



IEC 61649

Edition 2.0 2008-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Weibull analysis

Analyse de Weibull

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XB**
CODE PRIX

ICS 03.120.01; 03.120.30

ISBN 2-8318-9954-0

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 $\beta < 1$ – Implies early failures.....	19
8.1.3 $\beta = 1$ – Implies constant instantaneous failure rate.....	20
8.1.4 $\beta > 1$ – 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 $\eta = 1,0$	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 $\beta < 1$ – implique des défaillances précoces.....	88
8.1.3 $\beta = 1$ – implique un taux de défaillance instantané constant.....	89
8.1.4 $\beta > 1$ – 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 $\eta = 1.0$	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 qualité 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 statistiques* CEI 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*