

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60706-3

Deuxième édition
Second edition
2006-04

Maintenabilité de matériel –

**Partie 3:
Vérification et recueil, analyse
et présentation de données**

Maintainability of equipment –

**Part 3:
Verification and collection, analysis
and presentation of data**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60706-3:2006

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- **IEC Just Published**

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

- **Service clients**

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

- **IEC Just Published**

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

- **Customer Service Centre**

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

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60706-3

Deuxième édition
Second edition
2006-04

Maintenabilité de matériel –

**Partie 3:
Vérification et recueil, analyse
et présentation de données**

Maintainability of equipment –

**Part 3:
Verification and collection, analysis
and presentation of data**

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives.....	12
3 Termes et définitions	14
4 Introduction à la vérification de maintenance	14
4.1 Objectif de la vérification	14
4.2 Concepts de support de maintenance influençant la vérification de maintenance.....	16
4.3 Méthodes of vérification	16
4.4 Processus de vérification	16
4.5 Conditions et contraintes	18
4.6 Procédures de vérification qualitative et quantitative	20
5 Procédures de vérification qualitative de maintenabilité.....	22
5.1 Revue de conception.....	22
5.2 Revue de l'expérience issue d'essais	22
5.3 Etudes de facilité de maintenance	24
5.4 Revue de l'analyse des opérations de maintenance	24
5.5 Revue de l'expérience opérationnelle	24
6 Procédures pour la vérification de la maintenabilité quantitative	26
6.1 Prédiction de maintenabilité	26
6.2 Vérification fondée sur des essais de démonstration	26
6.3 Vérification fondée sur des données d'exploitation	26
7 Procédure de démonstration.....	28
7.1 Généralité	28
7.2 Processus de démonstration	28
7.3 Planification de la démonstration.....	28
7.4 Conditions et contraintes.....	30
7.5 Démonstration après modification	30
8 Eléments de la procédure de vérification	32
8.1 Utilisation des sources de données	32
8.2 Acquisition des données et analyse.....	32
8.3 Evaluation	34
8.4 Comparaison.....	36
9 Recueil, analyse et présentation des données de maintenabilité.....	36
9.1 Généralités.....	36
9.2 Politique de maintenance	36
9.3 Sources de données.....	38
9.4 Données provenant d'essais de démonstration et de l'exploitation de l'entité	40
9.5 Procédures d'analyse	40
9.6 Présentation des données	42
 Annex A (normative) Procédures de démonstration de la maintenabilité.....	 48
Annex B (normative) Méthodes de test pour la démonstration de maintenabilité	54
Annex C (normative) Analyse des données de maintenabilité	70

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	15
4 Introduction to maintainability verification	15
4.1 Objective of verification	15
4.2 Maintenance support concepts influencing maintainability verification	17
4.3 Methods of verification	17
4.4 Verification process.....	17
4.5 Conditions and constraints	19
4.6 Qualitative and quantitative verification procedures.....	21
5 Procedures for verification of qualitative maintainability.....	23
5.1 Design review.....	23
5.2 Review of test experience	23
5.3 Ease-of-maintenance studies	25
5.4 Review of maintenance task analysis	25
5.5 Review of operational experience.....	25
6 Procedures for verification of quantitative maintainability.....	27
6.1 Maintainability predictions	27
6.2 Verification based on demonstration tests	27
6.3 Verification based on field data	27
7 Demonstration procedures.....	29
7.1 General.....	29
7.2 Demonstration process.....	29
7.3 Demonstration planning.....	29
7.4 Conditions and constraints	31
7.5 Demonstration after modification	31
8 Elements of the verification procedure.....	33
8.1 Utilization of data sources	33
8.2 Data acquisition and analysis	33
8.3 Evaluation	35
8.4 Comparison.....	37
9 Collection, analysis and presentation of maintainability data.....	37
9.1 General	37
9.2 Maintenance concept	37
9.3 Data sources	39
9.4 Item demonstration and field data.....	41
9.5 Analysis procedures	41
9.6 Data presentation.....	43
Annex A (normative) Maintainability demonstration procedures.....	49
Annex B (normative) Maintainability demonstration test methods	55
Annex C (normative) Analysis of maintainability related data	71

Bibliographie.....	74
Figure B.1 – Méthode de test 8 – Plan de test progressif	66
Tableau 1 – Procédures de vérification qualitative et quantitative de la maintenabilité	22
Tableau 2 – Formulaire de synthèse des données relatives aux opérations de réparations actives	46
Tableau 3 – Formulaire de synthèse des temps relatifs aux réparations actives.....	46
Tableau 4 – Synthèse relative à la maintenance préventive	46
Tableau A.1 – Méthodes de test	48
Tableau B.1 – Méthode de test 7 – Nombres d’acceptation et nombres de refus	66
Tableau B.2 – Plan d’échantillonnage pour p_0, p_1 spécifiés α, β ($p_0 < 0,2$).....	68
Table C.1 – Valeurs critiques de d	72

Bibliography.....	75
Figure B.1 – Test method 8: Sequential test plan	34
Table 1 – Qualitative and quantitative maintainability verification procedures.....	23
Table 2 – Active repair task data summary form.....	47
Table 3 – Active repair time summary form	47
Table 4 – Preventive maintenance summary	47
Table A.1 – Test methods	49
Table B.1 – Test method 7: Acceptance and rejection numbers	67
Table B.2 – Sampling plans for specified p_0, p_1, α, β ($p_0 < 0,2$)	69
Table C.1 – Critical values of d	73

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MAINTENABILITÉ DE MATÉRIEL –

Partie 3: Vérification et recueil, analyse et présentation de données

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 60706-3 a été préparée par le comité d'études 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, publiée en 1983, et elle constitue une révision technique.

Les modifications techniques majeures par rapport à la première édition concernent l'association des Sections 6 et 7 de la première édition et l'addition de deux annexes statistiques issues de la CEI 60706-6, qui ont été incluses comme Annexes B et C.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAINTAINABILITY OF EQUIPMENT –**Part 3: Verification and collection, analysis
and presentation of data**

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, Publicly Available Specifications (PAS) 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 60706-3 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1983, and constitutes a technical revision.

The major technical changes with regard to the first edition concern combining the original Sections 6 and 7 from the first edition and adding the two statistical annexes from IEC 60706-6, which have been included as Annexes B and C.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/1094/FDIS	56/1109/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.

La CEI 60706¹, sous le titre général *Guide de maintenabilité de matériel* est constituée des parties suivantes:

NOTE Chaque partie décrit l'application de techniques spécifiques pour réaliser un programme de maintenabilité.

Partie 1: Introduction, exigences et programme de maintenabilité

Partie 2: Etudes et études de maintenabilité pendant la phase de la conception et de développement

Partie 3: Vérification et recueil, analyse et présentation de données

Partie 4: Guide d'application – Maintenance et support de maintenance

Partie 5: Essais pour diagnostic

Partie 6: Méthodes statistiques pour l'évaluation de la maintenabilité

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.

¹ Les Parties 1, 4 et 6 sont actuellement en révision afin de les insérer dans d'autres parties de la CEI 60706. L'Avant-propos de la partie en question fournira un texte explicatif.

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

FDIS	Report on voting
56/1094/FDIS	56/1109/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.

IEC 60706 consists of the following parts¹, under the general title *Maintainability of equipment*:

NOTE Each part outlines the application of specific techniques to implement a maintainability programme.

- Part 1: Introduction, requirements and maintenance programme
- Part 2: Maintainability studies during the design phase
- Part 3: Verification and collection, analysis and presentation of data
- Part 4: Guide to maintenance and maintenance support planning
- Part 5: Diagnostic testing
- Part 6: Statistical methods in maintainability evaluation

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.

¹ Parts 1, 4 and 6 are currently being absorbed into other parts of IEC 60706. The Foreword of the relevant part will give an explanatory text.

INTRODUCTION

Des techniques de maintenance efficaces sont nécessaires lors de la conception d'une entité, pour assurer que l'entité fonctionnera correctement. Avant la mise en service, il est nécessaire de vérifier que les procédures de maintenance proposées peuvent être exécutées telles qu'elles sont conçues et le recueil et l'analyse des données est une composante essentielle du processus de la vérification.

Les données utilisées pour la vérification peuvent provenir de différentes sources et ce qui sera utilisé dans des circonstances particulières dépendra de plusieurs facteurs, incluant quelles données d'expérience sont disponibles et l'état de la conception. Pour vérifier que les objectifs de maintenabilité sont atteints, il est préférable de mener des essais qui génèrent des données sur l'entité considérée. Les données d'expérience doivent être triées pour leur pertinence par rapport au projet et quand des données utilisables sont sélectionnées, elles sont analysées pour fournir les informations requises.

Un certain nombre de procédures de vérification sont expliquées dans cette norme, avec les techniques d'analyse associées. Elles sont conçues pour contrôler l'adéquation des procédures de maintenance, les outils et équipements fournis pour la maintenance, l'adéquation des documents techniques et la facilité de la maintenance de l'entité. Cela permet d'améliorer les procédures de maintenance et si nécessaire, d'effectuer les modifications de l'entité pour améliorer sa maintenabilité. Il est important d'inclure au plus tôt, toutes les modifications de conception de l'entité requises, si possible avant le début de la production afin de minimiser les coûts.

Cette analyse initiale est, dans la plupart des cas, une analyse statistique basée sur un petit échantillon de données. Il est donc préférable que le recueil et l'analyse des données se poursuivent après l'entrée en service de l'entité de telle sorte que les résultats atteints par le processus de vérification soit affiné et amélioré. Ces données sont importantes pour déterminer l'adéquation de la logistique de maintenance car cela n'est pas facile à évaluer lors de l'analyse de vérification initiale.

La CEI 60706-3 est une partie d'un ensemble de normes sur la sûreté de fonctionnement, structuré hiérarchiquement comme décrit ci-après.

La CEI 60300-1 et la CEI 60300-2 sont les normes CEI du niveau le plus élevé qui fournissent des lignes directrices pour la sûreté de fonctionnement, en incluant la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité des entités manufacturées. La norme de niveau le plus élevé et traitant de la maintenabilité est le guide d'application CEI 60300-3-10, qui constitue une partie de la série de normes CEI 60300-3. Elle peut être utilisée pour appliquer un programme de maintenabilité couvrant le point de départ, les phases de développement et de mise en service d'une entité, et fait partie des opérations décrites dans la CEI 60300-2. Elle fournit aussi des lignes directrices sur la façon de considérer les aspects de maintenance afin qu'ils atteignent l'optimum de maintenabilité.

INTRODUCTION

The design of an item includes the need for efficient maintenance techniques to ensure that the item continues to operate properly. Before it is put into service it is necessary to verify that the proposed maintenance procedures can be executed as designed and the collection and analysis of data is an essential part of the verification process.

The data used for verification may come from a variety of sources and what is used in particular circumstances will depend on many factors, including what historical data are available and the status of the design. For verification that maintainability targets have been met, it is preferable to conduct tests that generate data on the product under review. Historical data have to be sorted for relevance to the project and when useful data have been selected, they are analysed to provide the information required.

There are a number of verification procedures that are explained in this standard with the associated analysis techniques. They are designed to check the adequacy of the maintenance procedures, the tools and equipment supplied for maintenance, the adequacy of the technical publications and the ease of maintenance of the item. This enables improvements to be made to the maintenance procedures and, if necessary, modifications to be carried out on the item to improve maintainability. It is important to include any required changes to the design of the item as early as possible, if possible before the start of production, in order to minimize costs.

This initial analysis is, in most cases, a statistical analysis based on a small sample of data. It is therefore preferable that the collection and analysis of data should go on after the item enters service so that the results achieved by the verification process are refined and improved. These data are important to determine the adequacy of the maintenance support, as this is not so easy to assess in an initial verification analysis.

IEC 60706-3 forms part of a hierarchy of standards dealing with dependability, as described below.

IEC 60300-1 and IEC 60300-2 are the IEC top-level standards that provide guidance on how to incorporate dependability, incorporating reliability, availability and maintainability, into manufactured products. The top-level standard on maintainability is the application guide for maintainability, IEC 60300-3-10, which forms part of the IEC 60300-3 series of standards. It can be used to implement a maintainability programme covering the initiation, development and in-service phases of a product, which form part of the tasks described in IEC 60300-2. It also provides guidance on how the maintenance aspects of the tasks should be considered in order to achieve optimum maintainability.

MAINTENABILITÉ DE MATÉRIEL –

Partie 3: Vérification et recueil, analyse et présentation de données

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60706 décrit les différents aspects de la vérification nécessaire permettant d'assurer que les exigences de maintenabilité spécifiées pour une entité ont été respectées et elle fournit les procédures et méthodes d'essai adaptées. Bien qu'il est recommandé que la vérification de la maintenabilité en elle-même soit une partie imposée de tout programme de maintenabilité (voir la CEI 60300-3-10), chaque cas individuel exige des méthodes appropriées devant être sélectionnées avec attention afin d'assurer l'optimum économique global.

Cette norme traite aussi du recueil, de l'analyse et de la présentation des données de maintenabilité qui peuvent être requises pendant et en fin de la conception, de la production et de l'utilisation de l'entité.

2 Références normatives

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

CEI 60050(191):1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service*

CEI 60300-3-5, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-5: Guide d'application – Conditions des essais de fiabilité et principes des essais statistiques*

CEI 60300-3-10:2001, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-10: Guide d'application – Maintenabilité*

CEI 60300-3-12, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-12: Guide d'application – Soutien logistique intégré*

CEI 60300-3-14, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-14: Guide d'application – Maintenance et support de maintenance*

CEI 60706-2, *Maintenabilité de matériel – Partie 2: Exigences et études de maintenabilité pendant la phase de conception et de développement*²

CEI 61160, *Revue de conception (disponible en anglais seulement)*³

CEI 61649, *Procédures pour le test d'adéquation, les intervalles de confiance et les limites inférieures de confiance pour les données suivant la distribution de Weibull*

CEI 61710, *Modèle de loi en puissance – Test d'adéquation et méthodes d'estimation des paramètres*

² A publier.

³ La deuxième édition de la CEI 61160 date de 2005. Elle existe actuellement seulement en anglais, mais elle remplace la première édition, parue en 1992, qui existait en anglais et en français.

MAINTAINABILITY OF EQUIPMENT –

Part 3: Verification and collection, analysis and presentation of data

1 Scope

This part of IEC 60706 describes the various aspects of verification necessary to ensure that the specified maintainability requirements of an item have been met and provides suitable procedures and test methods. While maintainability verification as such should be a mandatory part of any maintainability programme (see IEC 60300-3-10), each individual case requires appropriate methods to be carefully selected in order to ensure overall cost-effectiveness.

This standard also addresses the collection, analysis and presentation of maintainability related data, which may be required during, and at the completion of, design and during item production and operation.

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 (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

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

IEC 60300-3-10:2001, *Dependability management – Part 3-10: Application guide – Maintainability*

IEC 60300-3-12, *Dependability management – Part 3-12: Application guide – Integrated logistic support*

IEC 60300-3-14, *Dependability management – Part 3-14: Application guide – Maintenance and maintenance support*

IEC 60706-2, *Maintainability of equipment – Part 2 – Section Five: Maintainability studies during the design phase*²

IEC 61160, *Design review*

IEC 61649, *Goodness-of-fit tests, confidence intervals and lower confidence limits for Weibull distributed data*

IEC 61710, *Power law model – Goodness-of-fit tests and estimation methods*

² To be published.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050(191) s'appliquent, ainsi que ceux qui suivent.

3.1

équipement sélectionné par le client

partie de l'entité considérée qui a été spécialement sélectionnée par le client

NOTE Généralement, le fournisseur n'a pas le contrôle de la maintenabilité de cette partie, mais il convient de la considérer lors de la conception de l'entité. Une coopération entre le client et le fournisseur est nettement souhaitable.

3.2

démonstration de maintenabilité

activité pratiquée sur des dispositifs individuels, ou bien des échantillons, destinée à montrer la conformité à une exigence spécifique de maintenabilité et/ou à fournir des données de maintenabilité

3.3

vérification de maintenabilité

opération de surveillance, examens, ou bien l'ensemble des deux, exercée dans le but de déterminer, par le titulaire du contrat, la conformité d'un dispositif aux exigences de maintenabilité spécifiées

3.4

concept de maintenance

relation entre les échelons de maintenance, les niveaux d'indentation et les niveaux de maintenance à appliquer pour la maintenance d'une entité

3.5

politique de maintenance

approche générale pour la prévision de la maintenance et du support de maintenance, fondée sur les objectifs et règles des propriétaires, utilisateurs et clients

3.6

centre de support logiciel

service centralisé de maintenance logicielle

4 Introduction à la vérification de maintenance

4.1 Objectif de la vérification

L'objectif est de vérifier que les exigences qualitatives et quantitatives de maintenabilité ont été respectées dans les limites spécifiées pour l'aptitude à la fonction. Cela inclut la vérification que l'activité définie de maintenance a restauré l'entité dans l'état d'aptitude à la fonction prévu. La vérification s'applique au matériel, au logiciel et aux équipements de maintenance.

La vérification de la maintenabilité est un processus d'évaluation des résultats expérimentaux de maintenabilité. Cette évaluation peut commencer dès que des données et des résultats sont disponibles et il peut continuer tout au long du projet et s'étendre en exploitation.

Cela est développé plus loin en fonction

- des exigences qualitatives de maintenabilité, voir Article 5,
- des exigences quantitatives de maintenabilité, voir Article 6.

Les procédures de démonstration sont décrites dans l'Article 7.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050(191), together with the following definitions, apply.

3.1

customer selected equipment

portion of the item under consideration which has been specially selected by the customer

NOTE Generally the supplier has no control over the maintainability of this portion, but it should be considered in the design of the item. Cooperation between customer and supplier is clearly desirable.

3.2

maintainability demonstration

activity performed on individual items or samples to indicate achievement of a specific maintainability requirement and/or to generate maintainability data

3.3

maintainability verification

monitoring actions, inspections or both for the purpose of determining compliance by the contractor with the maintainability requirements specified for an item

3.4

maintenance concept

interrelationship between the maintenance echelons, the indenture levels and the levels of maintenance to be applied for the maintenance of an item

3.5

maintenance policy

general approach to the provision of maintenance and maintenance support based on the objectives and policies of owners, users and customers

3.6

software support centre

centralized software maintenance service

4 Introduction to maintainability verification

4.1 Objective of verification

The objective is to verify that both qualitative and quantitative maintainability requirements have been met within the specified performance limitations. This includes verification that the defined maintenance activity has restored the item to the specified performance level. The verification is applicable to hardware, software and maintenance facilities.

Maintainability verification is a process of assessing the results of maintainability experience. This assessment can begin as soon as data and results are available and may continue throughout the project and extend into field use.

This is further expanded with respect to

- qualitative maintainability requirements, see Clause 5,
- quantitative maintainability requirements, see Clause 6.

Demonstration procedures are described in Clause 7.

4.2 Concepts de support de maintenance influençant la vérification de maintenabilité

En procédant à la vérification de maintenabilité, il convient d'avoir présent à l'esprit le fait que les éléments suivants de la logistique de maintenance ont une influence décisive sur l'efficacité du processus de maintenance:

- moyens de maintenance;
- équipements liés au soutien logistique;
- matériel de support logistique;
- personnel de maintenance et formation;
- documentation technique et manuels;
- conditions de transport, de manutention et de magasinage.

La CEI 60300-3-14 donne des détails sur le support de maintenance.

4.3 Méthodes de vérification

La vérification de maintenabilité est un processus continu de génération, recueil, analyse et d'évaluation de données de maintenabilité exploitant ces dernières dès leur disponibilité au cours du développement du projet et comparant les résultats avec les exigences de maintenabilité spécifiées.

Les méthodes de vérification de maintenabilité diffèrent selon la phase du programme, comme indiqué ci-après:

- a) analyse et revue. Cela inclut l'analyse des données d'expérience, les comparaisons avec les résultats des revues de conception et des prédictions de maintenabilité. Cela peut inclure ultérieurement des données d'exploitation lors du cycle de vie ;
- b) études spéciales. Elles sont conduites durant les phases de concept et de définition, ou de conception et développement, pour examiner les problèmes généraux ou de détail. On peut citer comme exemples: études de facilité de maintenance, analyses des opérations de maintenance et études de simulations ;
- c) essais de démonstration. Ils sont effectués à la fin de la phase de conception et développement sur des prototypes ou des exemplaires de pré-production, si les moyens d'analyse ou les études spéciales n'ont pas suffisamment mis en évidence la conformité aux exigences spécifiées de maintenabilité ;
- d) revue des données en phase opérationnelle. La vérification peut s'appuyer sur l'expérience en exploitation et la revue de données d'exploitation, en corrélation si cela est approprié, avec l'examen et l'analyse des retours expérimentaux ;
- e) simulation en imagerie tridimensionnelle. La simulation 3D sur ordinateur des opérations de maintenance peut être réalisée au moment opportun dans le processus de conception afin de vérifier que le séquençement proposé des opérations, l'accessibilité et l'environnement du lieu de travail permettent l'accomplissement du niveau de maintenabilité requis.

4.4 Processus de vérification

Les éléments de procédure du processus de vérification sont les suivants:

- a) identification et activation des sources possibles de données
lors des premières phases du projet, seules des données d'expériences antérieures issues des entités comparables peuvent être utilisées. Ensuite, des données de conception, de fabrication, d'essai et enfin d'exploitation deviennent disponibles. Dans ce contexte, les démonstrations de maintenabilité fournissent une source de données spéciale pour la génération de données de maintenabilité dans des conditions simulées ;

4.2 Maintenance support concepts influencing maintainability verification

When performing maintainability verification, it should be borne in mind that the following maintenance support elements have a decisive influence on the effectiveness of the maintenance process:

- maintenance facilities;
- support equipment;
- material support;
- maintenance personnel and training;
- technical documentation and manuals;
- transportation, handling and storage conditions.

IEC 60300-3-14 contains further details on maintenance support.

4.3 Methods of verification

Maintainability verification is a continuous process of generating, collecting, analysing and evaluating maintainability related data as they become available in the course of project development, and comparing results with specified maintainability requirements.

Methods of maintainability verification differ according to the programme phase, as follows:

- a) analysis and review. This includes analysis of historical data, comparisons with the results of design reviews and maintainability predictions. This may include analysis of field data later in the life cycle;
- b) special studies. Conducted during the concept and definition or design and development phases to investigate general or detailed problems. Examples include ease-of-maintenance studies, maintenance task analysis and simulation studies;
- c) demonstration tests. Performed at the end of the design and development phase on prototype or early production items, if the analytical means or special studies do not give sufficient evidence as to whether maintainability conforms to specified requirements.
- d) review of operational experience. Verification may be left to operational experience and review of field data, correlated, if appropriate, with the review and analysis of historical data;
- e) spatial imaging simulation. Three-dimensional computer simulations of maintenance actions may be performed at appropriate times throughout the design process to verify that the proposed sequence of actions, access and other workspace considerations support the achievement of the required level of maintainability.

4.4 Verification process

The procedural elements of the verification process are as follows:

- a) identification and activation of possible sources of data
in the early project phases, only historical data of comparable previous items can be used. Later, design, manufacturing, test and finally field data become available. Maintainability demonstrations in this context provide a special data source for the generation of maintainability data under simulated conditions;

- b) acquisition et analyse des données
cela concerne le recueil, la revue et le tri des données afin d'en assurer l'applicabilité ;
- c) évaluation
traitement des données en utilisant des modèles mathématiques ou des listes de contrôle en vue d'obtenir des caractéristiques quantitatives ou des propriétés qualitatives de la maintenabilité ;
- d) comparaison avec les exigences
les résultats de l'évaluation sont comparés avec les caractéristiques et propriétés de maintenabilité pour vérifier que les exigences de maintenabilité sont respectées.

En outre, les renseignements suivants sont nécessaires à une vérification de maintenabilité complète.

- e) plan de maintenance de l'entité
le plan de maintenance de l'entité est l'application du concept de maintenance à l'entité et il convient qu'il soit défini pour l'interprétation des données d'expériences antérieures et de données d'autres sources. Le plan de maintenance définit aussi les conditions et les contraintes de la maintenance et le support nécessaire dans le processus de vérification de maintenabilité ;
- f) données de fiabilité
des indicateurs pertinents de fiabilité, tels que la fréquence attendue des opérations de maintenance, peuvent être exigés pour le calcul de certains indicateurs de maintenabilité à partir de temps estimés ou observés concernant des opérations élémentaires de maintenance. Les données de fiabilité auront aussi une influence sur certains aspects de la vérification tels que l'établissement de priorités, conditionnant ainsi des préalables à l'évaluation. Si ces informations sont non disponibles ou incomplètes, des hypothèses devront être établies. La qualité des informations disponibles et les hypothèses faites auront une influence sur la pertinence des résultats de la vérification.

4.5 Conditions et contraintes

Il convient que le client spécifie des méthodes ou bien que le titulaire en sélectionne, et qu'elles soient décrites dans le plan du programme de maintenabilité (comme détaillé dans la CEI 60706-2). Les points suivants sont à prendre en considération dans le cadre des décisions à prendre parmi les différentes procédures de vérification relatives à chaque exigence de maintenabilité.

- a) ressources disponibles
dans le cas où une limite budgétaire est fixée contractuellement, cet élément aura une influence sur le choix des méthodes de vérification. La future utilisation possible des moyens de vérification sera considérée ;
- b) critères d'acceptation
les critères d'acceptation pour chaque exigence de maintenabilité spécifiée sont à prendre en considération quand seront mises en balance les exigences de coûts et de délais ;
- c) contraintes de temps
le choix entre les méthodes de vérification peut être restreint par des exigences affectant la disponibilité des résultats en temps utile. Il convient que la procédure soit structurée en respectant le calendrier global du programme ;
- d) simulation en imagerie tridimensionnelle
cela peut être utilisé si les échantillons pour essai ou les moyens de support ne sont pas disponibles à temps ;

- b) acquisition and analysis of data
data collection, review and screening to ensure their applicability;
- c) evaluation
processing of data using mathematical models or checklists to obtain quantitative characteristics or qualitative properties of maintainability;
- d) comparison with requirements
the results of the evaluation are compared with specified maintainability characteristics and properties to check whether maintainability requirements are met;

In addition, the following information is necessary for a complete maintainability verification.

- e) item maintenance plan
the item maintenance plan is the application of the maintenance concept to that item and should be defined for the interpretation of both historical data and data from other sources. The maintenance plan also defines conditions and constraints on maintenance and support to be considered in the process of maintainability verification;
- f) reliability data
relevant reliability indices, such as the expected frequency of maintenance actions, may be required for the calculation of some maintainability indices from estimated or observed times for single maintenance actions. Reliability data will also affect aspects of verification such as establishing priorities, thus giving prerequisites for evaluation. If this information is not available or is incomplete, assumptions should be stated. The quality of available information and the assumptions made will affect the relevancy of verification results.

4.5 Conditions and constraints

Methods should be specified by the customer or selected by the contractor and described in the maintainability programme plan (as detailed in IEC 60706-2). The following should be considered in deciding between alternative verification procedures related to each maintainability requirement.

- a) resources available
if a budget limit is contractually specified, this will influence the selection of verification methods. Possible future usability of verification facilities should be taken into account;
- b) acceptance criteria
The acceptance criteria for each specified maintainability requirement should be considered in a trade-off against cost and time requirements;
- c) time constraints
The choice between verification methods may be restricted by requirements affecting the timely availability of results. The procedure should be structured in accordance with the overall development programme schedule;
- d) spatial imaging simulation
This may be used if test samples and support equipment are not available when needed;

- e) disponibilité des échantillons pour essai et/ou des moyens de support
particulièrement lorsque des essais de démonstration de la maintenabilité doivent être effectués, il convient de s'assurer que le calendrier des essais est en accord avec le calendrier global du programme, et que les échantillons pour essai ainsi que les équipements adéquats nécessaires sont disponibles en temps voulu dans la période envisagée pour les essais ;
- f) niveau de compétence et expérience des analystes en maintenabilité
vérification de maintenabilité. Fondée sur les revues de conception ou des analyses, elle appelle un personnel expérimenté et hautement qualifié pour l'analyse des schémas et plans ;
- g) risques de décisions erronées
il convient de les estimer en fonction de la complexité de l'entité ainsi que de la qualité et de la quantité des données d'expériences antérieures ;
- h) exigences particulières en matière de support
le contrôle nécessaire de l'équipement, des moyens, de la qualification du personnel, etc. doit être effectué au moment opportun dans le calendrier ;
- i) influence des conditions ou hypothèses environnementales
tout écart par rapport à l'environnement opérationnel en matière de maintenance et/ou de matériel de vérification, de moyens, de rechange, de niveau de compétence, etc. doit être particulièrement étudié ;
- j) recueil des données
il convient que les exigences concernant le recueil de données représentatives de la maintenabilité durant les essais et l'exploitation soient clairement identifiées. Cela inclut les formats, les codes et le traitement des données ;
- k) relation client-titulaire du contrat
il convient que toute autorité en matière de surveillance, de refus ou de contrôle assurée par le client soit clairement définie ;
- l) garanties et cautions en matière de maintenabilité
il est recommandé que les conséquences contractuelles résultant du non-respect des exigences de maintenabilité ou des critères d'acceptation soient spécifiées, par exemple sous forme de pénalités ou bien de pertes de primes ;
- m) réalisme de la vérification
la vérification de maintenabilité suppose une représentation réaliste de l'environnement opérationnel et des techniciens de maintenance proche de ce qui est prévu dans le contexte opérationnel.

4.6 Procédures de vérification qualitative et quantitative

Le processus de vérification de la maintenabilité est orienté en vue de fournir des informations adéquates et en temps opportun sur le degré de satisfaction des exigences de maintenabilité. Comme ces exigences peuvent être exprimées sous formes qualitative ou quantitative, la procédure de vérification de maintenabilité doit être conçue en conséquence, en utilisant l'une des méthodes suivantes de vérification, ou bien une combinaison d'entre elles:

- analyse et revue;
- étude de conception, essais et simulation en 3D;
- démonstration par des essais ou bien durant la phase opérationnelle.

Les aspects qualitatifs et quantitatifs de la vérification de maintenabilité peuvent être couverts par un choix de méthodes, comme cela est indiqué au Tableau 1.

- e) availability of test samples and/or support equipment
especially when maintainability demonstration tests are to be conducted, it should be ensured that the test schedule is in agreement with the overall programme schedule, and that the test samples and the support equipment required are readily available during the time period envisaged for the test;
- f) skill level and experience of maintainability analysts
maintainability verification, based on design reviews or analysis, calls for highly qualified and experienced personnel to analyse drawings and plans;
- g) risk of wrong decisions
These should be assessed with regard to the item's complexity and the quality and amount of historical data;
- h) special support requirements
the necessary checkout equipment, facilities, personnel qualification, etc. need to be available at the appropriate time in the schedule;
- i) influence of environmental conditions or assumptions
Any deviation from the operational environment in terms of maintenance/checkout equipment, facilities, spares, personnel skill level, etc. should be particularly assessed;
- j) data collection
the requirements concerning the collection of representative maintainability data during test and operation should be clearly identified. This includes formats, codes and data processing;
- k) customer-contractor relationship
any monitoring, rejection or control authority assumed by the customer should be clearly defined;
- l) maintainability warranties and guarantees
Contractual consequences of not meeting maintainability requirements or acceptance criteria should be specified, for example, in terms of penalties or loss of incentives;
- m) realism of verification
The maintainability verification should include realistic representation of the operational environment and maintenance technicians that are representative of those that would be expected in the operational environment.

4.6 Qualitative and quantitative verification procedures

The maintainability verification process is directed towards providing adequate and timely information concerning the degree of achievement of maintainability requirements. Since these requirements may be expressed in qualitative or in quantitative form, the maintainability verification procedure shall be designed accordingly, using one of the following methods of verification or a combination of them:

- analysis and review;
- design studies, tests and spatial imaging simulation;
- demonstration by testing or during operational use.

Both qualitative and quantitative aspects of maintainability verification can be covered by an appropriate choice of methods, as indicated in Table 1.

Tableau 1 – Procédures de vérification qualitative et quantitative de la maintenabilité

Type de procédure		Analyse et revue	Etudes de conception et essais	Démonstration	En phase opérationnelle
Procédure de vérification qualitative	Revue de conception	X			
	Revue de l'expérience issue d'essais	X	X	X	
	Etudes de simplicité de maintenance		X		
	Revue de l'analyse des opérations de maintenance	X		X	
	Revue de l'expérience opérationnelle				X
	Simulation en imagerie tridimensionnelle			X	X
Procédure de vérification quantitative	Prédictions de maintenabilité	X	X		
	Vérification basée sur des données d'essais		X	X	
	Vérification basée sur des données d'exploitation				X

5 Procédures de vérification qualitative de maintenabilité

5.1 Revue de conception

La maintenabilité qualitative peut être vérifiée pendant la revue de conception générale de l'entité en évaluant la documentation de conception par rapport à un ensemble d'exigences et de normes d'ingénierie (voir CEI 61160).

Selon la nature du projet, il convient qu'une liste de contrôle concernant les caractéristiques spécifiques de maintenabilité soit utilisée comme ligne directrice.

Ce type de recherche nécessite une bonne évaluation technique des caractéristiques de maintenabilité et il conviendra de s'appuyer sur une expérience antérieure. Ceci peut être appliqué au stade de la conception, en tant que partie des pratiques techniques courantes visant à améliorer la conception par étapes. Afin de vérifier la maintenabilité, la revue de projet est généralement uniquement utilisée en combinaison avec quelques autres méthodes.

5.2 Revue de l'expérience issue d'essais

Les données provenant de la phase opérationnelle ne sont généralement pas disponibles, ou disponibles trop tard pour la vérification en temps utile de la maintenabilité. Cependant, de telles données peuvent être obtenues dans les premières phases du projet grâce à des essais spécifiques conduits dans un environnement représentatif simulé. Pour être représentatives et reproductibles, il convient que les conditions d'essai soient clairement définies. Les principaux écarts peuvent être découverts lorsque d'autres approches restent possibles.

Table 1 – Qualitative and quantitative maintainability verification procedures

Type of procedure		Analysis and review	Design studies and tests	Demonstration	During operational use
Qualitative verification procedures	Design review	X			
	Review of test experience	X	X	X	
	Ease-of-maintenance studies		X		
	Review of maintenance task analysis	X		X	
	Review of operational experience				X
	Spatial imaging simulation		X	X	
Quantitative verification procedures	Maintainability prediction	X	X		
	Verification based on test data		X	X	
	Verification based on field data				X

5 Procedures for verification of qualitative maintainability

5.1 Design review

Qualitative maintainability can be verified during the general product design review by evaluating design documentation against a set of design requirements and engineering standards (see IEC 61160).

Depending on the nature of the project, a checklist addressing specific maintainability features should be used as a guideline.

This type of investigation requires good engineering assessment of maintainability characteristics of a design and should be based on previous experience. It can be applied in the design stage as part of normal engineering practice for step-by-step design improvement. For maintainability verification purposes, design review is generally used only in combination with some other method.

5.2 Review of test experience

Data from operational use are usually unavailable or too late for timely maintainability verification. However, such data might be gained in earlier project stages in development trials or by special demonstration tests in a realistic, simulated environment. To be representative and reproducible, the test conditions should be clearly defined. Any deviations from reality should be assessed. The main discrepancies can be discovered when alternative approaches are still possible.

5.3 Etudes de facilité de maintenance

Des réponses rapides à des questions habituelles de maintenabilité peuvent être apportées par des études de facilité orientées vers la résolution de problèmes spécifiques. Il suffit qu'une maquette ou qu'une simulation 3D soit disponible pour que ces problèmes soient analysés directement. Dans certains cas, une maquette virtuelle peut être utilisée (modélisation tridimensionnelle (3D) sur ordinateur). Des informations plus claires sont alors rassemblées pour vérifier la maintenabilité, par exemple pour

- l'accessibilité pour l'utilisation des outils de maintenance,
- l'accessibilité à l'emplacement où la maintenance est nécessaire,
- la durée des différentes opérations sous différentes conditions,
- l'espace de travail disponible,
- la faisabilité de travaux de maintenance simultanés, par des membres d'équipes de maintenance différentes, la complexité physique des opérations de maintenance,
- la faisabilité de l'objectif de la démonstration, exigences et objectif,
- les précautions de sécurité vis-à-vis des hautes tensions et des hautes températures.

5.4 Revue de l'analyse des opérations de maintenance

L'analyse des opérations de maintenance est liée aux ressources nécessaires pour accomplir la maintenance. Typiquement, elle constitue une partie du processus d'organisation de maintenance qui précède le déploiement opérationnel. L'analyse des opérations de maintenance est une composante essentielle de la procédure de la logistique intégrée de support décrite dans la CEI 60300-3-12 et abordée aussi dans la CEI 60300-3-14.

Une revue de l'analyse des opérations de maintenance peut être utilisée pour la vérification qualitative.

5.5 Revue de l'expérience opérationnelle

Une évaluation de la maintenabilité qualitative d'une entité peut être réalisée en observant son comportement en exploitation. Dans ce contexte, les questions d'intérêt spécifique sont les suivantes:

- a) adéquation du concept prédéfini de maintenance et de support
 - existe-t-il des difficultés imprévisibles quant à l'environnement opérationnel ?
 - y a-t-il eu une consommation excessive de pièces de rechange ?
- b) adéquation des outils et équipements d'essai
 - t a-t-il suffisamment de points de d'essai pour les contrôles ?
 - des outils ou équipements d'essai complémentaires sont-ils nécessaires ?
- c) niveau de compétence du personnel exigé pour réaliser les opérations de maintenance
 - est-ce que des problèmes de maintenance résultent d'une formation inadéquate ou bien d'aspects techniques liés à des facteurs humains ?
 - est-ce que le niveau de compétence est approprié ?
- d) faisabilité des opérations de maintenance
 - les procédures de contrôle sont-elles adaptées au diagnostic des pannes et à leur isolement ?
 - les unités remplaçables sont-elles correctement accessibles ?
- e) adéquation des manuels techniques
 - les instructions de maintenance sont-elles complètes et compréhensibles ?

5.3 Ease-of-maintenance studies

Quick answers to typical maintainability questions may be offered by ease-of-maintenance studies directed towards the solution of special problems. Should a mock-up or 3D-CAD of the item be available, these problems can be investigated directly. In some cases a virtual mock-up can be used (three dimensional (3D) computer modelling). Clearer information is then gained for maintainability verification purposes, for example on

- clearances for use of maintenance tools,
- accessibility where maintenance is needed,
- duration of different tasks under different conditions,
- available work space,
- feasibility of simultaneous maintenance work by different team members, physical complexity of maintenance tasks;
- feasibility of the demonstration goal, requirement or objective;
- safety precautions concerning high voltages or high temperatures.

5.4 Review of maintenance task analysis

Maintenance task analysis is concerned with the resources needed to accomplish maintenance. Typically, it forms part of the maintenance planning process which precedes operational deployment. Maintenance task analysis is an essential part of the integrated logistic support procedure described in IEC 60300-3-12 and is also discussed in IEC 60300-3-14.

A review of the maintenance task analysis may be used for qualitative verification.

5.5 Review of operational experience

An assessment of the qualitative maintainability of an item can be achieved by observing its behaviour during operation. The following are questions of specific interest in this context:

- a) Adequacy of the pre-defined maintenance and support concept
 - Are there any unforeseen difficulties from the operational environment?
 - Has there been any excessive consumption of spares?
- b) Suitability of tools and test equipment
 - Are sufficient test points provided for check-out purposes?
 - Are any additional tools or test equipment necessary?
- c) Personnel skill level required to perform maintenance actions
 - Are maintenance problems induced by inadequate training or by human engineering aspects?
 - Is the skill level required appropriate?
- d) Feasibility of maintenance actions
 - Are established checkout procedures adequate for failure diagnosis and isolation?
 - Are replaceable units properly accessible?
- e) Adequacy of technical manuals
 - Are the maintenance instructions comprehensive and understandable?

f) aspects logiciels de la maintenabilité

les logiciels nécessaires au processus de maintenance ont-ils été pris en considération de manière adéquate, par exemple vis-à-vis des essais, des formations et des manuels techniques ?

g) précautions de sécurité

y a-t-il possibilité de situations à risque lors des opérations de maintenance ?

Ces informations sur les pratiques et problèmes en exploitation permettent une évaluation réaliste des propriétés qualitatives de maintenabilité. Cependant, elles exigent de disposer d'une longue période pour établir et examiner les observations.

6 Procédures pour la vérification de la maintenabilité quantitative

6.1 Prédiction de maintenabilité

Les prédictions de maintenabilité peuvent être effectuées soit sur l'entité complète, soit sur des niveaux d'indentation plus bas. Une prédiction peut être acceptée comme vérification quand le risque lié à la conception est faible ou quand le client considère que la conformité est obtenue pendant le développement de manière suffisamment évidente.

La prédiction de maintenabilité est décrite dans la CEI 60706-2.

6.2 Vérification fondée sur des essais de démonstration

Des données de maintenance peuvent être obtenues dans un délai relativement court à partir d'essais de démonstration de maintenabilité dans un environnement simulé, en utilisant une maquette ou un programme de simulation 3D. Cela constitue une voie pour vérifier contractuellement la conformité. Dans ce cas, il convient que le recueil de données soit simple puisqu'il est intégré dans la procédure globale d'essai et qu'il fait partie des programmes de travail du personnel menant les essais.

Cependant, il convient que les résultats soient revus en ce qui concerne les écarts par rapport aux données opérationnelles dus à une simulation inadéquate de l'environnement. Quand cela est possible, il convient que les différences significatives soient compensées en appliquant des facteurs de correction.

Voir l'Article 7 pour plus de détails sur la démonstration de maintenabilité.

6.3 Vérification fondée sur des données d'exploitation

Les données de maintenance recueillies lors de l'exploitation d'une entité représentent la source optimale d'information sur les caractéristiques quantitative de maintenance. Afin de permettre des conclusions correctes issues de ces données, il convient que celles-ci incluent au minimum:

- l'identification de l'entité, ensemble sous-ensemble, etc.;
- le motif de l'opération de maintenance;
- le type d'opération de maintenance effectuée; ce peut être soit une maintenance planifiée (par exemple, entretien, contrôle étalonnage, révision, renouvellement de pièce) une maintenance non planifiée (par exemple, réparation sur site, retrait et remplacement, réparation en atelier);
- le nombre d'hommes-heures relatif à l'opération de maintenance;
- le temps écoulé pour l'opération de maintenance;
- la durée totale d'indisponibilité (durée d'indisponibilité due à l'opération de maintenance, délai d'intervention);

f) Software aspects of maintainability

Have software elements required in the maintenance process been adequately considered, for example, with respect to testing, training and technical manuals?

g) Safety precautions

Is there any possibility of a hazardous situation during maintenance actions?

This information on the operational practices and problems allows for a realistic assessment of qualitative maintainability properties. However, it requires a long period for establishing and reviewing observations.

6 Procedures for verification of quantitative maintainability

6.1 Maintainability predictions

Maintainability predictions can be performed either for the complete item or at lower indenture levels. A prediction may be accepted as a verification where design risk is small or where the customer considers that sufficient evidence of compliance has been obtained during development.

Maintainability prediction is described in IEC 60706-2.

6.2 Verification based on demonstration tests

Maintenance data can be obtained in a relatively short time from limited maintainability demonstration tests in a simulated environment, using a prototype, mock-up or a 3D simulation program. This is one way of contractually verifying compliance. In this case, data collection should be simple since it is integrated into the overall test procedure and is part of the working routines of the test personnel.

However, results should be reviewed for any deviations from operational data due to inadequate environmental simulation. Where possible, significant differences should be offset by the use of application factors.

See Clause 7 for details of maintainability demonstration.

6.3 Verification based on field data

Maintenance data collected during the operational use of an item represent the optimum source of information on the quantitative maintainability characteristics. To enable proper conclusions to be drawn from these data, they should include, as a minimum:

- identification of the item, assembly, subassembly, etc;
- reason for the maintenance action;
- type of maintenance action performed; this may be either scheduled maintenance (e.g. servicing, inspection, calibration, overhaul, renewal of parts) or unscheduled maintenance (e.g. repair on site, removal and replacement, shop repair);
- man-hours for maintenance action;
- elapsed time for maintenance action;
- total maintenance downtime (active maintenance downtime, maintenance delay time);

- durée de fonctionnement de chaque entité;
- nombre de personnes dans l'équipe de maintenance et leur niveau de compétence;
- utilisation des équipements d'essai et/ou de contrôle;
- visite de maintenance;
- consommation en pièces de rechange et en matières.

L'évaluation statistique de ces données sur une période suffisamment longue peut constituer une base réaliste pour la vérification quantitative de la maintenabilité. Les données d'exploitation constituent une source instructive d'informations pour les projets ultérieurs. Elles pourraient alors servir de base de données fiable pour la vérification de maintenabilité.

Cependant, cette procédure ne peut être appliquée que dans la phase d'exploitation. Elle demande du temps et nécessite un système efficace de recueil de données. Par conséquent, les résultats ne sont disponibles que tardivement dans le programme de développement.

7 Procédure de démonstration

7.1 Généralités

Les démonstrations de maintenabilité ne sont qu'un aspect du processus global de vérification. Cependant, les résultats de démonstration constituent souvent l'unique base contractuelle pour la vérification de maintenabilité avant livraison de l'entité. L'essentiel de la démonstration de maintenabilité est résumé ci-après.

7.2 Processus de démonstration

Les étapes de la démonstration de maintenabilité incluent ce qui suit:

a) essais de faisabilité

des essais sont habituellement effectués sur des maquettes, des exemplaires de développement ou en utilisant des programmes de simulation 3D lors de la phase de développement de l'entité. Le propos est de générer des informations sur la facilité de maintenance, les durées d'installation, de maintenance et de réparation ;

b) essais de conception

des essais, par exemple, menés concouramment avec les revues de conception préliminaires, mais non utilisés officiellement pour la qualification et le plus souvent hors de la surveillance des représentants du client. Les résultats sont documentés et ils peuvent servir à augmenter la confiance dans les estimations de la maintenabilité. Les essais de conception peuvent être effectués sur les exemplaires prototypes ou de production ;

c) démonstration formelle

la démonstration formelle peut constituer une partie de la qualification officielle et il convient qu'elle soit effectuée sur des exemplaires de présérie ou de série. Elle est effectuée conformément à des conditions approuvées mutuellement et elle est contrôlée par des représentants du client.

7.3 Planification de la démonstration

Il est recommandé qu'un plan d'essais et de démonstration constitue une partie du plan du programme de maintenabilité. Il convient qu'il soit le document de base de planification pour tous les essais formalisés de maintenabilité et qu'il comprenne:

- a) une liste des opérations de démonstration incluant les coûts, comprenant les éléments de logiciel, sélectionnés selon les critères suivants :

- operational hours for each item;
- number and skill level of maintenance team;
- utilization of test/check-out equipment;
- maintenance access;
- spares and material consumption.

Statistical evaluation of these data over a sufficient time period may yield a realistic basis for quantitative maintainability verification. Field data form an instructive source of information for use in later projects. They could then serve as a reliable historical database for maintainability verification.

However, this procedure can be applied only in the operational phase. It is time consuming and requires an efficient data collection system. The results are therefore available only late in the development programme.

7 Demonstration procedures

7.1 General

Maintainability demonstrations are only one aspect of the overall maintainability verification process. However, demonstration results are often the only contractual basis for a maintainability verification before delivery of the item. The essentials of the demonstration procedure are therefore summarized below.

7.2 Demonstration process

Steps in the maintainability demonstration may include the following:

a) feasibility testing

tests are usually performed on mock-ups, engineering models or using three-dimensional simulation programs during the development of an item. The purpose is to generate information on ease-of-maintenance, installation and maintenance and repair times;

b) design testing

tests, for example, concurrent with preliminary design reviews, but not officially used for qualification and usually not monitored by customer's representatives. Results are documented and may serve to improve confidence in maintainability estimates. Design testing may be performed on prototypes or production items;

c) formal demonstration

formal demonstration may be part of official qualification and should be performed on pre-production or production items. It is performed according to mutually approved conditions and monitored by the customer's representatives.

7.3 Demonstration planning

A test and demonstration plan should form a part of the maintainability programme plan. It should be the basic planning document for all formal maintainability tests and should include the following:

- a) a list of demonstration tasks with costs, including software elements, selected according to the following criteria:

- maintenance préventive. Il convient que les opérations représentatives soient sélectionnées à partir de l'utilisation opérationnelle planifiée de l'entité ;
- maintenance corrective. Il convient que les opérations soient sélectionnées pour couvrir un pourcentage représentatif du temps total prédit de réparation.

Les méthodes de sélection des opérations sont exposées à l'Article A.2.

- b) Une description de l'équipe d'essais et des responsabilités de chacun. La composition et les responsabilités de l'équipe sont définies en termes
- d'organisation de l'équipe,
 - de responsabilités spécifiques,
 - de qualifications, nombres, sources de recrutement et exigences de formation pour le personnel de l'équipe d'essais (voir l'Article A.4).
- c) Une liste de matériel de support, de moyens et de documentation incluant:
- les paramètres de maintenabilité à démontrer;
 - la description des limitations d'accès et leur maintenance;
 - les outils de maintenance, équipement d'essai et de contrôle, incluant les équipements d'essai automatiques;
 - la définition des manuels techniques requis pour le fonctionnement et la maintenance;
 - le dysfonctionnement, etc.;
 - les pièces de rechange et matériaux consommables;
 - l'équipement et les procédures de sécurité;
 - équipement d'étalonnage;
 - description des moyens de maintenance spécifiques.
- d) Description des procédures d'essai pour la démonstration. Les méthodes et procédures statistiques d'essai sont données dans le Tableau A.1.
- e) Règles concernant la répétition d'essais.

7.4 Conditions et contraintes

Il convient d'intégrer les essais de démonstration dans le programme général de développement et d'essais de qualification, de sorte que soient assurés l'efficacité économique de la démonstration et la disponibilité en temps utile des exemplaires d'essai, du personnel et des moyens.

Les équipements qui sont hors du champ de responsabilité du titulaire du contrat, c'est-à-dire ceux sélectionnés par le client, peuvent être exclus de la démonstration.

Cependant, il convient que le titulaire du contrat assure que la maintenabilité de ces équipements n'est pas dégradée pendant la démonstration par des interfaces contraires aux équipements du propriétaire.

7.5 Démonstration après modification

Il convient que les déficiences soient corrigées pour toute entité qui n'a pas satisfait aux exigences spécifiées. Il convient que les parties modifiées ou bien concernées d'une autre façon soient à nouveau soumises à essai. Les modifications ou les restrictions aux conditions d'accès pour la maintenance exigent d'effectuer à nouveau les essais pour les éléments affectés.

- preventive maintenance. Representative tasks should be selected from the planned operational use of the item.
- corrective maintenance. Tasks should be selected to cover a representative percentage of the total predicted repair time.

Task selection methods are further discussed in Clause A.2.

- b) a description of the test team and their responsibilities and authority. The composition and responsibilities of this team should be defined in terms of
 - team organization,
 - specific responsibilities,
 - qualifications, numbers, recruitment sources and training requirements for the test team personnel (see Clause A.4).
- c) a list of support material, facilities and documentation including:
 - maintainability parameters to be demonstrated;
 - description of access limitations and maintenance access;
 - maintenance tools, test and checkout equipment, including automatic test equipment;
 - definition of required technical manuals for operation and maintenance;
 - trouble-shooting, etc.;
 - required spares and consumable material;
 - safety equipment and procedures;
 - calibration equipment;
 - description of special-to-type maintenance facilities.
- d) description of the test procedure(s) for demonstration. Statistical test methods and procedures are tabulated in Table A.1.
- e) rules concerning retest.

7.4 Conditions and constraints

Demonstration tests should be integrated into the overall development and qualification test programme in order to assure cost effectiveness of demonstration and timely availability of test items, personnel and facilities.

Equipment not under the contractor's responsibility, i.e. customer selected equipment, may be excluded from the demonstration.

The contractor should, however, ensure that the maintainability of this equipment is not degraded during the demonstration by adverse interfaces with his own equipment.

7.5 Demonstration after modification

Deficiencies should be corrected in any item that has failed to meet specified requirements. Portions modified, or otherwise affected by the correction, should be re-tested. Modification or restriction of the maintenance access conditions requires retest of all the elements affected.

8 Éléments de la procédure de vérification

8.1 Utilisation des sources de données

Les types suivants d'information peuvent être utilisés pour la vérification de la maintenabilité dans les phases correspondantes du projet:

- données d'expériences antérieures ou similaires;
- données de conception et de fabrication;
- données de démonstration et d'exploitation.

Toutes les sources possibles pour chacune des catégories ci-dessus peuvent être fournies comme première étape de la procédure de vérification (voir 9.3 pour plus de détails).

8.2 Acquisition des données et analyse

Les données d'expériences antérieures issues d'exploitation et les coûts associés peuvent être extraits de sources officielles et de documentations pertinentes, en fonction des disponibilités. Des recueils systématiques de données existent, notamment dans les domaines de l'aviation civile et militaire, de l'avionique, de l'électronique et autres domaines industriels. Cependant, leur accès est parfois limité à certains groupes d'utilisateurs. Certaines compagnies ont des données de maintenance sur leurs entités et peuvent en extraire des données pertinentes.

Les données de conception et de fabrication peuvent être obtenues à partir de plans et d'observations, par exemple, à partir du programme d'assurance de qualité relatif aux contrôles et aux réparations. Si la vérification de la maintenabilité doit être fondée non sur des données d'expériences antérieures ou de conception, mais sur des données propres à l'entité, elles peuvent être générées par des essais de démonstration, des études spécifiques ou l'exploitation. Un système intégré de recueil de données peut enregistrer toutes les données de défaillances et de maintenance. Il convient que le recueil de données soit compatible avec les besoins en matière:

- d'évaluation des données d'essais destinées à la vérification;
- de pratiques opérationnelles afin de faciliter la poursuite de la vérification dans la phase d'exploitation, ce qui signifie qu'il convient que toutes les opérations soient identifiables en terme de service de maintenance assumé par le client; l'organisation, les procédures et les responsabilités sont à spécifier en détail (voir Article 9).

Des ajustements ou des troncatures peuvent être nécessaires pour l'un ou plusieurs des raisons suivantes:

a) similarité de systèmes

l'entité à l'origine de la fourniture des données est-il similaire à celui en évaluation?

b) modifications de conception

la validité des données a-t-elle été affectée par des changements quelconques de conception ou de configuration, tels que l'accessibilité ?

c) politique de maintenance

la transposition des données est-elle affectée par des différences de politiques de maintenance?

d) conditions de maintenance

les données étaient-elles basées sur les mêmes normes, en ce qui concerne la compétence du personnel, les outils et moyens de maintenance, les équipements de contrôle?

8 Elements of the verification procedure

8.1 Utilization of data sources

The following types of information can be utilized for maintainability verification in subsequent project phases:

- historical data on similar items;
- design and manufacturing data;
- demonstration and field data.

All possible sources for each of the above categories should be provided as a first step in the verification procedure (see 9.3 for details).

8.2 Data acquisition and analysis

Historical data on field maintenance and related costs should be taken from official sources and relevant publications, as available. Systematic data collections exist, notably in military and civil aviation, avionics, electronics and other industrial fields. However, access is sometimes limited to certain user groups. Some companies have maintenance experience on their products and can extract relevant data.

Design and manufacturing data can be obtained from drawings and observations, for example, routine quality assurance monitoring and rework. If the maintainability verification is to be based not on historical or design data but on actual system data, the data can be generated through demonstration tests, special studies or operational use. An integrated data collection system should record all failure and maintenance data. The data collection system should be compatible with the needs of the following:

- test data evaluation for verification;
- operational practices, to facilitate continuation of the verification into the operational phase which means that all tasks should be identifiable in terms of the customer's maintenance services; the organization, procedures, and responsibilities for data collection should be specified in detail (see Clause 9).

Adjustments or censoring of the data may be necessary for one or more of the following reasons.

- a) system similarity
is the item that provided historical data similar to the one to be evaluated?
- b) design modifications
has the validity of the data been affected by any design or configuration changes such as access?
- c) maintenance concept
is data transferability influenced by different maintenance concepts?
- d) maintenance conditions
were the data based upon the same standards, such as personnel skill, maintenance tools and facilities, check-out equipment?

e) environnement

les contraintes fonctionnelles et d'environnement tout au long de la période de recueil des données (exploitation, essais) sont-elles comparables avec celles prévues pour l'entité?

f) procédure de recueil de données

cette procédure peut-elle être considérée comme fiable?

Il convient d'examiner toutes les données et de les trier avant leur application à la vérification de maintenabilité. Des ajustements peuvent être effectués en appliquant des facteurs corrigeant des écarts de technologie et de procédures

8.3 Evaluation

8.3.1 Evaluation qualitative

Les données qualitatives sont évaluées en utilisant les listes de contrôle de conception de la maintenabilité, qui constituent l'outil principal d'analyse de la maintenabilité qualitative. Normalement, elles consisteront en une partie générale contenant les critères normalisés et une autre partie spécifique au système (voir Article 5).

8.3.2 Evaluation quantitative

Les données quantitatives sont évaluées en utilisant des méthodes statistiques, des modèles mathématiques ou des études comparatives. Les méthodes suivantes sont applicables:

a) évaluation statistique des données d'exploitation

la maintenance en exploitation génère des données non traitées concernant un grand nombre d'opérations de maintenance sur une période donnée. Normalement, l'évaluation comprend la mise en ordre et les regroupements de données requis, la compilation des données dans les groupes et le calcul des indicateurs globaux de maintenance, tels que les hommes-heures par heure de fonctionnement ;

b) évaluation statistique des données d'essais

les essais de démonstration de maintenabilité sont utilisés pour évaluer le comportement d'une population totale à partir d'un échantillon limité soumis à des essais et en utilisant des critères d'acceptation/refus. Différentes méthodes d'essai peuvent être utilisées, selon les exigences de maintenabilité spécifiées. Afin d'aboutir à la conclusion, il convient que les temps de maintenance soient traités en accord avec les méthodes d'essai prescrites. Aucune caractéristique absolue de maintenabilité n'est obtenue en suivant cette procédure, mais on dispose plutôt d'affirmations de nature probabiliste pour l'atteinte d'exigences données associées à des risques définis ;

c) évaluation des données d'expériences antérieures et de conception

les données de maintenabilité basées sur l'expérience antérieure sur une entité similaire ou bien sur des informations provenant de la conception et de la fabrication peuvent être utilisées. Elles constituent des entrées pour les modèles mathématiques conçus pour le calcul analytique des caractéristiques de maintenabilité prescrites. La structure du modèle dépend de la nature des données.

8.3.3 Exceptions et exclusions

Les procédures d'évaluation données ci-dessus établissent quels sont les événements à exclure du traitement. Normalement, de tels événements comprendront:

- la maintenance associée aux défaillances du matériel d'essai;
- la maintenance résultant de défaillances secondaires liées à la méthode de simulation de défaillance;
- les réparations des dommages accidentels, etc.

e) environment

are functional and environmental stresses throughout the period (operation, tests) of data collection comparable with those expected for the item?

f) data collection procedure

can this procedure be considered reliable?

All data should be examined and screened before application to maintainability verification. Any adjustments may be achieved by application factors allowing for deviations in technology, conditions or procedures.

8.3 Evaluation

8.3.1 Qualitative evaluation

Qualitative data are evaluated using maintainability design checklists, which are the principal tool for qualitative maintainability analysis. They will normally consist of a general part containing standardized criteria and another part that is specific to the system (see Clause 5).

8.3.2 Quantitative evaluation

Quantitative data are evaluated using statistical methods, mathematical models or comparative studies. The following are applicable methods:

a) statistical evaluation of operational data

field maintenance generates unprocessed data on numerous maintenance actions over a given period. The evaluation normally includes ordering and grouping of data as required, compilation of data within groups and calculation of overall maintainability indices, such as man-hours per operating hour;

b) statistical evaluation of test data

maintainability demonstration tests are used to assess the behaviour of a total population from a limited test sample using acceptance/rejection criteria. Various test methods can be used, depending on the specified maintainability requirements. Maintenance times should be processed in accordance with prescribed statistical methods, in order to reach a final decision. No absolute maintainability figures are obtained by this procedure, but, rather, probability statements for the achievement of given requirements under defined risks;

c) evaluation of historical and design data

maintainability data based on previous experience with a similar item or direct design and manufacturing information can be used. These form an input to mathematical models designed for the analytical computation of prescribed maintainability figures. The structure of the model depends on the type of data.

8.3.3 Exceptions and exclusions

The evaluation procedures given above should state which events are to be excluded from consideration. Normally these will include the following:

- maintenance associated with failure of test instrumentation;
- maintenance due to secondary failure resulting from the failure simulation method;
- repair of accident damage, etc.

8.4 Comparaison

La dernière étape du processus de vérification est la comparaison des résultats avec les exigences spécifiées. Différentes questions peuvent être posées dans ce contexte:

- Le résultat de l'évaluation peut-il être considéré comme statistiquement significatif?
- Le résultat satisfait-il aux exigences de maintenabilité spécifiées?
- Le résultat s'écarte-t-il significativement des résultats expérimentaux obtenus avec des systèmes antérieurs comparables?

Il convient que les conséquences d'échecs liés au non-respect des exigences de maintenabilité spécifiées ou des critères d'acceptation soient spécifiées dans le contrat.

9 Recueil, analyse et présentation des données de maintenabilité

9.1 Généralités

Cet article fournit un aperçu des considérations devant être prises en compte et concernant le recueil, l'analyse et la présentation des données de maintenabilité.

Les données de maintenabilité sont requises à plusieurs étapes du cycle de vie d'une entité, et ceci à des fins d'évaluation.

Le recueil, l'analyse et la présentation des données de maintenabilité peuvent être requis pendant et à la fin de la phase de conception et pendant la fabrication et l'exploitation d'une entité. De telles données sont habituellement soumises par le fournisseur de l'entité à l'utilisateur dans un rapport de données de maintenabilité qui présente les données ainsi que leur rationnel.

Les principales caractéristiques préoccupantes sont la durée des indisponibilités et des interventions des opérations de maintenances préventives et correctives. Il convient aussi de fournir une information de support à la maintenance définissant le personnel et les moyens requis.

Dans la présentation des données de maintenabilité, il est important de considérer la politique de maintenance, les définitions des termes, la description des sources de données, les procédures d'analyse et la méthode de présentation des données. Le contenu proposé pour chacun de ces éléments est indiqué dans l'Article 8.

9.2 Politique de maintenance

Afin d'obtenir une compréhension claire des données de maintenabilité devant être présentées, il est essentiel de définir la politique de maintenance particulière à cette entité à laquelle s'appliquent les données. La liste de contrôle ci-dessous illustre la nature des informations usuellement requises.

Les informations suivantes sur la politique de maintenance sont nécessaires:

- référence de l'entité;
- description de l'entité;
- fonction de l'entité;
- date;
- politique de maintenance
 - compétences exigées,
 - exigences pour les équipements de support,

8.4 Comparison

The last step in the verification process is the comparison of results with specified requirements. Various questions may be raised in this context:

- can the result of the evaluation be considered statistically significant?
- does the result meet specified maintainability requirements?
- does the result deviate significantly from experience with comparable previous systems?

The consequences of failure to meet specified maintainability requirements or acceptance criteria should be stated in the contract.

9 Collection, analysis and presentation of maintainability data

9.1 General

This clause provides an overview of the considerations involved in the collection, analysis and presentation of maintainability related data.

Maintainability related data are required at several points during the item life cycle for evaluation purposes.

Collection, analysis and presentation of maintainability related data may be required during and at the completion of design and during item production and operation. Such data are typically submitted by the item supplier to the intended user in a maintainability data report which presents the data along with the supporting rationale.

Key maintainability characteristics of concern are corrective and preventive active maintenance downtime and man-hours. Maintenance support information should also be provided defining the personnel and facilities required.

In the presentation of maintainability related data, it is important to consider the maintenance concept, the definitions of terms, the description of data sources, the analysis procedures and the method for displaying the data. The suggested scope for each of these factors is outlined in Clause 8.

9.2 Maintenance concept

To provide a clear understanding of the maintainability related data to be presented, it is essential to define the particular item maintenance concept applying to the data. The checklist below illustrates the type of information typically required.

The following maintenance concept information is necessary:

- item reference;
- item description;
- item function;
- date;
- maintenance concept
 - skill requirements,
 - support equipment requirements,

- exigences pour la documentation technique,
- exigences en matière de formation.

Les informations relatives à la politique de maintenance peuvent être fournies pour plusieurs échelons de maintenance selon les nécessités, par exemple sur l'entité elle-même, au niveau local ou bien au niveau du centre de dépôt logistique.

9.3 Sources de données

9.3.1 Généralités

Les données de maintenabilité peuvent provenir de diverses sources telles que:

- données d'expériences antérieures provenant d'entités similaires;
- données de la conception et/ou de la fabrication de l'entité;
- données de démonstration et d'exploitation de l'entité.

Elles peuvent être exprimées sous forme de valeurs spécifiquement adaptées (vraies, prédites, estimées, extrapolées) de mesures fondamentales de maintenabilité tel que MTTR.

Les éléments à prendre en considération pour décrire chacune des sources de données sont donnés ci-après.

9.3.2 Données d'expériences antérieures

Il convient que l'origine des données d'expériences antérieures (par exemple l'exploitation, l'atelier de réparation, le centre de support logiciel) et l'entité sur laquelle les données sont basées soient décrits ainsi que les raisons pour lesquelles elles s'appliquent à l'entité actuelle. Il convient que les méthodes utilisées pour le recueil des données, ainsi que la formation et la compétence du personnel de maintenance soient établies. Il convient que les écarts qui pourraient affecter l'utilisation des données d'expériences antérieures à l'entité considérée soient discutés.

Il convient que les données d'expériences antérieures soit tout d'abord utilisées pendant la phase de concept et de définition et pour l'établissement des spécifications. Dans les phases ultérieures du cycle de vie, il convient qu'elles soient considérées en relation avec les données réelles obtenues sur l'entité. Elles peuvent aussi servir comme source complémentaire d'informations pour la vérification de maintenabilité (voir Article 6).

9.3.3 Données provenant de la conception et/ou de la fabrication de l'entité

Si les données de maintenabilité sont obtenues à partir de données générées pendant les phases de conception et de développement et de fabrication (par exemple, essais en phase de développement, opération de production et d'assemblage) en utilisant des analyses de conception, des logiciels de prédiction ou 3D, la méthode utilisée doit être identifiée. Il convient qu'une argumentation expose pourquoi la méthode a été choisie et appliquée, en notant les limites éventuelles sur la précision des données. La CEI 60706-2 expose des méthodes d'analyse et d'évaluation de conception.

Les données provenant de la conception et/ou de la fabrication peuvent être utilisées pour servir de base:

- à la qualification et l'acceptation de l'entité par rapport aux exigences de maintenabilité;
- à la revue de la pertinence des données d'expériences antérieures et de la validité des précédentes évaluations de maintenabilité;
- au calendrier de maintenance préventive;
- à l'amélioration de la maintenance corrective;
- à la réduction des coûts de maintenance.

- technical documentation requirements,
- training requirements.

The information regarding the maintenance concept may be provided for several lines of maintenance as required, e.g. on-item, local, depot/support centre.

9.3 Data sources

9.3.1 General

Maintainability related data may be obtained from several sources including the following:

- historical data from similar items;
- item design/manufacturing data;
- item demonstration and field data.

They may be expressed in terms of modified values (true, predicted, estimated, extrapolated) of basic maintainability measures, such as MTTR.

Points to consider in describing each of the above data sources follow.

9.3.2 Historical data

The origin of the historical data (e.g. field operation, repair shop and software support centre) and the item on which they are based should be described and the reasons why they apply to the current item presented. Methods used to collect the data, together with training and skill levels of maintenance personnel observed should be stated. Discrepancies which might affect the applicability of historical data to the item under consideration should be discussed.

Historical data should be used primarily during the concept and definition phase and for specification purposes. In later phases of the item life cycle, they should be considered in relation to actual data obtained for the current item. They can also serve as an additional source of information for maintainability verification (see Clause 6).

9.3.3 Item design/manufacturing data

If maintainability related data are obtained from data generated during the design and development and manufacturing phases (e.g. development tests, production or assembly operations), through the use of design analysis, prediction or 3D software, the method used shall be identified. A discussion should be provided as to how the method was selected and applied, noting any possible limitation in data accuracy. IEC 60706-2 discusses design analysis and evaluation methods.

Design/manufacturing data may be used as the basis for the following:

- item qualification and acceptance with regard to maintainability requirements;
- review of the relevancy of historical data and the validity of previous maintainability assessments;
- preventive maintenance planning;
- corrective maintenance improvement;
- maintenance cost improvement.

9.4 Données provenant d'essais de démonstration et de l'exploitation de l'entité

Les données de maintenabilité peuvent être obtenues à partir d'essais de démonstration sur des maquettes, des prototypes ou des exemplaires de production, dans un environnement réel ou simulé, ou à partir de données générées lors de l'utilisation de l'entité (par exemple, centre logistique, atelier de réparation, ou exploitation). Il convient que les méthodes utilisées pour la sélection des opérations de maintenance, des techniques d'enregistrement et de surveillance des données soient décrites. Le niveau de compétence du personnel de maintenance et la formation qu'il a reçu sont à noter. Les Articles 5 et 6 débattent de plusieurs techniques de vérification de maintenabilité. Le retour des données d'essai et d'exploitation est un moyen fondamental pour soutenir les activités d'ingénierie pendant les phases de fonctionnement et de maintenance dans le cycle de vie de l'entité, et qui met en lumière les défauts de l'entité, tels que maintenabilité médiocre et les dysfonctionnements dans le support logistique de maintenance.

9.5 Procédures d'analyse

9.5.1 Généralités

Lors de la présentation des données de maintenabilité dans le cadre des essais de conformité et des essais de détermination (c'est-à-dire pour un niveau quantifié), il convient que les procédures d'analyse soient décrites. Les domaines importants sont:

- le choix des données;
- l'analyse des distributions;
- le calcul des paramètres.

9.5.2 Choix des données

Les mesures prises pour s'assurer de la précision, de la complétude et de la validité des données est décrite. Si des troncatures ont été effectuées, les raisons et les règles ayant mené à ces dernières sont présentées.

9.5.3 Analyse des distributions statistiques

Si les données doivent être l'objet d'une analyse statistique, il est nécessaire de déterminer les distributions. Il convient que la méthode d'essai de distribution soit décrite, avec les raisons du choix. Les méthodes usuelles incluent les essais de X^2 , de Kolmogorov-Smirnov et graphiques. L'Annexe B fournit des informations sur ces méthodes.

9.5.4 Calcul des paramètres

Les éléments de base pour le calcul de tous les paramètres de maintenabilité à présenter sont établis. Si les paramètres sélectionnés sont à calculer sur une base cumulée ou sur la base d'intervalles, la méthode utilisée est détaillée. Si des modèles mathématiques de maintenabilité sont utilisés, ils sont complètement décrits. L'Annexe B fournit des guides pour le calcul des moyennes arithmétique et géométrique, les intervalles de confiance, et les fractiles choisis, pour les distributions log-normale, normale, et multimodales qui sont les plus utilisées en maintenabilité. Pour d'autres types de distribution, les valeurs correspondantes sont disponibles dans les ouvrages de statistique. Pour les composants dont les défaillances sont soit de jeunesse, soit d'usure, la distribution de Weibull (CEI 61649) peut être utilisée. Pour les systèmes réparés ayant une intensité de défaillance non constante, le modèle de loi en puissance peut être utilisé (CEI 61710).

9.4 Item demonstration and field data

Maintainability related data may be obtained from demonstration tests on mock-ups, prototypes or production items in a true or simulated environment, or from data generated during item use (e.g. support centre, repair work shop or field operations). Methods for selecting maintenance actions, data monitoring and recording techniques should be described. The skill level of maintenance personnel and the training they received should be noted. Clauses 5 and 6 discuss several maintainability verification techniques. The feedback of demonstration and field data is the primary means of sustaining engineering activities during the operation and maintenance phase of the item life cycle, which highlights defects in the item, such as poor maintainability and shortcomings in the maintenance support system.

9.5 Analysis procedures

9.5.1 General

When presenting maintainability related data for compliance testing and for determination testing (i.e. to a quantified level), the analysis procedures used should be described. Matters of importance include:

- data editing;
- distribution analysis;
- parameter computation.

9.5.2 Data editing

Actions taken to assure the accuracy, completeness and validity of the data should be described. If any censoring is performed, the rules used and reasons for performing these operations should be presented.

9.5.3 Statistical distribution analysis

If the data are to be analysed statistically, it is necessary to determine the distribution. The method of testing the distribution should be described, with the reasons for selection. Common methods include the χ^2 , Kolmogorov-Smirnov and graphical tests. Annex B provides further information on these methods.

9.5.4 Parameter computation

The basis for computing all maintainability parameters to be presented should be stated. If selected parameters are to be computed on a cumulative or interval basis, the method to be used should be detailed. If maintainability mathematical models are to be used, they should be fully described. Annex B provides guidance on the computation of the arithmetic and geometric means, confidence limits and selected fractiles for the log-normal, normal and multi-modal distributions which are those most commonly used in maintainability. For other types of distribution, corresponding values can be found in statistical textbooks. For components where wear out or early failures are relevant, the Weibull distribution (IEC 61649) can be used. For repaired systems with non-constant failure intensity the power law model can be used (IEC 61710).

9.6 Présentation des données

9.6.1 Généralités

La présentation des données de maintenabilité est typiquement utilisée

- pour les opérations correctives,
- pour les opérations préventives,
- pour les modifications.

En outre, les données sur la logistique de maintenance sont présentées pour fournir le retour nécessaire d'informations.

Les données de maintenabilité sont normalement exprimées sous forme de paramètres définis dans la CEI 60050(191). Les termes utilisés, mais non inclus dans ce dernier document sont complètement définis en tant que partie de la présentation des données.

9.6.2 Maintenance corrective

La durée de maintenance corrective est habituellement exprimée en temps de réparation active, consistant en plusieurs sous-éléments. Le Tableau 2 est un formulaire type pour l'enregistrement des détails relatifs à une série d'éléments de réparation active d'une maintenance corrective. Le formulaire identifie les unités défaillantes (référence de l'unité), le type de défaillance (panne), les techniciens effectuant la maintenance, le nombre de personnes requis et les éléments individuels de la durée d'indisponibilité. De telles informations sont applicables aux données issues des essais de développement et d'exploitation.

Les données issues de sources d'expériences antérieures ou de prédiction peuvent être présentées sur la base d'une expérience exprimée sous forme de valeurs moyennes ou médianes, plutôt que sur une base individuelle (entité). Le Tableau 3 illustre un formulaire possible pour des données issues de ces sources avec des données d'essais résumées (moyennes). Dans ce formulaire, pour chaque sous-ensemble principal de l'entité, la durée moyenne de réparation active et ses sous-éléments sont montrés avec leur écart-type. Si cela est souhaitable, les fractiles sélectionnés peuvent être affichés au lieu de l'écart-type, par exemple le fractile 95 %.

D'autres paramètres utilisés pour caractériser la maintenance corrective comprennent:

- le taux de détection automatique de défaillance (entité en fonctionnement);
- le taux de remise en état automatique après défaillance;
- la localisation, automatique ou manuelle de défaillance, ainsi que la précision de la localisation;
- l'efficacité des procédures de réparation automatique ou manuelle;
- la moyenne ou le fractile du temps de remise en état active.

Les valeurs moyennes de ces paramètres peuvent être déduites des sources d'expériences antérieures ou de prédiction et des résumés de données d'essais.

9.6.3 Maintenance préventive

La présentation des données de maintenance préventive nécessite que la durée des opérations soit identifiée ainsi que leurs fréquences. Le Tableau 4 illustre la forme que ces données peuvent prendre. Les durées sont habituellement exprimées en terme de durée de maintenance préventive active. Les durées d'indisponibilité de maintenance préventive non active sont ajoutées si nécessaire. Pour faciliter le calendrier de maintenance, il est souhaitable d'estimer chaque opération en hommes-heures. En plus des informations détaillées sur les opérations, il convient qu'un résumé général des durées de maintenance préventive soit présenté.

9.6 Data presentation

9.6.1 General

Maintenance data presentation is typically developed for

- corrective actions,
- preventive actions,
- modification actions.

In addition, maintenance support data should be presented to provide necessary background information.

Maintainability related data are normally expressed in terms of parameters defined in IEC 60050(191). Terms used, but not included in the above-mentioned publication, should be fully defined as part of the data presentation.

9.6.2 Corrective maintenance

Corrective maintenance time is typically expressed in active repair time, consisting of several sub-elements. Table 2 presents a typical summary form for recording the details of a series of active repair elements included in corrective maintenance. The form identifies the failed unit (unit reference), the type of failure (fault), the technicians performing maintenance, the number of men required and the individual elements of downtime. Such information is applicable to data derived from development or operational tests.

Data derived from historical or prediction sources may be presented on the basis of experience expressed as average (mean) or median values rather than by individual data items. Table 3 illustrates a possible form for data from these sources with summarized (averaged) test data. In this form, for each major sub-unit of the item, the average active repair time and its sub-elements are shown with the standard deviations. If desired, selected fractiles can be displayed instead of the standard deviation, for example the 95 % fractile.

Other parameters used to characterize aspects of corrective maintenance include the following:

- automatic failure detection ratio (item operating);
- automatic failure recovery ratio;
- automatic or manual failure location, with stated accuracy of location;
- efficiency of automatic or manual repair procedures;
- mean or fractile active recovery time.

Average values for these parameters may be derived from historical or prediction sources and summarized test data.

9.6.3 Preventive maintenance

Presentation of preventive maintenance data requires that the duration of the tasks be identified along with their frequencies. Table 4 illustrates the form these data can take. The durations are usually expressed in terms of active preventive maintenance time. Observed non-active preventive maintenance downtime may be added when necessary. To aid maintenance planning, it is desirable to estimate maintenance man-hours for each task. In addition to the detailed task information, an overall summary of preventive maintenance times should be presented.

9.6.4 Modifications

Des modifications peuvent être rendues nécessaires pour accroître la performance d'une entité ou pour améliorer la fiabilité ou la maintenabilité. Cela peut intervenir à tout moment dans la vie de l'entité et il est économiquement viable de le faire et, sauf si cela est considéré comme urgent, ce sera fait le plus souvent lors d'une opération d'entretien ou lors de l'opportunité donnée par une maintenance corrective. Il est important de maintenir un système de contrôle de configuration précis et à jour et de s'assurer que les pièces de rechange et la documentation sont disponibles pour la maintenance et la réparation de l'entité modifiée.

Une décision de modifier un composant pour cause de fiabilité ou de maintenabilité médiocre fait souvent suite à une analyse de données mettant en lumière des domaines de faiblesse. Une fois que tout composant modifié a été introduit, il est nécessaire d'identifier séparément la partie modifiée afin d'établir à partir des données les plus récentes que la modification a atteint le résultat requis.

9.6.5 Données provenant de la logistique de maintenance

Les données provenant de la logistique de maintenance peuvent être nécessaires pour aider l'utilisateur de l'entité à planifier sa logistique. Les éléments essentiels des données s'appuient sur les informations concernant la politique de maintenance recommandée, les exigences en matière de formation, d'outils spéciaux et autres équipements de support logistique et aussi sur la documentation technique utilisée. En outre, les exigences de maintenance préventive sont détaillées en termes de:

- d'opérations principales de maintenance préventive;
- d'exigences relatives à la compétence du personnel et aux équipements de support logistique;
- d'impact de ces éléments sur l'indisponibilité et le nombre d'hommes-heures.

Des données complémentaires relatives à la logistique de maintenance et concernant les temps administratifs, la livraison et l'utilisation des pièces de rechange, etc. peuvent être ajoutées si nécessaire. Pour plus d'information sur la logistique de maintenance, voir la CEI 60300-3-14.

9.6.4 Modifications

Modifications may be required to enhance the performance of an item or to improve reliability or maintainability. They may be included at any time in the life of an item if it is economically viable to do so, and unless it is considered to be urgent, it will usually be installed during planned servicing or on an opportunity basis with corrective maintenance. It is important to maintain an accurate and up to date configuration control system and to ensure that spare parts and documentation is available for the maintenance and repair of the modified item.

A decision to modify a component for reasons of poor reliability or maintainability is likely to be derived from analysis of data from a maintenance data system highlighting particular areas of concern. Once any modified component has been fitted, it is necessary to separately identify the modified part in order to establish, from later data, that the modification has achieved the required result.

9.6.5 Maintenance support data

Maintenance support data may be required to aid the item user to plan for its support. Principal data elements should be supported by information on the recommended maintenance concept, training requirements, special tools or other support equipment and also the technical documentation used. Additionally, the preventive maintenance requirements should be detailed in terms of the following:

- major preventive maintenance tasks;
- requirements for personnel skills and support equipment;
- impact of these on downtime and man-hours.

Further maintenance support data regarding administrative times, spare parts usage and delivery, etc. may be added as required. For further information on maintenance support see IEC 60300-3-14.

Tableau 2 – Formulaire de synthèse des données relatives aux opérations de réparations actives

Numéro de l'opération	Référence de l'élément	Panne	Techniciens	Nombre de personnes	Temps de réparation active (heures)					Nombre d'hommes-heures
					Diagnostic	Délai technique	Remise en état	Contrôle final	Total	
1	UOI-1	CR-1		1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5
2	UOI-1	C-24		2	0,7	0,2	0,2	0,2	1,3	2,6
3	UOI-5									

UOI = Unité opérationnelle d'interchangeabilité.

Tableau 3 – Formulaire de synthèse des temps relatifs aux réparations actives

Référence de l'élément	Temps de diagnostic		Délai technique		Temps de remise en état		Temps de contrôle final		Total	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
UOI-1	0,2	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,5	0,05
UOI-5	0,7	0,1	0,2	0,05	0,2	0,05	0,2	0,05	1,3	0,09

UOI = unité opérationnelle d'interchangeabilité.

Tableau 4 – Synthèse relative à la maintenance préventive

Numéro de l'opération	Référence de l'élément	Description de l'opération	Fréquence spécifiée de l'opération	Procédure de l'opération (voir note)	Nombre de personne requis	Hommes-heures	Temps de maintenance préventive
1	UOI-1	Nettoyage du filtre à air (Pièce N° 627)	Toutes les 500 h	A-1	1	0,5	0,5
2	UOI-1	Remplacer les balais (Pièce N° 123)	Toutes les 2 000 h	A-2	2	1,5	0,75
3							

UOI = Unité opérationnelle d'interchangeabilité.

NOTE Référence de la procédure d'opération de maintenance préventive donnant une description détaillée des opérations à accomplir.

Table 2 – Active repair task data summary form

Task number	Unit reference	Fault	Technicians	Number of men	Active repair time sub elements (hours)					
					Diagnosis	Technical delay	Restoration	Final check	Total check	Man hours
1	LRA-1	CR-1		1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5
2	LRA-1	C-24		2	0,7	0,2	0,2	0,2	1,3	2,6
3	LRA-5									

LRA = Line-replaceable assembly.

Table 3 – Active repair time summary form

Unit reference	Diagnosis time		Technical delay		Restoration time		Final check time		Total time	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
LRA-1	0,2	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,5	0,05
LRA-5	0,7	0,1	0,2	0,05	0,2	0,05	0,2	0,05	1,3	0,09

LRA = Line-replaceable assembly.

Table 4 – Preventive maintenance summary

Task Number	Unit reference	Task description	Specified task frequency	Task procedure (see note)	Number of men required	Man hours	Active preventive maintenance time
1	LRA-1	Clean air filter (Part No. 627)	Every 500 h	A-1	1	0,5	0,5
2	LRA-1	Replace brushes (Part No. 123)	Every 2 000 h	A-2	2	1,5	0,75
3							

LRA = Line-replaceable assembly.

NOTE Reference to detailed description of preventive maintenance task procedure.

Annexe A (normative)

Procédures de démonstration de la maintenabilité

A.1 Méthodes d'essai de la maintenabilité

Les méthodes d'essai à appliquer dans le cadre de la démonstration de la maintenabilité dépendent des paramètres qui sont, soit spécifiés ou soit significatifs pour l'utilisation potentielle de l'entité.

Les méthodes d'essai statistique recommandées applicables à la maintenabilité sont résumées dans le Tableau A.1, où X représente le paramètre spécifié et où le numéro attaché à la méthode fait référence à la description de la méthode dans l'Annexe B.

Tableau A.1 – Méthodes d'essai

Méthode d'essai	Indicateur soumis à l'essai	Hypothèses	Tronqué ou progressif	Taille d'échantillon recommandée (approximativement)
1	Moyenne	Estimateur Log-normal de la variance vraie de $\ln X$	Tronqué	30
2	Moyenne	Estimateur de la variance vraie de X	Tronqué	30
3	Moyenne	Aucune	Tronqué	50
4	Fractile	Estimateur Log-normal de la variance vraie de $\ln X$	Tronqué	20
5	Voir note	Distribution Log-normal	Tronqué	20
6	Voir note	Aucune	Tronqué	Aucune
7	Voir note	Aucune	Progressif	Aucune

NOTE Pourcentage des temps de maintenance supérieurs à une valeur spécifiée.

A.2 Méthodes de sélection des opérations

Dans le cadre de la démonstration de la maintenabilité, il convient que les opérations de maintenance préventive et corrective soient démontrées séparément.

Chaque type d'opération de maintenance préventive est sélectionné par ordre de valeurs décroissantes du quotient:

$$\frac{t_p}{MDT_p}$$

où

t_p est la durée moyenne d'une opération de maintenance préventive;

MDT_p est la durée moyenne globale d'indisponibilité de maintenance préventive.

Annex A (normative)

Maintainability demonstration procedures

A.1 Maintainability test methods

The test methods to be applied in maintainability demonstration will depend on the parameters, which are either specified or else meaningful for a potential user of the item.

Recommended statistical maintainability test methods are summarized in Table A.1, where X denotes the specified parameter and the test method number refers to the description of the test method in Annex B.

Table A.1 – Test methods

Test method	Test index	Assumptions	Fixed or sequential	Recommended sample size (approximate)
1	Mean	Log-normal estimate of the true variance of $\ln X$	Fixed	30
2	Mean	Estimate of the true variance of X	Fixed	30
3	Mean	None	Fixed	50
4	Fractile	Log-normal estimate of the true variance of $\ln X$	Fixed	20
5	See note	Log-normal distribution	Fixed	20
6	See note	None	Fixed	None
7	See note	None	Sequential	None

NOTE Percentage of maintenance times above a specified value.

A.2 Task selection methods

In the maintainability demonstration, preventive and corrective maintenance tasks should be demonstrated separately.

Each type of preventive maintenance task should be selected in descending order of the values of the ratio:

$$\frac{t_p}{MDT_p}$$

where

t_p is the mean duration of a preventive maintenance task;

MDT_p is the mean overall preventive maintenance downtime.

Les opérations de maintenance sont sélectionnées selon l'une des approches suivantes, en retenant celle qui est la plus pratique compte tenu de la période de démonstration disponible:

- défaillance naturelle, c'est-à-dire dans le sens selon lequel les opérations se présentent dans une situation purement opérationnelle ou simulée d'un point de vue naturel;
- création de panne, c'est-à-dire lorsque les pannes sont délibérément induites au sein du dispositif pour observer les opérations de maintenance correspondantes.

L'échantillon de démonstration comprendra au moins n opérations individuelles, respectant les conditions suivantes:

$$n = \sum_i n_i$$

$$n_i = n \frac{\lambda_i}{\sum_i \lambda_i}$$

où

- n_i est le nombre d'opérations rattachées à une pièce spécifique i ayant pour taux de défaillance λ_i ;
- n est égal ou supérieur à la taille recommandée de l'échantillon indiqué dans le Tableau A.1.

A.3 Méthodes de création de pannes

Il convient que la situation de maintenance provoquée par la création d'une panne soit représentative des éléments de conception et de maintenance, tels que les indications de symptômes et procédures de réparations requises. Dans le cas d'entités électroniques, les défaillances entraînant des opérations de maintenance corrective peuvent résulter

- de déconnexions internes,
- de la mise à la masse,
- du remplacement d'un composant, d'un circuit ou d'un assemblage en bon état par un dispositif identique comportant le type de défaillance approprié,
- du retrait d'une carte ou d'un fil,
- de l'insertion d'un composant étranger à l'entité et non détectable, tel qu'une résistance de court-circuit destinée à simuler une condition de sortie de tolérance,
- d'un dérèglement délibéré,
- de l'utilisation de points de soudure sèche pour provoquer une intermittence.

NOTE L'expérience montre qu'il est très difficile de rendre défaillante une soudure sèche, comme souhaité. Il est donc recommandé pour les essais de démonstration de maintenabilité, de collecter des entités ayant montré en fabrication des pannes intermittentes.

Dans le cas des entités mécaniques, les défaillances engendrant des opérations de maintenance corrective peuvent être induites par:

- le remplacement d'une pièce ou d'un assemblage en bon état par un(e) autre possédant le type de défaillance approprié:
- un dérèglement délibéré;
- le blocage d'un mécanisme;
- le desserrage d'une pièce;

Corrective maintenance tasks should be selected by one of the following approaches, whichever is more practical with regard to the demonstration period available:

- natural failure, i.e. in the order in which the tasks occur naturally in an operational or simulated operational situation;
- fault inducement, i.e. faults are induced deliberately into the item and the consequent maintenance actions observed.

The demonstration sample should consist of at least n individual tasks, subject to the following considerations:

$$n = \sum_i n_i$$

$$n_i = n \frac{\lambda_i}{\sum_i \lambda_i}$$

where

n_i is the number of tasks allocated to a specific component i with failure rate λ_i ;

n is equal to or greater than the sample size recommended in Table A.1.

A.3 Fault inducement methods

The maintenance situation caused by fault inducement should be representative with respect to design and maintenance factors such as symptom indications and required repair procedures. In the case of electronic items, failures generating corrective maintenance tasks can be induced by

- internal disconnection,
- shorting to earth,
- replacement of a good part, circuit, or assembly with an identical item with an appropriate type failure,
- removing a circuit card or wire,
- insertion of extra non-detectable parts such as a bypass resistor to simulate an out-of-tolerance condition,
- deliberate misalignment,
- use of cold-solder joints to induce intermittent failures.

NOTE Experience shows that it is very difficult to make failing cold solder joints on purpose. It is therefore recommended to collect modules with intermittent failures from the production line for maintainability demonstration tests.

In the case of mechanical items, failures generating corrective maintenance tasks can be induced by:

- replacement of a good part or assembly with an identical item having an appropriate type failure;
- deliberate misalignment;
- jam an operating mechanism;
- loosen an appropriate item;

- le débranchement d'une alimentation;
- le désaccouplement d'une liaison.

Dans le cas des entités de logiciels, les défaillances engendrant des opérations de maintenance corrective peuvent être induites par

- l'insertion d'un code d'erreur,
- le retrait d'un code essentiel,
- la modification d'une routine de commande,
- la modification d'une variable d'un compteur,
- la désynchronisation de blocs communs,
- la re-direction erronée de résultats,
- l'insertion de code de panne qui ne provoque pas de panne évidente,
- le remplacement d'une variable décisionnelle par une constante.

A.4 Sélection du personnel

Il convient que les techniciens et le personnel d'encadrement impliqués dans la démonstration de maintenabilité soient représentatifs du personnel de maintenance prévu, pour ce qui concerne le niveau de compétence, la formation et l'expérience, à la fois sur le plan général et pour la spécificité de l'entité. Une procédure possible est de sélectionner un personnel du client, avec l'accord du titulaire du contrat.

Les responsabilités de l'équipe de démonstration comprennent l'exécution et la surveillance des opérations de maintenance, l'évaluation des données, la surveillance de la préparation des essais, la revue et l'appréciation des résultats d'essais et la préparation des rapports d'essais.

- disconnect power source;
- disconnect an appropriate linkage.

In the case of software items, failures generating corrective maintenance tasks can be induced by:

- insertion of faulty code,
- removal of essential code,
- modify command routing,
- change a counter index variable,
- deliberately mismatch common blocks,
- misdirect results,
- insert faulty code that will not produce an obvious fault,
- replace a decision variable with a constant.

A.4 Personnel selection

Technicians and supervisory personnel involved in the maintainability demonstration should be representative of normal maintenance personnel with respect to skill level, education, training and experience, both general and specific to the item. A possible procedure is to select them from customer personnel, with contractor's approval.

The responsibilities of the demonstration team should include execution and surveillance of maintenance operations, data evaluation, monitoring of test preparations, review and judgement of test results and preparation of test reports.

Annexe B (normative)

Méthodes d'essai pour la démonstration de maintenabilité

B.1 Généralités

L'Annexe B identifie les méthodes d'essai statistiques que l'on peut appliquer pour vérifier le respect des exigences de maintenance quantitative décrites dans l'Article 8. Elles peuvent être appliquées à toutes les démonstrations de maintenabilité quand les événements de maintenance sont statistiquement indépendants. Il convient que les conditions d'essai soient représentatives des conditions réelles d'utilisation.

B.2 Méthode d'essai 1

Indicateur d'essai: Essai sur la moyenne, par ex. MACMT

Hypothèses: Temps de maintenance corrective active, ACMT, peut être décrit de façon adéquate par une distribution log-normale. La variance du logarithme de ACMT, $\tilde{\sigma}^2$ est connue, à partir d'informations antérieures

Hypothèses d'essai: Hypothèse nulle H_0 : moyenne $\mu \leq \mu_0$
Hypothèse alternative H_1 : moyenne $\mu > \mu_0$

Probabilité d'acceptation, P_a : $P_a = 1 - \alpha$ pour $\mu = \mu_0$
 $P_a = \beta$ pour $\mu = \mu_1$
 $\alpha =$ risque de type I, $\beta =$ risque de type II, $\mu_1 > \mu_0$

Taille de l'échantillon, n :
$$n = \frac{(u_{1-\alpha}\mu_0 + u_{1-\beta}\mu_1)^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2} (e^{\tilde{\sigma}^2} - 1)$$

où

$\tilde{\sigma}^2$ est une estimation antérieure de la variance des logarithmes des temps de maintenance corrective active, et $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ sont les écarts-type;

μ_0 est la valeur moyenne minimale acceptable d'une mesure de maintenabilité, par ex. MACMT;

μ_1 est la moyenne de MACMT entraînant un refus

NOTE Les valeurs de μ_0 et μ_1 sont données dans le contrat où elles sont déduites des exigences du client.

Taille minimale de l'échantillon: 30

Annex B (normative)

Maintainability demonstration test methods

B.1 General

Annex B identifies statistical test methods which should be applied to verify the fulfilment of quantitative maintainability requirements, as described in Clause 8. They may be applied to all maintainability demonstrations when the maintenance events are statistically independent. The test conditions should be representative of the actual use conditions.

B.2 Test method 1

Test index: Test on the mean, e.g. MACMT

Assumptions: Active corrective maintenance time, ACMT, can be adequately described by a log-normal distribution. The variance of the logarithm of ACMT, $\tilde{\sigma}^2$ is known from prior information.

Tested hypotheses: Null hypothesis H_0 : mean $\mu \leq \mu_0$
Alternative hypothesis H_1 : mean $\mu > \mu_0$

Probability of acceptance, P_a :
 $P_a = 1 - \alpha$ for $\mu = \mu_0$
 $P_a = \beta$ for $\mu = \mu_1$
 $\alpha =$ type I risk, $\beta =$ type II risk, $\mu_1 > \mu_0$

Sample size, n :
$$n = \frac{(u_{1-\alpha}\mu_0 + u_{1-\beta}\mu_1)^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2} (e^{\tilde{\sigma}^2} - 1)$$

where

$\tilde{\sigma}^2$ is a prior estimate of the variance of the logarithms of active corrective maintenance times, and $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ are standardized normal deviates;

μ_0 is the minimum acceptable mean value of a maintainability measure, e.g. MACMT;

μ_1 is the mean of MACMT for rejection.

NOTE Values of μ_0 and μ_1 are given in the contract or are derived from customer requirements.

Minimum sample size: 30.

Procédure décisionnelle: A partir d'un échantillon tiré au hasard de n temps de maintenance corrective active x_1, x_2, \dots, x_n , calculer la moyenne de l'échantillon

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

et sa variance: $s^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 \right)$

Accepter H_0 si $\bar{x} \leq \mu_0 + u_{1-\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}}$
sinon refuser H_0

B.3 Méthode d'essai 2

Indicateur d'essai: Essai sur la moyenne, par ex. MACMT

Hypothèses: Pas d'hypothèses spécifiques concernant la distribution des temps de maintenance active préventive, ACMT. La variance de ACMT, $\tilde{\sigma}^2$, est connue à partir d'informations antérieures

Hypothèses d'essai: Voir méthode d'essai 1

Probabilité d'acceptation, P_a : Voir méthode d'essai 1

Taille de l'échantillon, n :
$$n = \tilde{\sigma}^2 \left(\frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{\mu_1 - \mu_0} \right)^2$$

où $\tilde{\sigma}^2$ est une estimation antérieure de la variance des temps de maintenance corrective active, et $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ sont les écarts-type
Taille minimale de l'échantillon: 30

Procédure décisionnelle: Voir méthode d'essai 1

B.4 Méthode d'essai 3

Indicateur d'essai: Essai sur la moyenne, par ex. MACMT

Hypothèses: Aucune

Hypothèses d'essai: Voir méthode d'essai 1

Probabilité d'acceptation, P_a : Voir méthode d'essai 1

Taille de l'échantillon, n :
$$n = \tilde{\sigma}^2 \left(\frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{\mu_1 - \mu_0} \right)^2$$

où $\tilde{\sigma}^2$ est la variance d'un échantillon de temps de maintenance corrective active, et $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ sont les écarts-type
Taille minimale de l'échantillon: 50

Procédure décisionnelle: Voir méthode d'essai 1

Decision procedure: From a random sample of n active corrective maintenance times x_1, x_2, \dots, x_n compute the sample mean

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

and the sample variance: $s^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 \right)$

Accept H_0 if $\bar{x} \leq \mu_0 + u_{1-\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}}$

reject H_0 otherwise.

B.3 Test method 2

Test index: Test on the mean, e.g. MACMT

Assumptions: No specific assumption concerning the distribution of active corrective maintenance times, ACMT, is made. The variance of ACMT, $\tilde{\sigma}^2$, is known from prior information.

Tested hypotheses: See test method 1

Probability of acceptance P_a : See test method 1

Sample size, n :
$$n = \tilde{\sigma}^2 \left(\frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{\mu_1 - \mu_0} \right)^2$$

where $\tilde{\sigma}^2$ is a prior estimate of the variance of the active corrective maintenance times, and $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ are standardized normal deviates.

Minimum sample size: 30.

Decision procedure: See test method 1.

B.4 Test method 3

Test index: Test on the mean, e.g. MACMT

Assumptions: None

Tested hypotheses: See test method 1

Probability of acceptance P_a : See test method 1

Sample size, n :
$$n = \tilde{\sigma}^2 \left(\frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{\mu_1 - \mu_0} \right)^2$$

where $\tilde{\sigma}^2$ is the sample variance of a sample of active corrective maintenance times, and $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ are standardized normal deviates.

Minimum sample size: 50.

Decision procedure: See test method 1

B.5 Méthode d'essai 4

Indicateur d'essai: Essai sur un fractile

Hypothèses: ACMT est décrit correctement par une distribution log-normale, et $\tilde{\sigma}^2$ est connu à partir d'informations antérieures

Hypothèses d'essai: Hypothèse nulle H_0 : $x_p \leq T_0$
 Hypothèse alternative H_1 : $x_p > T_0$
 x_p est le fractile d'ordre p de X , T_0 est le temps spécifié séparant les régions d'acceptation et de refus du fractile de temps soumis à l'essai

Probabilité d'acceptation, P_a : $P_a = 1 - \alpha$ pour $x_p = T_0$
 $P_a = \beta$ pour $x_p = T_1$
 α = risque de type I, β = risque de type II, $T_1 > T_0$

Taille de l'échantillon, n : $n = \left(1 + \frac{u_p^2}{2} \right) \tilde{\sigma}^2 \left(\frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{\ln T_1 - \ln T_0} \right)^2$ (arrondi à l'entier supérieur)

où $\tilde{\sigma}^2$ est l'estimation antérieure de σ^2 , et $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ et u_p sont les écarts-type

Taille minimale de l'échantillon: 20 (approximativement)

Procédure décisionnelle: A partir d'un échantillon tiré au hasard de n temps de maintenance corrective active x_1, x_2, \dots, x_n , calculer la moyenne de l'échantillon de $\ln x_i$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$$

$$\text{et sa variance: } s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - n\bar{y}^2 \right]$$

Calculer alors

$$U = \ln T_0 + u_{1-\alpha} \cdot s \left[\frac{1}{n} + \frac{u_p^2}{2(n-1)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Accepter H_0 si $\bar{y} + u_p s \leq U$

Sinon refuser H_0

B.6 Méthode d'essai 5

Indicateur d'essai: Proportion ACMT au-dessus d'une valeur spécifiée

Hypothèses: ACMT est correctement décrit par une distribution log-normale

B.5 Test method 4

Test index: Test on a fractile

Assumptions: ACMT is adequately described by a log-normal distribution, and $\tilde{\sigma}^2$ is known from prior information.

Tested hypotheses: Null hypothesis H_0 : $x_p \leq T_0$
 Alternative hypothesis H_1 : $x_p > T_0$
 x_p is the fractile of order p of X , T_0 is the specified time separating the accept and reject regions of the tested time fractile.

Probability of acceptance P_a : $P_a = 1 - \alpha$ for $x_p = T_0$
 $P_a = \beta$ for $x_p = T_1$
 $\alpha =$ type I risk, $\beta =$ type II risk, $T_1 > T_0$

Sample size, n :
$$n = \left(1 + \frac{u_p^2}{2} \right) \tilde{\sigma}^2 \left(\frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{\ln T_1 - \ln T_0} \right)^2$$
 (round up to next integer)

where $\tilde{\sigma}^2$ is a prior estimate of σ^2 , and $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ and u_p are standardized normal deviates.

Minimum sample size: 20 (approximately).

Decision procedure: From a random sample of n active corrective maintenance times x_1, x_2, \dots, x_n compute the sample mean of $\ln x_i$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$$

$$\text{and the sample variance: } s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - n\bar{y}^2 \right].$$

Then compute

$$U = \ln T_0 + u_{1-\alpha} \cdot s \left[\frac{1}{n} + \frac{u_p^2}{2(n-1)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Accept H_0 if $\bar{y} + u_p s \leq U$

Reject H_0 otherwise.

B.6 Test method 5

Test index: ACMT proportion above a specified value

Assumptions: ACMT is adequately described by a log-normal distribution

Hypothèses d'essai Hypothèse nulle H_0 : $P_r[X > T] \leq p_0$
 Hypothèse alternative H_1 : $P_r[X > T] > p_0$
 où $P_r[X > T]$ est la probabilité que la variable aléatoire X soit plus grande que le temps T

Probabilité d'acceptation, P_a : $P_a = 1 - \alpha$ pour $\Pr[X > T] = p_0$
 $P_a = \beta$ pour $\Pr[X > T] = p_1$
 α = risque de type I, β = risque de type II, $p_1 > p_0$

Taille de l'échantillon, n : $n = \left(1 + \frac{k^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{u_{1-p_0} - u_{1-p_1}}\right)^2$ (arrondi à l'entier supérieur),
 où $k = \frac{u_{1-\alpha} \cdot u_{1-p_1} + u_{1-\beta} \cdot u_{1-p_0}}{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}$ et $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}, u_{1-p_0}, u_{1-p_1}$
 sont les écarts-type

Taille minimale de l'échantillon: 20

Procédure décisionnelle: A partir d'un échantillon tiré au hasard de n temps de maintenance corrective active x_1, x_2, \dots, x_n , calculer la moyenne de l'échantillon de $\ln x_i$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$$

$$\text{et sa variance } s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - n\bar{y}^2 \right]$$

Accepter H_0 si $\bar{y} + ks \leq T$

Sinon refuser H_0

B.7 Méthode d'essai 6

Indicateur d'essai: Proportion ACMT au-dessus d'une valeur spécifiée
 Hypothèses: Aucune

Hypothèses d'essai: Voir méthode d'essai 5

Probabilité d'acceptation, P_a : Voir méthode d'essai 5

Taille de l'échantillon, n , et nombre pour l'acceptation, c : n et c sont déterminés par la résolution des équations suivantes, n étant le plus petit entier satisfaisant les conditions:

$$\sum_{w=0}^c \binom{n}{w} p_0^w (1-p_0)^{n-w} \geq 1 - \alpha$$

$$\sum_{w=0}^c \binom{n}{w} p_1^w (1-p_1)^{n-w} \leq \beta$$

Les équations peuvent être résolues

- en utilisant l'approximation normale pour $0,2 < p_0 < 0,8$,
- en utilisant l'approximation de Poisson pour $p_0 < 0,2$ (voir Tableau B.2),
- directement en utilisant un calculateur

Tested hypothesis: Null hypothesis H_0 : $P_r[X > T] \leq p_0$
 Alternative hypothesis H_1 : $P_r[X > T] > p_0$
 where $P_r[X > T]$ is the probability that the random variable X is greater than the time T .

Probability of acceptance P_a : $P_a = 1 - \alpha$ for $P_r[X > T] = p_0$
 $P_a = \beta$ for $\Pr[X > T] = p_1$
 $\alpha =$ type I risk, $\beta =$ type II risk, $p_1 > p_0$

Sample size, n : $n = \left(1 + \frac{k^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{u_{1-p_0} - u_{1-p_1}}\right)^2$ (round up to next integer),

where $k = \frac{u_{1-\alpha} \cdot u_{1-p_1} + u_{1-\beta} \cdot u_{1-p_0}}{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}$ and $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}, u_{1-p_0}, u_{1-p_1}$

are standardized normal deviates.

Minimum sample size: 20.

Decision procedure: From a random sample of n active corrective maintenance times x_1, x_2, \dots, x_n compute the sample mean of $\ln x_i$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$$

and the sample variance $s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - n\bar{y}^2 \right]$

Accept H_0 if $\bar{y} + ks \leq T$

Reject H_0 otherwise.

B.7 Test method 6

Test index: ACMT proportion above a specified value

Assumptions: None

Tested hypotheses: See test method 5

Probability of acceptance P_a : See test method 5

Sample size, n , and acceptance number, c : n and c are determined by solving the following equations, n being the smallest integer satisfying the conditions:

$$\sum_{w=0}^c \binom{n}{w} p_0^w (1-p_0)^{n-w} \geq 1-\alpha$$

$$\sum_{w=0}^c \binom{n}{w} p_1^w (1-p_1)^{n-w} \leq \beta$$

The equations can be solved

- by employing the normal approximation for $0,2 < p_0 < 0,8$,
- by employing the Poisson approximation for $p_0 < 0,2$ (see Table B.2),
- directly by use of a computer.

Procédure décisionnelle	A partir d'un échantillon tiré au hasard de n temps de maintenance corrective active x_1, x_2, \dots, x_n , calculer le nombre des observations excédant le temps spécifié T . Ce nombre est appelé r
	Accepter H_0 si $r \leq c$
	Refuser H_0 if $r > c$

B.8 Méthode d'essai 7

Indicateur d'essai:	Proportion ACMT au-dessus d'une valeur spécifiée
Hypothèses:	Aucune
Hypothèses d'essai:	Voir méthode d'essai 5
Probabilité d'acceptation, P_a :	Voir méthode d'essai 5
Taille de l'échantillon, n :	C'est un essai progressif, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de taille d'échantillon fixée (voir Tableau B.1)
Taille de l'échantillon, n , et nombre pour l'acceptation, c :	<p>n et c sont déterminés par la résolution des équations suivantes, n étant le plus petit entier satisfaisant les conditions:</p> $\sum_{w=0}^c \binom{n}{w} p_0^w (1-p_0)^{n-w} \geq 1-\alpha$ $\sum_{w=0}^c \binom{n}{w} p_1^w (1-p_1)^{n-w} \leq \beta$ <p>Les équations peuvent être résolues</p> <ul style="list-style-type: none"> – en utilisant l'approximation normale pour $0,2 < p_0 < 0,8$; – en utilisant l'approximation de Poisson pour $p_0 < 0,2$ (voir Tableau B.2); – directement en utilisant un calculateur
Procédure décisionnelle	<p>A partir d'un échantillon tiré au hasard de n temps de maintenance corrective active x_1, x_2, \dots, x_n, calculer le nombre des observations excédant le temps spécifié T. Ce nombre est appelé r</p> <p>Accepter H_0 si $r \leq c$</p> <p>Refuser H_0 si $r > c$</p>

B.9 Méthode d'essai 8

Indicateur d'essai:	Proportion ACMT au-dessus d'une valeur spécifiée
Hypothèses:	Aucune
Hypothèses d'essai:	Voir méthode d'essai 5
Probabilité d'acceptation, P_a	Voir méthode d'essai 5

Decision procedure: From a random sample of n active corrective maintenance times x_1, x_2, \dots, x_n count the number of such observations exceeding the specified time T . This number is called r .

Accept H_0 if $r \leq c$

Reject H_0 if $r > c$.

B.8 Test method 7

Test index: ACMT proportion above a specified value

Assumptions: None

Tested hypotheses: See test method 5

Probability of acceptance P_a : See test method 5

Sample size n : This is a sequential test, i.e. no fixed sample size exists. (see Table B.1)

Sample size, n , and acceptance number, c : n and c are determined by solving the following equations, n being the smallest integer satisfying the conditions:

$$\sum_{w=0}^c \binom{n}{w} p_0^w (1-p_0)^{n-w} \geq 1-\alpha$$

$$\sum_{w=0}^c \binom{n}{w} p_1^w (1-p_1)^{n-w} \leq \beta$$

The equations can be solved

- by employing the normal approximation for $0,2 < p_0 < 0,8$;
- by employing the Poisson approximation for $p_0 < 0,2$ (see Table B.2);
- directly by use of a computer.

Decision procedure: From a random sample of n active corrective maintenance times x_1, x_2, \dots, x_n count the number of such observations exceeding the specified time T . This number is called r .

Accept H_0 if $r \leq c$

Reject H_0 if $r > c$.

B.9 Test method 8

Test index: ACMT proportion above a specified value

Assumptions: None

Tested hypotheses: See test method 5

Probability of acceptance P_a : See test method 5

Taille de l'échantillon, n :

C'est un essai progressif, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de taille d'échantillon fixée

Procédure décisionnelle:

Des échantillons tirés au hasard de n temps de maintenance corrective active x_1, x_2, \dots, x_n sont prélevés jusqu'à ce qu'une décision d'acceptation/refus puisse être prise. Le nombre des temps de maintenance corrective active excédant le temps spécifié T est compté. Ce nombre est appelé d_N pour les N premières observations. Ensuite chaque observation d_N est comparée avec le nombre d'acceptation a_N et le nombre de refus r_N (voir Tableau B.2):

$$a_N = -b_1 + kN$$

$$r_N = b_2 + kN$$

où

$$b_1 = \frac{\ln \frac{1-\alpha}{\beta}}{\ln \frac{p_1}{p_0} + \ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}$$

$$b_2 = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} + \ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}$$

$$k = \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} + \ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}$$

Accepter H_0 si $d_N < a_N$;

Refuser H_0 si $d_N > r_N$. Si $r_N > d_N > a_N$ l'essai est poursuivi avec la $(N+1)^{\text{ème}}$ observation (voir Figure B.1 et se référer à la CEI 60300-3-5 pour les explications sur les plans d'essai progressif).

Il convient que la valeur de troncature de l'essai soit

$$N_E \geq \frac{3b_1}{k}$$

Sample size: This is a sequential test, i.e. no fixed sample size exists

Decision procedure: Random samples of active corrective maintenance times x_1, x_2, \dots, x_n are taken until a decision to accept or reject can be made. The number of active corrective maintenance times exceeding the specified time T is counted. This number is called d_N for the first N observations. After, each observation d_N is compared with the acceptance number a_N and the rejection number r_N (see Table B.2):

$$a_N = -b_1 + kN$$

$$r_N = b_2 + kN$$

where

$$b_1 = \frac{\ln \frac{1-\alpha}{\beta}}{\ln \frac{p_1}{p_0} + \ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}$$

$$b_2 = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} + \ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}$$

$$k = \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} + \ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}$$

Accept H_0 if $d_N < a_N$;

Reject H_0 if $d_N > r_N$. If $r_N > d_N > a_N$ the test is continued with the $(N+1)$ th observation (see Figure B.1 and refer to IEC 60300-3-5 for explanation of sequential test plans).

The value of truncation of the test should be

$$N_E \geq \frac{3b_1}{k}$$

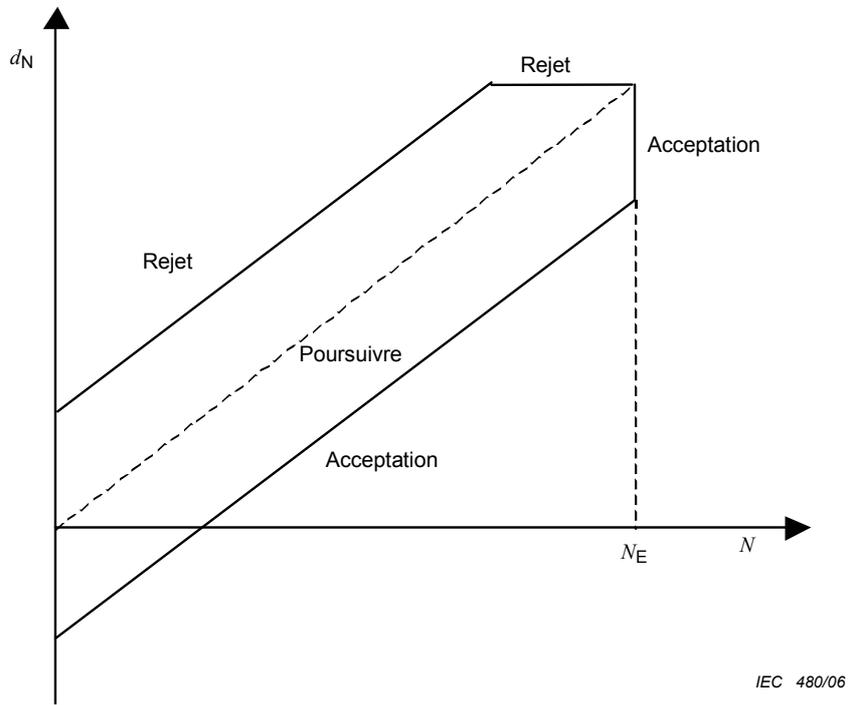


Figure B.1 – Méthode d’essai 8 – Plan d’essai progressif

Tableau B.1 – Méthode d’essai 7 – Nombres d’acceptation et nombres de refus

Nombre d’observations N	Nombre d’acceptation a_N	Nombre de refus r_N
3		3
6		3
7		4
12		4
13	0	5
18	0	5
19	1	6
24	1	6
25	2	7
30	2	7
31	3	8
36	3	8
37	4	9
42	4	9
43	5	10
48	5	10
49	6	11

Nombre d’observations N	Nombre d’acceptation a_N	Nombre de refus r_N
54	6	11
55	7	12
60	7	12
61	8	13
66	8	13
67	9	14
72	9	14
73	10	15
78	10	15
79	11	16
84	11	16
85	12	17
90	12	17
91	13	17
96	13	17
97	14	17
99	14	17
100	16	17

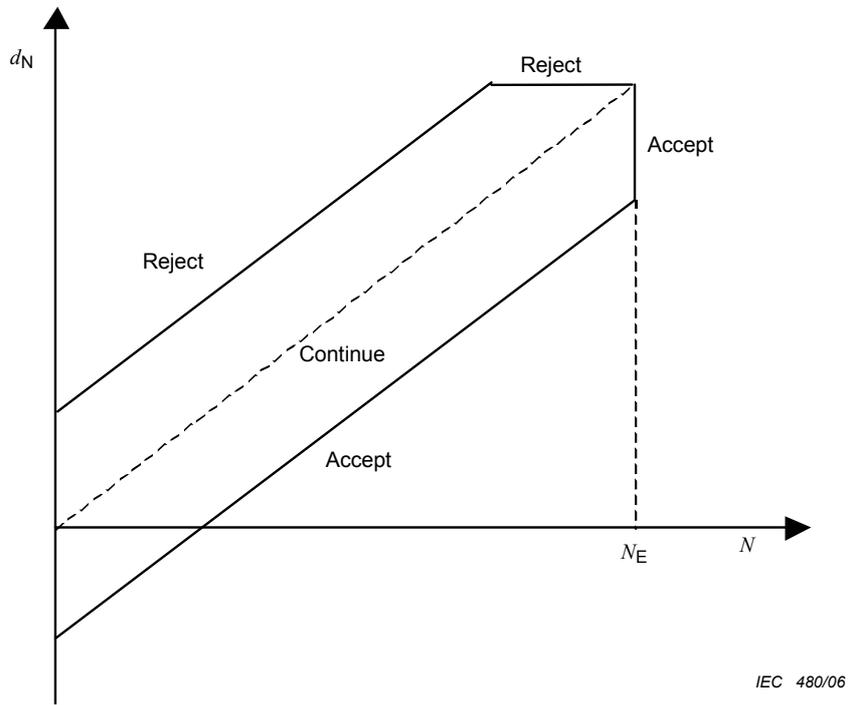


Figure B.1 – Test method 8 – Sequential test plan

Table B.1 – Test method 7 – Acceptance and rejection numbers

Number of observations N	Acceptance number a_N	Rejection number r_N
3		3
6		3
7		4
12		4
13	0	5
18	0	5
19	1	6
24	1	6
25	2	7
30	2	7
31	3	8
36	3	8
37	4	9
42	4	9
43	5	10
48	5	10
49	6	11

Number of observations N	Acceptance number a_N	Rejection number r_N
54	6	11
55	7	12
60	7	12
61	8	13
66	8	13
67	9	14
72	9	14
73	10	15
78	10	15
79	11	16
84	11	16
85	12	17
90	12	17
91	13	17
96	13	17
97	14	17
99	14	17
100	16	17

Tableau B.2 – Plan d'échantillonnage pour p_0, p_1 spécifiés α, β ($p_0 < 0,2$)

$k = \frac{p_1}{p_0}$	$\alpha = 0,05$						$\alpha = 0,10$						$\alpha = 0,20$					
	$\beta = 0,05$		$\beta = 0,10$		$\beta = 0,20$		$\beta = 0,05$		$\beta = 0,10$		$\beta = 0,20$		$\beta = 0,05$		$\beta = 0,10$		$\beta = 0,20$	
	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D
1,5	66	54,1	54	43,3	39	30,2	51	43,0	40	33,0	29	23,2	36	31,8	27	23,5	17	14,4
2,0	22	15,7	18	12,4	14	9,25	17	12,8	14	10,3	10	7,02	12	9,91	9	7,29	6	4,73
2,5	13	8,46	10	6,17	8	4,70	10	7,02	8	5,43	6	3,90	7	5,58	5	3,84	3	2,30
3,0	9	5,43	7	3,98	6	3,29	7	4,66	5	3,15	4	2,43	4	3,09	3	2,30	2	1,54
4,0	6	3,29	5	2,51	4	1,97	4	2,43	3	1,75	2	1,10	3	2,30	2	1,54	1	0,824
5,0	4	1,97	3	1,37	3	1,37	3	1,75	2	1,10	2	1,10	2	1,54	1	0,824	1	0,824
10,0	2	0,818	2	0,818	1	0,353	1	0,532	1	0,532	1	0,532	1	0,824	1	0,824	0	0,227

Pour trouver la taille de l'échantillon pour n , pour p_0, p_1 donnés, α et β , diviser la valeur appropriée D par p_0 et utiliser l'entier le plus grand inférieur au quotient.

Exemple: $p_0 = 0,05, p_1 = 0,20, \alpha = 0,10, \beta = 0,05$, et $k = \frac{0,20}{0,05} = 4$. Ainsi $n = \frac{D}{0,05} = \frac{2,43}{0,05} = 48$. Le nombre d'acceptation est $c = 4$.

Table B.2 – Sampling plans for specified p_0, p_1, α, β ($p_0 < 0,2$)

$k = \frac{p_1}{p_0}$	$\alpha = 0,05$						$\alpha = 0,10$						$\alpha = 0,20$					
	$\beta = 0,05$		$\beta = 0,10$		$\beta = 0,20$		$\beta = 0,05$		$\beta = 0,10$		$\beta = 0,20$		$\beta = 0,05$		$\beta = 0,10$		$\beta = 0,20$	
	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>c</i>	<i>D</i>
1,5	66	54,1	54	43,3	39	30,2	51	43,0	40	33,0	29	23,2	36	31,8	27	23,5	17	14,4
2,0	22	15,7	18	12,4	14	9,25	17	12,8	14	10,3	10	7,02	12	9,91	9	7,29	6	4,73
2,5	13	8,46	10	6,17	8	4,70	10	7,02	8	5,43	6	3,90	7	5,58	5	3,84	3	2,30
3,0	9	5,43	7	3,98	6	3,29	7	4,66	5	3,15	4	2,43	4	3,09	3	2,30	2	1,54
4,0	6	3,29	5	2,51	4	1,97	4	2,43	3	1,75	2	1,10	3	2,30	2	1,54	1	0,824
5,0	4	1,97	3	1,37	3	1,37	3	1,75	2	1,10	2	1,10	2	1,54	1	0,824	1	0,824
10,0	2	0,818	2	0,818	1	0,353	1	0,532	1	0,532	1	0,532	1	0,824	1	0,824	0	0,227

To find the sample size for n , for given p_0, p_1, α and β , divide the appropriate D value by p_0 and use the greatest integer less than the quotient.

Example: $p_0 = 0,05, p_1 = 0,20, \alpha = 0,10, \beta = 0,05$, and $k = \frac{0,20}{0,05} = 4$. Then $n = \frac{D}{0,05} = \frac{2,43}{0,05} = 48$. The acceptance number is $c = 4$.

Annexe C (normative)

Analyse des données de maintenabilité

C.1 Généralité

L'Article 9 décrit brièvement des aspects de l'analyse des données de maintenabilité qui peuvent être obtenues de sources pertinentes (par exemple, sources d'expériences antérieures, essais de développement ou de démonstration, production, assemblage, ou exploitation) et qui peuvent être utilisées pour les essais de conformité/détermination de maintenabilité. Une partie importante de l'analyse est la détermination de la distribution des données. L'Annexe C présente la méthode utilisée le plus fréquemment pour l'essai de distribution: le test de Kolmogorov-Smirnov (appelé aussi test d). Cet essai est applicable à tous les types de donnée et à toutes les formes de distribution. Pour les autres méthodes (test de Khi-deux, procédures graphiques), il convient de consulter les publications de statistiques pertinentes.

C.2 Test de distribution de Kolmogorov-Smirnov

C.2.1 Distributions utilisées en maintenabilité

Les fonctions de distributions les plus utilisées en maintenabilité sont:

- la distribution log-normale,
- la distribution multimodale (dans des cas spécifiques).

Dans la plupart des cas, la distribution log-normale est le meilleur modèle à utiliser; cependant, dans certains cas, la distribution normale peut être utilisée avec une approximation. La distribution multimodale est parfois une bonne représentation pour des échantillons de données avec plus d'un facteur fonction du temps (mécanismes de défaillance, type de maintenance, etc.).

Les procédures utilisées pour sélectionner un modèle adéquat de distribution est hors du propos de l'Annexe C. Pour de tels cas, le lecteur se reportera aux publications de statistiques.

C.2.2 Test de Kolmogorov-Smirnov pour l'essai de distribution

Le test de Kolmogorov-Smirnov, ou test d , est effectué en traçant la distribution théorique répondant aux hypothèses (par ex. log-normale) en utilisant selon le cas les données observées pour l'estimation des paramètres (par ex. moyenne, écart-type). Les limites de cette distribution théorique sont situées à plus ou moins l'unité de probabilité d . Le Tableau C.1 donne un ensemble limité de valeurs d qui sont sélectionnées, basées sur la taille de l'échantillon et sur le niveau de signification (α) pour lequel l'essai est fait. La distribution des données observées est ensuite tracée. Si la fonction observée sort des limites en un point quelconque, la distribution théorique répondant aux hypothèses n'est pas cohérente avec les données. Inversement, si la fonction reste dans les limites, les hypothèses faites sur la distribution ne peuvent être rejetées.

Annex C (normative)

Analysis of maintainability related data

C.1 General

In Clause 9, aspects of the analysis of maintainability related data which could be obtained from relevant sources (e.g. historical sources, development or demonstration tests, production, assembly, or field operations), and which should be used for maintainability compliance/determination testing, are briefly described. One important part of this analysis is the determination of the data distribution. In Annex C, the most frequently used method for distribution testing, the Kolmogorov-Smirnov test (also known as the d -test) is presented. This test is applicable for all types of data and for all distribution forms. For other possible methods (chi-square test, graphical procedures), pertinent statistical textbooks should be consulted.

C.2 Kolmogorov-Smirnov distribution testing

C.2.1 Distributions used in maintainability

The most commonly used distribution functions in maintainability are

- the log-normal distribution,
- the multi-modal distribution (in special cases).

In most cases, the log-normal distribution is the best model to be used; however, in some cases, the normal distribution might be used as an approximation. The multi-modal distribution is sometimes a good representation for data samples with more than one factor of time dependency (failure mechanisms, types of maintenance, etc.).

Procedures used for selecting a suitable distribution model are outside the scope of Annex C. For such cases, the reader should refer to statistical textbooks.

C.2.2 Kolmogorov-Smirnov test for distribution testing

The Kolmogorov-Smirnov or d -test is accomplished by plotting the hypothesized theoretical distribution (e.g. log-normal), using, as appropriate, the observed data for parameter estimation (e.g. mean and standard deviation). Around this theoretical distribution, boundaries are constructed which are plus or minus d probability units. Table C.1 provides a limited set of the d values which are selected, based on data sample size and the level of significance (α) for which the test is to be conducted. The observed data distribution is next plotted. If the observed function passes outside the boundaries at any point, then the hypothesized theoretical distribution is not consistent with the data. Conversely, if the observed function always remains inside the boundaries, the hypothesis concerning the underlying distribution cannot be rejected.

Tableau C.1 – Valeurs critiques de d

Taille de l'échantillon	Niveau de signification (α)			
	0,15	0,10	0,05	0,01
5	0,474	0,510	0,565	0,669
10	0,342	0,368	0,410	0,490
15	0,283	0,304	0,338	0,404
20	0,246	0,264	0,294	0,356
30	0,20	0,22	0,24	0,29
40	0,18	0,19	0,21	0,25
50	0,16	0,17	0,19	0,23
>50	$\frac{1,14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

NOTE Les valeurs de d données sont basées sur une spécification complète de la distribution répondant aux hypothèses. Si l'échantillon de données est utilisé pour estimer le(s) paramètre(s), multiplier la valeur d du tableau par 0,80 pour l'essai de la distribution exponentielle et par 0,67 pour l'essai de la distribution normale.

Table C.1 – Critical values of d

Sample size	Level of significance (α)			
	0,15	0,10	0,05	0,01
5	0,474	0,510	0,565	0,669
10	0,342	0,368	0,410	0,490
15	0,283	0,304	0,338	0,404
20	0,246	0,264	0,294	0,356
30	0,20	0,22	0,24	0,29
40	0,18	0,19	0,21	0,25
50	0,16	0,17	0,19	0,23
>50	$\frac{1,14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

NOTE The d values shown are based on a complete specification of the hypothesized distribution. If sample data is used to estimate the parameter(s), multiply the tabled d -value by 0,80 for testing the exponential and by 0,67 for testing the normal distribution.

Bibliographie

CEI 60300-1, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 1: Gestion du programme de sûreté de fonctionnement*

CEI 60300-2, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 2: Lignes directrices pour la gestion de la sûreté de fonctionnement*

CEI 60300-3 (toutes les parties), *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3: Guide d'application*

CEI 60706-6, *Guide de maintenabilité de matériel – Partie 6: Section 9: Méthodes statistiques pour l'évaluation de la maintenabilité*

RADC-TR-69-356: Maintainability Prediction and Demonstration Techniques. Vol. II, January 1970: Maintainability Demonstration. Grafton H. Griswold *et al.*

Bibliography

IEC 60300-1, *Dependability management – Part 1: Dependability management systems*

IEC 60300-2, *Dependability management – Part 2: Guidelines for dependability management*

IEC 60300-3 (all parts), *Dependability management – Part 3: Application guide*

IEC 60706-6, *Guide on maintainability of equipment – Part 6: Section 9: Statistical methods in maintainability evaluation*

RADC-TR-69-356: Maintainability Prediction and Demonstration Techniques. Vol. II, January 1970: Maintainability Demonstration. Grafton H. Griswold *et al.*

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.



Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland



Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent
- librarian
- researcher
- design engineer
- safety engineer
- testing engineer
- marketing specialist
- other.....

Q3 I work for/in/as a: (tick all that apply)

- manufacturing
- consultant
- government
- test/certification facility
- public utility
- education
- military
- other.....

Q4 This standard will be used for: (tick all that apply)

- general reference
- product research
- product design/development
- specifications
- tenders
- quality assessment
- certification
- technical documentation
- thesis
- manufacturing
- other.....

Q5 This standard meets my needs: (tick one)

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date
- standard is incomplete
- standard is too academic
- standard is too superficial
- title is misleading
- I made the wrong choice
- other

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
- (2) below average,
- (3) average,
- (4) above average,
- (5) exceptional,
- (6) not applicable

- timeliness.....
- quality of writing.....
- technical contents.....
- logic of arrangement of contents
- tables, charts, graphs, figures.....
- other

Q8 I read/use the: (tick one)

- French text only
- English text only
- both English and French texts

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)
Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 GENÈVE 20
Suisse



Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:
(ex. 60601-1-1)
.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/ certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s)

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

- publication en temps opportun
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique
- disposition logique du contenu
- tableaux, diagrammes, graphiques, figures
- autre(s)

Q8 Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....



LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ISBN 2-8318-8588-4



9 782831 885889

ICS 03.120.01; 21.020
