure pour B_{10} 100
10.6 Limite de confiance inférieure pour R 100
11 Comparaison des méthodes de régression du rang médian (MRR) et d'estimation du maximum de vraisemblance (MLE) 101
11.1 Présentation graphique 101
11.2 Estimation de la durée de vie B parfois identifiée comme percentiles B ou L 101
11.3 Echantillons de petites tailles 101
11.4 Paramètre de forme β 102
11.5 Intervalle de confiance 102
11.6 Défaillance unique 102
11.7 Rigueur mathématique 102
11.8 Présentation des résultats 102
12 Approche WeiBayes 102
12.1 Description 102
12.2 Méthode 102
12.3 WeiBayes sans défaillance 103
12.4 WeiBayes avec défaillances 103
12.5 Etude de cas WeiBayes 104
13 Méthode de la mort subite 105
14 Autres distributions 107
Annexe A (informative) Exemples et études de cas 108
Annexe B (informative) Exemple de calculs 110
Annexe C (informative) Tableaux des rangs médians 112
Annexe D (normative) Tableaux statistiques 117
Annexe E (informative) Exemple de tableur 118
Annexe F (informative) Exemple of papier de probabilité de Weibull 125
Annexe G (informative) Mélange de plusieurs modes de défaillance 126
Annexe H (informative) Exemple de tracé de Weibull à trois paramètres 129
Annexe I (informative) Réaliser un papier Weibull 131
Annexe J (informative) Bases techniques et références 134
Bibliographie 137

Figure 1 – Les formes PDF de la famille de Weibull pour η = 1.0 80
Figure 2 – Temps total d'essai (minutes) 85
Figure 3 – Courbe en baignoire typique pour une entité 88

Figure 4 – Des modes de défaillance de Weibull peuvent être « masqués » 90
Figure 5 – Taille d'échantillon: 10 90
Figure 6 – Taille d'échantillon: 100 91
Figure 7 – Un exemple montrant un manque d'adéquation avec une distribution de Weibull à deux paramètres 92
Figure 8 – Les mêmes données tracées avec une distribution de Weibull à trois paramètres montrent une bonne adéquation avec un décalage de 3 mois (positionnement – 2,99 mois) 93
Figure 9 – Exemple d'estimation visuelle de t_0 94
Figure 10 – Nouvelle conception WeiBayes de compresseurs par rapport à l'ancienne conception 104
Figure A.1 – Court terme pour une pompe primaire à huile 108
Figure A.2 – Défaillance de roulements de pompes d'un dispositif de poussée 109
Figure A.3 – Problèmes cachés par des valeurs de pente β abruptes 109
Figure B.1 – Tracé des calculs 111
Figure E.1 – Tracé de Weibull par analyse graphique 119
Figure E.2 – Tracé de Weibull des données censurées 121
Figure E.3 – Tracé de risqué cumulé pour les données du tableau E.4 122
Figure E.4 – Tracés de risque cumulé pour le tableau B.1 124
Figure H.1 – Résistance d'un acier à la rupture – données incurvées 129
Figure H.2 – t_0 améliore l'adéquation des données de la figure H.1 130

Tableau 1 – Guide d'utilisation de cette norme internationale 79
Tableau 2 – Données classées de défaillance de rivets 84
Tableau 3 – Rangs ajustés pour données suspendues ou censurées 85
Tableau 4 – Taille de sous-groupe pour estimer le temps jusqu'à X % défaillances utilisant la méthode de mort subite 106
Tableau 5 – Données en chaîne: nombre de cycles avant défaillance 106
Tableau B.1 – Temps avant défaillance 110
Tableau B.2 – Synthèse des résultats 111
Tableau D.1 – Valeurs de la fonction gamma 117
Tableau D.2 – Fractiles de la loi de distribution normale 117
Tableau E.1 – Exemple d'analyse pratique 118
Tableau E.2 – Tableau établi pour l'analyse des données censurées 120
Tableau E.3 – Exemple d'analyse de Weibull pour les données suspendues 120
Tableau E.4 – Exemple d'application du tableur pour les données censurées 121
Tableau E.5 – Exemple de feuille de calcul 122
Tableau E.6 – Les données de relais fournies par ISO/TC94 et l'analyse de risque pour le mode de défaillance 1 123
Tableau I.1 – Construction de l'ordonnée (Y) 132
Tableau I.2 – Construction de l'abscisse (t) 132
Tableau I.3 – Données entrées dans le tableur 133

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

ANALYSE DE WEIBULL

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61649 a été préparée par le Comité d'études 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition parue en 1997 et constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

– le titre a été raccourci et se lit maintenant comme «Analyse de Weibull»
– des méthodes pour des solutions à la fois analytiques et graphiques ont été ajoutées.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/1269/FDIS	56/1281/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

INTRODUCTION

La distribution Weibull est utilisée pour modéliser des données indépendamment du fait que le taux de défaillance est croissant, décroissant ou constant. La distribution de Weibull est souple et adaptable à une large variété de données. Le temps avant défaillance, le nombre de cycles avant défaillance, le parcours avant défaillance, les contraintes mécaniques ou des paramètres continus similaires doivent être enregistrés pour toutes les entités. Une distribution de la durée de vie peut être modélisée même si toutes les entités n'ont pas été défaillantes.

Des recommandations sont données sur la façon de réaliser une analyse en utilisant un programme informatique du type tableur. Des recommandations sont également données sur la façon d'analyser différents modes de défaillance séparément et d'identifier une éventuelle population fragile. L'utilisation de la distribution de Weibull à trois paramètres peut fournir des informations sur le temps avant la première défaillance ou l'endurance minimale dans l'échantillon.

ANALYSE DE WEIBULL

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des méthodes pour analyser les données d'une distribution de Weibull en utilisant les paramètres continus tels que temps avant défaillance, nombre de cycles avant défaillance, contraintes mécaniques, etc.

La présente norme est applicable dès que des données sur des paramètres cruciaux tels que temps avant défaillance, contraintes, etc. sont disponibles pour un échantillon aléatoire d'entités fonctionnant dans des conditions d'essais ou en service, afin d'estimer des mesures de performance de fiabilité de la population dont ces entités sont issues.

La présente norme est applicable lorsque les données analysées sont distribuées de façon indépendante et identique. Il convient que ceci soit testé ou présumé vrai (voir CEI 60300-3-5).

Dans la présente norme, des méthodes numériques et des méthodes graphiques sont décrites pour tracer les données, faire un test d'adéquation, et estimer les paramètres d'une distribution de Weibull à deux ou trois paramètres et tracer les limites de confiance. Des recommandations sont données sur l'interprétation du tracé en terme de risque en fonction du temps, des modes de défaillance et des populations fragiles possibles, et de temps avant la première défaillance ou d'endurance minimale.

2 Références normatives

Les documents référencés suivants sont indispensables pour l'application de ce document. Pour des références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, c'est la dernière édition du document référencé (y compris les amendements) qui s'applique.

CEI 60050-191:1990, *Vocabulaire Electrotechnique –Partie 191: Sûreté de fonctionnement et qualite de service*

CEI 60300-3-5:2001, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-5: Guide d'application – Conditions des essais de fiabilité et principes des essais statistiquesCEI 61810-2, Relais électromécaniques élémentaires – Partie 2: Fiabilité*

ISO 2854:1976, *Interprétation statistique des données – Techniques d'estimation et tests pourtant sur des moyennes et des variances*

ISO 3534-1:2006, *Statistique – Vocabulaire et symboles – Partie 1: Termes statistiques généraux et termes utilisés en calcul des probabilités*