

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
706-6**

Première édition
First edition
1994-12

Guide de maintenabilité de matériel –

Partie 6:

Section 9: Méthodes statistiques
pour l'évaluation de la maintenabilité

Guide on maintainability of equipment –

Part 6:

Section 9: Statistical methods
in maintainability evaluation



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 706-6: 1994

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

et pour les appareils électromédicaux,

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

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

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

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology

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

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

Graphical and letter symbols

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

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

and for medical electrical equipment,

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

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

IEC publications prepared by the same technical committee

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
706-6**

Première édition
First edition
1994-12

Guide de maintenabilité de matériel –

Partie 6:

**Section 9: Méthodes statistiques
pour l'évaluation de la maintenabilité**

Guide on maintainability of equipment –

Part 6:

**Section 9: Statistical methods
in maintainability evaluation**

© CEI 1994 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
 Articles	
1 Domaine d'application.....	10
2 Références normatives	10
3 Définitions.....	10
4 Eléments mathématiques de support	10
4.1 Eléments correspondant à la section cinq	12
4.2 Eléments correspondant à la section six	12
4.3 Eléments correspondant à la section sept	12
 Annexes	
A Allocation de maintenabilité	14
B Méthodes de test pour une démonstration de maintenabilité	26
C Test de distribution de Kolmogorov-Smirnov.....	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 Definitions	11
4 Mathematical back-up material	11
4.1 Material related to Section Five	13
4.2 Material related to Section Six	13
4.3 Material related to Section Seven	13
Annexes	
A Maintainability allocation	15
B Maintainability demonstration test methods	27
C Kolmogorov-Smirnov distribution testing	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**GUIDE DE MAINTENABILITÉ DE MATÉRIEL –
Partie 6: Section 9 –
Méthodes statistiques pour l'évaluation de la maintenabilité**

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon les conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparées par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 706-6 a été établie par le comité d'études 56 de la CEI : Sécurité de fonctionnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
56(BC)161	56(BC)174

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

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

La CEI 706 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: *Guide de maintenabilité de matériel*.

La partie 1, publiée en 1982, comprend les sections suivantes:

- Section un – Introduction à la maintenabilité
- Section deux – Exigences de maintenabilité dans les spécifications et les contrats
- Section trois – Programme de maintenabilité

La partie 2, publiée en 1990, comprend la section suivante:

- Section cinq – Etudes de maintenabilité au niveau de la conception

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GUIDE ON MAINTAINABILITY OF EQUIPMENT –
Part 6: Section 9 –
Statistical methods in maintainability evaluation

FOREWORD

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

International Standard IEC 706-6 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

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

DIS	Report on voting
56(CO)161	56(CO)174

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

The annexes A, B, and C are for information only.

IEC 706 consists of the following parts under the general title: *Guide on maintainability of equipment*

Part 1, issued in 1982, contains the following sections:

- Section One – Introduction to maintainability
- Section Two – Maintainability requirements in specifications and contracts
- Section Three – Maintainability programme

Part 2, issued in 1990, contains the following section:

- Section Five – Maintainability studies during the design phase

La partie 3, publiée en 1987, comprend les sections suivantes:

Section six – Vérification de la maintenabilité

Section sept – Recueil, analyse et présentation des données relatives à la maintenabilité

La partie 4, publiée en 1992, comprend la section suivante:

Section 8 – Planification de la maintenance et de la logistique de maintenance

La partie 5, publiée en 1994, comprend la section suivante:

Section 4 – Essais pour diagnostic

La partie 6, publiée en 1994, comprend la section suivante:

Section 9 – Méthodes statistiques pour l'évaluation de la maintenabilité

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60706-6:1994

Part 3, issued in 1987, contains the following sections:

Section Six – Maintainability verification

Section Seven – Collection, analysis and presentation of data related to maintainability

Part 4, issued in 1992, contains the following section:

Section 8 – Maintenance and maintenance support planning

Part 5, issued in 1994, contains the following section:

Section 4 – Diagnostic testing

Part 6, issued in 1994, contains the following section:

Section 9 – Statistical methods in maintainability evaluation

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60706-6:1994

INTRODUCTION

L'ingénierie de la maintenabilité est la discipline technique tournée vers le renforcement de la facilité de maintenance des matériels. Dans les précédentes parties de ce guide, des méthodes et des techniques importantes sont présentées et peuvent être utilisées pour atteindre cet objectif. Nombre d'entre elles sont de nature qualitative ; certaines, cependant, comprennent aussi des aspects quantitatifs, spécialement pour :

- allouer des objectifs de maintenabilité à des sous-ensembles;
- vérifier la conformité d'exigences de maintenabilité quantitatives;
- évaluer les données de maintenabilité.

Pour une compréhension totale de ces méthodes et techniques, il est nécessaire d'ajouter à leur description certains détails mathématiques, offrant ainsi à l'utilisateur la possibilité de les appliquer plus généralement.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60706-6:1994

INTRODUCTION

Maintainability engineering is the technical discipline directed towards enhancement of the ease of maintenance of equipment. In the preceding parts of this guide, important methods and techniques are presented which can be used to achieve this objective. Many of them are of a qualitative nature; some, however, include also quantitative aspects, especially for:

- allocating maintainability target values to subitems;
- verifying the fulfilment of quantitative maintainability requirements;
- evaluating maintainability data.

For a complete understanding of these methods and techniques, it is necessary to provide some mathematical explanation to enable the user to apply them more generally.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60706-6:1994

GUIDE DE MAINTENABILITÉ DE MATÉRIEL – Partie 6: Section 9 – Méthodes statistiques pour l'évaluation de la maintenabilité

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 706 est publiée en tant que section 9 du Guide de maintenabilité de matériel. Elle spécifie des techniques qui s'appliquent à des aspects quantitatifs de la maintenabilité, dans des phases diverses du cycle de vie d'un système.

La présente partie de la CEI 706 est applicable aux tâches d'allocation de maintenabilité, de démonstration de maintenabilité et d'évaluation de données de maintenabilité, telles qu'elles sont décrites, respectivement, dans les sections cinq, six et sept du guide de maintenabilité (CEI 706-2 et 706-3). Dans les annexes informatives A, B et C, les méthodes et procédures mathématiques pour l'accomplissement de ces tâches sont présentées dans l'ordre correspondant. Le document a pour but de servir de complément à des livres de statistiques existants, pour des sujets de maintenabilité spécifiques.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 706. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 706 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des normes internationales en vigueur à un moment donné.

CEI 50(191): 1990, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 191 : Sécurité de fonctionnement et qualité de service*

CEI 706-2: 1990, *Guide de maintenabilité de matériel – Partie 2 : Section cinq – Etudes de maintenabilité au niveau de la conception*

CEI 706-3: 1987, *Guide de maintenabilité de matériel – Partie 3 : Sections six et sept – Vérification et recueil, analyse et présentation des données*

ISO 3534-1: 1993, *Statistique – Vocabulaire et symboles – Partie 1: Probabilité et termes statistiques généraux*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 706, les termes et définitions donnés dans la CEI 50(191), dans l'ISO 3534-1 et dans les sections antérieures de ce guide s'appliquent. Les termes, acronymes et symboles supplémentaires qui sont utilisés dans certaines des annexes sont définis dans l'annexe A.

4 Éléments mathématiques de support

Les éléments contenus dans cet article sont présentés dans l'ordre des sections correspondantes du guide. Pour chacune de ces sections, les problèmes à résoudre par utilisation des mathématiques sont présentés ; les éléments mathématiques eux-mêmes sont fournis dans une annexe.

GUIDE ON MAINTAINABILITY OF EQUIPMENT – Part 6: Section 9 – Statistical methods in maintainability evaluation

1 Scope

This part of IEC 706 is being issued as section 9 of the guide on maintainability of equipment. It specifies techniques covering some quantitative aspects of maintainability engineering in various phases of the system life cycle.

This part of IEC 706 is applicable to the tasks of maintainability allocation, maintainability demonstration and maintainability data evaluation, as described in sections Five, Six and Seven, respectively, of the guide (IEC 706-2 and 706-3). In the informative annexes A, B and C, mathematical methods and procedures for performing these tasks are presented in corresponding order. The document is intended to serve as an addendum, for specific maintainability topics, to existing statistical textbooks.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 706. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 706 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

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

IEC 706-2: 1990, *Guide on maintainability of equipment – Part 2: Section Five – Maintainability studies during the design phase*

IEC 706-3: 1987, *Guide on maintainability of equipment – Part 3: Sections Six and Seven – Verification and collection, analysis and presentation of data*

ISO 3534-1: 1993, *Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: Probability and general statistical terms*

3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 706, the terms and definitions of IEC 50(191), ISO 3534-1 and of preceding sections apply. Additional terms, symbols and acronyms which are used in some of the annexes are defined in annex A.

4 Mathematical back-up material

The material under this heading is presented in the order of the related sections of the guide. For each of these sections, the problems to be solved by mathematical means are indicated; the mathematical material itself is then given in an annex.

4.1 *Eléments correspondant à la section cinq*

La section cinq du guide traite des études de maintenabilité en phase de conception. L'une des tâches prises en considération est l'allocation des exigences de maintenabilité de l'entité vis-à-vis des sous-ensembles/entités de plus bas niveau. Ceci constitue un processus itératif commençant au début du cycle de vie du dispositif, sur la base d'informations de conception préliminaires, et mis à jour ultérieurement lorsque des données et des informations plus détaillées deviennent disponibles. Un exemple du type précoce d'allocation de maintenabilité est fourni en annexe A de la section cinq; l'hypothèse faite en ce cas est que l'exigence de maintenabilité du sous-ensemble est inversement proportionnelle à la complexité du sous-ensemble.

L'annexe A présente la méthode conseillée pour la mise à jour de l'allocation précoce de maintenabilité. Il est recommandé que cette méthode soit utilisée lorsque des données de conception supplémentaires deviennent disponibles, de sorte que le découpage fonctionnel de l'entité peut être effectué à des niveaux des sous-ensembles inférieurs, avec des valeurs de taux de défaillance affectées à tous les sous-ensembles. Cette méthode est applicable à tous les systèmes pour lesquels l'hypothèse d'une distribution log-normale du temps de maintenance active est satisfaite, et lorsque une information suffisamment détaillée sur la conception est disponible, par exemple à l'intérieur ou à la fin de la phase de définition. Pour son application, cette méthode nécessite de spécifier une valeur maximale du temps de maintenance corrective active.

4.2 *Eléments correspondant à la section six*

Dans l'annexe A de la section six du guide, des méthodes de tests statistiques sont identifiées; il est recommandé de les appliquer afin de vérifier la conformité d'exigences quantitatives de maintenabilité. Les détails de ces méthodes de tests sont décrits en annexe B. Il est possible de les appliquer à toutes les démonstrations de maintenabilité lorsque les événements de maintenance sont statistiquement indépendants. Il convient que les conditions du test soient représentatives des conditions réelles d'utilisation.

4.3 *Eléments correspondant à la section sept*

Dans la section sept du guide, les aspects d'analyse de données relatives à la maintenabilité qui pourraient être obtenues à partir de sources pertinentes (exemple : sources d'expérience, tests de développement et de démonstration, fabrication, assemblage ou exploitation opérationnelle), et qu'il convient d'utiliser pour des tests de conformité/évaluation de la maintenabilité, sont brièvement décrits. Une partie importante de cette analyse consiste en la détermination de la distribution des données. Dans l'annexe C, la méthode la plus fréquemment utilisée pour le test de distribution, le test de Kolmogorov-Smirnov (également connu comme test *d*), est présentée. Ce test est applicable à toutes les sortes d'informations et à toutes les lois de distribution. Pour les autres méthodes possibles (test du khi deux, procédures graphiques), il convient de consulter les manuels de statistiques pertinents.

4.1 *Material related to Section Five*

Section Five of the guide on maintainability of equipment deals with maintainability studies in the design phase. One of the tasks considered is the allocation of item maintainability requirements to subitems/lower indenture levels. This is an iterative process starting early in the item life cycle on the basis of preliminary design information, and later on updated when more detailed data and information becomes available. An example of the early type of maintainability allocation is given in annex A of section Five; the underlying assumption in this case is that the subitem maintainability requirement is inversely proportional to the subitem's complexity.

Annex A presents the method recommended for the updating of the early maintainability allocation. This method should be used when additional design data become available, so that the functional breakdown of the item can be carried down to lower subitem levels, with failure rate values allocated to all subitems. The method is applicable to all systems where the assumption of a log-normal distribution of the corrective maintenance time is satisfied, and where sufficiently detailed design information is available, for example, in or at the end of the definition phase. For application of the method, it needs specification of a maximum allowable time for active corrective maintenance.

4.2 *Material related to Section Six*

In appendix A of Section Six of the guide, statistical test methods are identified, which should be applied to verify the fulfilment of quantitative maintainability requirements. Details of these test methods are described in annex B. They may be applied to all maintainability demonstrations, when the maintenance events are statistically independent. The test conditions should be representative of the actual conditions of use.

4.3 *Material related to Section Seven*

In Section Seven of the guide, 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 *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.

Annexe A (informative)

Allocation de maintenabilité

A.1 Définitions et acronymes

Toutes les définitions citées dans l'article 3 s'appliquent à cette annexe. En supplément, les termes, définitions et acronymes suivants sont utilisés :

A.1.1 Définitions

A.1.1.1 temps de maintenance corrective active: Partie du temps de maintenance active pendant laquelle une maintenance corrective est effectuée sur une entité. [VEI 191-08-07]

A.1.1.2 unité d'interchangeabilité: Entité fonctionnelle d'un système qui est adaptée et prévue pour être remplacée au cours d'une action unique de maintenance au premier niveau de maintenance (en exploitation).

A.1.1.3 temps de maintenance corrective active maximal: Par convention, le fractile à 95 % de la distribution du temps de maintenance corrective active, c'est-à-dire la partie du temps de maintenance corrective active pour laquelle 95 % de toutes les actions de maintenance corrective sur une entité peuvent être accomplies.

A.1.1.4 temps de maintenance corrective active médian : Partie du temps de maintenance corrective active pour laquelle 50 % de toutes les actions de maintenance corrective sur une entité peuvent être accomplies.

A.1.1.5 temps de maintenance corrective active moyen : Espérance mathématique du temps de maintenance corrective active.

A.1.2 Acronymes

ACMT	temps de maintenance corrective active
ACMT ₉₅	temps de maintenance corrective active maximal
ACMT ₅₀	temps de maintenance corrective active médian
LRU	unité d'interchangeabilité
MACMT	temps de maintenance corrective active moyen

A.2 Exigences et méthodes d'allocation de maintenabilité

A.2.1 Exigences

Il convient que la méthode d'allocation de maintenabilité décrite ci-dessous soit appliquée lorsque suffisamment d'informations de conception sont disponibles afin de réaliser la subdivision fonctionnelle de l'entité prise en considération en sous-ensembles de niveau inférieur. Les éléments suivants doivent être fournis :

- une valeur prévisionnelle préliminaire, ou bien requise, du taux de défaillance λ du dispositif;
- des valeurs de taux de défaillance λ_i affectées à tous les sous-ensembles, de sorte que $\sum_{i=1}^n \lambda_i(t) = \lambda$;
- une valeur spécifiée du temps de maintenance corrective active moyen de l'entité (MACMT) (en variante, il est possible de spécifier la quantité $\lambda \cdot \text{MACMT}$ c'est-à-dire le temps de maintenance corrective active moyen multiplié par le taux de défaillance de l'entité λ . $\lambda \cdot \text{MACMT}$ est donc le temps de maintenance corrective active moyen par unité de temps opérationnel);
- une valeur spécifiée du temps de maintenance corrective active maximal ACMT₉₅.

Sur cette base, il convient que les valeurs requises ACMT_i soient allouées à chaque sous-ensemble i .

Annex A (informative)

Maintainability allocation

A.1 Definitions and abbreviations

All definitions in clause 3 also apply to this annex. In addition, the terms, definitions and abbreviations determined in the following subclauses are used:

A.1.1 Definitions

A.1.1.1 active corrective maintenance time: That part of the active maintenance time during which actions of corrective maintenance are performed on an item. [IEV 191-08-07]

A.1.1.2 line replaceable unit: Functional item which is suited and intended to be removed from the system as part of a single maintenance action on the first (field) line of maintenance.

A.1.1.3 maximum active corrective maintenance time: By convention, the 0.95 fractile of the active corrective maintenance time distribution, i.e. that part of the active corrective maintenance time during which 95 % of all actions of corrective maintenance on an item can be accomplished.

A.1.1.4 median active corrective maintenance time: That part of the active corrective maintenance time during which 50 % of all actions of corrective maintenance on an item can be accomplished.

A.1.1.5 mean active corrective maintenance time: The expectation of the active corrective maintenance time.

A.1.2 Acronyms

ACMT	active corrective maintenance time
ACMT ₉₅	maximum active corrective maintenance time
ACMT ₅₀	median active corrective maintenance time
LRU	line replaceable unit
MACMT	mean active corrective maintenance time

A.2 Maintainability allocation requirements and method

A.2.1 Requirements

The maintainability allocation method described below should be applied when sufficient design information is available to carry the functional subdivision of the item considered down to lower indenture levels. It is essential to provide the following information:

- a required or preliminarily predicted value of the item's failure rate λ ;
- allocated failure rate values λ_i for all n subitems, such that $\sum_{i=1}^n \lambda_i(t) = \lambda$;
- a specified value of the item's mean active corrective maintenance time MACMT (alternatively, the value $\lambda \cdot \text{MACMT}$ may be specified, i.e. the mean active corrective maintenance time multiplied by the item's failure rate λ . $\lambda \cdot \text{MACMT}$ is thus the mean active corrective maintenance time per operational time unit);
- a specified value of the maximum active corrective maintenance time ACMT₉₅.

On this basis, required values ACMT_i should be allocated to each subitem i .

A.2.2 Méthode

La méthode est basée sur l'hypothèse que les temps de maintenance, particulièrement leur partie de correction active qui est généralement sous le contrôle du fournisseur, peuvent être décrits de façon adéquate par une distribution log-normale de moyenne MACMT et de valeur maximum ACMT₉₅. Les temps de maintenance corrective active supérieurs à ACMT₉₅ sont déterminés afin de fournir le complément spécifié des temps de maintenance corrective active moyen cumulé.

A.3 Procédure d'allocation de maintenabilité

Etape 1 Identifier la distribution log-normale (d'écart type σ) sur laquelle travailler. Un point de la distribution est connu au départ: ACMT₉₅. Par ailleurs MACMT, le temps de maintenance corrective moyen, est donné. A partir de:

$$\frac{ACMT_{95}}{MACMT} = e^{1,645\sigma - 0,5\sigma^2}$$

et

$$\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = e^{-0,5\sigma^2}$$

il vient

$$\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = \frac{ACMT_{95}}{MACMT} e^{-1,645\sigma} = \left\{ \frac{ACMT_{95}}{MACMT} \right\} e^{-1,645\sigma}$$

Ainsi ACMT₅₀ peut être déterminé (voir figure A.1). Ceci fournit un second point de la fonction de distribution, que l'on peut maintenant représenter par une ligne droite sur un graphique log-normal (voir figure A.2).

NOTE – Normalement, cet algorithme conduit à deux solutions distinctes, avec différentes valeurs de la moyenne et de l'écart type des distributions log-normales résultantes. La distribution qui doit être retenue est celle ayant le plus petit coefficient de variation, par exemple

$$\left(e^{\sigma^2} - 1 \right)^{0,5}$$

dans le cas de la distribution log-normale.

Etape 2 Identifier toutes les LRU et les lister par ordre de décroissance de leur taux de défaillance:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_i \geq \dots \geq \lambda_n$$

Etape 3 Calculer, pour chaque LRU_i, la fréquence relative f_i :

$$f_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^n \lambda_k}$$

Etape 4 Calculer la fonction de fréquence cumulée F_i pour chaque LRU_i:

$$F_i = f_1 + f_2 + \dots + f_i$$

Etape 5 Pour chaque LRU_i, calculer $F_i - \frac{1}{2}f_i$ et trouver la valeur correspondante de ACMT_i à partir de la distribution log-normale identifiée dans la figure A.2, pour les LRU_i telles que:

$$F_i - \frac{1}{2}f_i < 0,95$$

A.2.2 Method

The method is based on the assumption that the maintenance times, especially the active corrective part of them, which is generally under the control of the supplier, can be adequately described by a log-normal distribution with mean MACMT and 0,95 fractile ACMT₉₅. Active corrective maintenance times longer than ACMT₉₅ are determined so as to provide the complement to the accumulated mean active corrective maintenance time specified for the item.

A.3 Maintainability allocation procedure

Step 1 Identify the log-normal distribution (with standard deviation = σ) to be followed. One point in the distribution is originally known: ACMT₉₅. Also MACMT, the mean active corrective maintenance time, is given. From

$$\frac{ACMT_{95}}{MACMT} = e^{1,645\sigma - 0,5\sigma^2}$$

and

$$\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = e^{-0,5\sigma^2}$$

follows

$$\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = \frac{ACMT_{95}}{MACMT} e^{-1,645\sigma} = f \left\{ \frac{ACMT_{95}}{MACMT} \right\}$$

Thus ACMT₅₀ can be determined (see figure A.1). This offers a second point in the distribution function, which can now be drawn as a straight line in a log-normal diagram (see figure A.2).

NOTE – Normally this algorithm yields two distinct solutions with different values of the mean and the standard deviation of the underlying log-normal distributions. The distribution to be selected is the one with the smaller coefficient of variation, e.g. in case of the log-normal distribution

$$\left(e^{\sigma^2} - 1 \right)^{0,5}$$

Step 2 Identify all LRUs and list them in decreasing order of failure rate:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_i \geq \dots \geq \lambda_n$$

Step 3 Calculate the relative frequency f_i for each LRU_i:

$$f_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^n \lambda_k}$$

Step 4 Calculate the cumulative frequency function F_i for each LRU_i:

$$F_i = f_1 + f_2 + \dots + f_i$$

Step 5 For each LRU_i, calculate $F_i - \frac{1}{2}f_i$ and find the corresponding value of ACMT_i in the log-normal distribution identified in figure A.2 for LRU_i with

$$F_i - \frac{1}{2}f_i < 0,95$$

Etape 6 Pour toutes les LRU telles que $F_i - \frac{1}{2} f_i \leq 0,95$, déterminer:

$$ACMT_{i,95} = \frac{\lambda \cdot MACMT - \sum_{i=1}^1 \lambda_i \cdot ACMT_i}{\lambda - \sum_{i=1}^1 \lambda_i}$$

où i = numéro du premier sous-ensemble pour lequel $F_i - \frac{1}{2} f_i \leq 0,95$.

A.4 Exemple

L'entité est subdivisée en 15 sous-ensembles. Les exigences de l'entité sont:

$$\lambda = 0,0372/HF = \sum_{i=1}^{15} \lambda_i \quad (\text{pour } \lambda_i \text{ voir le tableau A.1, colonne 2})$$

$$\lambda \text{ MACMT} = 0,060 \text{ h/HF}$$

$$ACMT_{95} = 4,0 \text{ h}$$

il vient:

$$MACMT = \frac{0,06}{0,0372} = 1,61 \text{ h}$$

$$\frac{ACMT_{95}}{MACMT} = \frac{4,0}{1,61} = 2,48$$

Pour la distribution log-normale ayant le plus petit coefficient de variation (voir la note de l'étape 1), la relation fonctionnelle de $\frac{ACMT_{50}}{MACMT}$ est donnée en figure A.1.

Soit:

$$\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = 0,78$$

Ceci donne le second point de la distribution log-normale tracée en figure A.2. A ce stade, les étapes 2 à 5 sont exécutées (tableau A.1, colonnes 2 à 5). Les valeurs correspondantes de $\frac{ACMT_i}{MACMT}$ sont obtenues à partir de la figure A.2, pour les sous-ensembles 1 à 9, et converties en valeurs de $ACMT_i$ (tableau A.1, colonnes 6, 7).

Pour les sous-ensembles 10 à 15, l'étape 6 fournit:

$$ACMT_{i,95} = \frac{0,06 - 0,05142}{0,0372 - 0,0360} = 7,15$$

Les valeurs cumulées des $ACMT_i$ pour tous les sous-ensembles sont calculées par multiplication avec les valeurs respectives λ_i (tableau A.1, colonne 8, valeurs cumulées colonne 9). Les calculs sont présentés dans le tableau A.1.

Step 6 For all LRUs where $F_i - \frac{1}{2}f_i \leq 0,95$, determine

$$ACMT_{i,95} = \frac{\lambda \cdot MACMT - \sum_{i=1}^1 \lambda_i \cdot ACMT_i}{\lambda - \sum_{i=1}^1 \lambda_i}$$

where 1 = number of the first unit for which $F_i - \frac{1}{2}f_i \leq 0,95$.

A.4 Example

The item is subdivided in 15 subitems. Item requirements:

$$\lambda = 0,0372/OH = \sum_{i=1}^{15} \lambda_i \quad (\text{for } \lambda_i \text{ see table A.1, column 2})$$

$$\lambda \cdot MACMT = 0,060 \text{ h/OH}$$

$$ACMT_{95} = 4,0 \text{ h}$$

It follows

$$MACMT = \frac{0,06}{0,0372} = 1,61 \text{ h}$$

$$\frac{ACMT_{95}}{MACMT} = \frac{4,0}{1,61} = 2,48$$

For the log-normal distribution with the smaller coefficient of variation (see note in step 1), the functional relationship to $\frac{ACMT_{50}}{MACMT}$ is given in figure A.1.

Thus

$$\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = 0,78$$

This is the second point of the log-normal distribution plotted in figure A.2. Now, steps 2 to 5 are performed (table A.1, columns 2 to 5). Corresponding values of $\frac{ACMT_i}{MACMT}$ are obtained from figure A.2 for subitems 1 to 9 and transformed into $ACMT_i$ -values (table A.1, columns 6 and 7).

For subitems 10 to 15, step 6 yields

$$ACMT_{i,95} = \frac{0,06 - 0,05142}{0,0372 - 0,0360} = 7,15$$

$ACMT_i$'s for these subitems are calculated by multiplication with the respective λ_i values (table A.1, column 8, summation values column 9). The calculations are presented in table A.1.

Tableau A.1 – Allocation de maintenabilité au niveau du sous-ensemble

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sous-ensemble	$\lambda_i \cdot 10^6$	f_i	F_i	$F_i - \frac{1}{2} f_i$	$\frac{ACMT_i}{MACMT}$	$ACMT_i$	$ACMT_i \cdot \lambda_i \cdot 10^3$	$\Sigma ACMT_i \cdot \lambda \cdot 10^3$
1	10 000	0,268	0,268	0,134	0,355	0,57	5,70	51,42
2	8 000	0,215	0,483	0,377	0,617	0,99	7,92	
3	5 000	0,134	0,617	0,551	0,847	1,36	6,80	
4	3 000	0,081	0,698	0,659	1,023	1,65	4,95	
5	2 500	0,067	0,765	0,731	1,180	1,90	4,75	
6	2 500	0,067	0,832	0,800	1,400	2,25	5,63	
7	2 500	0,067	0,899	0,865	1,660	2,67	6,68	
8	1 500	0,040	0,939	0,920	2,051	3,30	4,95	
9	1 000	0,027	0,966	0,954	2,512	4,04	4,04	
10	500	0,013	0,979			↑	3,58	8,57
11	200	0,005	0,984				1,43	
12	200	0,005	0,989			7,15	1,43	
13	100	0,003	0,992				0,71	
14	100	0,003	0,995				0,71	
15	100	0,003	0,998			↓	0,71	

Table A.1 – Maintainability allocation to subitem level

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Subitem	$\lambda_i \cdot 10^6$	f_i	F_i	$F_i - \frac{1}{2} f_i$	$\frac{ACMT_i}{MACMT}$	$ACMT_i$	$ACMT_i \cdot \lambda_i \cdot 10^3$	$\Sigma ACMT_i \cdot \lambda \cdot 10^3$
1	10 000	0,268	0,268	0,134	0,355	0,57	5,70	51,42
2	8 000	0,215	0,483	0,377	0,617	0,99	7,92	
3	5 000	0,134	0,617	0,551	0,847	1,36	6,80	
4	3 000	0,081	0,698	0,659	1,023	1,65	4,95	
5	2 500	0,067	0,765	0,731	1,180	1,90	4,75	
6	2 500	0,067	0,832	0,800	1,400	2,25	5,63	
7	2 500	0,067	0,899	0,865	1,660	2,67	6,68	
8	1 500	0,040	0,939	0,920	2,051	3,30	4,95	
9	1 000	0,027	0,966	0,954	2,512	4,04		
10	500	0,013	0,979			↑	3,58	8,57
11	200	0,005	0,984				1,43	
12	200	0,005	0,989			7,15	1,43	
13	100	0,003	0,992				0,71	
14	100	0,003	0,995				0,71	
15	100	0,003	0,998				0,71	

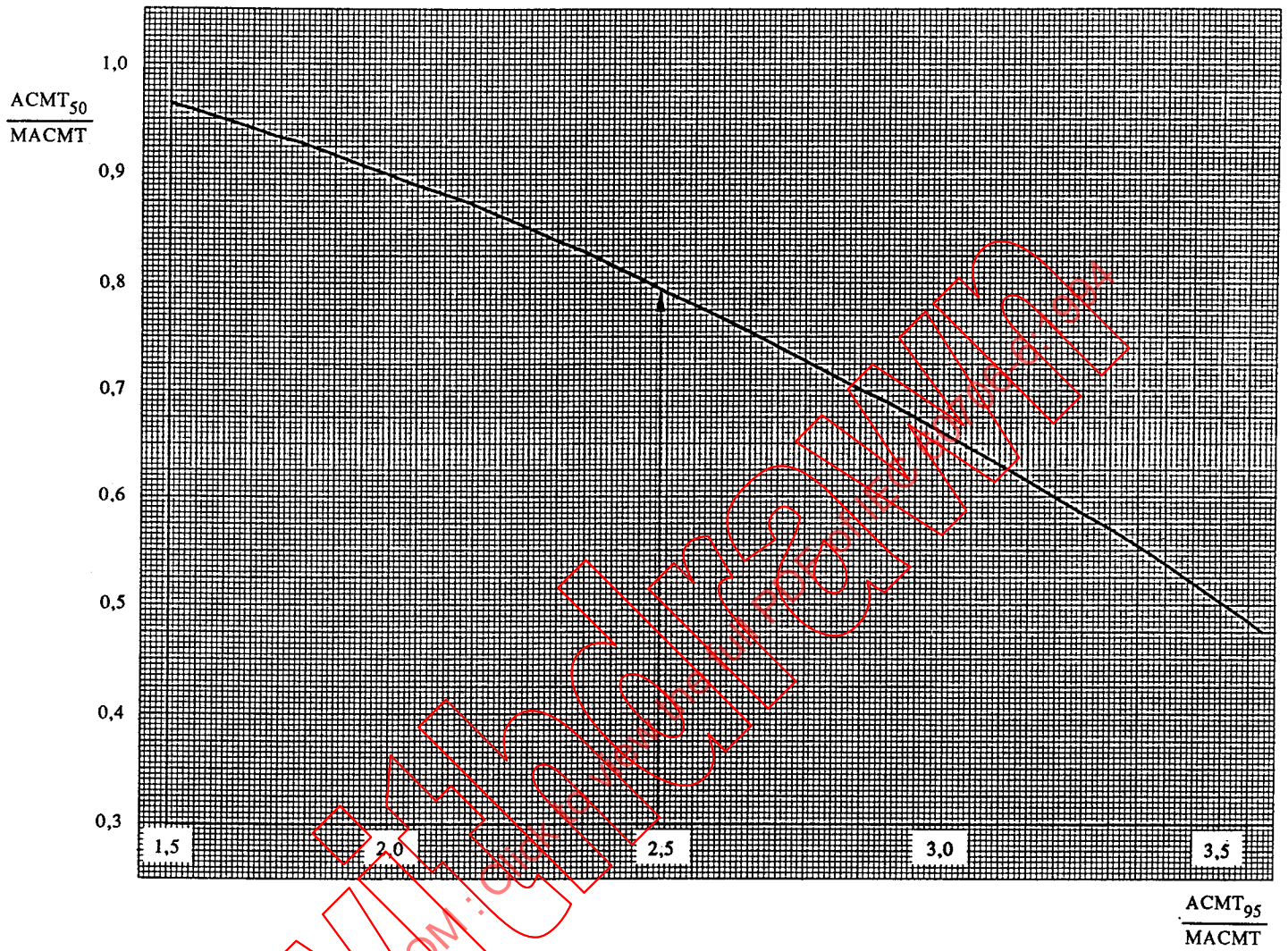


Figure A.1 - $\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = f\left\{\frac{ACMT_{95}}{MACMT}\right\}$

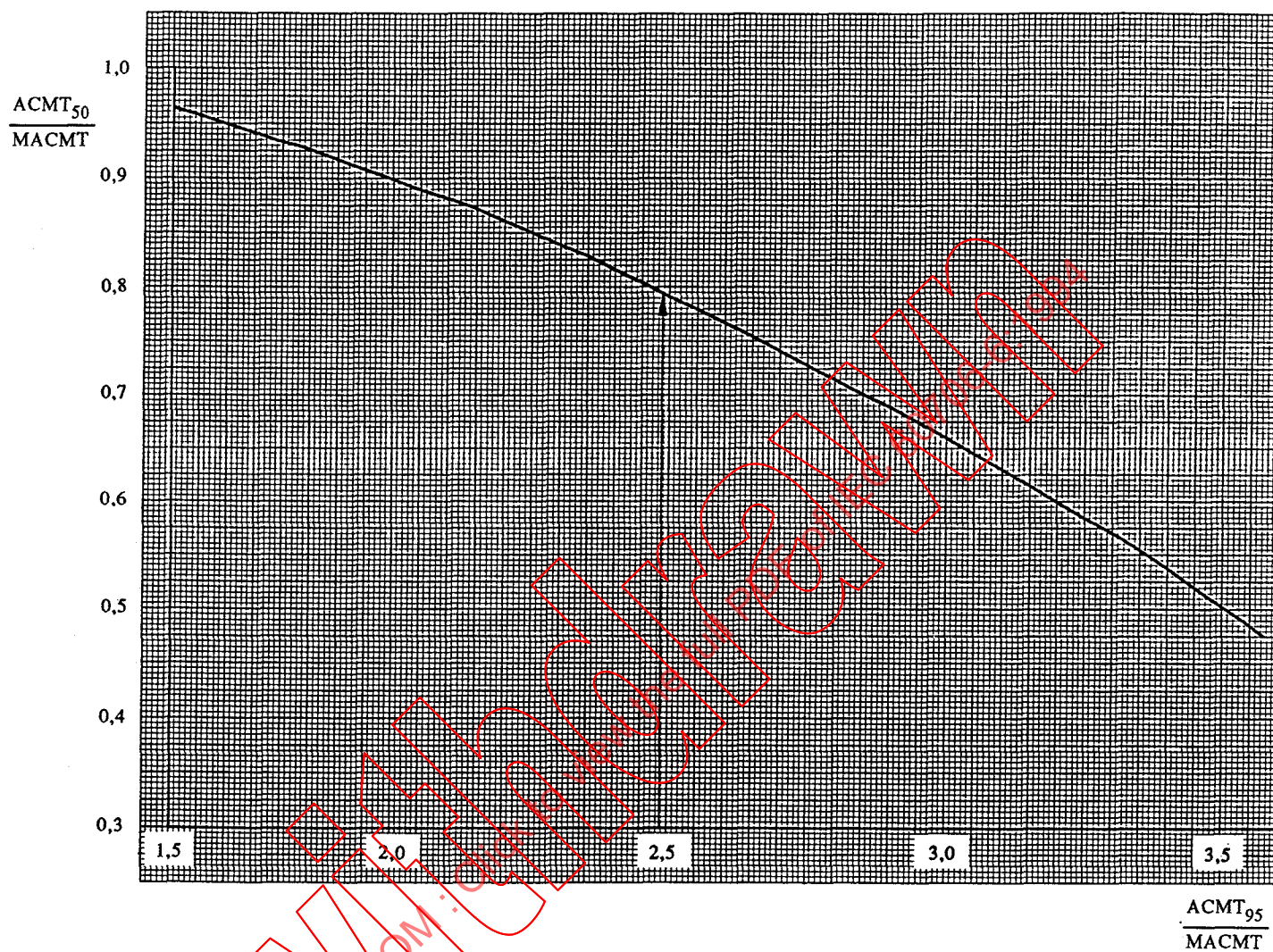


Figure A.1 – $\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = f\left\{\frac{ACMT_{95}}{MACMT}\right\}$

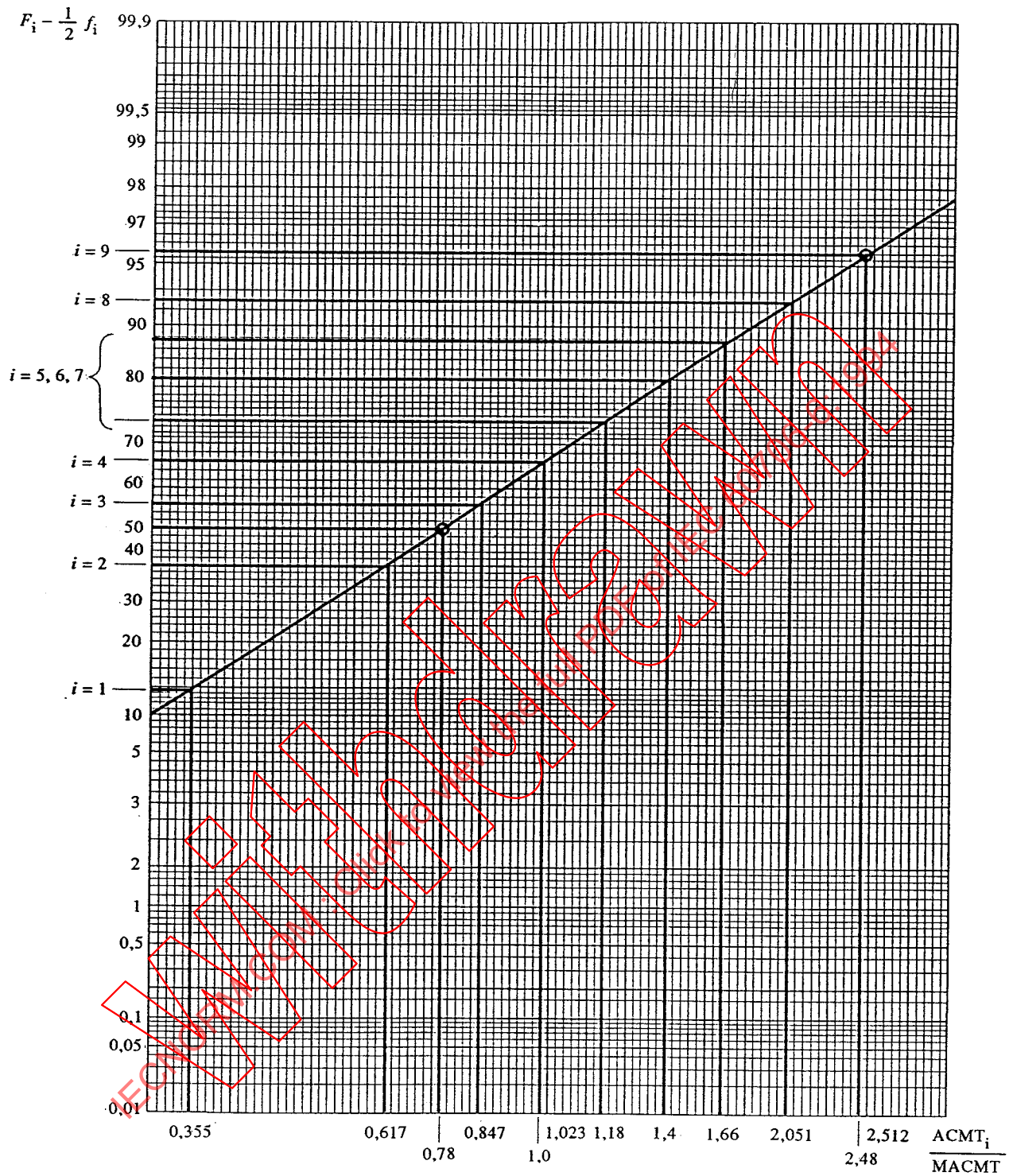


Figure A.2 – Allocation de maintenabilité au niveau du sous-ensemble

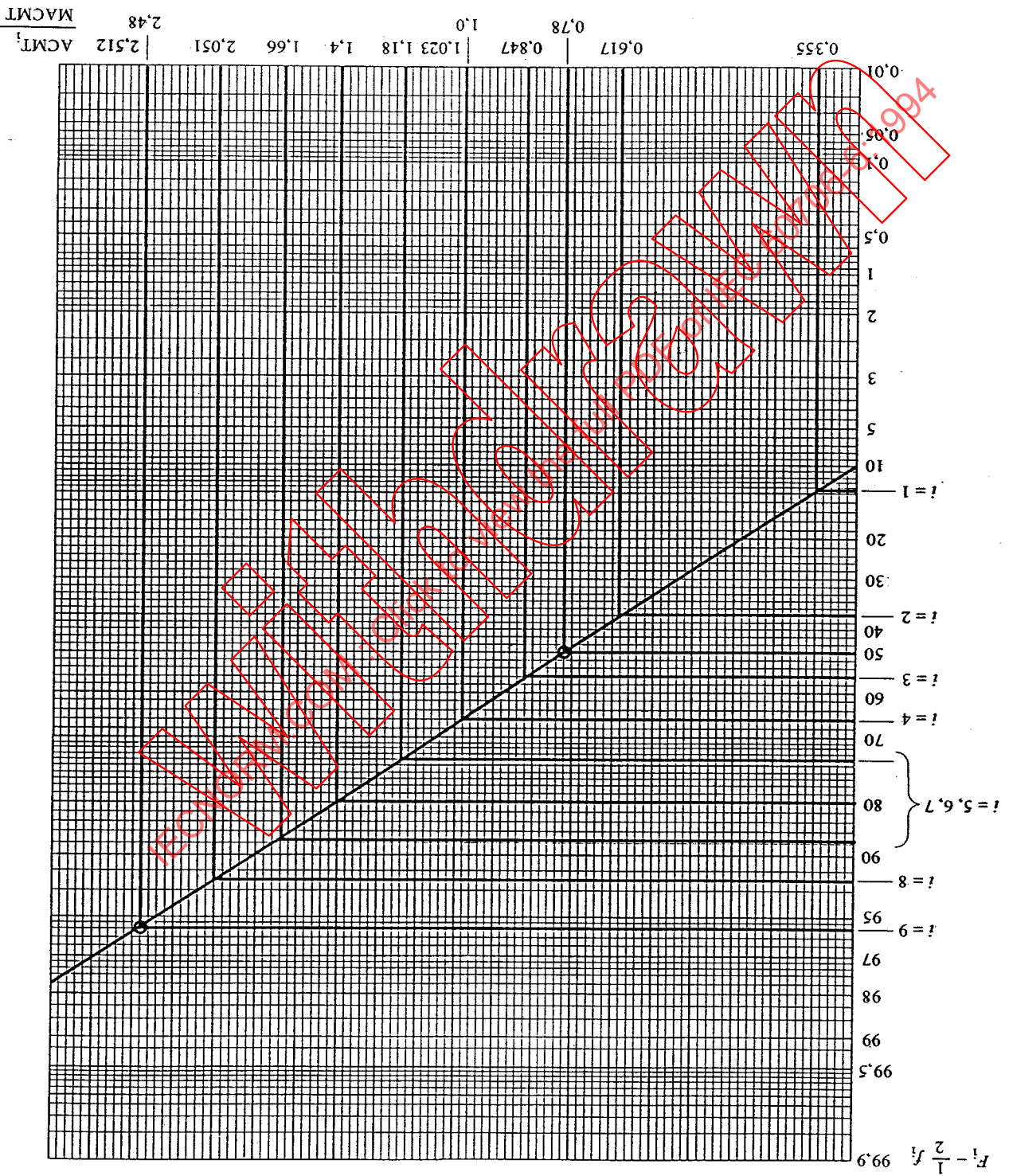


Figure A.2 - Maintainability allocation to subitem level

Annexe B (informative)

Méthodes de test pour une démonstration de maintenabilité

B.1 Méthode de test 1

Paramètre testé: Test sur la moyenne (c'est-à-dire MACMT).

Hypothèses: Les temps de maintenance corrective active, ACMT, peuvent être correctement décrits par une distribution log-normale.
 σ^2 (variance des logarithmes des ACMT) est connue à partir d'informations préalables.

Hypothèses testées: 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 $\mu = \mu_1$
 α = risque de type I, β = risque de type II, $\mu_1 > \mu_0$

Taille d'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 un estimateur préalable de la variance des logarithmes des temps de maintenance corrective active,
 $u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ sont des valeurs de la variable normale standard.

Taille d'échantillon minimum: 30.

Procédure de décision: À partir d'un échantillon aléatoire de n temps de maintenance corrective active $x_1, x_2, \dots, x_n$
 calculer la moyenne d'échantillon
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

et la variance d'échantillon
$$\hat{d}^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 \right).$$

Accepter H_0 si $\bar{x} \leq \mu_0 + u_{1-\alpha} \frac{\hat{d}}{\sqrt{n}}$

Sinon rejeter H_0 .

B.2 Méthode de test 2

Paramètre testé: Test sur la moyenne (c'est-à-dire MACMT)

Hypothèses: Il n'est effectué aucune hypothèse concernant la distribution des temps de maintenance corrective active, ACMT. La variance de ACMT, d^2 , est connue à partir d'informations de test préalables.

Annex B (informative)

Maintainability demonstration test methods

B.1 Test method 1

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

Assumptions: Active corrective maintenance time, ACMT, can be adequately described by a log-normal distribution. The variance of the logarithm of ACMT, σ^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 $\mu = \mu_1$
 α = type I risk, β = type II risk, $\mu_1 > \mu_0$

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

where

$\hat{\sigma}^2$ is a prior estimate of the variance of the logarithms of active corrective maintenance times;

$u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ are standardized normal deviates.

Minimum sample size: 30.

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
$$\hat{d}^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 \right).$$

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

Reject H_0 otherwise.

B.2 Test method 2

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

Assumptions: No specific assumption concerning the distribution of active corrective maintenance times, ACMT, is made. The variance of ACMT, d^2 , is known from prior information.

Hypothèses testées: Voir la méthode de test 1.

Probabilité d'acceptation P_a : Voir la méthode de test 1.

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

où

$\tilde{d}^2$ est une estimation préalable de la variance des temps de maintenance corrective active;

$u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ sont des valeurs de la variable normale standard.

Taille d'échantillon minimum: 30.

Procédure de décision: Voir la méthode de test 1.

B.3 Méthode de test 3

Paramètre testé: Test sur la moyenne (c'est-à-dire MACMT).

Hypothèses: Aucune.

Hypothèses testées: Voir la méthode de test 1.

Probabilité d'acceptation P_a : Voir la méthode de test 1.

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

où

$\hat{d}^2$ est la variance d'échantillon d'un échantillon de temps de maintenance corrective active;

$u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ sont des valeurs de la variable normale standard.

Taille d'échantillon minimum: 50.

Procédure de décision: Voir la méthode de test 1.

B.4 Méthode de test 4

Paramètre testé: Test sur un fractile.

Hypothèses: ACMT est correctement décrit par une distribution log-normale, σ^2 est connu à partir d'informations préalables.

Tested hypotheses: See test method 1.

Probability of acceptance P_a : See test method 1.

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

where

$\tilde{d}^2$ is a prior estimate of the variance of the active corrective maintenance times;

$u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ are standardized normal deviates.

Minimum sample size: 30.

Decision procedure: See test method 1.

B.3 Test method 3

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

Assumptions: None.

Tested hypotheses: See test method 1.

Probability of acceptance P_a : See test method 1.

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

where

d^2 is the sample variance of a sample of active corrective maintenance times;

$u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}$ are standardized normal deviates.

Minimum sample size: 50.

Decision procedure: See test method 1.

B.4 Test method 4

Test index: Test on a fractile.

Assumptions: ACMT is adequately described by a log-normal distribution, σ^2 is known from prior information.

Hypothèses testées: Hypothèse nulle H_0 : $x_p \leq T_0$
 Hypothèse alternative H_1 : $x_p > T_0$
 x_p est la fractile d'ordre p de X , T_0 est le temps moyen spécifié qui sépare les zones d'acceptation et de rejet du fractile de temps testé.

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

où

$\tilde{\sigma}^2$ est un estimateur préalable de σ^2 ;

$u_{1-\alpha}$, $u_{1-\beta}$ et u_p sont des valeurs de la variable normale standard.

Taille d'échantillon minimum: 20 (approximativement).

Procédure de décision: A partir d'un échantillon aléatoire de n temps de maintenance corrective active $x_1, x_2, \dots, x_n$

calculer la moyenne d'échantillon de $\ln x_i$: $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$

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

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

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

Sinon rejeter H_0 .

B.5 Méthode de test 5

Paramètre testé: Proportion d'ACMT supérieure à une valeur spécifiée.

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

Hypothèses testées: Hypothèse nulle H_0 : $\Pr [X > T] \leq p_0$
 Hypothèse alternative H_1 : $\Pr [X > T] > p_0$

où

$\Pr [X > T]$ est la probabilité pour que la variable aléatoire X soit supérieure à T .

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 $x_p = T_1$
 $\alpha = \text{type I risk}$, $\beta = \text{type II risk}$, $T_1 > T_0$

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

where

$\tilde{\sigma}^2$ is a prior estimate of σ^2 ;

$u_{1-\alpha}$, $u_{1-\beta}$ 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 $\ln x_i$:

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

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.5 Test method 5

Test index: ACMT proportion above a specified value.

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

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

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

Taille d'échantillon, n : $n = \left(1 + \frac{k^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{u_{1-p_0} - u_{1-p_1}}\right)^2$ (arrondir à l'entier supérieur),

où

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

$u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}, u_{1-p_0}, u_{1-p_1}$ sont des valeurs de la variable normale standard.

Taille d'échantillon minimum: 20.

Procédure de décision: A partir d'un échantillon aléatoire de n temps de maintenance corrective active $x_1, x_2, \dots, x_n$

calculer la moyenne d'échantillon de $\ln x_i$: $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$

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

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

Sinon rejeter H_0 .

B.6 Méthode de test 6

Paramètre testé: Proportion d'ACMT supérieure à une valeur spécifiée.

Hypothèses: Aucune.

Hypothèses testées: Voir méthode de test 5.

Probabilité d'acceptation P_a : Voir méthode de test 5.

Taille d'échantillon, n , et nombre d'acceptation c : n et c sont déterminées par résolution du système d'équations suivant, n étant l'entier le plus petit satisfaisant aux conditions:

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

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

Ce système peut être résolu:

- en employant l'approximation normale pour $0,2 < p_0 < 0,8$;
- en utilisant l'approximation de Poisson pour $p_0 < 0,2$ (voir tableau B.1);
- directement par utilisation d'un calculateur.

Procédure de décision: A partir d'un échantillon aléatoire de n temps de maintenance corrective active $x_1, x_2, \dots, x_n$, compter le nombre de telles observations dépassant le temps spécifié T .

Ce nombre est désigné par r .

Accepter H_0 si $r \leq c$.

Si $r > c$, rejeter H_0 .

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

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

where

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

$u_{1-\alpha}, u_{1-\beta}, u_{1-p_0}, u_{1-p_1}$ 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.6 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.1);
- 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.7 Méthode de test 7

Paramètre testé: Proportion d'ACMT supérieure à une valeur spécifiée.

Hypothèses: Aucune.

Hypothèses testées: Voir la méthode de test 5.

Probabilité d'acceptation P_a : Voir la méthode de test 5.

Taille d'échantillon: C'est un test séquentiel, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de taille d'échantillon fixée.

Procédure de décision: Des échantillons aléatoires du temps de maintenance corrective active $x_1, x_2, \dots, x_n$ sont tirés jusqu'à ce qu'une décision d'accepter ou rejeter puisse être prise. Le nombre de temps de maintenance corrective active dépassant le temps spécifié T est compté. Ce nombre est désigné par d_N pour les N premières observations. Après chaque observation, d_N est comparé au nombre d'acceptation a_N et au nombre de rejet r_N (voir le 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 $d_N < a_N$.

Rejeter H_0 si $d_N > r_N$.

Si $r_N > d_N > a_N$ le test est poursuivi avec la $(N+1)^e$ observation (voir la figure B.2). Il est recommandé que la valeur de troncature du test soit:

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