

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60706-2

Deuxième édition
Second edition
2006-03

Maintenabilité de matériel –

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

Maintainability of equipment –

**Part 2:
Maintainability requirements and studies
during the design and development phase**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60706-2:2006

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**

60706-2

Deuxième édition
Second edition
2006-03

Maintenabilité de matériel –

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

Maintainability of equipment –

**Part 2:
Maintainability requirements and studies
during the design and development phase**

© 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 **XA**

*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, définitions et acronymes	14
3.1 Termes et définitions	14
3.2 Acronymes	16
4 Approche générale	16
5 Principe de maintenabilité	18
6 Activités de maintenance au cours du cycle de vie	18
6.1 Généralités.....	18
6.2 Phase de concept et de définition.....	20
6.3 Phase de conception et de développement.....	20
6.4 Phase de fabrication et d'installation	22
6.5 Phases opérationnelles et de maintenance.....	22
6.6 Phase de retrait.....	22
7 Exigences de spécification de maintenabilité	24
7.1 Etablissement des exigences de maintenabilité	24
7.2 Caractéristiques de maintenabilité.....	26
7.3 Contraintes.....	30
7.4 Exigences pour le programme de maintenabilité.....	32
7.5 Vérification	32
8 Etudes de maintenabilité dans la phase de conception et de développement.....	34
8.1 Généralités.....	34
8.2 Objectifs.....	34
8.3 Etudes de maintenabilité dans le processus de conception	34
8.4 Outils d'analyse et procédures	44
9 Support de conception.....	58
9.1 Liaison	58
9.2 Critères de conception et listes de contrôle	60
9.3 Revue de conception.....	62
Annexe A (informative) Allocation de maintenabilité.....	66
Annexe B (informative) Exemple d'allocation de maintenabilité	80
Annex C (informative) Exemple d'allocation de valeurs de fiabilité et de sélection de stratégie de maintenance pour un système ayant un taux de défaillance variable	86
Bibliographie.....	100

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	13
2 Normative references	13
3 Terms, definitions and acronyms	15
3.1 Terms and definitions	15
3.2 Acronyms	17
4 General approach.....	17
5 Principle of maintainability.....	19
6 Maintainability activities in the life cycle	19
6.1 General.....	19
6.2 Concept and definition phase	21
6.3 Design and development phase.....	21
6.4 Manufacture and installation phase	23
6.5 Operation and maintenance phases	23
6.6 Disposal phase.....	23
7 Specification of maintainability requirements	25
7.1 Statement of maintainability requirements	25
7.2 Maintainability characteristics.....	27
7.3 Constraints.....	31
7.4 Maintainability programme requirements	33
7.5 Verification	33
8 Maintainability studies in the design and development phase	35
8.1 General.....	35
8.2 Objectives	35
8.3 Maintainability studies in the design process	35
8.4 Analysis tools and procedures	45
9 Design support	59
9.1 Liaison	59
9.2 Design criteria and check-lists.....	61
9.3 Design reviews.....	63
Annex A (informative) Maintainability allocation	67
Annex B (informative) Example of a maintainability allocation	81
Annex C (informative) Example of allocation of reliability values and maintenance strategy selection for a system with non-constant failure rate	87
Bibliography.....	101

Figure 1 – Etudes de maintenabilité dans le processus de conception	40
Figure 2 – Diagramme de maintenabilité au niveau matériel	48
Figure 3 – Etapes de base dans la prédiction de maintenabilité	52
Figure A.1 – $\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = f\left\{\frac{ACMT_{95}}{MACMT}\right\}$	76
Figure A.2 – Allocation de maintenabilité pour le niveau des sous-entités	78
Figure B.1 – Diagramme de niveaux fonctionnels.....	82
Figure C.1 – Tracé de Weibull pour les composants du système.....	98
Tableau 1 – Exemples de caractéristiques de maintenance quantitatives.....	26
Tableau 2 – Tâches détaillées dans les études de maintenabilité	42
Tableau A.1 – Allocation M pour le niveau des sous-entités	74
Tableau B.1 – Tableau d'allocation	84
Tableau C.1 – Comparaison des coûts.....	96

Figure 1 – Maintainability studies in the design process.....	41
Figure 2 – Hardware level maintainability block diagram	49
Figure 3 – Basic steps in maintainability prediction	53
Figure A.1 – $\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = f\left\{\frac{ACMT_{95}}{MACMT}\right\}$	77
Figure A.2 – Maintainability allocation to sub-item level	79
Figure B.1 – Functional level diagram	83
Figure C.1 – Weibull plot of the components in the system	99
Table 1 – Examples of quantitative maintainability characteristics.....	27
Table 2 – Detailed tasks in maintainability studies	43
Table A.1 – M allocation to sub-item level.....	75
Table B.1 – Allocation table	85
Table C.1 – Comparison of costs	97

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MAINTENABILITÉ DE MATÉRIEL –

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

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 60706-2 a été établie par le comité d'études 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, publiée en 1990, et constitue une révision technique.

Les modifications techniques majeures par rapport à la première édition consistent en l'ajout du contenu original de la Section Deux de la CEI 60706-1:1982, Exigences de maintenabilité dans les spécifications et les contrats, et de l'Annexe A mathématique de la CEI 60706-6: 1994, Allocation de maintenabilité.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAINTAINABILITY OF EQUIPMENT –**Part 2: Maintainability requirements and studies
during the design and development phase**

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 60706-2 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1990, and constitutes a technical revision.

The major technical changes with regard to the first edition concern the inclusion of the original Section Two from IEC 60706-1:1982 entitled: Maintainability requirements in specifications and contracts, as well as the original mathematical Annex A from IEC 60706-6:1994, entitled Maintainability allocation.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/1090/FDIS	56/1101/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 60706, sous le titre général *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 de maintenabilité au niveau de la conception

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

Partie 4: Guides pour la planification de la maintenance et du 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.

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

FDIS	Report on voting
56/1090/FDIS	56/1101/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 parts, 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 maintainability programme

Part 2: Maintainability requirements and studies during the design and development 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.

INTRODUCTION

La maintenabilité est une caractéristique qui définit la facilité avec laquelle une entité peut être maintenue et soutenue durant sa période d'utilisation. La maintenabilité est conçue dans cette entité elle-même pendant la phase de conception et de développement et il est donc important que les exigences de maintenabilité soient établies en tant que partie de la spécification initiale.

La série de normes CEI 60706 est destinée à offrir aux concepteurs un guide sur la manière d'introduire un haut niveau de maintenabilité dans l'entité elle-même et au cours de la phase de conception et de développement afin de réduire le coût de maintenance acceptable. Il est aussi important d'assurer que la maintenance peut être pratiquée pour maintenir l'entité dans des conditions de sécurité et qu'il peut fonctionner avec ses performances requises.

La présente norme internationale apporte une introduction au concept de maintenabilité et des guides sur la manière d'introduire la maintenabilité dans les spécifications et les contrats et comment il convient de considérer la maintenabilité comme partie intégrante du processus de conception. Elle constitue une partie d'un ensemble hiérarchisé de normes sur la sûreté, comme cela est illustré ci-après.

La CEI 60300-1 et la CEI 60300-2 sont des normes CEI de haut niveau qui fournissent des guides pour la sûreté de fonctionnement, en incluant la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité des entités manufacturées. La CEI 60300-3-10 est la norme de haut niveau sur la maintenabilité, servant de guide d'application et qui appartient à la série de normes CEI 60300-3. Elle peut être utilisée pour appliquer un programme de maintenabilité couvrant l'initialisation, le développement et les phases de service d'une entité, qui font partie des tâches décrites dans la CEI 60300-2. Elle donne aussi des lignes directrices concernant la façon d'appréhender les aspects de maintenance des tâches afin d'atteindre la maintenabilité optimale.

INTRODUCTION

Maintainability is a characteristic that defines the ease with which an item can be maintained and supported during its period of use. Maintainability has to be built into an item during the design and development phase and it is therefore important that maintainability requirements be established as part of the initial specification.

The IEC 60706 series of standards is intended to give guidance on how a designer should best incorporate high standards of maintainability into a product so that the cost of maintenance is reduced to an acceptable level. It is also important to ensure that the necessary maintenance can be undertaken to keep the product in a safe condition and that it can be operated to its required performance.

This International Standard gives an introduction to the concept of maintainability, and guidance as to how maintainability can be incorporated into specifications and contracts and how maintainability should be considered as part of the design process. It forms part of a hierarchy of standards on 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, including reliability, availability and maintainability, into manufactured products. IEC 60300-3-10 is the top-level standard on maintainability, serving as an application guide and 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 2: Exigences et études de maintenabilité pendant la phase de conception et de développement

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60706 examine les exigences de maintenabilité ainsi que les exigences de conception et d'utilisation qui y sont liées. Elle détaille certaines activités nécessaires pour atteindre les caractéristiques de maintenabilité requises et leurs liens avec le planning de maintenance. Elle décrit l'approche générale pour sa réalisation et montre comment il convient de spécifier les caractéristiques de maintenabilité dans le document traitant des exigences ou le contrat.

Elle n'a pas vocation à être un guide exhaustif sur la manière de spécifier ou d'établir un contrat pour la maintenabilité. Son propos est d'analyser le domaine de ce qu'il convient de considérer quand des caractéristiques de maintenabilité sont introduites en tant qu'exigences pour le développement ou l'acquisition d'une entité.

La norme va jusqu'à décrire des études de maintenabilité dans les phases de conception préliminaires et détaillées et leurs relations avec les autres tâches de maintenance et de support de maintenance qui sont décrites dans les normes associées. Des considérations sur la maintenabilité dans les revues de conception sont aussi incluses.

Il est attendu que les acquéreurs des entités d'équipement trouvent cette norme utile pour les assister dans la définition de leurs objectifs de maintenabilité et programmes de maintenabilité associés.

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 60300-3-1, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-1: Guide d'application – Techniques d'analyse de la sûreté de fonctionnement – Guide méthodologique*

CEI 60300-3-3, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-3: Guide d'application – Evaluation du coût du cycle de vie*

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

CEI 60300-3-11, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-11: Guide d'application – Maintenance basée sur la fiabilité*

MAINTAINABILITY OF EQUIPMENT –

Part 2: Maintainability requirements and studies during the design and development phase

1 Scope

This part of IEC 60706 examines the maintainability requirements and related design and use parameter, and discusses some activities necessary to achieve the required maintainability characteristics and their relationship to planning of maintenance. It describes the general approach in reaching these objectives and shows how maintainability characteristics should be specified in a requirements document or contract.

It is not intended to be a complete guide on how to specify or to contract for maintainability. Its purpose is to define the range of considerations when maintainability characteristics are included as requirements for the development or the acquisition of an item.

The standard goes on to describe maintainability studies in the preliminary and detailed design phases and their relationships to other maintainability and maintenance support tasks, described in associated standards. Maintainability considerations in design reviews are also included.

It is intended that customers acquiring items of equipment will find this standard useful in assisting them to define their maintainability objectives and associated maintainability programmes.

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 60300-3-1, *Dependability management – Part 3-1: Application guide – Analysis techniques for dependability – Guide on methodology*

IEC 60300-3-3, *Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing*

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

IEC 60300-3-11, *Dependability management – Part 3-11: Application guide – Reliability centred maintenance*

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 60706-3, *Guide de maintenabilité de matériel – Partie 3: Sections six et sept – Vérification et recueil, analyse et présentation de données*¹

CEI 60706-5, *Guide de maintenabilité de matériel – Partie 5 – Section 4: Essais pour diagnostic*

CEI 60812, *Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes – Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)*

CEI 61025, *Analyse par arbre de panne (AAP)*

CEI 61160, *Revue de conception (disponible seulement en anglais)*²

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*

3 Termes, définitions et acronymes

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 Termes et définitions

3.1.1

maintenabilité (aptitude)

aptitude d'une entité, sous certaines conditions d'utilisation, à être maintenue ou restaurée dans un état qui peut réaliser une fonction requise, quand la maintenance est effectuée dans des conditions données et en utilisant des procédures et des ressources établies

NOTE Le terme «maintenabilité» est aussi utilisé pour une mesure de l'aptitude à la maintenabilité (voir 191-13-01).

[VEI 191-02-07:1990]

3.1.2

maintenabilité

probabilité pour qu'une action de maintenance donnée, appliquée à une entité dans des conditions d'utilisation données, puisse être exécutée dans un laps de temps établi, quand la maintenance est réalisée dans des conditions établies et en utilisant des procédures et ressources établies

NOTE Le terme «maintenabilité» est aussi utilisé pour décrire l'aptitude de maintenabilité quantifiée par cette probabilité (voir 191-02-07:1990).

[VEI 191-13-01:1990]

¹ Une deuxième édition est prévue d'être publiée prochainement sous le titre révisé «*Maintenabilité de matériel – Partie 3: Vérification et recueil, analyse et présentation de données*».

² La deuxième édition de la CEI 61160 est parue en 2005. Elle existe actuellement seulement en anglais, mais elle remplace la première édition (1992), qui existait en anglais et en français.

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 60706-3, *Guide on maintainability of equipment – Part 3: Sections Six and Seven – Verification and collection, analysis and presentation of data*¹

IEC 60706-5, *Guide on maintainability of equipment – Part 5 – Section 4: Diagnostic testing*

IEC 60812, *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*

IEC 61025, *Fault tree analysis (FTA)*

IEC 61160, *Design review*

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

3 Terms, definitions and acronyms

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

3.1 Terms and definitions

3.1.1

maintainability (performance)

ability of an item under given conditions of use, to be retained in, or restored to, a state in which it can perform a required function, when maintenance is performed under given conditions and using stated procedures and resources

NOTE The term "maintainability" is also used as a measure of maintainability performance (see 191-13-01).

[IEV 191-02-07:1990]

3.1.2

maintainability

probability that a given maintenance action, for an item under given conditions of use, can be carried out within a stated time interval, when the maintenance is performed under stated conditions and using stated procedures and resources

NOTE The term "maintainability" is also used to denote the maintainability performance quantified by this probability (see 191-02-07:1990).

[IEV 191-13-01:1990]

¹ A second edition is due to be published shortly under the revised title "*Maintainability of equipment – Part 3: Verification and collection, analysis and presentation of data*".

3.1.3

maintenance

ensemble de toutes les actions techniques et administratives, actions de supervision incluses, destinées à maintenir ou à restaurer une entité dans un état dans lequel il peut réaliser une fonction requise

[VEI 191-07-01:1990]

3.1.4

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

3.1.5

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

3.2 Acronymes

BITE	dispositif d'essai incorporé (built-in test equipment)
AMDE	analyses des modes de défaillance et de leurs effets
AAP	analyse par arbre de panne
ILS	support intégré de logistique (integrated logistic support)
LCC	coût du cycle de vie
LRU	unité remplaçable sur site
LSA	analyse de support logistique (logistic support analysis)
MART	temps moyen de réparation active (mean active repair time)
MTTR	temps moyen pour la réparation (mean time to repair), ou de restauration ou de recouvrement
MCF	maintenance basée sur la fiabilité
SSI	entité logicielle significative (software significant item)

4 Approche générale

Une part importante du coût d'utilisation d'une entité est la ressource totale dépensée pour les tâches nécessaires au maintien d'une entité, ou à sa restauration dans une condition satisfaisante. Cet effort total est lié au nombre de ces tâches, à leur complexité et à leur durée.

La conception d'une entité doit assurer trois points:

- a) elle atteindra la performance requise;
- b) elle est fiable;
- c) elle est maintenable.

La seconde et la troisième de ces caractéristiques affectent directement l'effort de maintenance qui doit être réparti sur une entité en cela que la fiabilité atteinte reflète la fréquence des maintenances non prévues et que la maintenabilité reflète l'effort nécessaire pour mener toute maintenance.

3.1.3

maintenance

combination of all technical and administrative actions, including supervision actions, intended to retain an item in, or restore it to, a state in which it can perform a required function

[IEV 191-07-01:1990]

3.1.4

maintenance concept

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

3.1.5

maintenance policy

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

3.2 Acronyms

BITE	built-in test equipment
FMEA	failure modes and effects analysis
FTA	fault tree analysis
ILS	integrated logistic support
LCC	life cycle cost
LRU	line replaceable unit
LSA	logistic support analysis
MART	mean active repair time
MTTR	mean time to repair (or restoration or recovery)
RCM	reliability centred maintenance
SSI	software significant item

4 General approach

An important portion of the cost of using an item is the total resources spent on those tasks necessary to retain an item in, or restore it to, a satisfactory condition. This total effort is related to the number of these tasks, their complexity and duration.

The design of an item shall ensure three things, namely:

- a) that it achieves the performance required of it;
- b) that it is reliable;
- c) that it is maintainable.

The second and third of these characteristics directly affect the maintenance effort which shall be expended on an item in that the achieved reliability reflects the frequency of unscheduled maintenance and the maintainability reflects the effort necessary to undertake all maintenance.

En conséquence, les actions menées pendant la conception de toute entité et destinées à agir sur le taux de fiabilité et la sévérité des défaillances font appel principalement à des techniques de fiabilité, alors que celles destinées à influencer sur la maintenance préventive et corrective et sur les exigences de durée, de coût et de support font appel principalement à des techniques de maintenabilité.

Une entité qui peut être facilement maintenue et qui bénéficie d'une organisation de maintenance compétente et efficace, possède une plus grande disponibilité et un coût de cycle de vie réduit, par comparaison à une entité ne bénéficiant pas de ces avantages. Le degré de l'effort fourni pour atteindre une bonne maintenabilité et une organisation de logistique efficace dépend du type d'entité et de l'utilisation à laquelle elle est destinée, et il est fondé sur des facteurs opérationnels, économiques et de sécurité.

Lors de la phase de conception, les composants d'usure doivent être identifiés, et leur durée de vie doit être déterminée, par exemple par une analyse de Weibull (voir CEI 61649). Il convient que la mise en balance des composants ayant une durée de vie plus élevée et le coût de maintenance préventive ou corrective, soit documentée. Ainsi, le système peut être conçu pour une maintenance minimale.

5 Principe de maintenabilité

La présente norme examine les paramètres de maintenabilité ainsi que ceux de la conception et de l'utilisation qui y sont liés, et elle détaille certaines activités nécessaires pour atteindre les caractéristiques de maintenabilité requises, et leurs liens avec le planning de maintenance.

La maintenabilité a un impact majeur sur le coût de support et sur la disponibilité d'un équipement et elle est impliquée avec les caractéristiques de conception, de fabrication et d'installation qui touchent l'aptitude d'une entité à répondre aux exigences spécifiées pour l'utilisation et la maintenance. Cette aptitude est habituellement mesurée en termes qualitatifs et quantitatifs.

NOTE Les concepts décrits dans cette norme peuvent être appliqués à une petite entité ou à un projet majeur et donc, comme cela est défini dans la CEI 60050(191):191-01-01:1990, «entité» est utilisé pour tout composant, dispositif, sous-système, unité fonctionnelle, équipement ou système qui peut être considéré individuellement.

Les caractéristiques de maintenabilité dépendent de ce qui suit:

- a) l'aptitude d'une entité à être maintenue ou restaurée dans un état de service (sujet à dispositions de moyens de diagnostic et d'accessibilité aux composants, etc.), toute condition d'utilisation étant prise en compte. La maintenabilité d'une entité est liée à ces sujets mais avec les restrictions apportées par b);
- b) la logistique de maintenance qui est réellement appliquée (personnel, formation, stocks de pièces détachées, installations, manuels, etc.). L'efficacité du système de logistique de maintenance gouverne la durée globale nécessaire pour mener la réparation.

6 Activités de maintenance au cours du cycle de vie

6.1 Généralités

La présente norme porte un regard essentiellement sur les activités de maintenance au cours de la phase de conception et de développement, mais d'autres activités se déroulent pendant d'autres phases du cycle de vie d'une entité qui sont en rapport avec la maintenabilité et la maintenance et dont la définition et l'accomplissement ont un apport à la disponibilité requise et à l'assurance d'un système rentable. Ces activités sont décrites ci-après.

Therefore actions performed during the design of an item and intended to affect the failure rate and the severity of the failures call mainly for reliability techniques, while those intended to affect the preventive and corrective maintenance and the duration, cost and support requirements of maintenance tasks call mainly for maintainability techniques.

An item that can be maintained easily and is supported by a competent and efficient maintenance organization has a greater availability and a reduced life cycle cost than one that does not have these attributes. The degree of effort that is put into achieving good maintainability and an efficient support organization depends on the type of product and the use to which it is put, and is based on operational, economic and safety factors.

During the design phase, components with wear out must be identified, and their life time be determined, for example, by using Weibull analysis (see IEC 61649). The trade-off between components with higher life time versus the cost of preventive or corrective maintenance should be documented. In this way the system can be designed for minimum maintenance.

5 Principle of maintainability

This standard examines the maintainability and related design and use parameters and discusses some of the activities necessary to achieve the required maintainability characteristics and their relationship to the planning of maintenance.

Maintainability has a major impact on the cost of support and the availability of an equipment and is concerned with characteristics of design, manufacture and installation which affect the ability of an item to conform to specified requirements of use and of maintenance. This ability is usually measured in both qualitative and quantitative terms.

NOTE The concepts described in this standard can be applied to a small product or to a major project and therefore, as defined in IEC 60050(191):191-01-01:1990, "item" is used to denote any part, device, subsystem, functional unit, equipment or system that can be individually considered.

The maintainability characteristics depend on the following:

- a) the ability of the item to be retained in or restored to service (subject to the provision of facilities for diagnosis and accessibility of parts, etc.), all conditions of use being taken into account. The maintainability of an item is concerned with these matters but subject to the restraints of b);
- b) maintenance support, which is actually applied (personnel, training, stocks of spares, facilities, manuals, etc.). The efficiency of the maintenance support system governs the overall time to undertake the repair.

6 Maintainability activities in the life cycle

6.1 General

This standard essentially looks at the maintainability activities in the design and development phase, but there are activities during the other phases of the life cycle of an item in connection with maintainability and maintenance whose definition and achievement assist in providing the required availability and ensuring a cost-effective system. These activities are described below.

6.2 Phase de concept et de définition

6.2.1 Généralités

Les conditions d'utilisation et de maintenance d'une entité agissent sur le concept de maintenance qui est à l'étude lors de la phase d'étude de faisabilité et de prédiction du coût du cycle de vie. La contrainte principale concerne deux domaines, celui de l'exploitation et celui des ressources, et les composantes principales de chacun de ces deux domaines sont données en 6.2.2 et 6.2.3.

6.2.2 Conditions de fonctionnement

Lors de la phase de conception et de définition, les facteurs suivants doivent être pris en considération:

- besoins opérationnels et performance;
- exigences du client;
- conditions environnementales affectant le fonctionnement et la maintenance;
- besoins de moyens identifiant la maintenance, particulièrement de détection de défaillance et de localisation des causes de défaillance (la testabilité est décrite plus en détails dans la CEI 60706-5);
- restrictions d'accès au sujet de la maintenance;
- impact des facteurs humains;
- équipements, logiciels et entités hybrides structurant pour la maintenance, dictés par le lieu, le niveau de réparation et la classification de compétence du personnel de maintenance.

6.2.3 Ressources

Le détail des ressources n'est pas considéré à ce stade, puisqu'une évaluation initiale doit être faite sur l'utilisation possible des ressources de logistique existantes, mais les facteurs suivants doivent être pris en compte:

- existence de l'organisation requise, du lieu, du personnel et de la formation;
- ressources déjà engagées;
- flexibilité des ressources nouvellement acquises.

Voir la CEI 60300-3-12 et la CEI 60300-3-14, qui donnent plus de détails sur la provision de ressources pour la logistique de maintenance.

6.2.4 Définition des exigences de maintenabilité

Il convient que les exigences de maintenabilité prennent en compte les exigences de fonctionnement, de fiabilité et de sécurité ainsi que les contraintes de coût. Cela peut résulter en une spécification de maintenabilité quantitative et qualitative considérant le concept de maintenance et les autres exigences pour cette entité. Des lignes directrices pour les articles relatifs à la maintenabilité dans les spécifications et les contrats sont données dans l'Article 7. Lors de cette phase, il convient qu'une attention particulière soit aussi apportée à la vérification des exigences comme cela est expliqué dans la CEI 60706-3.

6.3 Phase de conception et de développement

6.3.1 Satisfaire aux exigences de maintenabilité

Un moyen efficace pour satisfaire à l'exigence de maintenabilité est de mener un programme de maintenabilité, conçu comme une partie logique du programme global d'ingénierie. Des lignes directrices pour un programme complet et détaillé de maintenabilité sont données dans la CEI 60300-3-10.

6.2 Concept and definition phase

6.2.1 General

The conditions of use and of maintenance of the item place constraints upon the maintenance concept that have to be considered during the feasibility study and the prediction of life cycle costs. The principal constraints fall into two areas, namely that of operations and resources, and the main constituents of each are given in 6.2.2 and 6.2.3.

6.2.2 Operational conditions

During the concept and definition phase, the following factors need to be considered:

- operating needs and performance;
- customer requirements;
- environmental conditions affecting operation and maintenance;
- means of identifying maintenance needs, particularly failure detection and localization of causes of failure (testability is described in more detail in IEC 60706-5);
- restrictions on access for maintenance purposes;
- the impact of human factors;
- equipment, software and hybrid item partitioning for maintenance purposes dictated by location, level of repair and skill classification of the maintainer.

6.2.3 Resources

The detailed resources are not considered at this stage, as an initial assessment needs to be made of the possible use of existing support resources, but the following factors do need to be considered:

- existing or required organization, locality, personnel and training;
- resources already committed;
- flexibility in acquiring new resources.

See IEC 60300-3-12 and IEC 60300-3-14, which give further details on the provision of resources for maintenance support.

6.2.4 Defining maintainability requirements

Maintainability requirements should take into account operational, reliability and safety requirements as well as cost constraints. This should result in a quantitative and qualitative maintainability specification statement considering the maintenance concept and other requirements for the item. Guidance on the maintainability clauses in specifications and contracts are given in Clause 7. Consideration should also be given during this phase to the verification of the requirements as explained in IEC 60706-3.

6.3 Design and development phase

6.3.1 Satisfying maintainability requirements

An effective means of satisfying the maintainability requirement is to carry out a maintainability programme, designed as a logical part of the whole engineering programme. Guidance for a comprehensive maintainability programme is given in IEC 60300-3-10.

6.3.2 Fournir les données de planification de la logistique de maintenance

La planification de la logistique de maintenance doit être menée par étapes avec le développement de l'entité afin d'assurer que la logistique de maintenance est disponible à la mise en service de l'entité. Les éléments principaux à inclure dans la logistique de maintenance sont les suivants:

- les procédures pour maintenir l'entité (incluant les révisions majeures ou les mises à jour de logiciels);
- les provisions initiales de pièces de rechange, les installations, les équipements d'essai et les outils;
- la formation et la disponibilité du personnel de maintenance;
- les manuels techniques, etc.;
- la testabilité;
- le système de recueil des données de maintenance.

Il convient que le plan soit cohérent avec le concept de maintenance et qu'il soit mis à jour régulièrement.

Il convient aussi d'instituer un système d'enregistrement pour les analyses et le retour de données. Des procédures recommandées sont données dans la CEI 60706-3.

6.4 Phase de fabrication et d'installation

L'activité de maintenance importante dans les phases suivant la conception et le développement, et conduisant à l'utilisation opérationnelle d'une entité, est la vérification que la maintenabilité intrinsèque intégrée dans l'entité est bien atteinte. C'est une activité progressive, dont l'étendue dépend de la nature et de la complexité de cette entité; elle implique les réparations et la maintenance ainsi que les tâches d'essais de maintenance menées initialement sur un équipement prototype, suivie par des entités de pré-série, afin d'assurer que les objectifs de maintenabilité sont atteints. D'autres lignes directrices pour la vérification et le recueil de données de maintenance sont indiquées dans la CEI 60706-3.

6.5 Phases opérationnelles et de maintenance

Après installation et déploiement, les maintenances préventive et corrective sont menées comme spécifiées. Les activités importantes associées à la maintenabilité sont le recueil, l'analyse et le retour des données de maintenance. Ces données permettent:

- l'efficacité des activités de maintenance à évaluer;
- l'amélioration de la conception qui peut conduire à la modification de l'entité;
- des décisions portant sur la viabilité de la maintenance et le besoin possible de renouveler l'entité, en incluant des éléments ayant des durées de vie pré-établies.

6.6 Phase de retrait

La décision de retirer une entité est dictée en partie par l'aptitude de cette entité à continuer de fonctionner de façon satisfaisante, de son niveau de fiabilité et de maintenabilité et de son coût opérationnel. Ces facteurs dépendent de la provision continue de pièces détachées et de logistique et de la disponibilité d'un équipement de remplacement.

Le retrait d'une entité en respectant l'environnement prend de plus en plus d'importance et peut être régi par des réglementations.

6.3.2 Providing maintenance support planning data

Maintenance support planning shall be carried out in step with the development of an item to ensure that the maintenance support is available when the item is put into use. The main elements to be included in the maintenance support plan are as follows:

- procedures for maintaining the item (including major overhaul or software upgrades);
- the initial provisioning of spares, facilities, test equipment and tools;
- training and availability of maintenance personnel;
- technical manuals, etc.;
- testability;
- maintenance data collection system.

The plan should be consistent with the maintenance concept and needs to be updated regularly.

A system for recording the analysis and feedback of data should also be instituted. Recommended procedures are given in IEC 60706-3.

6.4 Manufacture and installation phase

The important maintainability activity in the phases following design and development, and leading up to the operational use of an item, is verification that the inherent maintainability designed into it has been achieved. This is a progressive activity, the extent of which depends on the nature and complexity of the item, and involves repairs and maintenance, and maintenance test tasks, carried out initially on prototype equipment, followed by early production items, to ensure that they have met their maintainability targets. Further guidance on verification and maintenance data collection is given in IEC 60706-3.

6.5 Operation and maintenance phases

After installation or deployment, preventive and corrective maintenance are carried out as required. The important associated maintainability activities are the collection, analysis and feedback of maintenance data. These data enable the following:

- the efficiency of the maintenance activities to be assessed;
- improvement of the design which may lead to the modification of the item;
- decisions to be made on the viability of maintenance and the possible need to renew the item, including items with pre-defined lives.

6.6 Disposal phase

The decision to dispose of a product is governed partly by its ability to continue to function satisfactorily, its level of reliability and maintainability and its operational cost. These factors depend on the continued provision of spare parts and support and the availability of replacement equipment.

The safe environmental disposal of an item is becoming increasingly important and may be governed by statutory regulations.

7 Exigences de spécification de maintenabilité

7.1 Etablissement des exigences de maintenabilité

Il convient que la maintenabilité soit spécifiée de telle sorte que le concepteur ait une vue claire du besoin de maintenance et de la manière dont l'entité sera maintenue. Cela peut être reflété dans une formulation qui définit une exigence qui peut être imposée dans un contrat. Cependant, tous les articles traitant de la maintenabilité ne peuvent pas être inclus dans un contrat, par exemple quand une nouvelle entité est développée en interne, les exigences de maintenabilité ou les objectifs peuvent être fondés sur une règle de la compagnie et anticiper sur l'environnement opérationnel. Dans ce cas, il est essentiel que les objectifs soient clairement spécifiés et puissent être vérifiés.

NOTE Dans cette norme, le terme «exigence» est utilisé pour marquer la vision affirmée du rédacteur et comment l'entrée en application sera décidée ou non en accord avec l'état contractuel local.

Les exigences de maintenabilité introduites dans une spécification peuvent inclure des exigences quantitatives ou qualitatives ou les deux. Il convient que les méthodes pour la vérification de la tenue des exigences soient établies, de même que l'existence de toutes les contraintes qui peuvent affecter les caractéristiques de maintenabilité de l'entité.

Il y a un lien progressif entre exigence, spécification et contrat comme montré ci-dessous:

- l'exigence est l'énonciation initiale des caractéristiques de performance produit par un client auquel un fournisseur potentiel doit soumettre une proposition. Elle peut aussi être produite par une organisation comme le résultat d'une recherche de marché pour une entité future;
- la spécification est constituée des caractéristiques de performance d'une entité qui sont prévues pour répondre à l'exigence;
- si la spécification de l'entité proposée est acceptée, les caractéristiques agréées de performance peuvent être rédigées sous la forme d'un contrat et devenir une exigence contractuelle. Les exigences de maintenabilité font partie de la spécification globale et cet article détaille les points qui peuvent être inclus.

Une énonciation complète des exigences de maintenabilité couvre les quatre larges domaines suivants:

- caractéristiques de maintenabilité à atteindre par la conception de l'entité;
- contraintes à porter dans le déploiement de l'entité et qui vont affecter sa maintenance;
- exigences du programme de maintenabilité à accomplir par le fournisseur pour assurer que l'entité fournie possède les caractéristiques de maintenabilité requises;
- fourniture de la planification du support de maintenance.

La spécification de maintenabilité doit détailler les exigences de maintenabilité et la méthode à suivre pour les atteindre.

La spécification doit être établie en terme d'exigences de maintenabilité, dont il convient que certaines soient spécifiées comme essentielles, et d'autres souhaitables. Il convient d'exprimer les exigences en termes mesurables qui peuvent être soit quantitatifs, soit qualitatifs, et il convient qu'ils soient vérifiables lors des phases ultérieures en accord avec les procédures prescrites.

Typiquement, une spécification de maintenabilité couvre des exigences pour l'atteinte de la maintenabilité au niveau opérationnel. Cependant, puisque la maintenabilité, en tant que caractéristique d'une entité, affecte les coûts de maintenance et de logistique, et peut aussi affecter les durées à différents niveaux de maintenance, il convient que les énoncés inclus dans la spécification couvrent les réalisations nécessaires à tous les niveaux affectés par le concept de maintenance.

7 Specification of maintainability requirements

7.1 Statement of maintainability requirements

Maintainability should be specified in such a way that the designer has a clear understanding of the need for maintenance and the manner in which the item is to be supported. This may be reflected in a statement that defines a requirement that can be enforced in a contract. However, not all maintainability statements will be included in a contract, for example when a new product is developed in-house, maintainability requirements or goals may be based on company policy and anticipated use environment. In any case, it is essential that the objectives are clearly specified and can be verified.

NOTE In this standard, the term “requirement” is used to denote the stated aim of the writer and whether or not it is enforceable will be decided according to the local contractual situation.

The maintainability requirements in a specification may contain either quantitative or qualitative requirements, or both. The methods for verifying that the requirements have been satisfied should be stated, as should the existence of any constraints that might affect the maintainability characteristics of the item.

There is a progressive link between requirement, specification and contract as follows:

- the requirement is the initial statement of performance characteristics produced by a customer to which a potential supplier may submit a bid. It can also be put out from within an organization as a result of market research on a future product;
- the specification is the proposed performance characteristics of the item that are expected to respond to the requirement;
- if the specification of the proposed item is accepted, the agreed performance characteristics can be written into a contract and become the agreed requirement. The maintainability requirements are part of the overall specification and this clause details the points that may be included.

A complete statement of maintainability requirements covers the following four broad areas:

- maintainability characteristics to be achieved by the item design;
- constraints to be placed on the item deployment which will affect its maintenance;
- maintainability programme requirements to be accomplished by the supplier to assure that the delivered item has the required maintainability characteristics;
- provision of maintenance support planning.

The maintainability specification shall detail the maintainability requirements and the method to be followed to achieve them.

The specification shall be stated in terms of maintainability requirements, some of which should be specified as essential and others as desirable. The requirements should be given in measurable terms that may be either quantitative or qualitative, and they should be verifiable at later stages in accordance with prescribed procedures.

A maintainability specification typically covers requirements for the achievement of maintainability at the operational level. However, since maintainability as an item characteristic affects maintenance and support costs, and may also affect maintenance times at different maintenance levels, statements should be included in the specification covering achievements needed at all levels affected by the maintenance concept.

7.2 Caractéristiques de maintenabilité

7.2.1 Caractéristiques de maintenabilité quantitatives

Les caractéristiques de maintenabilité quantitatives requises définissent normalement la durée pendant laquelle une entité est dans un état non opérationnel (arrêt) pour cause de maintenance, et il y a normalement une exigence de tenir cette durée à une valeur minimale. Il y a nombre de critères qui peuvent être utilisés pour établir les caractéristiques requises en relation avec le temps de réalisation d'une réparation, une sélection en étant donnée dans le Tableau 1. La différence entre eux tient au fait qu'ils expriment différentes priorités entre des propriétés de l'entité et qu'ils tolèrent d'être mis en balance ultérieurement dans le programme. Il est important que de tels facteurs soient considérés avant qu'une exigence spécifique soit incluse dans la spécification. Des limites peuvent aussi nécessiter d'être spécifiées pour des actions de maintenance préventive.

Tableau 1 – Exemples de caractéristiques de maintenance quantitatives

Terme	Caractéristique statistique	Méthode de vérification
Temps de maintenance active	Moyenne, médiane ou maximum ^a	Evaluation de conception, démonstration ou évaluation en fonctionnement
Temps de maintenance corrective active	Moyenne, médiane ou maximum ^a	Evaluation de conception, démonstration ou évaluation en fonctionnement
Temps de maintenance préventive active	Moyenne, médiane ou maximum ^a	Evaluation de conception, démonstration ou évaluation en fonctionnement
Temps d'accès	Valeur	Evaluation de conception, évaluation en fonctionnement
Nombre d'heures de maintenance par heure de fonctionnement ^b	Moyenne	Evaluation de conception, évaluation en fonctionnement
Nombre de personnes compétentes par action de maintenance	Moyenne, médiane ou minimum	Evaluation de conception, évaluation en fonctionnement
^a La valeur maximale doit être associée à un pourcentage – 95 % est une valeur communément utilisée. ^b D'autres bases de temps peuvent être sélectionnées si appropriées, par exemple jour, mois, année.		

Le temps de maintenance active est souvent utilisé pour spécifier la maintenabilité et il inclut les sous-éléments suivants:

- les diagnostics (détection de défaillance, détection de faute et isolation, localisation de cause, etc.);
- les délais techniques (typiquement, les délais techniques comprennent les temps d'établissement, de refroidissement, d'interprétation et de mise en application de l'information, l'interprétation des affichages, les enregistrements);
- la restauration (dé-assemblage, insertion de corrections logicielles, interchangeament, modification de code de commande, ré-assemblage, alignement, etc.);
- le contrôle final (procédures d'essai, comme nécessaire).

Une variété d'autres caractéristiques de maintenabilité peuvent être spécifiées pour une entité. Le Tableau 1 expose d'autres types de caractéristiques associées à différentes classes de temps de maintenance et à des méthodes de vérification.

La maintenabilité d'une entité peut aussi inclure d'autres caractéristiques détaillées, telles que l'accès, l'utilisation d'outils et d'équipements d'essai, et la relation avec toute logistique de maintenance existante.

7.2 Maintainability characteristics

7.2.1 Quantitative maintainability characteristics

The required quantitative maintainability characteristics normally define the time that an item is in a non-operable (down) state due to being under maintenance, and it is normally a requirement that this time is kept to a minimum. There are a number of criteria that can be used to state the required characteristics related to time to undertake the repair, a selection of which are given in Table 1. The difference between them is that they express different priorities between related item properties and that they allow for flexibility concerning trade-offs to be made later in the programme. It is important that such factors are considered before a specific requirement is included in the specification. Limits may also need to be specified for the preventive maintenance tasks.

Table 1 – Examples of quantitative maintainability characteristics

Term	Statistical characteristic	Verification method
Active maintenance time	Mean, median or maximum ^a	Design evaluation, demonstration or operational evaluation
Active corrective maintenance time	Mean, median or maximum ^a	Design evaluation, demonstration or operational evaluation
Active preventive maintenance times	Mean, median or maximum ^a	Design evaluation, demonstration or operational evaluation
Access time	Value	Design evaluation, operational evaluation
Number of maintenance hours per operating hour ^b	Mean	Design evaluation, operational evaluation
Number of appropriately skilled personnel per maintenance action	Mean, maximum or minimum	Design evaluation, operational evaluation
^a The maximum value shall be associated with a percentile – a commonly used value is 95 %. ^b Other time bases may be selected as appropriate, e.g. day, month, year.		

The active maintenance time is often used to specify maintainability and includes the following sub-elements:

- diagnosis (failure detection, fault detection and isolation, localization of cause, etc.);
- technical delays (typical technical delays include setting time, cooling, interpretation and application of information, interpretation of displays, read out);
- restoration (disassembly, insert software patch, interchange, modify control code, re-assembly, alignment, etc.);
- final check (testing procedures as necessary).

A variety of other maintainability characteristics may be specified for the item. Table 1 outlines some other types of characteristics associated with different classes of maintenance time and verification methods.

The maintainability of an item may also include further detailed characteristics, such as access, use of special tools and test equipment, and relationship with any existing maintenance support.

La maintenabilité peut être utilisée comme mesure indirecte de la disponibilité, en utilisant l'expression de la disponibilité:

$$\text{Disponibilité} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

où

MTBF est le temps moyen entre deux défaillances;

MTTR est le temps moyen de réparation.

En faisant l'hypothèse que le MTBF d'une entité est constant, la disponibilité est une mesure de la maintenabilité en terme de temps de réparation.

La relation entre les différents éléments du temps d'arrêt global de maintenance est donnée dans la CEI 60300-3-10:2001, Figure 2.

7.2.2 Caractéristiques qualitatives de maintenabilité

Les caractéristiques qualitatives de maintenabilité requises incluent la définition des fonctions de l'entité, les critères de panne, les conditions environnementales et opérationnelles et la durée de vie utile de l'entité pendant laquelle ces exigences doivent être tenues. Les caractéristiques qualitatives sont liées au degré avec lequel l'entité répond à une politique spécifique de maintenance et de logistique. Quand les caractéristiques qualitatives contiennent des valeurs numériques, il convient de les qualifier par un état du degré qui doit être respecté. Cela peut être obtenu en établissant des proportions de cas ou d'événements, avec des niveaux de confiance et autres probabilités. Autrement, la conformité doit être jugée à partir d'une inspection ou une revue documentaire. De telles politiques peuvent inclure des articles tels que les exemples suivants:

- la réparation doit être effectuée par un personnel de niveau de compétence établi;
- la réparation doit être effectuée par remplacement des entités aux niveaux spécifiés;
- les pièces remplaçables doivent être des unités insérables;
- la maintenance doit être effectuée en accord avec les procédures définies et établies par l'utilisateur;
- l'isolation des pièces défectueuses doit être effectuée par un équipement d'essai incorporé.

Il existe une étendue d'autres sujets qualitatifs possibles qui peuvent être d'intérêt, et qui sont listés ci-dessous:

- accessibilité;
- exigence de niveau de compétence en maintenance;
- besoin d'outils et équipements d'essai spécifiques;
- nécessité de réglages;
- standardisation des pièces;
- identification claire de la fonction des sous-systèmes;
- contrôle de la configuration, de l'état et de la fonction;
- accès pour inspection visuelle;
- dispositif d'essai incorporé;
- points d'essai correctement identifiés;

Maintainability can be used as an indirect measure of availability, using the expression for availability:

$$\text{Availability} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

where

MTBF is the mean time between failures;

MTTR is the mean time to repair.

Assuming that the MTBF of an item is constant, the availability is a measure of the maintainability in terms of the time to repair.

The relationship between the various elements of the overall maintenance down time is given in IEC 60300-3-10:2001, Figure 2.

7.2.2 Qualitative maintainability characteristics

The required qualitative maintainability characteristics include the definition of product functions, fault criteria, environmental and operational conditions and useful life of the item during which the requirements have to be fulfilled. The qualitative characteristics are related to the degree to which the item meets a specific maintenance and support policy. Where the qualitative characteristics contains numerical values, it should be qualified by a statement of the degree to which it should be met. This can be carried out by proportions of cases or events, by confidence levels or by other probabilities. Otherwise, compliance shall be judged by inspection or document review. Such policies can include statements as shown by the following examples:

- repair shall be performed by personnel of stated skill level;
- repair shall be performed by replacement of items at specified levels;
- replaceable parts shall be plug-in units;
- maintenance shall be performed according to the user's defined and established procedures;
- failed part isolation shall be performed by built-in test equipment.

There is a range of other possible qualitative subjects which may be of concern, as listed below:

- accessibility;
- maintenance skill level requirement;
- need for special tools and test equipment;
- need for adjustments;
- parts standardization;
- clear sub-system function identification;
- configuration control, fit and function;
- visual inspection access;
- built-in test equipment;
- properly marked test points;

- code de couleur ou étiquetage, comme approprié;
- utilisation d'unités insérables;
- utilisation d'attaches captives;
- utilisation de poignets sur les unités remplaçables;
- domaine et étendue des manuels techniques;
- risque d'obsolescence de l'équipement;
- limitations du facteur humain dans la conception de l'entité;
- sécurité du personnel de maintenance et d'exploitation.

7.2.3 Testabilité

La testabilité est définie comme étant une caractéristique qualitative qui détermine le degré auquel une entité peut être soumise à l'essai dans des conditions établies. L'objectif d'un diagnostic d'essai est de fournir des méthodes rapides et peu coûteuses d'identification de panne afin de minimiser les coûts de maintenance et d'optimiser l'utilisation opérationnelle de l'entité. Un diagnostic rapide et précis de fautes est un facteur clé pour atteindre une maintenabilité élevée.

Les caractéristiques de maintenabilité requises peuvent être exposées en détail afin de pouvoir utiliser les équipements d'essai existant dans de nouvelles entités, ou bien elles peuvent être laissées au choix du concepteur pour la tenue des objectifs généraux de disponibilité, en utilisant un équipement spécifique conçu pour la tâche, un équipement standard ou un équipement d'essai incorporé (BISTE). La CEI 60706-5 donne plus d'informations sur les caractéristiques de testabilité.

7.3 Contraintes

Lors de la rédaction d'une spécification, il convient que les exigences établissent comment la maintenance sera organisée et effectuée, et les contraintes qui seront imposées à celui qui réalisera la maintenance ou au fournisseur (par exemple, il ne sera pas toléré que certaines périodes soient sans maintenance préventive).

Les contraintes imposées dans une spécification dépendent de la nature des exigences de maintenabilité, comme décrit en 7.1. Il est avisé d'examiner explicitement cette nécessité pour chaque objectif établi. Il convient aussi que les contraintes incluent tous les facteurs de coût apportant une limite.

Généralement, de telles contraintes incluent, sans y être limitées, ce qui suit:

- la nécessité d'une interface avec une politique de maintenance et de logistique existante ou définie;
- des limites pour les ressources critiques telles que les instrumentations coûteuses, les pièces de remplacement de coût élevé, et le nombre de personnes de compétence élevée à chaque niveau de l'organisation;
- une clause mettant des exigences ou des limites sur la somme et la nature de la maintenance préventive;
- les aspects environnementaux;
- l'exigence de disposer des ressources critiques sur le site;
- toute contrainte de durée, relative à l'utilisation attendue de l'équipement, quand la maintenance préventive peut être effectuée;
- les contraintes qui peuvent aussi être introduites par référence à d'autres spécifications, publications CEI ou toute autre publication.

- colour coding and labels, as appropriate;
- use of plug-in units;
- use of captive fasteners;
- use of handles on replaceable units;
- scope and range of technical manuals;
- risk of obsolescence of equipment;
- human factor limitations in the design of the item;
- safety of maintenance and operating personnel.

7.2.3 Testability

Testability is defined as a qualitative design characteristic which determines the degree to which an item can be tested under stated conditions. The objective of diagnostic testing is to provide cost-effective and rapid methods of fault identification in order to minimize maintenance costs and to optimize the operational use of the item. Speedy and accurate fault diagnosis is a major factor in achieving high maintainability.

The required testability characteristics may be laid down in detail in order to use existing test equipment in new products or may be left to the designer to meet general availability targets using equipment designed for the task, standard test equipment or built-in test equipment (BITE). IEC 60706-5 gives more information on testability characteristics.

7.3 Constraints

When writing a specification the requirements should state how maintenance should be organized and undertaken and the constraints that will be imposed on the maintainer or supplier (for example, no preventive maintenance will be allowed during certain periods of time).

The constraints needed in a specification depend on the nature of the maintainability requirements, as discussed in 7.1. It is advisable to examine this need explicitly for each objective stated. The constraints should also include any cost-limiting factors.

Generally, such constraints will include, but will not be limited to, the following:

- the need to interface with an existing or defined maintenance and support policy;
- limits for critical resources such as expensive instrumentation, high-cost spares and the number of skilled personnel at each level in the organization;
- a statement putting requirements or limits on the amount and the nature of preventive maintenance;
- environmental aspects;
- the requirement to constrain the critical resources to be held on site;
- any constraints of periods of time, relative to expected utilization of the equipment, when preventive maintenance can be carried out;
- constraints which may also be introduced by reference to other specifications, IEC publications or other publications.

7.4 Exigences pour le programme de maintenabilité

7.4.1 Généralités

Il est recommandé qu'une spécification inclut des exigences pour un programme formel de maintenabilité qui puissent être utilisées par le fournisseur dans son effort pour satisfaire les exigences. Les raisons sont les suivantes:

- cela facilite la coordination entre plusieurs fournisseurs des différentes entités qui sont utilisés dans un même système;
- une interface peut être établie entre le développement de l'entité et le développement d'un système de maintenance et de logistique;
- l'interaction client-fournisseur définie dans un programme peut être vue comme faisant partie de la vérification du respect des exigences;
- plus de flexibilité est permise pour les choix avec une exigence de programme formel.

Des détails spécifiques aux programmes de maintenabilité sont donnés dans la CEI 60300-3-10. Un programme formel de maintenabilité peut ne pas être réalisé en tant que tel, le travail pouvant être intégré dans un programme de sûreté de fonctionnement plus large ou dans un programme intégré de support logistique (voir CEI 60300-3-12); cependant, il est important que le travail soit effectué, quelque soit la forme adoptée.

7.4.2 Logistique de maintenance

Un système économiquement rentable exige que la conception d'une entité satisfasse aux exigences de maintenabilité et la provision d'un système de maintenance et de logistique qui permette de respecter le concept de maintenance. A cette fin, des ressources nécessaires pour maintenir le système doivent être acquises. Ceci peut être intégré dans l'acquisition de l'entité à maintenir.

La logistique pour une entité peut être atteinte par trois voies principales ou leurs combinaisons:

- a) le fournisseur est responsable pour la fourniture de certaines ressources nécessaires pour tenir les exigences de maintenance, par exemple formation, manuels, équipements d'essai, pièces détachées, etc. et l'acheteur effectue lui-même les actions de maintenance;
- b) le fournisseur a la responsabilité de la fourniture de la logistique de maintenance;
- c) une tierce partie a la responsabilité de la fourniture de la logistique de maintenance.

Le plan de logistique de maintenance est généralement développé au moyen d'une analyse de logistique.

7.5 Vérification

La vérification des exigences de maintenance est le processus déterminant quelles sont les exigences imposées dans la spécification et qui doivent être tenues. La vérification peut être effectuée à différents niveaux, en fonction du type d'équipement et de la responsabilité pour la définition et la fourniture de la logistique de maintenance. Les méthodes de vérification peuvent être classées de la soumission par le fournisseur d'une donnée ou information appropriée jusqu'à la réalisation des essais de qualification ou de la démonstration de maintenabilité.

Il convient que la spécification inclut l'exigence pour la vérification des exigences de maintenabilité, associée aux méthodes à appliquer pour apporter cette assurance. Il convient que cela soit traité, à la fois par des exigences qualitatives et quantitatives et, par les actions nécessaires dans le cas où les exigences ne seraient pas tenues. Il convient que l'exigence relative à l'installation des décompteurs d'heures de fonctionnement, de nombres de cycles ou autres nombres équivalents soit considérée lors de la mesure de l'utilisation pour aider aux calculs intervenant dans le processus de vérification.

7.4 Maintainability programme requirements

7.4.1 General

It is recommended that a specification should include requirements for a formal maintainability programme to be used by the supplier in his efforts to satisfy requirements. The reasons are the following:

- it facilitates coordination between several suppliers delivering items to be used in the same system;
- it can establish an interface between item development and the development of a maintenance and support system;
- the customer–supplier interaction defined by a programme can be seen as part of the verification that requirements have been fulfilled;
- more flexibility for trade-offs can be allowed with a formal programme requirement.

Specific details on maintainability programmes are given in IEC 60300-3-10. A formal maintainability programme may not be undertaken on its own, as the work can be integrated into a wider dependability programme or an integrated logistic support programme (see IEC 60300-3-12); however, it is important that the work be addressed in some form.

7.4.2 Maintenance support

A cost-effective system requires that the design of an item satisfies the maintainability requirements and the provision of a maintenance and support system that enables the maintenance concept to be met. To this end, resources needed to maintain and support the system have to be acquired. This may be integrated with the acquisition of the item to be supported.

The support of an item can be achieved in three principal ways or by a combination of them:

- a) the supplier is given the responsibility of providing some of the resources needed to fulfil maintenance requirements, for example training, manuals, test equipment, spares, etc. and the purchaser arranges for, or himself undertakes, the maintenance actions;
- b) the supplier is given the responsibility of providing maintenance support;
- c) a third party is given the responsibility of providing maintenance support.

The maintenance support plan is generally developed by means of a support analysis.

7.5 Verification

The verification of maintainability requirements is the process of determining that the requirements imposed in the specification have been achieved. The verification can be undertaken at different levels, depending on the type of equipment and the responsibility for defining and providing maintenance support. Methods of verification may range from the submission by the supplier of appropriate data or information to a requirement to perform qualification tests or a maintainability demonstration.

The specification should include the requirement for verification of the maintainability requirements, together with the methods to be undertaken for providing this assurance. This should address both the qualitative and quantitative requirements and the actions necessary if the requirements are not met. The requirement to fit counters that indicate the hours of operation, cycles or similar performance numbers should be considered for the measurement of use to assist in the calculations used in the verification process.

La tenue des paramètres de la spécification est souvent liée à une acceptation contractuelle et/ou des compensations dans le cas de défaillances dans la tenue de performances, et en conséquence, l'introduction de paramètres de maintenabilité, et de la méthode apportant la vérification ou l'assurance, exige d'être clarifiée et établie sans ambiguïté dans la spécification.

8 Etudes de maintenabilité dans la phase de conception et de développement

8.1 Généralités

Cet article donne un bref exposé des études de maintenabilité dans la phase de conception et de développement et leurs relations avec les autres tâches de maintenabilité et de logistique de maintenance qui sont décrites dans la documentation associée.

Une sélection d'études de maintenabilité et de conception sont décrites. Des considérations sur la maintenabilité dans les révisions de conception sont aussi incluses.

8.2 Objectifs

Les objectifs des études de maintenabilité sont les suivants:

- guider les décisions de conception;
- prédire les caractéristiques quantitatives de maintenabilité de l'entité;
- identifier toute modification de la conception de l'entité ou des exigences, ou des deux, qui sont nécessaires pour tenir les exigences opérationnelles sous des contraintes données.

Il convient que la maintenabilité soit considérée en détail comme partie intégrante de la conception de l'entité. Les études de maintenabilité, conjointement aux études de fiabilité, sont réalisées pour traduire des exigences opérationnelles en exigences détaillées qualitatives et quantitatives de maintenabilité et en critères de conception, et il convient que leurs résultats fournissent des entrées à la prise de décisions touchant à la conception.

8.3 Etudes de maintenabilité dans le processus de conception

8.3.1 Généralités

Les études de maintenabilité sont parties intégrantes du programme de maintenabilité destiné à assurer que l'entité livrée est conforme aux exigences de maintenabilité. Il convient qu'elles soient prévues et effectuées par le fournisseur, même si elles ne sont pas contractuellement spécifiées, pour vérifier l'aptitude de la conception, identifier la facilité avec laquelle les travaux de maintenance peuvent être effectués et donc directement influencer le coût de propriété.

Des suggestions de sujets pouvant être inclus dans les études de maintenabilité sont données ci-dessous:

- niveaux de compétence des agents de maintenance;
- lignes de maintenance proposées;
- type et quantité de maintenance à réaliser pour chaque «ligne de maintenance»;
- accessibilité;
- modularité;
- interchangeabilité fonctionnelle d'entités;
- temps de réparation;
- durée de vie estimée des composants subissant une usure;

The achievement of specification parameters is often tied to contractual acceptability and/or compensation terms in the event of failure to meet performance and therefore the inclusion of maintainability parameters, and the method for providing verification or assurance, needs to be clearly and unambiguously stated in the specification.

8 Maintainability studies in the design and development phase

8.1 General

This clause outlines maintainability studies in the design and development phase and the relationship to other maintainability and maintenance support tasks, which are described in associated documentation.

The selected maintainability and design studies are described. Maintainability considerations in design reviews are also included.

8.2 Objectives

The objectives of maintainability studies are as follows:

- to guide design decisions;
- to predict the quantitative maintainability characteristics of the item;
- to identify any changes to the item design or the requirements, or both, which are necessary to meet operational requirements within the given constraints.

Maintainability should be considered in detail as an integral part of the design of the product. Maintainability studies, in conjunction with reliability studies, are undertaken to translate operational requirements into detailed qualitative and quantitative maintainability requirements and design criteria and their results should provide inputs to design decision making.

8.3 Maintainability studies in the design process

8.3.1 General

Maintainability studies form a part of the maintainability programme intended to ensure that the delivered item meets its maintainability requirements. They should be planned and performed by the supplier, even if they are not contractually specified, as they verify design capability, identify the ease with which maintenance work can be carried out and therefore directly influence the cost of ownership.

Suggested topics that should be included in maintainability studies are as follows:

- maintainer skills levels;
- proposed lines of maintenance;
- type and amount of maintenance to be carried out by each "line of maintenance";
- accessibility;
- modularity;
- functional interchangeability of items;
- repair times;
- estimated life time of components subject to wear out;

- facilité d'identification des entités défectueuses;
- degré de diagnostic des essais;
- coûts de maintenance.

8.3.2 Analyse de maintenabilité

L'analyse de maintenabilité, partie intégrante des études de maintenabilité, est un processus qui traduit des exigences opérationnelles en exigences détaillées, qualitatives et quantitatives de maintenabilité, contribue aux études de choix et évalue une conception proposée par rapport à des critères de conception qualitatifs et quantitatifs. Elle fournit des entrées pour le processus de conception par le biais de documentations sous les rubriques suivantes:

- exigences spécifiques de maintenabilité à tenir au niveau de la conception;
- guides de conception et listes de contrôle pour assurer que les caractéristiques de maintenabilité requises sont incluses dans la conception;
- un résumé des exigences de base des fonctions de maintenance et de logistique;
- le coût des composants et le coût de maintenance préventive et corrective.

Les analyses de maintenabilité sont impliquées dans les études interactives de choix de conception, un certain nombre d'entre elles étant requises avant que le choix de la conception optimale soit fait. Il convient aussi qu'elles soient utilisées pour évaluer l'extension des exigences de maintenabilité dans la conception.

Afin d'obtenir les résultats optimums, il convient que les analyses soient fondées sur un concept de maintenance établi parallèlement à l'optimisation de la conception. Il convient qu'elles soient en accord avec le concept fonctionnel de l'entité et les contraintes de maintenance (interrelations entre les niveaux de maintenance, lignes de maintenance et conditions de maintenance) dans l'organisation de l'utilisateur. Le concept opérationnel résulte en une définition de mission, un déploiement opérationnel, un cycle de vie, une utilisation et un environnement opérationnel. Les éléments du concept de maintenance sont décrits dans les guides d'application traitant de la maintenabilité (CEI 60300-3-10) et de la maintenance et de la logistique de maintenance (CEI 60300-3-14).

8.3.3 Processus de conception

Le concepteur est responsable de l'atteinte des exigences opérationnelles ce qui inclut les exigences de maintenabilité dans la conception dans les contraintes usuelles de planning et de coût. Afin de satisfaire à ces exigences, il convient que la maintenabilité soit spécifiée dès le début du processus de conception et que les études de maintenabilité nécessaires soient réalisées pendant ce processus. Il convient que le programme de maintenabilité identifie les responsabilités de la conduite de ces études de maintenabilité, à moins qu'elles soient incluses dans le processus global d'analyse ILS (comme décrit dans la CEI 60300-3-12). Leur étendue ou profondeur sera dictée par les besoins particuliers dont eux-mêmes dépendent; du degré de complexité du système et de la criticité de l'entité par rapport à la sécurité requise, à la disponibilité et à la fiabilité.

La conception est un processus interactif, et chaque tâche apporte une entrée aux autres tâches qui sont menées en parallèle. Les entrées essentielles pour l'analyse de maintenabilité qui ne sont pas incluses dans ce guide sont:

- les sorties des études de fiabilité, et
- les résultats des analyses de maintenabilité portant sur un équipement de niveau plus bas qui devraient être fournis par les fournisseurs d'équipement au titre de leur programme de maintenabilité.

- ease of identifying a faulty item;
- degree of diagnostic testing;
- maintenance costs.

8.3.2 Maintainability analysis

Maintainability analysis, as an integral part of maintainability studies, is a process which translates operational requirements into detailed qualitative and quantitative maintainability requirements, contributes to trade-off studies, and evaluates a proposed design against qualitative and quantitative design criteria. It provides inputs to the design process by means of documentation under the following headings:

- specific maintainability requirements to be met in the design;
- design guidelines and check-lists to ensure that the required maintainability features are included in the design;
- a summary of basic maintenance functions and support requirements;
- cost of components and cost of preventive and corrective maintenance.

Maintainability analyses are involved in iterative design trade-off studies, a number of which may be required before the optimum design is selected. They should also be used to evaluate the extent of achievement of the maintainability design requirements.

In order to provide optimum results, analyses should be based on a maintenance concept established in parallel with the design optimization. They should accord with the operational concept of the item and the maintenance constraints (inter-relationships between levels of maintenance, lines of maintenance and maintenance conditions) in the user's organization. The operational concept results in mission definition, operational deployment, life cycle, utilization and operational environment. The elements of the maintenance concept are described in the application guides on maintainability (IEC 60300-3-10), and maintenance and maintenance support (IEC 60300-3-14).

8.3.3 Design process

The designer is responsible for the achievement of operational requirements including maintainability requirements in design within the usual constraints of schedules and costs. In order to satisfy these requirements, maintainability should be specified at the beginning of the design process and necessary maintainability studies should be performed during this process. The maintainability programme should identify the responsibilities for conducting these maintainability studies, unless they are included within an overall ILS analysis process (as described in IEC 60300-3-12). Their extent and depth will be dictated by the particular needs upon which they themselves depend; and upon the degree of system complexity and item criticality with respect to required safety, availability and reliability.

Design is an iterative process, and each task provides an input to those tasks that follow and to those that are being carried out in parallel. Essential inputs to maintainability analysis that are not included in this guide are

- outputs from reliability studies, and
- results of lower level equipment maintainability analyses which should be provided by the equipment suppliers as part of their maintainability programme.

La plupart des projets de performance élevée, pour lesquels un programme de maintenabilité complet est important, dépendent fortement de leurs sous-contractants. En conséquence, pour ces projets, il est nécessaire d'intégrer les sous-contractants dans le programme global de maintenabilité.

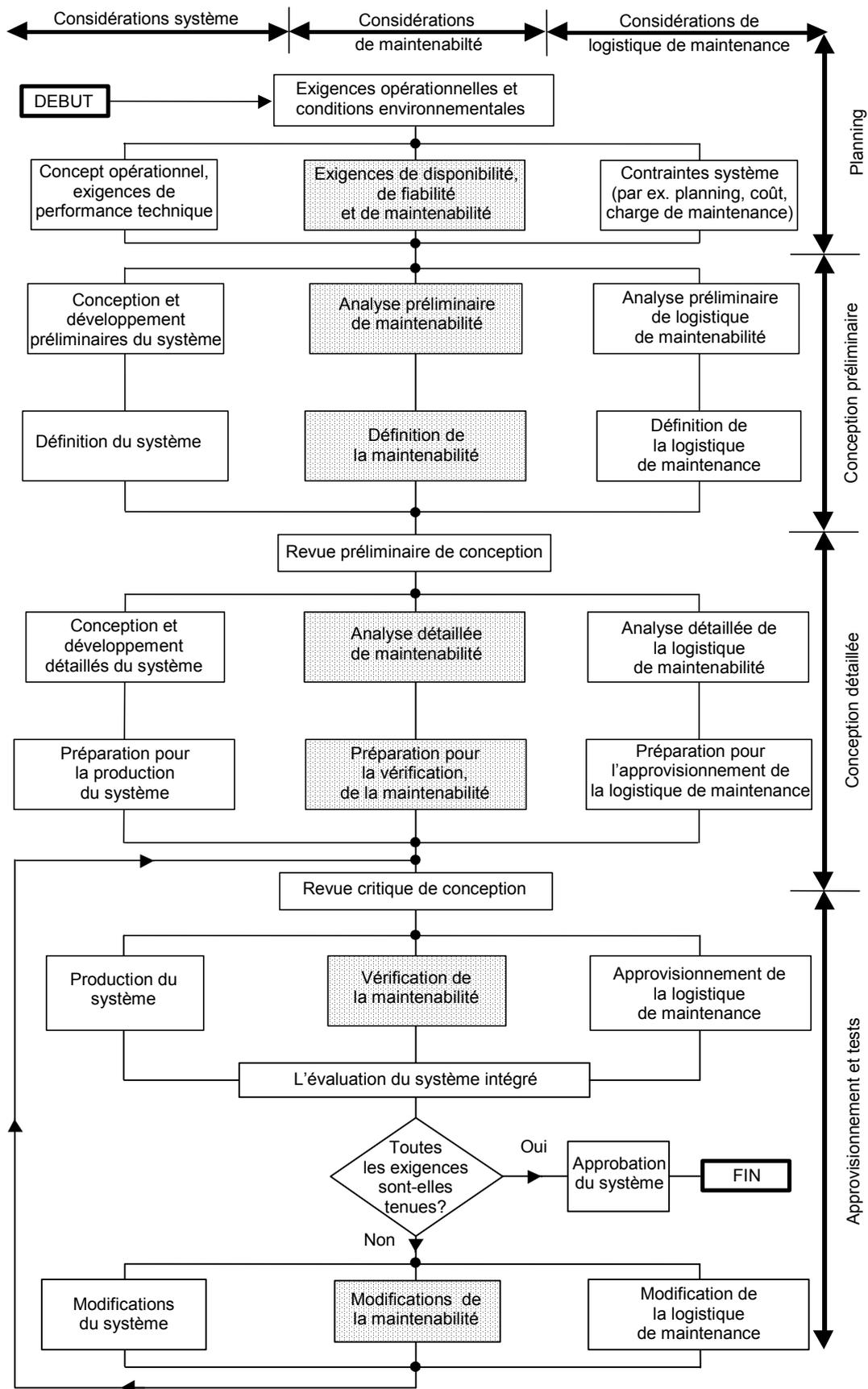
La Figure 1 ainsi que le Tableau 2 constituent un exemple des liens par lesquels les études de maintenabilité lors de la conception sont en relation avec les tâches de conception. Cette exemple montre aussi la relation entre l'analyse de maintenabilité et l'analyse de logistique de maintenance (voir CEI 60300-3-14), qui sont menées simultanément. Il convient de noter que ces revues de conception doivent être effectuées aux points de décisions majeures.

Les tâches spécifiques de maintenabilité sont identifiées par les boîtes «ombrées» dans la Figure 1.

Most high performance projects, for which a comprehensive maintainability programme is important, depend highly upon subcontractors. Therefore, in these projects it is necessary to integrate subcontractors into the total maintainability programme.

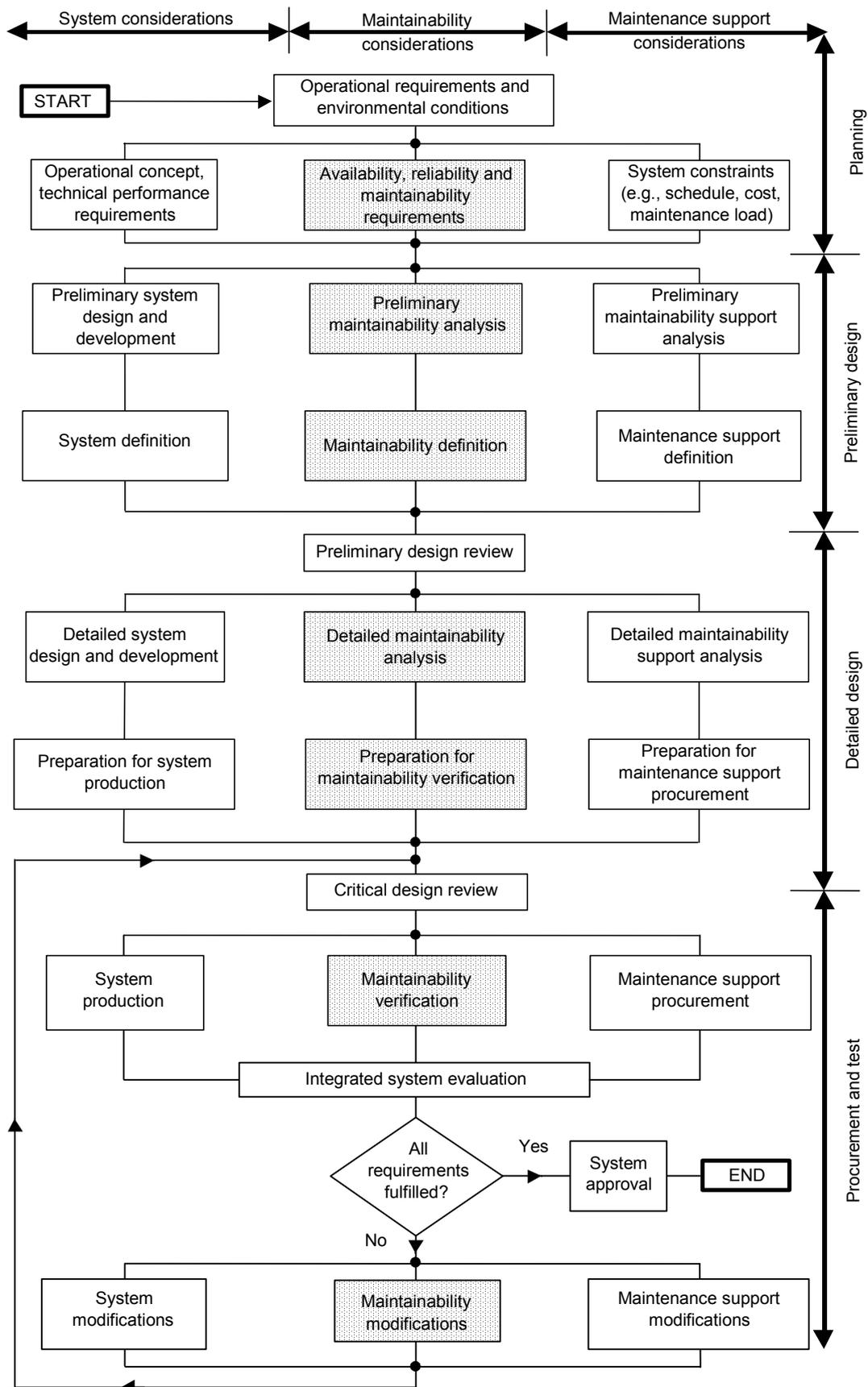
Figure 1, together with Table 2, is an example of the way in which maintainability studies in design relate to design tasks. This example also shows the relationship between maintainability analysis and maintenance support analysis (see IEC 60300-3-14), which are carried out in parallel. It should be noted that design reviews should be carried out at major decision points.

The specific maintainability tasks are identified by the shaded boxes in Figure 1.



IEC 345/06

Figure 1 – Etudes de maintenabilité dans le processus de conception



IEC 345/06

Figure 1 – Maintainability studies in the design process

Tableau 2 – Tâches détaillées dans les études de maintenabilité

<p>CONCEPTION ET DÉVELOPPEMENT PRÉLIMINAIRES DU SYSTÈME</p> <p>Conceptions alternatives</p> <p>Conception préliminaire</p>
<p>DÉFINITION DU SYSTÈME</p> <p>Etudes des choix au niveau du système</p> <p>Sélection de la conception optimale du système</p> <p>Spécifications du système</p> <p>Sélection des sous-contractants</p>
<p>ANALYSES PRÉLIMINAIRE DE MAINTENABILITÉ</p> <p>Diagrammes de blocs</p> <p>Estimation de la faisabilité</p> <p>Allocations</p> <p>Critères de conception</p>
<p>DÉFINITION DE LA MAINTENABILITÉ</p> <p>Etudes des choix de maintenabilité au niveau du système</p> <p>Entrée pour la spécification du système</p> <p>Entrée pour la sélection des sous-contractants</p> <p>Revue des listes de contrôle</p>
<p>ANALYSE PRÉLIMINAIRE DE LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE</p> <p>Concept de maintenance du système</p> <p>Analyses préliminaires de fiabilité, de maintenabilité et de logistique de maintenance</p>
<p>DÉFINITION DE LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE</p> <p>Etudes des choix du système de logistique</p> <p>Etudes du coût du cycle de vie</p> <p>Développement de la politique de maintenance</p>
<p>CONCEPTION ET DÉVELOPPEMENT DÉTAILLÉS DU SYSTÈME</p> <p>Plans</p> <p>Modèles</p> <p>Données techniques</p> <p>Développement de procédures d'essai et résultats</p> <p>Contrôle des efforts de conception des sous-contractants</p>
<p>PRÉPARATION DE LA PRODUCTION DU SYSTÈME</p> <p>Procédures de fabrication</p>
<p>ANALYSES DÉTAILLÉE DE MAINTENABILITÉ</p> <p>Prédiction</p> <p>Etudes des choix aux niveaux plus bas</p> <p>Liaison des conceptions</p> <p>Analyses des modes de défaillance et de leurs effets</p> <p>Etudes de facilité de maintenance</p> <p>Surveillance des programmes des sous-contractants</p>
<p>PRÉPARATION POUR LA VÉRIFICATION DE MAINTENABILITÉ</p> <p>Analyse des essais de développement</p> <p>Procédures de vérification/démonstration</p>

Table 2 – Detailed tasks in maintainability studies

<p>PRELIMINARY SYSTEM DESIGN AND DEVELOPMENT</p> <p>Design alternatives</p> <p>Preliminary design</p>
<p>SYSTEM DEFINITION</p> <p>System level trade-off studies</p> <p>Selection of optimum system design</p> <p>System specifications</p> <p>Subcontractor selection</p>
<p>PRELIMINARY MAINTAINABILITY ANALYSIS</p> <p>Block diagrams</p> <p>Feasibility estimation</p> <p>Allocation</p> <p>Design criteria</p>
<p>MAINTAINABILITY DEFINITION</p> <p>System level maintainability trade-off studies</p> <p>Input to system specification</p> <p>Input to subcontractor selection</p> <p>Review of check-lists</p>
<p>PRELIMINARY MAINTENANCE SUPPORT ANALYSIS</p> <p>System maintenance concept</p> <p>Preliminary reliability, maintainability and maintenance support analysis</p>
<p>MAINTENANCE SUPPORT DEFINITION</p> <p>Support system trade-off studies</p> <p>Life cycle cost studies</p> <p>Maintenance concept development</p>
<p>DETAILED SYSTEM DESIGN AND DEVELOPMENT</p> <p>Drawings</p> <p>Models</p> <p>Technical data</p> <p>Development of test procedures and results</p> <p>Control of subcontractor design efforts</p>
<p>PREPARATION FOR SYSTEM PRODUCTION</p> <p>Manufacturing procedures</p>
<p>DETAILED MAINTAINABILITY ANALYSIS</p> <p>Prediction</p> <p>Lower level trade-off studies</p> <p>Design liaison</p> <p>Failure mode and effects analysis</p> <p>Ease-of-maintenance studies</p> <p>Control of subcontractor programme</p>
<p>PREPARATION FOR MAINTAINABILITY VERIFICATION</p> <p>Analysis of development tests</p> <p>Verification/demonstration procedures</p>

<p>ANALYSE DÉTAILLÉE DE LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE</p> <p>Analyse des tâches de maintenance Analyse des niveaux de réparation Analyse réparation/rebut Analyse de testabilité Plan de maintenance</p>
<p>PRÉPARATION POUR LES APPROVISIONNEMENTS DE LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE</p> <p>Définition des ressources de logistique, en personnel, formation, équipements d'essai, équipement de logistique, manuels, pièces de rechange, installations</p>
<p>PRODUCTION DU SYSTÈME</p> <p>Fabrication Essais fonctionnels</p>
<p>VÉRIFICATION DE MAINTENABILITÉ</p> <p>Evaluation des données de vérification/démonstration</p>
<p>APPROVISIONNEMENT DE LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE</p> <p>Validation de la logistique de maintenance Optimisation des ressources de logistique Approvisionnements</p>
<p>EVALUATION DU SYSTÈME INTÉGRÉ</p> <p>Essai fonctionnel intégré Analyse finale fiabilité/ maintenabilité /sécurité</p>

8.4 Outils d'analyse et procédures

8.4.1 Pré-requis

L'existence d'exigences de maintenabilité est un pré-requis aux études de maintenabilité. Ils peuvent être explicitement spécifiés dans le contrat par le client, ou être inclus dans les exigences opérationnelles, qu'il convient de traduire en exigences fonctionnelles spécifiques, de performance, de fiabilité, de maintenabilité et de sécurité avant de pouvoir les interpréter en termes de tâches de conception. Il convient que les exigences de maintenabilité soit clairement définies en termes qualitatifs et quantitatifs pour permettre une planification et une mise en œuvre correctes de la conception.

Les systèmes étant de plus en plus fondés sur des logiciels, l'analyse traditionnelle de la maintenance de matériel nécessite d'être étendue aussi aux éléments logiciels. Lors du processus de conception, la méthode la plus facile est d'identifier la maintenance du matériel et la maintenance du logiciel et de mener deux études séparées et de les regrouper au niveau du système ou de l'entité. Le principal inconvénient de cette approche est que les données de défaillance sont habituellement fournies pour les systèmes ou les entités et non identifiés par rapport aux éléments spécifiques de matériel ou de logiciel. Ainsi, il est recommandé que tout objectif contractuel soit défini en termes d'aptitude globale afin de prévenir des disputes sur la responsabilité et afin de permettre à l'équipe de conception de faire des compromis entre le contenu matériel et le contenu logiciel d'une conception.

8.4.2 Diagrammes de blocs

Lors de l'analyse de maintenabilité, il est pertinent de décrire l'entité à l'aide de diagrammes de blocs qui découpent cette entité soit en fonctions, soit en matériels.

<p>DETAILED MAINTENANCE SUPPORT ANALYSIS</p> <p>Maintenance task analysis</p> <p>Repair level analysis</p> <p>Repair/disposal analysis</p> <p>Testability analysis</p> <p>Maintenance plan</p>
<p>PREPARATION FOR MAINTENANCE SUPPORT PROCUREMENT</p> <p>Logistic support resources definition: personnel, training, test equipment, support equipment, manuals, spares, facilities</p>
<p>SYSTEM PRODUCTION</p> <p>Manufacturing</p> <p>Functional testing</p>
<p>MAINTAINABILITY VERIFICATION</p> <p>Evaluation of verification/demonstration data</p>
<p>MAINTENANCE SUPPORT PROCUREMENT</p> <p>Maintenance support validation</p> <p>Logistic support resources optimization</p> <p>Procurement</p>
<p>INTEGRATED SYSTEM EVALUATION</p> <p>Integrated operational test</p> <p>Final reliability/maintainability/safety analysis</p>

8.4 Analysis tools and procedures

8.4.1 Prerequisites

A prerequisite for maintainability studies is the existence of maintainability requirements. These may either be explicitly specified in the contract by the customer, or be included in operational requirements, which should be translated into specific functional, performance, reliability, maintainability and safety requirements before they can be interpreted in terms of design tasks. Maintainability requirements should be clearly defined in qualitative and quantitative terms to allow for proper planning and implementation of design.

As systems become more software based, the traditional hardware maintainability analysis needs to be extended to include the software elements as well. The easiest method within the design process is to identify both hardware and software maintainability targets, and to undertake two separate analyses, combining them at the product or system level. The main drawback to this approach is that failure data are usually provided against systems or products and not identified against specific hardware or software elements. As such, it is recommended that any contractual targets are defined in terms of overall capability as this prevents arguments about responsibility and allows the design team to trade off between the software and hardware content of a design.

8.4.2 Block diagrams

In performing maintainability analysis, it is convenient to describe the item with the help of block diagrams, subdividing the item either by function or by hardware.

La découpe de l'entité en niveaux fonctionnels est déterminée en le structurant selon ses différentes fonctions pour donner une description de toutes les fonctions importantes et pour servir de base à une analyse de modes de défaillance et de leurs effets (AMDE), à une analyse des essais et à l'identification des besoins de maintenance.

La découpe au niveau matériel traite principalement des aspects matériels des fonctions identifiées mais pas de façon exclusive en ce qui concerne les actions de maintenance. Ceci facilite l'identification des dispositions pour la maintenabilité, dans la conception. Les sous-systèmes qui à la suite d'une défaillance peuvent être remis en état par remplacement peuvent être identifiés en tant que tel, de même ceux qui ne sont pas remplaçables mais peuvent être remis en état.

Un exemple de diagramme de maintenabilité au niveau matériel est donné à la Figure 2. Des points pour la localisation de pannes, l'isolation de pannes et pour des essais sont indiqués dans la Figure 2.

La méthode la plus aisée pour introduire le logiciel dans le diagramme de maintenabilité consiste à identifier les éléments de la maintenabilité du matériel et ceux de la maintenabilité du logiciel dans un diagramme de maintenabilité incorporant les deux. Les éléments de logiciel peuvent être identifiés aux modules qui peuvent être définis indépendamment et qui peuvent être remplacés par des entités discrètes. Ils sont généralement connus comme étant des entités logicielles significatives, ou des SSI et sont considérés comme faisant partie de l'entité matérielle dans laquelle ils résident. Les SSI comprennent à la fois les logiciels résidant en mémoire (RAM ou ROM) ou dans des composants programmables.

Quand un module logiciel est initialement chargé dans une entité puis reproduit un certain nombre de fois dans le système ou dans le réseau, le point initial de chargement est considéré comme étant le lieu de résidence de ce module logiciel.

8.4.3 Estimation de la faisabilité

Dans le processus de conception, il y a des points de décision où la possibilité d'approches alternatives doit être prise en considération. Dans la phase initiale de conception, il n'y a pas suffisamment d'information permettant une prédiction détaillée en vue de vérifier la conformité par rapport aux exigences spécifiées, avant de procéder à une conception détaillée. En conséquence, une procédure simplifiée est nécessaire pour donner une prédiction approchée de la maintenabilité fondée principalement sur l'expérience passée. Les données provenant de conceptions antérieures peuvent être adaptées aux caractéristiques de la nouvelle conception et aux conditions de maintenance. A ce stade, seules les tâches prédominantes de maintenance corrective et préventive peuvent être identifiées et leur durée estimée. Les sorties de l'analyse de faisabilité peuvent être utilisées pour évaluer les conceptions du système, en incluant les approches alternatives. L'analyse peut aussi indiquer que les exigences de maintenabilité du système ne peuvent pas être tenues dans les contraintes spécifiées et donc, qu'il convient de les soumettre à une analyse de compromis.

8.4.4 Allocations

Le processus de traduction des exigences de maintenabilité du système vers les niveaux fonctionnels inférieurs est appelée «allocation de maintenabilité». C'est un processus itératif qu'il convient d'initier dans la phase préliminaire de conception. Cependant, la procédure d'allocation peut uniquement être menée aux niveaux supérieurs du découpage, du fait du nombre limité d'information à ce stade. La réitération et l'allocation aux niveaux inférieurs suivront au cours du processus de conception détaillée.

The functional level breakdown of the item is determined by subdividing it into its various functions to give a description of all major functions and serves as a basis for failure mode and effects analysis (FMEA), test analysis and identification of maintenance needs.

The hardware level breakdown addresses mainly the hardware aspects of identified functions, but not exclusively from a maintenance action viewpoint. This facilitates the identification of design provisions for maintainability. Sub-items, which will be restored, on failure, by replacement, can be identified as well as those which are non-replaceable but restorable.

An example of a hardware level maintainability block diagram is given in Figure 2. Points for fault localization, fault isolation and test are indicated in Figure 2.

The easiest method for including software within a maintainability block diagram is to identify both hardware and software maintainability elements within a combined hardware and software maintainability block diagram. The software elements can be identified to modules that can be independently defined and replaced as discrete items. These are generally known as software significant items, or SSIs, and are considered to form part of the hardware item within which they are resident. SSIs include both software within a memory (RAM or ROM) or resident within programmable components.

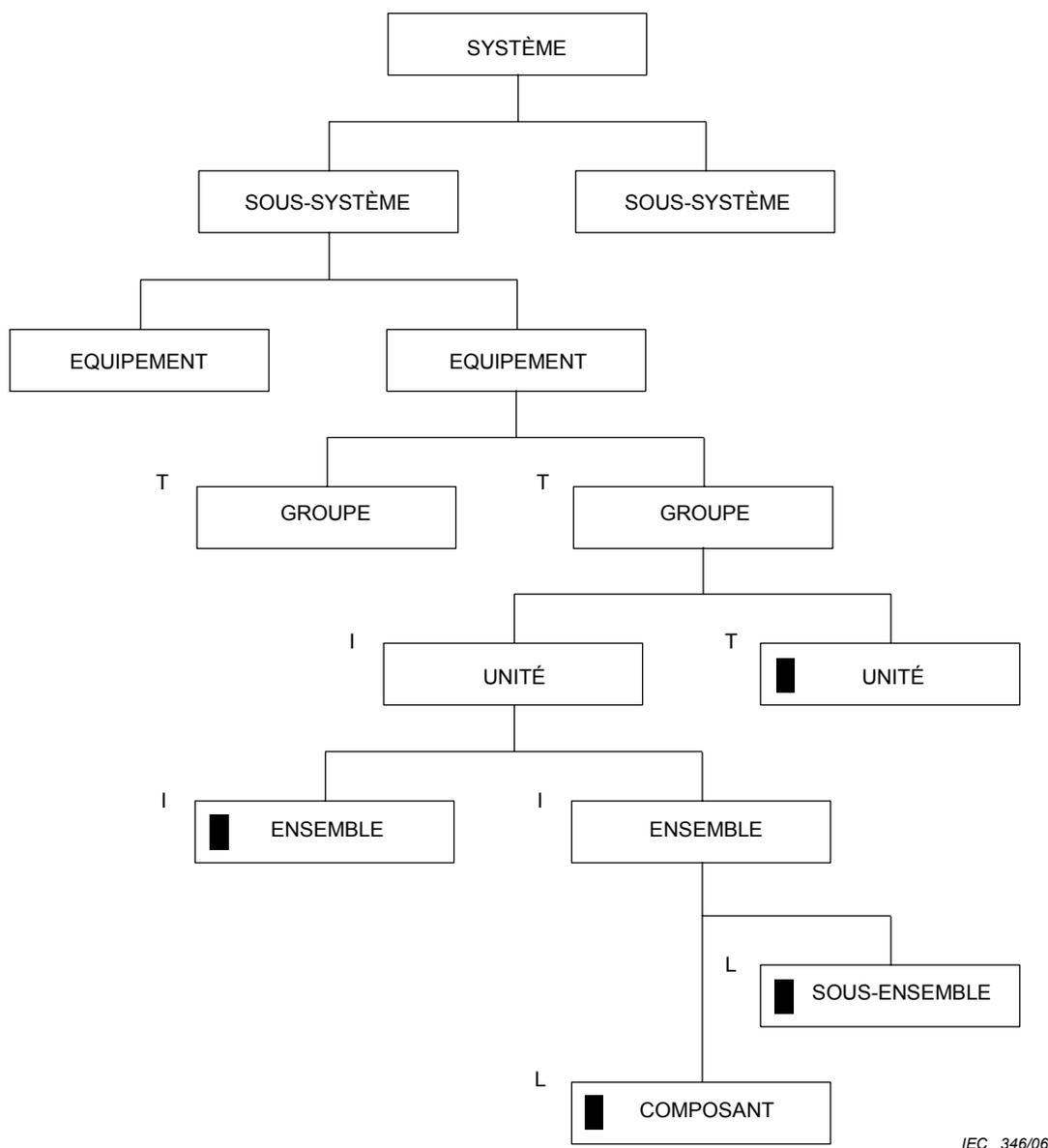
Where a software module is initially loaded into an item and then replicated a number of times throughout a system or network, the initial point of loading is considered to be the resident location of that software module.

8.4.3 Feasibility estimation

In the design process there are decision points where the feasibility of alternative approaches needs to be considered. In the early design phase there will be insufficient information for a detailed prediction to assess conformity with specified requirements before proceeding with the detailed design. Therefore, a simplified procedure is necessary to give a rough prediction of maintainability based mainly on past experience. Data from previous designs may be adapted to new design characteristics and maintenance conditions. At this stage, only the dominant corrective and preventive maintenance tasks should be identified and their durations estimated. Outputs from this feasibility analysis can be used to evaluate system designs, including alternative approaches. The analysis may also indicate that the system maintainability requirements cannot be met within the specified constraints and should therefore be subjected to trade-off analysis.

8.4.4 Allocation

The process of translating system maintainability requirements to lower functional levels is called “maintainability allocation”. It is an iterative process which should be initiated in the early design phase. However, the allocation procedure can only be carried through the higher levels of subdivision due to limited information at this stage. Reiteration and allocation to lower levels will follow as detailed design proceeds.



Légende

- I Points d'isolation où les symptômes de défaillance d'un équipement sont déterminés.
- L Points d'isolation où les symptômes de défaillance d'un équipement sont déterminés.
- T Points d'essai (contrôle final) où la performance d'une entité est soumise à l'essai.

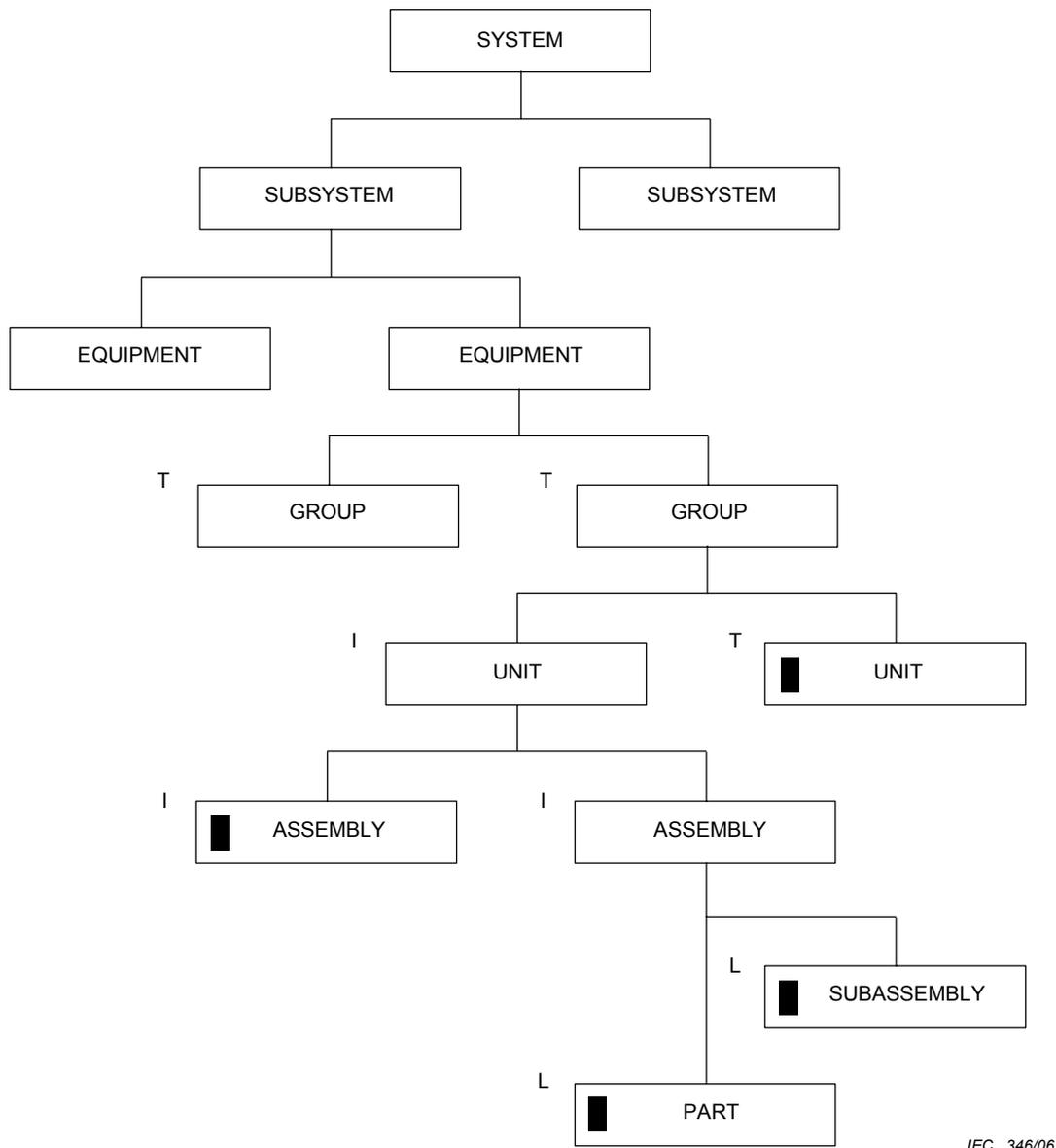


Entité non remplaçable, mais pouvant être restaurée



Entité remplaçable (souvent appelée LRU en anglais – unité remplaçable en ligne)

Figure 2 – Diagramme de maintenabilité au niveau matériel



IEC 346/06

Key

- I Isolation points at which failure symptoms of an equipment are determined.
- L Localization points at which the failed item of an equipment is identified.
- T Test (check-out) points at which the performance of an item is tested.



Non-replaceable but restorable item



Replaceable item (often referred to as LRU – line replaceable unit)

Figure 2 – Hardware level maintainability block diagram

La première étape d'allocation exige un découpage du système au niveau de détail fonctionnel requis. Cela peut être réalisé au moyen de diagramme aux niveaux logiciel et matériel comme décrit en 8.4.2. Dans les étapes préliminaires, il peut ne pas être possible d'atteindre la profondeur requise, mais des informations détaillées deviennent disponibles au fur et à mesure que le processus progresse. Une estimation de la fiabilité de chaque entité est une entrée essentielle pour le diagramme. Ainsi, il est nécessaire pour les ingénieurs en fiabilité et en maintenabilité, d'établir une liaison rapprochée dès le commencement et d'utiliser le même diagramme de niveaux fonctionnels pour la fiabilité, les facteurs humains, la maintenabilité, la logistique, la sécurité, la conception, l'ingénierie des systèmes et ce qui serait idéal, recevoir simultanément les mises à jour. De même, quand un support intégré de logistique (ILS) est utilisé, les mêmes données sont nécessaires pour l'analyse de support logistique (LSA) et une liaison rapprochée réduit la nécessité de multiplier les efforts et optimise la cohérence et l'utilisation des données disponibles. Pour plus d'informations sur les procédures ILS, voir la CEI 60300-3-12.

La seconde étape est l'allocation d'une caractéristique de maintenabilité pour chaque entité identifiée en utilisant la meilleure information disponible concernant sa conception et son environnement. Il convient que l'allocation soit fondée sur la complexité relative des entités impliquées. Une mesure de la complexité peut être fondée sur le taux de défaillance de l'entité ou sur la durée de vie. Il convient de considérer avec attention toute expérience antérieure sur un équipement similaire.

Les paramètres utilisés pour l'allocation de maintenabilité sont normalement les mêmes que pour spécifier les exigences de maintenabilité. Par exemple:

- a) temps moyen de réparation active (MART en anglais), pouvant être ensuite découpé en temps de diagnostic, temps de remise en état et temps de contrôle final;
- b) temps maximal de réparation active, si nécessaire et réalisable;
- c) temps de maintenance préventive active;
- d) temps maximal de maintenance préventive active, si nécessaire et réalisable;
- e) nombre d'heures de maintenance par heure de fonctionnement (MMH/OH en anglais);
- f) durée moyenne d'indisponibilité par heure de fonctionnement, pour cause de réparation;
- g) durée moyenne d'indisponibilité par heure de fonctionnement, pour cause de maintenance préventive.

Une allocation de temps de fourniture logistique et de délai administratif peut ainsi être faite si cela est requis.

La troisième étape est l'étude de faisabilité pour l'allocation de la caractéristique de maintenabilité pour chaque entité identifiée dans les diagrammes de blocs de niveau matériel et logiciel. Les résultats sont comparés aux expériences précédentes et les domaines d'amélioration et/ou de modification de l'allocation sont, si nécessaire, identifiés. Si l'on considère qu'il est impossible de tenir l'allocation, les voies suivantes sont approfondies:

- 1) amélioration de la caractéristique de maintenabilité par une nouvelle conception (meilleur diagnostic, accès, modularité, installations, etc.);
- 2) ré-allocation, soumise à l'exigence globale du système à tenir;
- 3) réduction des taux de défaillance par amélioration de la fiabilité;
- 4) ajout de redondances pour les contributeurs prédominants dans la fiabilité, si possible;
- 5) en dernier ressort, reconsidération des exigences du système.

Un exemple d'allocation de maintenabilité est donné à l'Annexe B.

The first step of allocation requires a breakdown of the system to the required functional level of detail. This can be done by means of hardware and software level block diagrams as described in 8.4.2. In the preliminary stages, it may not be possible to reach the required depth, but as more detailed information becomes available the process can be continued. An essential input is an estimate of the reliability of each item in the block diagram. Thus it is necessary for the reliability and maintainability engineers to establish close liaison from the outset and use the same functional level diagram used by reliability, human factors, maintainability, logistics, safety, design and systems engineering and that ideally, all receive updates simultaneously. Similarly, where ILS is being used, the same data are necessary for LSA and close liaison reduces the need for duplication of effort and maximizes consistency and the use of available data. For more information on ILS procedures see IEC 60300-3-12.

The second step is the allocation of a maintainability characteristic for each identified item using the best information available about its design and its environment. The allocation should be based on the relative complexity of the units involved. A measure of complexity is one that can be based on the item failure rate or life for lifed items. Any previous experience with similar equipment should be closely considered.

Parameters used for maintainability allocation are normally the same as for specifying maintainability requirements. Examples include:

- a) mean active repair time (MART), possibly further subdivided into diagnosis time, restoration time and check-out time;
- b) maximum active repair time, if necessary and feasible;
- c) mean active preventive maintenance time;
- d) maximum active preventive maintenance time, if necessary and feasible;
- e) mean maintenance man-hours per operating hour (MMH/OH);
- f) mean down-time per operating hour due to repair;
- g) mean down-time per operating hour due to preventive maintenance.

Allocation of logistic supply time and administrative delay time can also be made when required.

The third step is a feasibility study of the allocation of the maintainability characteristic for each identified item in the hardware and software level block diagrams. The results are compared with previous experience and areas for improvement and/or modification of the allocation are identified as necessary. If it is considered impossible to meet the allocation, then the following courses are open:

- 1) improvement of the maintainability characteristic by re-design (better diagnosis, access, modularization, facilities, etc.);
- 2) re-allocation, subject to the overall system requirement being met;
- 3) reduction of failure rates through reliability improvement;
- 4) added redundancy for the predominant reliability driver, if feasible;
- 5) reconsideration of system requirements, as a last resort.

An example of a maintainability allocation is given in Annex B.

8.4.5 Prédiction de maintenabilité

8.4.5.1 Objet

La prédiction de maintenabilité est le processus d'évaluation par voie analytique des caractéristiques de maintenabilité d'une entité. Cela inclut le calcul de ses caractéristiques quantitatives de maintenabilité, en utilisant un modèle analytique défini de maintenabilité, fondé sur des conditions établies incluant la logistique de maintenance.

Il convient que les prédictions de maintenabilité soient réalisées aux dates-clé fixées, pour apporter les entrées suivantes:

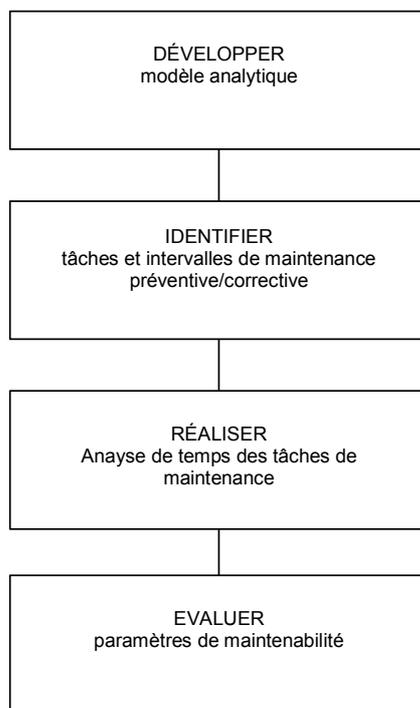
- une évaluation de la probabilité que les exigences de la maintenabilité allouée soient tenues, et que la logistique de maintenance nécessaire sera disponible pour tenir les exigences opérationnelles;
- l'identification de tous les domaines où une modification est nécessaire.

Cela constitue des entrées pour le management, en donnant l'assurance que la conception progresse de façon satisfaisante et en indiquant où des modifications de conception ou des réorientations des efforts de conception sont nécessaires.

Dans chaque boucle d'analyse, il convient que les étapes illustrées à la Figure 3 soient respectées.

8.4.5.2 Modèles

Il convient qu'un modèle analytique approprié reflétant les caractéristiques de maintenabilité et les relations de l'entité considérée, soit développé. Il convient que le modèle soit basé sur le diagramme fonctionnel ou de niveau matériel et logiciel décrit en 8.4.2. pour déterminer les règles mathématiques de combinaison des paramètres de maintenabilité de l'entité sous des contraintes données. Normalement, des modèles analytiques simples sont suffisants. Cependant, dans certains cas un haut degré de sophistication peut être nécessaire.



IEC 347/06

Figure 3 – Etapes de base dans la prédiction de maintenabilité

8.4.5 Maintainability prediction

8.4.5.1 Purpose

Maintainability prediction is the process of assessing by analytical means the maintainability features of an item. This includes calculating its quantitative maintainability characteristics, using a defined analytical maintainability model, based on stated conditions including maintenance support.

Maintainability predictions should be performed at the required design milestones to provide the following outputs:

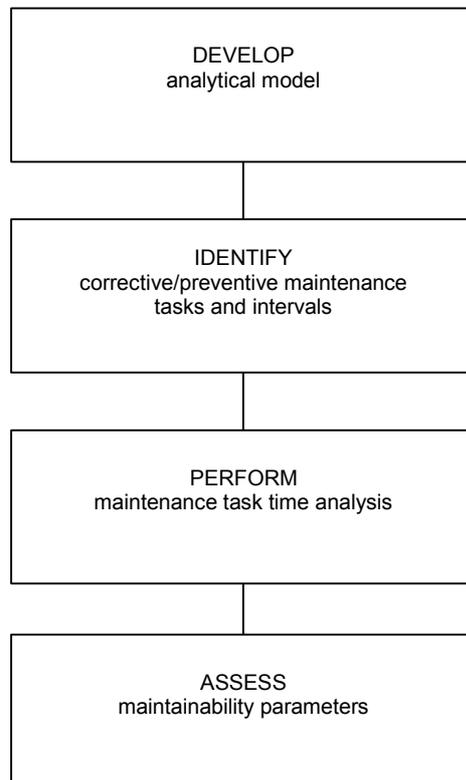
- an assessment of the likelihood that the allocated maintainability requirements can be met, and that the necessary maintenance support will be available to meet operational requirements;
- identification of any areas where a modification is necessary.

These become inputs to management, giving assurance that the design is progressing satisfactorily and indicating where design changes and redirection of design efforts are required.

Within each analytical loop, the steps illustrated in Figure 3 should be taken.

8.4.5.2 Model

An appropriate analytical model reflecting the maintainability features and relationships of the item under consideration should be developed. The model should be based on the functional, or hardware and software level, block diagram described in 8.4.2 to determine the mathematical rules for combining the maintainability parameters of the item under given constraints. Normally, simple analytical models should be sufficient. However, in certain cases, a higher degree of sophistication may be necessary.



IEC 347/06

Figure 3 – Basic steps in maintainability prediction

8.4.5.3 Tâches et intervalles de maintenance

Il convient que la prédiction de maintenabilité considère les tâches de maintenance corrective et préventive par rapport à leur contribution respective dans le budget global de maintenance, tout autant que leur impact sur la sécurité du système ou la criticité, comme il suit:

- entrées pour la maintenance corrective, qu'il convient d'apporter par une analyse de fiabilité. L'AMDE (voir 8.4.7) identifie l'événement de défaut possible et les tâches de remise en état. Les temps moyens entre actions de maintenance corrective sont déterminés par les taux de défauts incluant la durée de vie, des entités à durée de vie limitée, en tant que partie de l'analyse de fiabilité;
- il convient que les considérations sur la maintenance préventive soient fondées sur le plan de maintenance. Cela identifie les tâches de maintenance préventive et les intervalles correspondant en termes de temps et de cycles opérationnels.

La maintenance basée sur la fiabilité (RCM) (voir CEI 60300-3-11) apporte une méthodologie pour identifier les tâches qui nécessitent d'être entreprises pour satisfaire les contraintes de sécurité ou opérationnelles et les tâches de maintenance qu'il convient de reporter. Elle identifie aussi où la conception nécessite d'être réexaminée et/ou modifiée pour permettre à l'équipement de satisfaire aux paramètres de performance spécifiés.

Les tâches de service de maintenance, telles que régénération ou lubrification, sont à inclure dans les tâches de maintenance corrective ou préventive selon les cas d'espèce.

8.4.5.4 Analyse des temps des tâches de maintenance

Parmi les tâches de maintenance identifiées en accord avec 8.4.5.3, les éléments pertinents de tâche active et les délais techniques liés, et les éléments de tâche de logistique, tels que le positionnement de l'équipement d'essai ou les installations, peuvent être déterminés. Les temps nécessaires pour effectuer ces éléments de tâches peuvent être estimés tant qu'ils sont purement dépendants de la conception de l'équipement. Ceci implique l'hypothèse qu'ils sont effectués en accord avec des manuels approuvés et par un personnel formé et compétent, toutes les ressources étant immédiatement disponibles. Il convient que les estimations soient basées sur des données ou expériences antérieures et considérées en accord avec la structure des tâches de maintenance pertinentes. En procédant ainsi, les temps de tâches de maintenance spécifiques à la conception peuvent être prédits pour chaque phase importante de la tâche, telle que la préparation, la localisation de panne, l'accès, le remplacement, le réglage/étalonnage, la vérification et préparation pour l'utilisation opérationnelle ou le stockage.

En analysant les applications en exploitation, d'autres temps qui ne sont pas spécifiques à la conception peuvent être à prendre en considération, telles que des temps d'attente pour cause administrative et les délais liés à la logistique. Ces temps sont en premier lieu affectés par l'organisation de la logistique de maintenance détaillée dans la CEI 60300-3-14 et il convient de les traiter séparément.

8.4.5.5 Evaluation des paramètres de maintenabilité

En se fondant sur l'information établie en accord avec 8.4.5.2 à 8.4.5.4, l'atteinte des objectifs de maintenabilité dans la conception peut être évaluée quantitativement.

En fonction des exigences de maintenabilité pour la conception, la prédiction prendra en compte les actions de maintenance pertinentes séparément ou ensemble.

Il convient que les paramètres de maintenabilité utilisés pour la prédiction soient les mêmes que pour l'allocation de maintenabilité. Ils peuvent être calculés en appliquant le modèle analytique de maintenabilité à la fréquence pertinente de la tâche et à la durée de tâche.

8.4.5.3 Maintenance tasks and intervals

The maintainability prediction should consider corrective and preventive maintenance tasks according to their respective contributions to the overall maintenance expenditure, as well as their impact on system safety, or criticality, as follows:

- inputs for considering corrective maintenance should be provided by the reliability analysis. The FMEA (see 8.4.7) identifies possible defect events and restoration tasks. Mean times between corrective maintenance actions are determined by corresponding defect rates including lifetime of life-limited items as part of the reliability analysis;
- preventive maintenance considerations should be based on the maintenance plan. This identifies the preventive maintenance tasks and the corresponding intervals in terms of operational times and cycles.

Reliability centred maintenance (RCM) (see IEC 60300-3-11) provides a methodology for identifying those tasks that need to be undertaken to meet safety or operational constraints and those maintenance tasks that could be deferred. It also identifies where the design needs to be re-examined and/or modified to enable the equipment to meet specified performance parameters.

Maintenance service tasks, such as replenishment and lubrication, should be included in corrective or preventive maintenance tasks according to the nature of the case.

8.4.5.4 Maintenance task time analysis

Within the maintenance tasks identified in accordance with 8.4.5.3, the relevant active task elements and the related technical delays and support task elements, such as positioning of test equipment or facilities, can be determined. The time needed to carry out these task elements should be estimated in so far as they are purely dependent on the equipment design. This implies the assumption that they are performed according to approved manuals and by trained and skilled personnel, with all resources being immediately available. The estimations should be based on historical data or previous experience and put together in accordance with the structure of the relevant maintenance tasks. In this way, design specific maintenance task times should be predicted for each important phase of the task, such as preparation, fault localization, access, replacement, adjustment/calibration, verification and preparation for operational use or storage.

In analysing field applications, a number of additional times that are not design specific should be considered, such as administrative waiting times and logistic delay times. These times are primarily affected by the maintenance support organization discussed in IEC 60300-3-14 and should be treated separately.

8.4.5.5 Maintainability parameter assessment

Based on the information established in accordance with 8.4.5.2 to 8.4.5.4, the achievement of the maintainability objectives in the design can be quantitatively assessed.

Dependent on the maintainability requirements for the design, the prediction will take into account all relevant maintenance actions separately or in combination.

The maintainability parameters used for the prediction should be the same as for the maintainability allocation. They should be calculated by applying the analytical maintainability model to the relevant task frequency and task time data.

8.4.6 Etudes de compromis

L'étude de compromis est une technique de prise de décision dans laquelle plusieurs alternatives sont évaluées. Tous les facteurs importants sont systématiquement considérés et avant de sélectionner l'alternative optimale. Les analyses de compromis de maintenabilité sont utilisées pour déterminer les avantages relatifs d'une conception alternative et du concept de maintenance associé, par rapport à une autre. Dans la conception préliminaire, les évaluations de compromis sont concernées par des paramètres système de niveau haut, tels que la performance, la disponibilité, la fiabilité, la maintenabilité et le coût du cycle de vie. A contrario, dans la conception détaillée d'une entité spécifique de niveau bas, les paramètres de niveau bas tels que l'accessibilité, l'équipement d'essai et de support, l'emballage et les pièces de rechange sont considérés.

Les études de compromis sont généralement accomplies selon les étapes suivantes:

- **définition du problème** Un problème spécifique à résoudre et les facteurs spécifiques à prendre en compte sont décrits.
- **identification des alternatives réalisables** Toutes les solutions possibles sont d'abord listées, puis seules celles qui apparaissent acceptables du point de vue du système.
- **sélection des critères d'évaluation** Les paramètres à employer dans le processus d'évaluation sont sélectionnés et hiérarchisés en accord avec la pertinence et le degré d'importance; des facteurs de pondération des paramètres peuvent être utilisés pour faciliter l'évaluation.
- **évaluation** Des données sont acquises, des modèles sont construits, des analyses sont réalisées et des décisions sont prises et des rapports sont faits.

En réalisant des études de compromis, il convient de prendre des précautions pour éliminer les partis pris personnels et pour valider les données et les résultats de l'analyse. Une analyse de sensibilité est utile pour déterminer le degré de sensibilité des résultats aux variations des paramètres d'entrée.

Le coût du cycle de vie (LCC) est un des facteurs les plus importants à prendre en compte dans les études de compromis. Pendant le processus d'évaluation de conception, les études de LCC sont effectuées pour sélectionner la combinaison optimale des caractéristiques de conception. Celles-ci incluent en particulier le concept de maintenance et les caractéristiques de maintenabilité.

Le compromis, incluant le LCC et d'autres études, fournit des entrées pour l'évaluation du système qui mènera à la sélection de la conception optimale. Cela est décrit plus en détail dans la CEI 60300-3-3.

8.4.7 Analyses des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)

L'AMDE est une méthode d'analyse de fiabilité destinée à identifier la nature et les causes de toute défaillance possible de l'entité. Elle fournit une entrée aux prédictions de maintenabilité en identifiant les modes de défaillance, leur fréquence et les actions de maintenance nécessaires qui en résultent. Elle facilite aussi le processus d'allocation. De plus, elle sert de base pour la conception et le positionnement des moyens de surveillance et des dispositifs de détection de panne, et au développement des procédures d'essai automatique et de diagnostic, afin de réduire les temps de maintenance corrective.

Les étapes de base pour mener une AMDE sont les suivantes:

- définition des exigences de performance de l'entité;
- découpe du système en éléments fonctionnels;
- identification des modes de défaillance, de la fréquence des apparitions, et des effets;

8.4.6 Trade-off studies

The trade-off study is a decision-making technique in which several alternatives are evaluated. All important related factors are considered systematically and adequately prior to making the selection of an optimum alternative. Maintainability trade-off analyses are used to determine the relative advantages of one design alternative and associated maintenance concept over the other. In the preliminary design, trade-off evaluations are concerned with high-level system parameters such as performance, availability, reliability, maintainability and life cycle cost. On the other hand, in the detailed design of a specific lower level item, lower level parameters such as accessibility, test and support equipment, packaging and spare parts are considered.

Trade-off studies are usually accomplished using the following steps:

- **definition of the problem** A specific problem to be solved and specific factors to be considered are described.
- **identification of feasible alternatives** All possible solutions are first listed, then only those that appear acceptable from the total system point of view.
- **selection of evaluation criteria** Parameters to be employed in the evaluation process are selected and rated according to relevance and degree of importance; parameter weighting factors may be used to facilitate evaluation.
- **evaluation** Data are acquired, models constructed, analyses performed and decisions and reports made.

In performing trade-off studies care should be taken to eliminate personal bias and to validate data and results of the analysis. Sensitivity analysis is useful in determining how sensitive the results are to variations of input parameters.

Life cycle cost (LCC) is one of the most important parameters to be considered in trade-off studies. During the design evaluation process, LCC studies are performed to select the optimum combination of design features. These include, in particular, the maintenance concept and the maintainability characteristics.

The trade-off, including LCC and other studies, provides inputs to system evaluation resulting in the selection of an optimum design. This is further described in IEC 60300-3-3.

8.4.7 Failure modes and effects analysis (FMEA)

FMEA is a method of reliability analysis intended to identify the nature and causes of all possible item failures. It provides an input to maintainability predictions by identification of failure modes, their frequency and the subsequent maintenance actions required. It also facilitates the allocation process. Furthermore, it serves as a basis for the design and location of condition monitoring and fault-sensing devices and development of automatic test and diagnostic procedures to minimize corrective maintenance time.

The basic steps in performing an FMEA are as follows:

- definition of item performance requirements;
- system breakdown into functional elements;
- identification of failure modes, frequencies of occurrence, and effects;

- identification des conditions de défaillance;
- description des caractéristiques de conception pour la détection des défaillances;
- liste des actions de base de maintenance pour la remise en état.

Des détails sur les procédures AMDE sont donnés dans la CEI 60812.

8.4.8 Analyse par arbre de panne

L'analyse par arbre de panne (AAP) est une approche structurée descendante qui identifie les causes possibles conduisant à la panne d'une entité. C'est une méthode qui peut être employée pour identifier, pour chaque mode de panne, la méthode par laquelle une panne peut être détectée et localisée et qui peut être utilisée pour déterminer la relation entre le taux de défaillance, les temps de réparation et l'utilisation de pièces de rechange. Elle peut aussi être utilisée pour la détermination des périodes de maintenance planifiées et pour les décisions de réparer ou de remplacer.

L'arbre de panne est particulièrement adapté à l'analyse de systèmes complexes comprenant plusieurs sous-systèmes fonctionnels liés ou indépendants et ayant des objectifs de performance différents. La procédure est plus généralement appliquée aux grands projets, tels que des avions, des systèmes de communication, ou des procédés ou installations industriels chimique ou autres.

Des détails sur les procédures AAP sont disponibles dans la CEI 61025. L'application de l'AAP est complètement décrite dans la CEI 60300-3-1.

8.4.9 Analyse RCM

L'analyse RCM est utilisée dans le cadre de l'utilisation d'un arbre logique de décision pour identifier les exigences de maintenance préventive applicables et efficaces, les actions en accord avec la sécurité, les conséquences opérationnelles et économiques des défaillances identifiables, et les mécanismes de dégradation responsables de ces défaillances. La RCM apporte un complément à l'AMDE qui permet de prendre des décisions logiques par rapport à la nécessité d'entreprendre des activités de maintenance spécifiques ou bien la nécessité de revoir les exigences de conception, ou opérationnelles.

Nombre de techniques sont disponibles pour l'utilisation d'une approche RCM. La CEI 60300-3-11 décrit une approche fondée sur la méthodologie MSG 3. D'autres méthodologies peuvent être utilisées pour des applications spécifiques de l'industrie.

L'utilisation du RCM requiert une connaissance détaillée d'un équipement ou système et elle peut être une entreprise lourde et coûteuse. En conséquence, le RCM est habituellement utilisé lorsque la défaillance d'un équipement ou d'un système peut avoir des conséquences lourdes en terme de sécurité, d'environnement ou d'exploitation.

8.4.10 Autres analyses

En plus des analyses déjà décrites, d'autres analyses peuvent être appliquées, par exemple, les exigences de diagnostic initial, niveau effectif de diagnostic, et localisation de réparation. Les études et analyses traitant de la maintenance et de la logistique de maintenance (par exemple analyse de niveaux de réparation), de l'analyse des tâches de maintenance et des analyses de compétences sont décrites dans la CEI 60300-3-14.

9 Support de conception

9.1 Liaison

Il convient que l'ingénieur de maintenance fournisse une aide continue à la conception en s'engageant dans les activités suivantes:

- identification of failure conditions;
- description of features of design for failure detection;
- listing of basic maintenance actions for restoration.

Details of FMEA procedures are dealt with in IEC 60812.

8.4.8 Fault tree analysis

Fault tree analysis (FTA) is a top-down structured approach that identifies the possible causes that lead to a fault in an item. It is a method which can be employed to identify, for each fault mode, the method by which a fault can be detected and located and can be used to determine the relationship between failure rates, repair times and spares usage. It can also be used in the determination of scheduled maintenance periods and for reaching repair or replace decisions.

The fault tree is particularly suited to the analysis of complex systems comprising several functionally related or dependent subsystems with different performance objectives. The procedure is more commonly applied to major installations, such as aircraft, communication systems or chemical and other industrial processes and premises.

Details of FTA procedures are dealt with in IEC 61025. Full details of the application of FTA are given in IEC 60300-3-1.

8.4.9 RCM analysis

RCM analysis provides for the use of a decision logic tree to identify applicable and effective preventive maintenance requirements and actions according to the safety, operational and economic consequences of identifiable failures, and the degradation mechanisms responsible for those failures. RCM provides an extension of the FMEA that enables logical decisions to be taken with regard to the need to undertake specific maintenance activities or the need to re-address the design or operational requirements.

A number of techniques exist for using an RCM approach. IEC 60300-3-11 describes an approach based on MSG 3 methodology. Other methodologies may be used for industry specific applications.

The use of RCM requires a detailed understanding of an equipment or system and can be labour-intensive and expensive. Consequently RCM is usually only used where the failure of the equipment or system would have serious safety, environmental or operational effects.

8.4.10 Other analyses

In addition to the analyses already described, other analyses may be applied, for example, address diagnostic requirements, diagnostic effectiveness level and location of repair. Studies and analyses addressing maintenance and maintenance support (e.g. repair level analysis), maintenance task analysis and skill analysis are described in IEC 60300-3-14.

9 Design support

9.1 Liaison

The maintainability engineer should provide continuous design support by engaging in the following activities:

- fourniture, pour la maintenabilité, d'un service de liaison, avec l'organisation du titulaire et avec les sous-contractants;
- participation dans le processus de conception et aussi en agissant comme un consultant;
- fourniture de données antérieures relatives à la maintenabilité;
- surveillance de la conception pour assurer que les caractéristiques de maintenabilité sont définies dans les plans et dessins et dans les spécifications des équipements;
- surveillance des modifications de conception pour assurer qu'elles ne sont pas contraires aux exigences de maintenabilité;
- fourniture d'une liaison avec les autres programmes et activités qui ont un lien rapproché avec la maintenabilité, tels que la fiabilité, le soutien de la maintenance, la logistique, la sécurité, les facteurs humains, l'ingénierie du système et l'analyse de la valeur.

9.2 Critères de conception et listes de contrôle

Sur la base des exigences de maintenabilité définies, il convient de développer le concept de maintenance, l'allocation de maintenabilité pour une conception sélectionnée et les critères de maintenabilité de la conception. Ces critères consistent en des objectifs spécifiques de maintenabilité et en des caractéristiques souhaitables pour différentes conceptions et ils peuvent prendre la forme de

- standardisation;
- interchangeabilité;
- modularité;
- réparation ou rebut;
- redondance;
- accessibilité;
- testabilité;
- équipements accessoires.

Certains critères peuvent être inclus dans les normes générales de conception, tandis que d'autres peuvent être spécialement développés pour un projet donné. Ils peuvent être établis sous forme quantitative ou qualitative et il convient qu'ils guident les concepteurs pour l'atteinte des exigences de maintenabilité.

Afin de valider que la maintenabilité a été traitée convenablement pendant chaque étape du processus de conception, des listes de contrôle sont généralement préparées sur la base des critères de conception et sur la base des problèmes de maintenabilité ou de maintenance rencontrés dans des conceptions antérieures, et cela pour servir de rappel aux concepteurs. Certains problèmes peuvent sembler bien simples et triviaux, mais ceux-ci font partie de ceux qui le plus souvent échappent pendant la conception. Des listes de contrôle normalisées font souvent partie des normes de conception des compagnies et de la littérature publiée, et elles peuvent aussi être utilisées lors des revues de conception.

Les listes de contrôle peuvent aborder les domaines tels que

- standardisation;
- précautions de sécurité;
- les aspects environnementaux;
- l'emballage fonctionnel d'assemblage, la miniaturisation, la modularité;
- les enveloppes des équipements, les consoles, les châssis, les assemblages, les câbles, les connecteurs;
- les interfaces homme-machine, les commandes, les affichages, les points d'essai;
- les facteurs humains;

- providing a maintainability liaison service within the contractors organization and with subcontractors;
- participating in the design process and also acting as a consultant;
- providing data on past experience of maintainability;
- monitoring the design to ensure that maintainability characteristics are defined in the drawings and in the equipment specifications;
- monitoring design changes to ensure that they do not violate maintainability requirements;
- providing liaison with other programmes and activities which are closely related to maintainability, such as reliability, maintenance support, logistics, safety, human factors, systems engineering and cost effectiveness/value engineering.

9.2 Design criteria and check-lists

On the basis of defined maintainability requirements, maintenance concept and maintainability allocation for a selected design, detailed design maintainability criteria should be developed. These criteria constitute specific maintainability objectives and desirable features in various designs and can take the form of

- standardization;
- interchangeability;
- modularisation;
- repair versus disposal;
- redundancy;
- accessibility;
- testability;
- accessory equipment.

Some criteria may be included in the generic design standards while others may have to be specifically developed for a given project. They may be stated in quantitative or qualitative form and should provide guidelines for designers to achieve maintainability requirements.

In order to validate that maintainability has been adequately addressed during each stage of the design process, checklists are generally prepared on the basis of the design criteria and on any maintainability and maintenance problems experienced with previous designs to serve as a reminder for the designer. Some of the problems may appear too simple and practical, but these are the ones most frequently overlooked in design. Standard checklists often form part of company design standards and published literature and can also be used as guidelines to design reviews.

Checklists may address areas such as

- standardization;
- safety precautions;
- environmental protection,
- functional assembly packaging, miniaturization, modularisation;
- equipment enclosures, consoles, racks, assemblies, cables, connectors;
- man-machine interfaces, controls, displays, test points;
- human factors;

- la logistique de maintenance et les exigences de planification de la maintenance;
- risque d'obsolescence;
- la maintenance pendant le fonctionnement;
- la tolérance aux pannes;
- la surveillance de l'usure;
- l'accessibilité, le levage, l'aptitude à une restitution rapide;
- le réglage, l'alignement, la lubrification, le graissage;
- les relèvements, couplages, systèmes hydrauliques.

La liste ci-dessus donne des exemples pour lesquels des guides et des listes de contrôle sont utilisées, mais elle n'est pas exhaustive. Pour les conceptions nouvelles, il convient que les domaines pour lesquels des problèmes de nature répétitive sont attendus soient identifiés et que les guides et listes de contrôle adéquats soient développés.

9.3 Revue de conception

Une analyse de conception est une étude formelle, systématique et documentée d'une conception par des spécialistes qui ne sont pas directement impliqués dans la conception.

L'objet de la revue de conception est

- d'évaluer l'aptitude d'une conception à tenir les exigences d'un système, maintenabilité incluse,
- d'identifier les domaines à problème et suggérer des solutions,
- de prédire la nécessité d'essai de développement, de démonstration et d'inspection,
- de favoriser la réalisation d'une conception mature.

Il convient que les évaluations de maintenabilité fassent partie des revues de conception qui sont conduites à des étapes choisies de la conception. Elles fourniront une base à l'approbation des caractéristiques de maintenabilité. Il convient que les exigences qualitatives et quantitatives, qui sont à prendre en considération à chaque revue soient préparées à l'avance sous la forme de critères d'évaluation et de listes de contrôle.

Ce qui suit constitue des exemples de questions qu'il convient de traiter:

- les exigences de maintenabilité ont-elles été définies avec un niveau de détail suffisant ?
- le concept de maintenance a-t-il été développé et est-il compatible avec les exigences de maintenabilité et les contraintes données ?
- le concept de maintenance a-t-il été développé et est-il compatible avec les exigences de maintenabilité, le concept de maintenance et les contraintes données ?
- le principe de la conception est-il compatible avec les exigences de maintenabilité ?
- les études de faisabilité et d'optimisation ont-elles été faites, y compris les études de coût du cycle de vie ?
- les exigences pour les équipements d'essai et de diagnostic ont-elles été définies ?

Les réponses à de telles questions montreront comment la conception accepte les exigences de maintenabilité. En cas de non-conformité, les actions suivantes peuvent être requises:

- réallouer ou redéfinir les exigences de maintenabilité;
- réallouer ou redéfinir les exigences de conception;
- vérifier à nouveau l'adéquation de la conception;
- revoir la conception de caractéristiques identifiées;
- réexaminer le concept de maintenance.

- maintenance support and scheduled maintenance requirements;
- risk of obsolescence;
- maintenance during operation;
- fault tolerance;
- wear-out monitoring,
- accessibility, lifting, quick release capability;
- adjusting, aligning, oiling, greasing;
- bearings, couplings, hydraulic systems.

The above list provides examples where guidelines and checklists are used, but is not exhaustive. For new designs, areas in which problems of a repetitive nature are expected should be identified and suitable guidelines and checklists developed.

9.3 Design reviews

A design review is the formal, systematic and documented study of a design by specialists not directly involved with the design.

The purpose of a design review is

- to evaluate the capability of a design in meeting the total system requirements, including maintainability,
- to identify problem areas and suggest solutions,
- to predict the need for development tests, demonstrations and inspection,
- to promote the achievement of a mature design.

Maintainability assessments should form part of design reviews conducted at selected design milestones. They will provide a basis for approval of maintainability characteristics and features. Qualitative and quantitative requirements, which are to be considered at each review, should be prepared in advance in the form of evaluation criteria and checklists.

The following are examples of questions that should be addressed:

- have the maintainability requirements been defined to the necessary level of detail?
- has the maintenance concept been developed and is it compatible with maintainability requirements and given constraints?
- have maintenance support requirements been defined and are they compatible with maintainability requirements, maintenance concept and given constraints?
- is the design concept compatible with maintainability requirements?
- have feasibility and optimization studies been made, including life cycle cost studies?
- have requirements for test and diagnostic equipment been defined?

Answers to such questions will show whether the design conforms adequately to maintainability requirements. In cases of nonconformity, the following actions may be required:

- re-allocate or redefine maintainability requirements;
- re-allocate or redefine design requirements;
- re-verify design adequacy;
- re-design identified features;
- re-examine the maintenance concept.

Si aucune des actions ci-dessus n'aboutit, il peut être décidé d'accepter la conception malgré une non-conformité. Dans ce cas, des concessions doivent être accordées pour toute déviation par rapport aux exigences de maintenabilité.

Des revues de conception informelles couvrant la maintenabilité peuvent être effectuées tout au long du processus de conception, dès lors que cela est nécessaire. Il convient que les résultats des revues formelles et informelles de conception soient documentés pour fournir une description du processus par lequel on a abouti à la conception finale.

La CEI 61160 donne des recommandations pour les revues de conception.

If none of the above actions is successful, it may be decided to accept the design in spite of nonconformity. In this case, concessions have to be granted for any deviation from specified maintainability requirements.

Informal design reviews covering maintainability should be performed throughout the design process, whenever required. The results of both formal and informal reviews should be documented to provide a description of the process by which the final design has been evolved.

IEC 61160 gives further guidance on design reviews.

Annexe A (informative)

Allocation de maintenabilité

A.1 Introduction à l'allocation de maintenabilité

L'une des tâches menées dans les études de maintenabilité dans la phase de conception est l'allocation des exigences de maintenabilité des entités aux niveaux des sous-entités/niveaux inférieurs de la structure de décomposition. C'est un processus itératif initié tôt dans le cycle de vie de l'entité, sur la base d'informations préliminaires relatives à la conception, et ensuite mis à jour quand plus de données et d'informations sont disponibles. Un exemple de type d'allocation initiale de maintenabilité est donnée à l'Annexe B. L'hypothèse sous-jacente dans ce cas est que l'exigence de maintenabilité de la sous-entité est inversement proportionnelle à la complexité de la sous-entité.

L'Annexe A présente la méthode recommandée pour la mise à jour de l'allocation initiale de maintenabilité. Il convient de suivre cette méthode quand des données complémentaires deviennent disponibles et permettent d'effectuer une découpe fonctionnelle en des sous-entités de niveau inférieur avec de valeurs de taux de défaillance ou des durées de vie alloués à toutes les sous-entités. La méthode est applicable à tous les systèmes pour lesquels l'hypothèse de la distribution log-normale des temps de maintenance corrective est satisfaite et pour lesquels des informations suffisamment détaillées relatives à la conception sont disponibles, par exemple pendant ou à la fin de la phase de définition. Pour appliquer cette méthode, la spécification des temps alloués de maintenance corrective est nécessaire.

A.2 Définitions et abréviations

NOTE Toutes les définitions de l'Article 3 s'appliquent aussi à l'Annexe A. De plus, les termes, définitions et abréviations déterminés dans les paragraphes suivants sont utilisés.

A.2.1 Définitions

A.2.1.1

temps de maintenance corrective active

la partie de la maintenance active pendant laquelle des actions de maintenance correctives sont réalisées sur l'entité

[VEI 191-08-07:1990]

A.2.1.2

unité remplaçable sur site

entité fonctionnelle qui est adaptée et destinée à être retirée du système comme partie d'une action unique de maintenance sur site (en exploitation)

A.2.1.3

temps maximal de maintenance corrective active

par convention, le fractile 0,95 de la distribution des temps de maintenance corrective active, c'est-à-dire la partie du temps de maintenance corrective active pendant laquelle 95 % de toutes les actions de maintenance corrective d'une entité peuvent être réalisées

A.2.1.4

temps médian de maintenance corrective active

la partie de la maintenance active pendant laquelle 50 % de toutes les actions de maintenance correctives d'une entité peuvent être réalisées

Annex A (informative)

Maintainability allocation

A.1 Introduction to maintainability allocation

One of the tasks considered in maintainability studies in the design phase is the allocation of item maintainability requirements to sub-items/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 B. The underlying assumption in this case is that the sub-item maintainability requirement is inversely proportional to the sub-item'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 sub-item levels with failure rate values or life time allocated to all sub-items. 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, e.g. in or at the end of the definition phase. For application of this method, specification of a maximum allowable time for active corrective maintenance is needed.

A.2 Definitions and abbreviations

NOTE All definitions in Clause 3 also apply to Annex A. In addition, the terms, definitions and abbreviations determined in the following subclauses are used.

A.2.1 Definitions

A.2.1.1

active corrective maintenance time

that part of the active maintenance time during which actions of corrective maintenance are performed on an item

[IEV 191-08-07:1990]

A.2.1.2

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.2.1.3

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.2.1.4

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.2.1.5

temps moyen de maintenance corrective active

prévision du temps de maintenance corrective active

A.2.2 Abréviations

ACMT	temps de maintenance corrective active
LRU	unité remplaçable sur site
ACMT ₉₅	temps de maintenance corrective active maximal
ACMT ₅₀	temps médian de maintenance corrective active
MACMT	temps moyen de maintenance corrective active

A.3 Exigences d'allocation de maintenabilité et méthode

A.3.1 Exigences

Il convient d'appliquer la méthode d'allocation de maintenabilité décrite ci-dessous quand suffisamment d'informations relatives à la conception sont disponibles pour réaliser la découpe fonctionnelle de l'entité considérée en des niveaux inférieurs de la structure de décomposition. Il est essentiel de fournir les informations suivantes:

- une valeur requise ou préliminairement prédite pour le taux de défaillance de l'entité λ ;
- des valeurs de taux de défaillance alloués λ_i pour toutes les sous-entités, n , tels que

$$\sum_1^n \lambda_i(t) = \lambda ;$$

- une valeur spécifiée du temps moyen de maintenance corrective active MACMT (ou bien la valeur $\lambda \times$ MACMT peut être spécifiée); c'est-à-dire le temps de maintenance corrective active multiplié par le taux de défaillance λ de l'entité. λ MACMT est ainsi le temps moyen de maintenance corrective active par unité de temps de fonctionnement);
- une valeur spécifiée du temps maximal de maintenance corrective active ACMT₉₅.

Sur cette base, les valeurs requises pour ACMT_{*i*} peuvent être allouées pour chaque sous-entité *i*.

A.3.2 Méthode

La méthode est fondée sur l'hypothèse que les temps de maintenance, et particulièrement la partie corrective active de ceux-ci qui est généralement sous le contrôle du fournisseur, peuvent être convenablement décrites par une distribution log-normale de moyenne MACMT et ayant ACMT₉₅ pour fractile 0,95 ACMT. Les temps moyens de maintenance corrective active plus longs que ACMT₉₅ sont déterminés afin de fournir le complément pour le temps cumulé de maintenance corrective active spécifié pour l'entité.

A.4 Procédure d'allocation de maintenabilité

A.4.1 Etape 1

Identifier la distribution log-normale (avec l'écart-type = σ) à suivre. Un point de la distribution est initialement connu: ACMT₉₅. MACMT, le temps moyen de maintenance corrective active, est aussi donné. A partir de

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

A.2.1.5**mean active corrective maintenance time**

expectation of the active corrective maintenance time

A.2.2 Abbreviations

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

A.3 Maintainability allocation requirements and method**A.3.1 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 sub items, such that $\sum_1^n \lambda_i(t) = \lambda$;
- a specified value of the item's mean active corrective maintenance time MACMT (alternatively, the value $\lambda \times \text{MACMT}$ may be specified, i.e. the mean active corrective maintenance time multiplied by the item's failure rate λ . $\lambda \times \text{MACMT}$ 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 sub-item i .

A.3.2 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 such as to provide the complement to the accumulated mean active corrective maintenance time specified for the item.

A.4 Maintainability allocation procedure**A.4.1 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

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

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

il en découle

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

Ainsi $ACMT_{50}$ peut être déterminé (voir Figure A.1). Cela apporte un second point dans la fonction de distribution, qui peut maintenant être tracée comme une ligne droite dans un diagramme log-normal (voir Figure A.2).

NOTE Normalement cet algorithme conduit à deux solutions distinctes avec différentes valeurs de moyenne de d'écart-type de la distribution log-normale sous-jacente. La distribution à sélectionner est celle ayant le coefficient de variation le plus faible, par ex. dans le cas de la distribution log-normale

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

A.4.2 Etape 2

Identifier tous les LRU et les lister par ordre décroissant de taux de défaillance.

A.4.3 Etape 3

Calculer la fréquence relative f_i pour chaque LRU_i :

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

A.4.4 Etape 4

Calculer la fréquence cumulée F_i pour chaque LRU_i :

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

A.4.5 Etape 5

Pour chaque LRU_i , calculer $F_i - \frac{1}{2} f_i$ et trouver la valeur correspondante de $ACMT_i$ dans la distribution log-normale identifiée en Figure A.2 pour les LRU avec

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

A.4.6 Etape 6

Pour tous les LRU où $F_i - \frac{1}{2} f_i < 0,95$, déterminer

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

où 1 est le nombre de la première unité pour laquelle $F_i - \frac{1}{2} f_i < 0,95$.

$$\text{and } \frac{\text{ACMT}_{50}}{\text{MACMT}} = e^{-0,5\sigma^2}$$

$$\text{follows } \frac{\text{ACMT}_{50}}{\text{MACMT}} = \frac{\text{ACMT}_{95}}{\text{MACMT}} e^{-1,645\sigma} = f \left\{ \frac{\text{ACMT}_{95}}{\text{MACMT}} \right\}$$

Thus ACMT_{50} 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 the case of the log-normal distribution

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

A.4.2 Step 2

Identify all LRUs and list them in decreasing order of failure rate.

A.4.3 Step 3

Calculate the relative frequency f_i for each LRU_{*i*}:

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

A.4.4 Step 4

Calculate the cumulative frequency function F_i for each LRU_{*i*}:

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

A.4.5 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 LRUs with

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

A.4.6 Step 6

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

$$\text{ACMT}_{i,95} = \frac{\text{MACMT} - \sum_{i=1}^l \lambda_i \times \text{ACMT}_i}{\lambda - \sum_{i=1}^l \lambda_i}$$

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

A.5 Exemple

L'entité est sub-divisée en 15 sous-entités. Exigences pour l'entité:

$$\lambda = 0,037 \text{ 2/OH} = \sum_{i=1}^{15} \lambda_i \quad (\text{pour } \lambda_i \text{ voir le Tableau A.1, Colonne 2})$$

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

$$\text{ACMT}_{95} = 4,0 \text{ h}$$

Il en découle

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

$$\frac{\text{ACMT}_{95}}{\text{MACMT}} = \frac{4,0}{1,61} = 2,48$$

Pour la distribution log-normale avec le plus petit coefficient de variation (voir note en étape 1), la relation fonctionnelle à $\frac{\text{ACMT}_{50}}{\text{MACMT}}$ est donnée dans la Figure A.1.

Ainsi

$$\frac{\text{ACMT}_{50}}{\text{MACMT}} = 0,78$$

C'est le second point de la distribution log-normale tracée en Figure A.2. Maintenant, les étapes 2 à 5 sont réalisées (Tableau A.1, Colonnes 2 à 5). Les valeurs correspondantes de $\frac{\text{ACMT}_i}{\text{MACMT}}$ sont obtenues à partir de la Figure A.2 pour les sous-entités 1 à 9 et transformés en valeurs ACMT_i (Colonnes 6, 7).

Pour les sous-entités 10 à 15, l'étape 6 conduit à

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

Les valeurs de ACMT_i pour ces sous-entités sont calculées par multiplication avec les valeurs des λ_i respectifs (Colonne 8, sommation des valeurs en Colonne 9). Les calculs sont présentés dans le Tableau A.1.

A.5 Example

The item is subdivided in 15 sub-items. Item requirements:

$$\lambda = 0,037 \text{ 2/OH} = \sum_{i=1}^{15} \lambda_i \quad (\text{for } \lambda_i \text{ see Table A.1, Column 2})$$

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

$$\text{ACMT}_{95} = 4,0 \text{ h}$$

It follows

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

$$\frac{\text{ACMT}_{95}}{\text{MACMT}} = \frac{4,0}{1,61} = 2,48$$

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

Thus

$$\frac{\text{ACMT}_{50}}{\text{MACMT}} = 0,78$$

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 $\frac{\text{ACMT}_i}{\text{MACMT}}$ are obtained from Figure A.2 for sub-items 1 to 9 and transformed into ACMT_i values (Columns 6, 7).

For sub-items 10 to 15, step 6 yields

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

Values of ACMT_i for these sub-items are calculated by multiplication with the respective λ_i values (Column 8, summation values in Column 9). The calculations are presented in Table A.1.

Tableau A.1 – Allocation maintenabilité pour le niveau des sous-entités

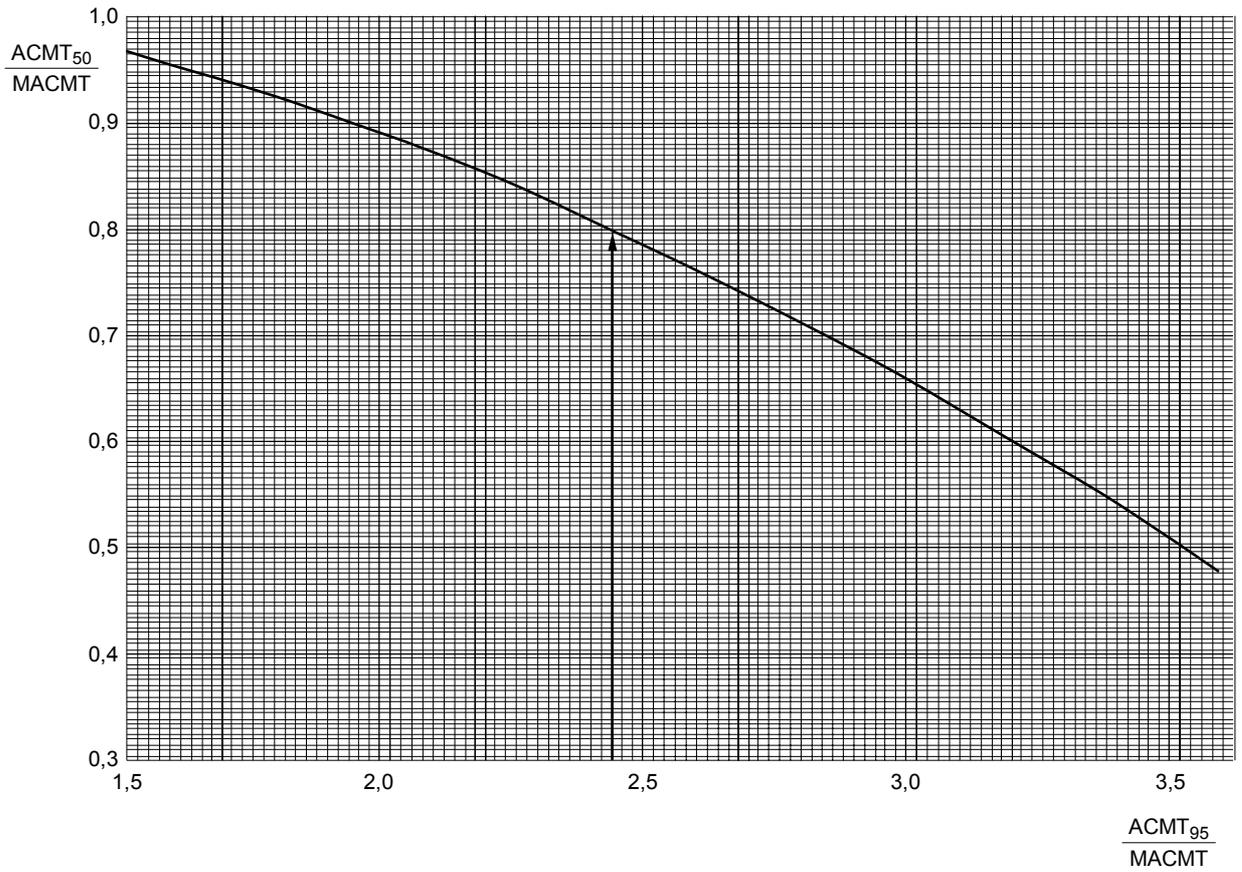
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sous-entité	$\lambda_i \cdot 10^6$	f_i	F_i	$F_i - \frac{1}{2} f_i$	$\frac{ACMT_i}{MACMT}$	ACMT _i	ACMT _i · $\lambda_i \cdot 10^3$	$\sum ACMT_i \cdot \lambda \cdot 10^3$
1	10 000	0,268	0,268	0,134	0,355	0,57	5,70	51,42
2	8 000	0,215	0,483	0,377	0,617	0,99	7,92	
3	5 000	0,134	0,617	0,551	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			7,15	3,58	8,57
11	200	0,005	0,984				1,43	
12	200	0,005	0,989				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	

NOTE Les valeurs en Colonne 5 sont égales à un centième de celles de l'axe X de la Figure A.2, qui représente des pourcentages.

Table A.1 – Maintainability allocation to sub-item level

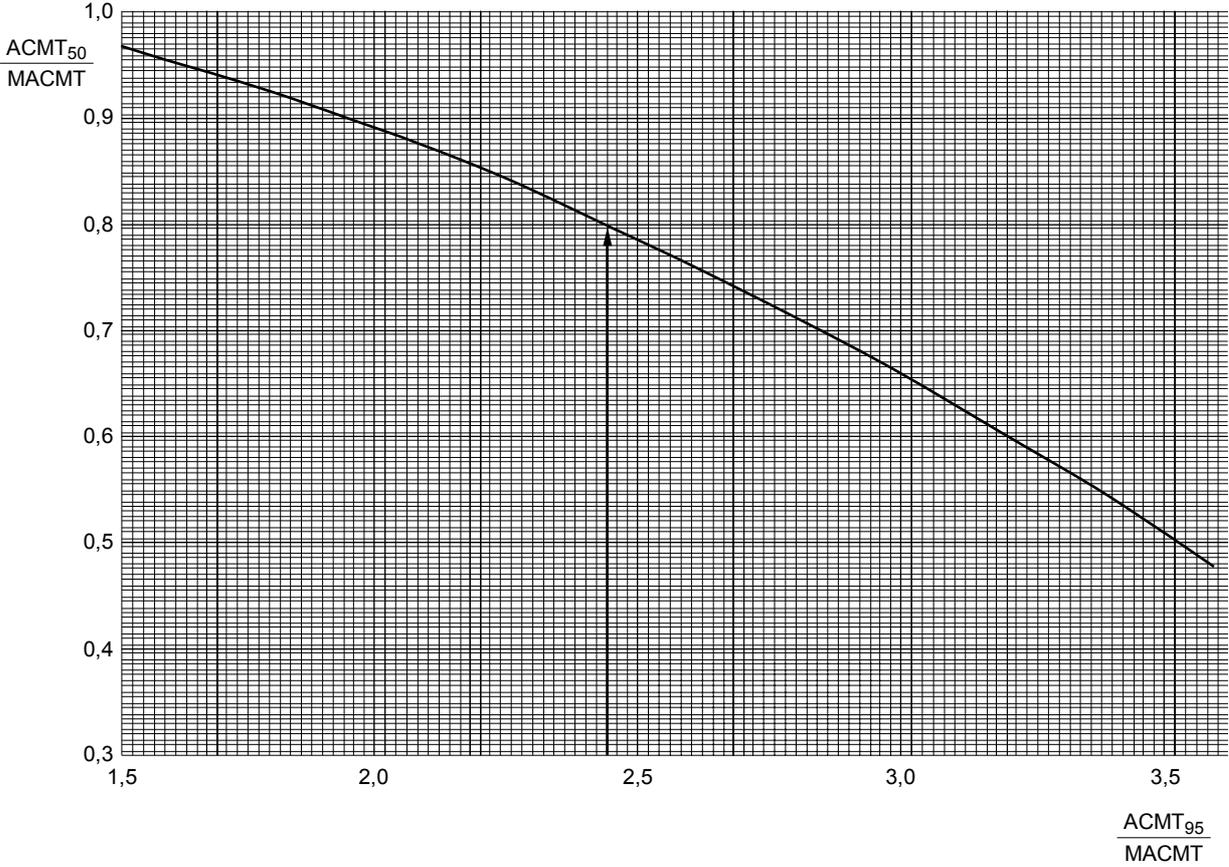
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sub-item	$\lambda_i \cdot 10^6$	f_i	F_i	$F_i - \frac{1}{2} f_i$	$\frac{ACMT_i}{MACMT}$	ACMT _i	ACMT _i · $\lambda_i \cdot 10^3$	$\sum ACMT_i \cdot \lambda \cdot 10^3$
1	10 000	0,268	0,268	0,134	0,355	0,57	5,70	51,42
2	8 000	0,215	0,483	0,377	0,617	0,99	7,92	
3	5 000	0,134	0,617	0,551	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			7,15	3,58	8,57
11	200	0,005	0,984				1,43	
12	200	0,005	0,989				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	

NOTE The figures in Column 5 are one-hundredth of those on the X axis of Figure A.2, which are shown as a percentage.



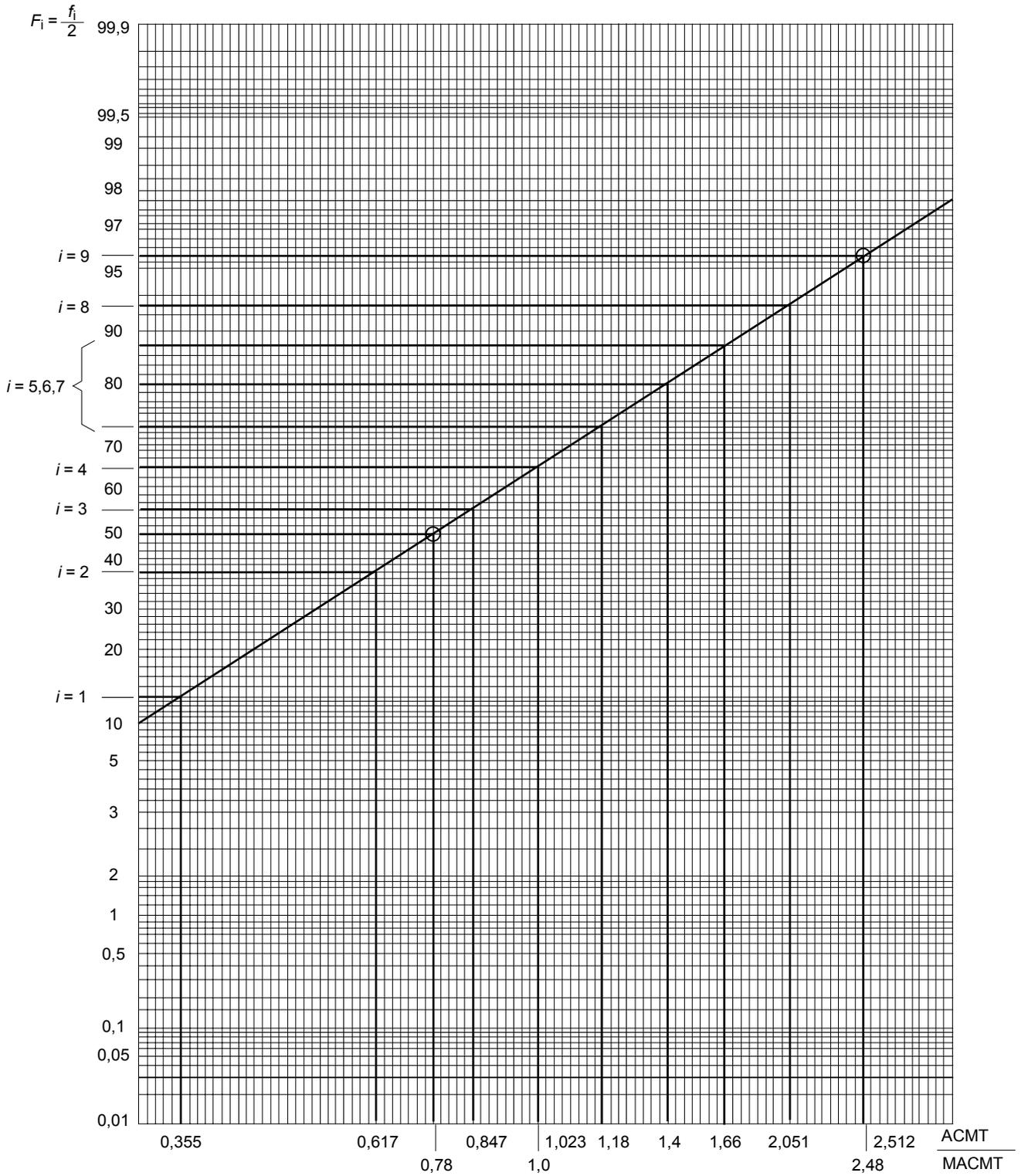
IEC 348/06

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



IEC 348/06

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



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

Figure A.2 – Allocation de maintenabilité pour le niveau des sous-entités

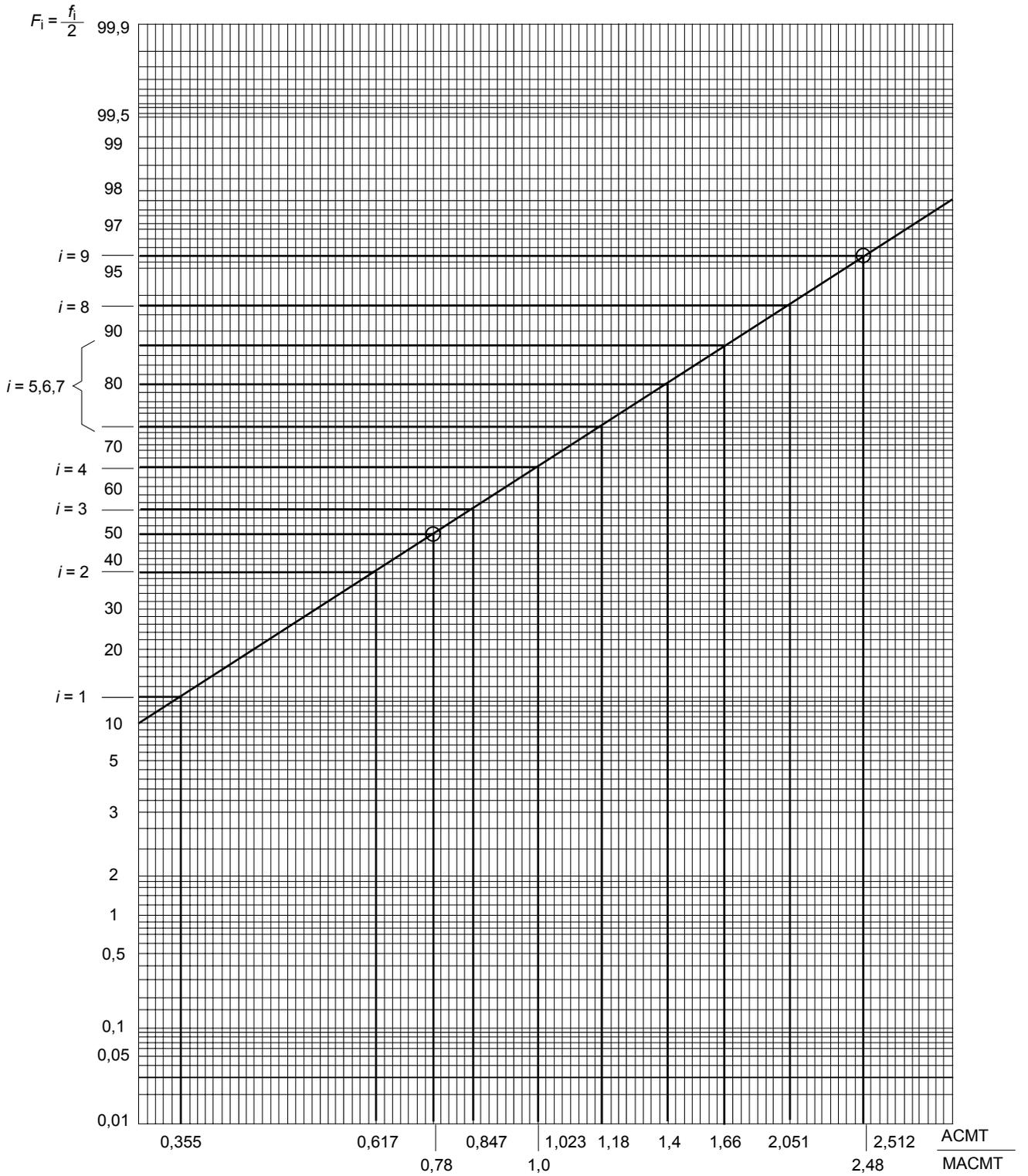


Figure A.2 – Maintainability allocation to sub-item level

Annexe B (informative)

Exemple d'allocation de maintenabilité

B.1 Tâche de base d'allocation de maintenabilité

Une entité constituée de k types de sous-systèmes remplaçables/repérables doit respecter l'exigence de maintenabilité exprimée en terme général, par exemple, le temps moyen de réparation active de l'entité (MART). En accord avec 8.4.5.4, les cas suivants peuvent se produire quand l'objectif alloué MART cible les sous-systèmes:

a) Cas 1 – Nouvelle conception

L'allocation est fondée sur la complexité relative du sous-système qui, en l'absence d'autres mesures, peut être représenté par les taux de défaillance du sous-système. Ainsi, pour la sous-entité i :

$$M_i \sim 1/n_i \lambda_i$$

où

M_i est l'objectif de MART pour la sous-entité i ;

n_i est le nombre de sous-entités i ;

λ_i est le taux de défaillance de la sous-entité i .

Pour k types de sous-entités

$$M_i = M \frac{\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i}{kn_i \lambda_i}$$

où M est le MART requis pour le système.

b) Cas 2 – Conception partiellement nouvelle

Données antérieures disponibles pour $l < k$ sous-entités. Ainsi, pour la sous-entité j :

$$M_j = \frac{M \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i - \sum_{i=1}^l n_i \lambda_i M_i}{(k-l)n_j \lambda_j}$$

où

$$j = l + 1, \dots, k$$

M_j est l'objectif de MART pour la sous-entité j ;

n_j est le nombre de sous-entités j ;

λ_j est le taux de défaillance de la sous-entité j .

c) Cas 3 – Données antérieures disponibles

Les données sont disponibles pour toutes les sous-entités k , c'est-à-dire que la sous-entité i est supposée avoir le MART $M_{i..}$.

Annex B (informative)

Example of a maintainability allocation

B.1 Basic maintainability allocation task

An item consisting of k replaceable/repairable types of sub-items shall meet a maintainability requirement expressed in terms of an overall figure, for example, the item's mean active repair time (MART). In accordance with 8.4.5.4, the following cases can occur when allocating MART targets to the sub-items:

a) Case 1 – New design

The allocation is based on the relative complexity of the sub-items that, in the absence of other measures, should be represented by the sub-item failure rates. Thus for sub-item i :

$$M_i \sim 1/n_i \lambda_i$$

where

M_i is the MART target for sub-item i ;

n_i is the number of sub-items i ;

λ_i is the failure rate of sub-item i .

For k types of sub-items

$$M_i = M \frac{\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i}{kn_i \lambda_i}$$

where M is the required system MART.

b) Case 2 – Partially new design

Previous knowledge available for $l < k$ sub-items. Then for sub-item j :

$$M_j = \frac{M \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i - \sum_{i=1}^l n_i \lambda_i M_i}{(k-l)n_j \lambda_j}$$

where

$$j = l+1, \dots, k ;$$

M_j is the MART target for sub-item j ;

n_j is the number of sub-item j ;

λ_j is the failure rate of sub-item j .

c) Case 3 – Previous knowledge available

Knowledge is available for all of the k sub-items, i.e. sub-item i is expected to show MART M_i . Then

$$\bar{M} = \frac{\sum_1^k M_i n_i \lambda_i}{\sum_1^k n_i \lambda_i}$$

est calculé quand \bar{M} est le MART moyen de toutes les sous-entités.

Pour $\bar{M} \leq M$, l'exigence initiale de maintenabilité est tenue; pour $\bar{M} > M$, des améliorations sont à entreprendre en accord avec 8.4.4.

NOTE Etant donné que l'allocation de maintenabilité n'est qu'un objectif indicatif, elle est normalement arrondie à peu de chiffres significatifs.

B.2 Exemple numérique

$M_i = 0,5$; diagramme de niveaux fonctionnels en accord avec la Figure B.1.

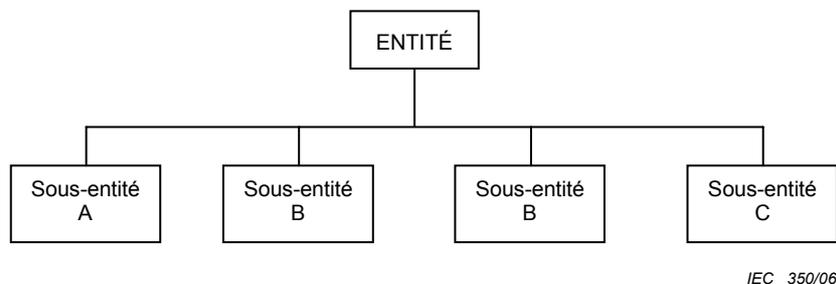


Figure B.1 – Diagramme de niveaux fonctionnels

a) Cas 1

$$M_A = M_i \frac{\lambda_i}{k \lambda_A n_A}$$

$$M_A = \frac{0,5 \times 2,73}{3 \times 1,71 \times 1} = 0,266$$

(ou approximativement 0,27)

De même

$$M_B = \frac{0,5 \times 2,73}{3 \times 0,48 \times 2} = 0,474$$

(ou approximativement 0,47)

$$M_C = \frac{0,5 \times 2,73}{3 \times 0,06 \times 1} = 7,58$$

(ou approximativement 7,6)

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^k M_i n_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i}$$

is calculated where \bar{M} is the mean MART of all the sub-items.

For $\bar{M} \leq M$, the initial maintainability requirement is met; for $\bar{M} > M$, further improvements in accordance with 8.4.4 are necessary.

NOTE As the maintainability allocation is an indicative target only, it is normally rounded to a few significant digits.

B.2 Numerical example

$M_i = 0,5$; functional level diagram according to Figure B.1.

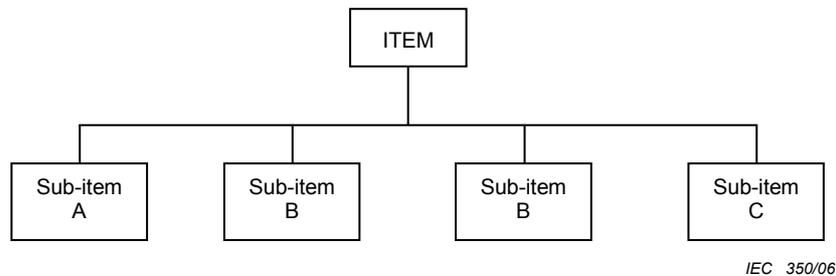


Figure B.1 – Functional level diagram

a) Case 1

$$M_A = M_i \frac{\lambda_i}{k \lambda_A n_A}$$

$$M_A = \frac{0,5 \times 2,73}{3 \times 1,71 \times 1} = 0,266$$

(or approximately 0,27)

Similarly

$$M_B = \frac{0,5 \times 2,73}{3 \times 0,48 \times 2} = 0,474$$

(or approximately 0,47)

$$M_C = \frac{0,5 \times 2,73}{3 \times 0,06 \times 1} = 7,58$$

(or approximately 7,6)

b) Cas 2

En se fondant sur des données précédentes, l'hypothèse est faite que

$$M_B = 0,5$$

$$M_C = 1,0$$

Ainsi

$$M_A = \frac{M_i \lambda_i - M_B \lambda_B n_B - M_C \lambda_C n_C}{\lambda_A}$$

$$M_A = (0,5 \times 2,73 - 0,5 \times 0,48 \times 2 - 1 \times 0,06 \times 1) / 1,71 = 0,482$$

(ou approximativement 0,48).

c) Cas 3

En se fondant sur des données précédentes, il est attendu que

$$M_A = 0,4$$

$$M_B = 0,5$$

$$M_C = 1,0$$

Ainsi

$$M_i = \frac{M_A \lambda_A n_A + M_B \lambda_B n_B + M_C \lambda_C n_C}{n_i \lambda_i}$$

$$M_i = (0,4 \times 1,71 \times 1 + 0,5 \times 0,48 \times 2 + 1,0 \times 0,06 \times 1) / 2,73 = 0,448$$

(ou approximativement 0,45).

Le processus d'allocation est facilité par l'utilisation d'un tableau similaire au Tableau B.1.

Tableau B.1 – Tableau d'allocation

Type de sous-entité	Quantité	Taux de défaillance λ	Taux de défaillance λn	Cas 1	Cas 2	Cas 3
A	1	1,71	1,71	0,27	0,48	0,4
B	2	0,48	0,96	0,47	0,5	0,5
C	1	0,06	0,06	7,6	1,0	1,0

b) Case 2

Based on previous knowledge it is assumed that

$$M_B = 0,5$$

$$M_C = 1,0$$

Thus

$$M_A = \frac{M_i \lambda_i - M_B \lambda_B n_B - M_C \lambda_C n_C}{\lambda_A}$$

$$M_A = (0,5 \times 2,73 - 0,5 \times 0,48 \times 2 - 1 \times 0,06 \times 1) / 1,71 = 0,482$$

(or approximately 0,48).

c) Case 3

Based on previous knowledge it is expected that

$$M_A = 0,4$$

$$M_B = 0,5$$

$$M_C = 1,0$$

Thus

$$M_i = \frac{M_A \lambda_A n_A + M_B \lambda_B n_B + M_C \lambda_C n_C}{n_i \lambda_i}$$

$$M_i = (0,4 \times 1,71 \times 1 + 0,5 \times 0,48 \times 2 + 1,0 \times 0,06 \times 1) / 2,73 = 0,448$$

(or approximately 0,45).

The allocation process is facilitated by the use of a table similar to Table B.1.

Table B.1 – Allocation table

Sub-item type	Quantity	Failure rate λ	Total failure rate λn	Case 1	Case 2	Case 3
A	1	1,71	1,71	0,27	0,48	0,4
B	2	0,48	0,96	0,47	0,5	0,5
C	1	0,06	0,06	7,6	1,0	1,0

Annexe C (informative)

Exemple d'allocation de valeurs de fiabilité et de sélection de stratégie de maintenance pour un système ayant un taux de défaillance variable

C.1 Généralités

Ce qui suit est un exemple d'illustration simple montrant comment la maintenance d'une entité peut être planifiée pour optimiser le coût et prendre en considération les contraintes d'exploitation. Cet exemple peut aisément être étendu et adapté pour couvrir un système réel.

C.2 Système

L'exemple considère un sous-système simple comme étant une partie d'un système de fabrication qui est en cours de conception. Le système peut être découpé en utilisant un diagramme de blocs, en un module électronique, un moteur électrique et un module engrenages/couplage.

Ce qui suit est la connaissance que l'on a des modules (voir Figure C.1):

- La fiabilité du module électronique peut être modélisée en utilisant une distribution exponentielle avec un taux de défaillance constant $\lambda = 25\ 000$ FIT (MTBF = 40 000 h).
- Le moteur peut être obtenu auprès du fournisseur A avec une distribution de Weibull du temps avant défaillance, le paramètre de forme $\beta = 5$ et une caractéristique de durée de vie de $\eta = 5\ 400$ h, ou auprès du fournisseur B avec le paramètre de forme $\beta = 1,4$ et une caractéristique de durée de vie de $\eta = 10\ 000$ h.
- Le module engrenages/couplage est réutilisé à partir d'une entité précédente. La durée avant défaillance du module engrenages/couplage peut être modélisée avec une distribution de Weibull avec un paramètre de forme $\beta = 4$ et une caractéristique de durée de vie de $\eta = 5\ 000$ h.

Le but de l'allocation est de déterminer si le moteur peut être acquis auprès du fournisseur A ou auprès du fournisseur B. Ensuite, il convient de décider si une maintenance préventive sera prescrite et comment.

Le système est exploité 20 h par jour, 365 jours par an. En cas de panne (indisponibilité), il peut y avoir des dommages sur les équipements de fabrication, ainsi qu'une perte de la production.

C.2.1 Liste des symboles et des coûts estimés

B1(A)	B1 est la durée de vie du moteur A (2 300 h)
B1(B)	B1 est la durée de vie du moteur B (400 h)
B5(G&C)	B5 est la durée de vie du module engrenages/couplage (2 300 h)
B1(G&C)	B1 est la durée de vie du module engrenages/couplage (1 500 h)
DC	coût des dommages en cas de défaillance (2 000 unités monétaires (Mu))
ERC(E)	coûts estimés de réparation pour le module électronique (400 Mu)

Annex C (informative)

Example of allocation of reliability values and maintenance strategy selection for a system with non-constant failure rate

C.1 General

The following is a simple illustrative example showing how the maintenance of an item can be planned to optimize the cost and take into consideration the operating constraints. This example can easily be expanded and adapted to cover a real system.

C.2 System

The example considers a simple sub-system as part of a manufacturing system that is being designed. The system can be broken down, using a block diagram, into an electronic module, an electric motor and a gear and coupling module.

The following is known about the modules (see Figure C.1):

- The reliability of the electronic module can be modelled using the exponential distribution with a constant failure rate $\lambda = 25\ 000$ FIT (MTBF = 40 000 h).
- The motor can be bought from supplier A with a Weibull distributed time to failure, the Shape parameter $\beta = 5$ and a characteristic life of $\eta = 5\ 400$ h, or from supplier B with state shape parameter $\beta = 1,4$ and a characteristic life of $\eta = 10\ 000$ h.
- The gear and coupling are re-used from a previous product. The time to failure for the gear and coupling can be modelled with a Weibull distribution with shape parameter $\beta = 4$ and a characteristic life of $\eta = 5\ 000$ h.

The purpose of the allocation is to determine if the motor should be bought from supplier A or from supplier B. Further, it should be decided if preventive maintenance will be prescribed, and, if so, how.

The system is operated 20 h a day, 365 days a year. In case of breakdown (unavailability) there may be damage to the manufacturing equipment, as well as a loss of production.

C.2.1 List of symbols and estimated costs

B1(A)	B1 life for motor A (2 300 h)
B1(B)	B1 life for motor B (400 h)
B5(G&C)	B5 life for gear and coupling (2 300 h)
B1(G&C)	B1 life for gear and coupling (1 500 h)
DC	damage cost in case of failure (2 000 monetary units (Mu))
ERC(E)	estimated repair costs for the electronic module (400 Mu)

F(E;1Y)	probabilité de défaillance sur une année pour le module électronique
F(MA;100 000 H)	nombre estimé de réparations par 100 000 h pour le moteur A
F(MB;100 000 H)	nombre estimé de réparations par 100 000 h pour le moteur B
F(G&C;100 000 H)	nombre estimé de réparations par 100 000 h pour le module engrenages/couplage
FC(E)	coûts annuels des défaillances pour le module électronique
FC(MA;1Y)	coûts annuels des défaillances pour le moteur A
FC(MB;1Y)	coûts annuels des défaillances pour le moteur B
FC(G&C;1Y)	coûts annuels des défaillances pour le module engrenages/couplage
FC(PM;A;B1;1Y)	coût annuel de maintenance préventive à B1 pour le moteur A
FC(PM;B;B1;1Y)	coût annuel de maintenance préventive à B1 pour le moteur B
FC(PM;G&C;B1;1Y)	coût annuel de maintenance préventive à B1 pour le module engrenages/couplage
FC(PM;G&C;B5;1Y)	coût annuel de maintenance préventive à B5 pour le module engrenages/couplage
MRC(M)	coût moyen de réparation pour la réparation d'un moteur (1 200 Mu)
MRT(E)	temps moyen de réparation pour le module électronique (2 h)
MSRC(G&C)	coût moyen de réparation prévu pour le module engrenages/couplage (1 600 Mu)
MSRT(G&C)	temps moyen de réparation prévu pour le module engrenages/couplage (4 h)
MSRT(M)	temps moyen de réparation pour le moteur (3 h)
NOTE Les pièces de rechange et les outils peuvent être mis à disposition sur site avant l'arrêt pour la maintenance.	
MURC(G&C)	coût moyen de réparation non prévu pour le module engrenages/couplage (6 000 Mu)
MURT(G&C)	temps moyen de réparation non prévue pour le module engrenages/couplage (24 h)
MURT(M)	temps moyen de réparation non prévue pour le moteur (6 h)
PF(A;1Y)	probabilité d'une maintenance non prévue (défaillance) par an pour le moteur A, l'hypothèse étant faite d'une maintenance à B1
PF(B;1Y)	probabilité d'une maintenance non prévue (défaillance) par an pour le moteur B, l'hypothèse étant faite d'une maintenance à B1
PF(G&C;B1;1Y)	probabilité d'une maintenance non prévue (défaillance) par an pour le module engrenages/couplage, l'hypothèse étant faite d'une maintenance à B1
PF(G&C;B5;1Y)	probabilité d'une maintenance non prévue (défaillance) par an pour le module engrenages/couplage, l'hypothèse étant faite d'une maintenance à B5
PL	perte de production par heure en cas d'indisponibilité du système (6 000 Mu)
PM(A;1Y)	nombre d'actions de maintenance préventive par an pour le moteur A
PM(B;1Y)	nombre d'actions de maintenance préventive par an pour le moteur B
PM(G&C;B1;1Y)	nombre d'actions de maintenance préventive à B1 pour le module engrenages/couplage
PM(G&C;B5;1Y)	nombre d'actions de maintenance préventive à B5 pour le module engrenages/couplage

F(E;1Y)	probability of failure per year for the electronic module
F(MA;100 000 H)	estimated number of repairs per 100 000 h for motor A
F(MB;100 000 H)	estimated number of repairs per 100 000 h for motor B
F(G&C;100 000 H)	estimated number of repairs per 100 000 h for gear and coupling
FC(E)	failure costs per year for the electronic module
FC(MA;1Y)	failure cost per year for motor A
FC(MB;1Y)	failure cost per year for motor B
FC(G&C;1Y)	failure cost per year for gear and coupling
FC(PM;A;B1;1Y)	cost of preventive maintenance at B1 per year for motor A
FC(PM;B;B1;1Y)	cost of preventive maintenance at B1 per year for motor B
FC(PM;G&C;B1;1Y)	cost of preventive maintenance at B1 per year for gear and coupling
FC(PM;G&C;B5;1Y)	cost of preventive maintenance at B5 per year for gear and coupling
MRC(M)	mean repair cost for repair of one motor (1 200 Mu)
MRT(E)	mean repair time for the electronic module (2 h)
MSRC(G&C)	mean gear and coupling scheduled repair cost (1 600 Mu)
MSRT(G&C)	mean scheduled repair time for gear and coupling (4 h)
MSRT(M)	mean scheduled repair time for the motor (3 h)
NOTE Spare parts and tools can be lined up before the system is stopped for maintenance.	
MURC(G&C)	mean gear and coupling unscheduled repair cost (6 000 Mu)
MURT(G&C)	mean unscheduled repair time for gear and coupling (24 h)
MURT(M)	mean unscheduled repair time for the motor (6 h)
PF(A;1Y)	probability of unscheduled maintenance (failure) per year for motor A assuming preventive maintenance at B1
PF(B;1Y)	probability of unscheduled maintenance (failure) per year for motor A assuming preventive maintenance at B1
PF(G&C;B1;1Y)	probability of unscheduled maintenance (failure) per year for gear and coupling assuming preventive maintenance at B1
PF(G&C;B5;1Y)	probability of unscheduled maintenance (failure) per year for gear and coupling assuming preventive maintenance at B5
PL	production loss per hour in case of unavailability of the system (6 000 Mu)
PM(A;1Y)	number of preventive maintenance actions per year for motor A
PM(B;1Y)	number of preventive maintenance actions per year for motor B
PM(G&C;B1;1Y)	number of preventive maintenance actions at B1 per year for gear and coupling
PM(G&C;B5;1Y)	number of preventive maintenance actions at B5 per year for gear and coupling

C.2.2 Module électronique

L'hypothèse est faite que le module électronique a un taux de défaillance constant de 25 000 FIT (MTBF=40 000 h). En conséquence, une maintenance préventive n'est pas possible et la seule stratégie est de réparer le module quand il est défaillant. Le temps de réparation est réduit par le fait de disposer de deux circuits imprimés assemblés (PWA) en stock.

Le nombre prévu de réparations par an est:

$$F(E; 1Y) = 25\ 000\ \text{FIT} \times 10^{-9} \times 20 \times 365 = 0,182\ 5$$

Quand le module électronique devient défaillant en exploitation, l'équipement de fabrication est endommagé.

Le coût de défaillance du module électronique est:

$$FC(E) = F(E; 1Y) \times (DC + ERC(E) + MRT(E) \times PL) = 0,1825 \times (2\ 000 + 400 + 2 \times 6\ 000) = 2\ 628\ \text{Mu}$$

C.2.3 Moteur

Le moteur a un taux de défaillance variable. Il est modélisé avec une distribution de Weibull établie par le fournisseur. Il est initialement prévu de fournir une maintenance préventive au point B1 de la vie du moteur (1 % de défaillances prévu). Si le moteur est défaillant, le système de surveillance interrompt le procédé de sorte qu'il n'y a pas de dommages à l'équipement de fabrication. Dans cet exemple simplifié, la perte potentielle de temps d'exploitation pour cause de changement de moteur avant que celui-ci soit usé n'est pas prise en compte. Cela peut être fait par une analyse de Monte Carlo. De plus, on considère que l'on ne fait pas de maintenance sur le moteur, mais qu'on le répare quand il est défaillant.

C.2.4 Moteur du fournisseur A

Le moteur du fournisseur A a une caractéristique de durée de vie plus courte que le moteur B, mais il possède un paramètre de forme (β) plus élevé.

C.2.4.1 Moteur du fournisseur A – Sans maintenance préventive

Dans le cas sans maintenance préventive, le moteur est réparé quand il est défaillant. La durée avant défaillance est modélisée par la distribution de Weibull. En utilisant un programme de Monte Carlo, on estime que le nombre moyen de réparations sur une durée de 100 000 h (10 ans) est 19,68 réparations. La limite haute est 23 réparations et la limite basse est 17 réparations. Le coût de cette stratégie de maintenance peut donc être estimé comme suit:

$$FC(MA; 1Y) = F(MA; 100\ 000\ \text{h}) \times 20 \times 365/100\ 000 \times (MRC(M) + MURT(M) \times PL) = 19,68 \times 20 \times 365/100\ 000 \times (1\ 200 + 6 \times 6\ 000) = 53\ 443\ \text{Mu}$$

NOTE Après plusieurs réparations, le taux de défaillance du système approche un taux constant même si les moteurs, considérés isolément, ont encore un taux de défaillance variable (processus de renouvellement superposés).

Si le planning de maintenabilité est fait en utilisant un taux de défaillance constant pour le système, l'information relative à la variabilité du taux de défaillance du moteur sera perdue et ainsi, la possibilité d'une maintenance préventive ne sera pas envisagée.

C.2.2 Electronic module

The electronic module is assumed to have a constant failure rate of 25 000 FIT (MTBF=40 000 h). Therefore preventive maintenance is not possible, and the only strategy is to repair the module as it fails. The repair time is reduced by having two spare printed wiring assemblies (PWA) in stock.

The expected number of repairs per year is:

$$F(E; 1Y) = 25\,000 \text{ FIT} \times 10^{-9} \times 20 \times 365 = 0,182\,5$$

When the electronic module fails during operation the manufacturing equipment is damaged.

The failure cost for the electronic module is:

$$FC(E) = F(E; 1Y) \times (DC + ERC(E) + MRT(E) \times PL) = 0,1825 \times (2\,000 + 400 + 2 \times 6\,000) = 2\,628 \text{ Mu}$$

C.2.3 Motor

The motor has a non-constant failure rate. This is modelled with a Weibull distribution stated by the supplier. It is initially planned to provide preventive maintenance at the B1 life of the motor (1 % failures expected). If the motor fails, the electronic surveillance system closes the process down so that no damage is done to the process equipment. In this simplified example, the lost potential operating time changing the motor before it is worn out is not taken into account. This can be done using a Monte Carlo analysis. Further, it is considered that maintenance is not carried out on the motor but it is repaired when it fails.

C.2.4 Motor from supplier A

The motor from supplier A has a shorter characteristic life than the motor from supplier B, but has a higher shape parameter (β).

C.2.4.1 Motor from supplier A – No preventive maintenance

In the case of no preventive maintenance the motor is repaired when it fails. The time to failure is modelled by the Weibull distribution. Using a Monte Carlo program it is estimated that the average number of repairs during 100 000 h (10 years) is 19,68 repairs. The upper limit is 23 repairs and the lower limit is 17 repairs. The cost of this maintenance strategy can therefore be estimated as follows:

$$FC(MA; 1Y) = F(MA; 100\,000 \text{ h}) \times 20 \times 365 / 100\,000 \times (MRC(M) + MURT(M) \times PL) = \\ 19,68 \times 20 \times 365 / 100\,000 \times (1\,200 + 6 \times 6\,000) = 53\,443 \text{ Mu}$$

NOTE After several repairs, the failure rate of the system approaches a constant rate, even though the individual motors still have a non-constant failure rate (superimposed renewal processes).

If the maintainability planning is made using the constant system failure rate, the information about the non-constant failure rate of the motor will be lost and therefore the possibility of preventive maintenance will not be considered.

C.2.4.2 Moteur du fournisseur A – Maintenance préventive en B1

Dans ce cas, le moteur est changé après 2 300 h. Le nombre de cas de maintenance préventive sur un an est donc:

$$PM(A; 1Y) = 20 \times 365/2\ 300 = 3,17$$

De plus, la probabilité pour que le moteur soit défaillant avant 2 300 h est 1 %. En conséquence, la probabilité d'une réparation non prévue peut être estimée à 1 % pour chaque nouveau moteur, c'est-à-dire le nombre de remplacements préventifs plus 1, ou pour 1 an:

$$PF(A; 1Y) = (PM(A; 1Y) + 1) \times 0,01 = 0,041\ 7$$

La durée d'exploitation de ces moteurs n'est pas considérée (approximation conservative).

Le coût total pour la stratégie de maintenance préventive en B1 est:

$$FC(PM);A;B1;1Y) = PM(A; 1Y) \times MRC(M) + PF(A; 1Y) \times (MRC(M) + MURT (M) \times PL) = 3,17 \times 1200 + 0,041\ 7 \times (1\ 200 + 6 \times 6\ 000) = 5\ 355\ Mu$$

C.2.5 Moteur du fournisseur B

Le moteur du fournisseur B a une caractéristique de durée de vie plus longue que le moteur A, mais il possède un paramètre de forme (β) plus faible.

C.2.5.1 Moteur du fournisseur B – Sans maintenance préventive

Dans le cas sans maintenance préventive, le moteur est réparé quand il est défaillant. La durée avant défaillance est modélisée par la distribution de Weibull. En utilisant un programme de Monte Carlo, on estime que le nombre moyen de réparations sur une durée de 100 000 h (10 ans) est 11 réparations. La limite haute est 17 réparations et la limite basse est 6 réparations. Le coût de cette stratégie de maintenance peut donc être estimé comme il suit:

$$FC(MB; 1Y) = F(MB; 100\ 000\ h) \times 20 \times 365/100\ 000 \times (MRC(M) + MRT (M) \times PL) = 11 \times 20 \times 365/100\ 000 \times (1\ 200 + 6 \times 6\ 000) = 29\ 872\ Mu$$

C.2.5.2 Moteur du fournisseur B – Maintenance préventive en B1

Dans ce cas, le moteur est changé après 400 h. Le nombre de cas de maintenance préventive sur un an est donc:

$$PM(B; 1Y) = 20 \times 365/400 = 18,25$$

De plus, la probabilité pour que le moteur soit défaillant avant 400 h est 1 %. En conséquence, la probabilité d'une réparation non prévue peut être estimée à 1 % pour chaque nouveau moteur, c'est-à-dire le nombre de remplacements préventifs plus 1, ou pour 1 an:

$$PF(B; 1Y) = (PM(B; 1Y) + 1) \times 0,01 = 0,192\ 5$$

La durée d'exploitation de ces moteurs n'est pas considérée (approximation conservative).

Le coût total pour la stratégie de maintenance préventive en B1 est:

$$FC(PM);B;B1;1Y) = PM(B; 1Y) \times MRC(M) + PF(B; 1Y) \times (MRC(M) + MURT (M) \times PL) = 18,25 \times 1\ 200 + 0,192\ 5 \times (1\ 200 + 6 \times 6\ 000) = 29\ 061\ Mu$$

C.2.4.2 Motor from supplier A – Preventive maintenance at B1

In this case, the motor is changed after 2 300 h. The number of preventive maintenance cases in one year is therefore:

$$PM(A; 1Y) = 20 \times 365/2\ 300 = 3,17$$

Further, there will be 1 % probability that the motor fails before 2 300 h. Therefore the probability of an unplanned motor repair can be estimated as 1 % for each new motor i.e. the number of preventive exchanges plus 1, or for 1 year:

$$PF(A; 1Y) = (PM(A; 1Y) + 1) \times 0,01 = 0,041\ 7$$

The operating time of these motors is disregarded (a conservative approximation).

The total cost for the B1 preventive maintenance strategy is:

$$FC(PM);A;B1;1Y) = PM(A; 1Y) \times MRC(M) + PF(A; 1Y) \times (MRC(M) + MURT (M) \times PL) = 3,17 \times 1\ 200 + 0,041\ 7 \times (1\ 200 + 6 \times 6000) = 5\ 355\ Mu$$

C.2.5 Motor from supplier B

The motor from supplier B has a longer characteristic life than the motor from supplier A, but has a lower shape parameter (β).

C.2.5.1 Motor from supplier B – No preventive maintenance

In the case of no preventive maintenance the motor is repaired when it fails. The time to failure is modelled by the Weibull distribution. Using a Monte Carlo program, it is estimated that the average number of repairs during 100 000 h (10 years) is 11 repairs. Upper limit is 17 repairs and lower limit is 6 repairs. The cost of this maintenance strategy can therefore be estimated as follows:

$$FC(MB; 1Y) = F(MB; 100\ 000\ h) \times 20 \times 365/100\ 000 \times (MRC(M) + MRT (M) \times PL) = 11 \times 20 \times 365/100\ 000 \times (1\ 200 + 6 \times 6\ 000) = 29\ 872\ Mu$$

C.2.5.2 Motor from supplier B – Preventive maintenance at B1

In this case the motor is changed after 400 h. The number of preventive maintenance cases in one year is therefore:

$$PM(B; 1Y) = 20 \times 365/400 = 18,25$$

Further there will be 1 % probability that the motor fails before 400 h. Therefore the probability of an unplanned motor repair can be estimated as 1 % for each new motor i.e. the number of preventive exchanges plus 1, or for 1 year:

$$PF(B; 1Y) = (PM(B; 1Y) + 1) \times 0,01 = 0,192\ 5$$

The operating time of these motors is disregarded (a conservative approximation).

The total cost for the B1 preventive maintenance strategy is:

$$FC(PM);B;B1;1Y) = PM(B; 1Y) \times MRC(M) + PF(B; 1Y) \times (MRC(M) + MURT (M) \times PL) = 18,25 \times 1\ 200 + 0,192\ 5 \times (1\ 200 + 6 \times 6\ 000) = 29\ 061\ Mu$$

C.2.6 Choix du fournisseur du moteur et du programme de maintenance

Les coûts prédits sont les suivants:

Moteur du fournisseur A – Sans maintenance préventive	53 443 Mu
Moteur du fournisseur A – Avec maintenance préventive	5 355 Mu
Moteur du fournisseur B – Sans maintenance préventive	29 872 Mu
Moteur du fournisseur B – Avec maintenance préventive	29 061 Mu

On constate que les coûts les plus bas sont obtenus avec le moteur du fournisseur A et maintenance préventive, même si ce moteur a une caractéristique de durée de vie et un MTTF plus faible.

C.3 Module engrenages/couplage

Le module engrenages/couplage est réutilisé à partir d'une entité précédente, de sorte que des données de maintenance existent.

La durée avant défaillance du module engrenages/couplage peut être modélisée avec une distribution de Weibull avec un paramètre de forme $\beta = 4$ et une caractéristique de durée de vie de $\eta = 5\ 000$ h.

Dans le cas d'une défaillance dans le module engrenages/couplage, l'un et l'autre sont souvent endommagés. En conséquence, les coûts de maintenance non prévue (coûts de réparation) sont plus élevés que les coûts de maintenance prévue.

C.3.1 Module engrenages/couplage – Sans maintenance préventive

Dans le cas sans maintenance préventive, le moteur est réparé quand il est défaillant. La durée avant défaillance est modélisée par la distribution de Weibull. En utilisant un programme de Monte Carlo, on estime que le nombre moyen de réparations sur une durée de 100 000 h (10 ans) est 21,52 réparations. La limite haute est 26 réparations et la limite basse est 18 réparations. Le coût de cette stratégie de maintenance peut donc être estimé comme suit:

$$FC(G\&C; 1Y) = F(G\&C; 100\ 000\ h) \times 20 \times 365/100\ 000 \times (MURC(G\&C) + MURT (G\&C) \times PL) = 21,52 \times 20 \times 365/100\ 000 \times (6\ 000 + 24 \times 6\ 000) = 235\ 644\ Mu$$

C.3.2 Module engrenages/couplage – Maintenance préventive en B5

Dans ce cas, le module engrenage/couplage est changé après 2 300 h. Le nombre de cas de maintenance préventive sur un an est donc:

$$PM(G\&C;B5;1Y) = 20 \times 365/2\ 300 = 3,17$$

De plus, la probabilité pour que le module engrenages/couplage soit défaillant avant 2 300 h est 5 %. En conséquence, la probabilité d'une réparation non prévue peut être estimée à 5 % pour chaque nouveau moteur, c'est-à-dire le nombre de remplacements préventifs plus 1, ou pour 1 an:

$$PF(G\&C;B5;1Y) = (PM(G\&C; 1Y) + 1) \times 0,05 = 0,208\ 5$$

La durée d'exploitation du module engrenages/couplage n'est pas considérée (approximation conservative).

C.2.6 Choosing the motor supplier and maintenance program

The predicted costs are as follows:

Motor from supplier A – No preventive maintenance	53 443 Mu
Motor from supplier A – Preventive maintenance	5 355 Mu
Motor from supplier B – No preventive maintenance	29 872 Mu
Motor from supplier B – Preventive maintenance	29 061 Mu

It can be seen that the lowest costs are achieved by using the motor from supplier A with preventive maintenance, even though this motor has the lowest characteristic life and MTTF.

C.3 Gear and coupling

The gear and coupling has been used in a previous product, so some maintenance data exists.

The time to failure of the gear and coupling module can be modelled using a Weibull distribution with a shape parameter $\beta = 4$ and a characteristic life of $\eta = 5\,000$ h.

In the case of failure in the gear and coupling module, the gear and coupling are often damaged. Therefore, the unscheduled maintenance costs (repair costs) are higher than the scheduled maintenance costs.

C.3.1 Gear and coupling – No preventive maintenance

In the case of no preventive maintenance the motor is repaired when it fails. The time to failure is modelled by the Weibull distribution. Using a Monte Carlo program it is estimated that the average number of repairs during 100 000 h (10 years) is 21,52 repairs. The upper limit is 26 repairs and lower limit is 18 repairs. The cost of this maintenance strategy can therefore be estimated as follows:

$$FC(G\&C; 1Y) = F(G\&C; 100\,000\text{ h}) \times 20 \times 365/100\,000 \times (MURC(G\&C) + MURT(G\&C) \times PL) = 21,52 \times 20 \times 365/100\,000 \times (6\,000 + 24 \times 6\,000) = 235\,644\text{ Mu}$$

C.3.2 Gear and coupling – Preventive maintenance at B5

In this case the gear and coupling is changed after 2 300 h. The number of preventive maintenance cases in one year is therefore:

$$PM(G\&C;B5;1Y) = 20 \times 365/2\,300 = 3,17$$

Further, there will be 5 % probability that the gear and coupling fails before 2 300 h. Therefore the probability of an unplanned gear and coupling repair can be estimated as 5 % for each maintenance i.e. the number of preventive exchanges plus 1, or for 1 year:

$$PF(G\&C;B5;1Y) = (PM(G\&C; 1Y) + 1) \times 0,05 = 0,208\,5$$

The operating time of the gear and coupling modules is disregarded (a conservative approximation).

Le coût total pour la stratégie de maintenance préventive en B5 est:

$$FC(PM);G\&C;B5;1Y) = PM(G\&C;B5;1Y) \times MSRC(G\&C) + PF(G\&C;B5;1Y) \times (MURC(G\&C) + MURT(G\&C) \times PL) = 3,17 \times 1\ 600 + 0,208\ 5 \times (6\ 000 + 24 \times 6\ 000) = 36\ 347\ Mu$$

C.3.3 Module engrenages/couplage – Maintenance préventive en B1

Dans ce cas, le module engrenages/couplage est révisé après 1 500 h. Le nombre de cas de maintenance préventive sur un an est donc:

$$PM(G\&C; B1;1Y) = 20 \times 365/1\ 500 = 4,866\ 7$$

De plus, la probabilité pour que le module engrenages/couplage soit défaillant avant 1 500 h est 1 %. En conséquence, la probabilité d'une réparation non prévue peut être estimée à 1 % pour chaque nouveau moteur, c'est-à-dire le nombre de remplacements préventifs plus 1, ou pour 1 an:

$$PF(G\&C;B1;1Y) = (PM(G\&C; 1Y) + 1) \times 0,01 = 0,058\ 67$$

La durée d'exploitation du module engrenages/couplage n'est pas considérée (approximation conservative).

Le coût total pour la stratégie de maintenance préventive en B1 est:

$$FC(PM);G\&C;B1;1Y) = PM(G\&C;B1;1Y) \times MSRC(G\&C) + PF(G\&C;1Y) \times (MURC(G\&C) + MURT(G\&C) \times PL) = 4,866\ 7 \times 1\ 600 + 0,058\ 67 \times (6\ 000 + 24 \times 6\ 000) = 16\ 587\ Mu$$

C.3.4 Choix du programme de maintenance pour le module engrenages/couplage

Les coûts à comparer sont les suivants:

Module engrenages/couplage – sans maintenance préventive	235 644 Mu
Module engrenages/couplage – maintenance préventive en B5	36 347 Mu
Module engrenages/couplage – maintenance préventive en B1	16 587 Mu

Il est clair qu'il convient de fournir la maintenance du module engrenages/couplage en B1.

C.4 Conclusion

C'est une économie significative dans l'estimation des coûts de maintenance des composants sélectionnés et dans la sélection de la stratégie de maintenance réalisée lors de la conception du système.

Dans cet exemple, les coûts peuvent être comparés comme suit:

Tableau C.1 – Comparaison des coûts

Coût annuel Mu	Sans maintenance préventive Mu	Maintenance préventive en B1 Mu	Maintenance préventive en B5 Mu
Electronique	2 628	-	-
Moteur A	53 443	5 355	-
Moteur B	29 872	29 061	-
Module engrenages/couplage	235 644	16 587	36 347

The total cost for the B5 preventive maintenance strategy is:

$$FC(PM);G\&C;B5;1Y = PM(G\&C;B5;1Y) \times MSRC(G\&C) + PF(G\&C;B5;1Y) \times (MURC(G\&C) + MURT(G\&C) \times PL) = 3,17 \times 1\,600 + 0,208\,5 \times (6\,000 + 24 \times 6\,000) = 36\,347 \text{ Mu}$$

C.3.3 Gear and coupling – Preventive maintenance at B1

In this case, the gear and coupling is overhauled after 1 500 h. The number of preventive maintenance cases in one year is therefore:

$$PM(G\&C; B1;1Y) = 20 \times 365/1\,500 = 4,866\,7$$

Further, there will be 1 % probability that the gear and coupling fails before 1 500 h. Therefore the probability of an unplanned gear and coupling repair can be estimated as 1 % for each maintenance i.e. the number of preventive exchanges plus 1, or for 1 year:

$$PF(G\&C;B1;1Y) = (PM(G\&C; 1Y) + 1) \times 0,01 = 0,058\,67$$

The operating time of the gear and coupling modules is disregarded (a conservative approximation).

The total cost for the B1 preventive maintenance strategy is:

$$FC(PM);G\&C;B1;1Y = PM(G\&C;B1;1Y) \times MSRC(G\&C) + PF(G\&C;1Y) \times (MURC(G\&C) + MURT(G\&C) \times PL) = 4,866\,7 \times 1\,600 + 0,058\,67 \times (6\,000 + 24 \times 6\,000) = 16\,587 \text{ Mu}$$

C.3.4 Choosing a maintenance programme for the gear and coupling

The costs to be compared are the following:

Gear and coupling – no preventive maintenance	235 644 Mu
Gear and coupling – preventive maintenance at B5	36 347 Mu
Gear and coupling – preventive maintenance at B1	16 587 Mu

It is clear that preventive maintenance should be provided for the gear and coupling at B1.

C.4 Conclusion

There is a significant cost saving in estimating the maintenance costs of the selected components and selecting the maintenance strategy during the design of the system.

In this example the costs can be compared as follows:

Table C.1 – Comparison of costs

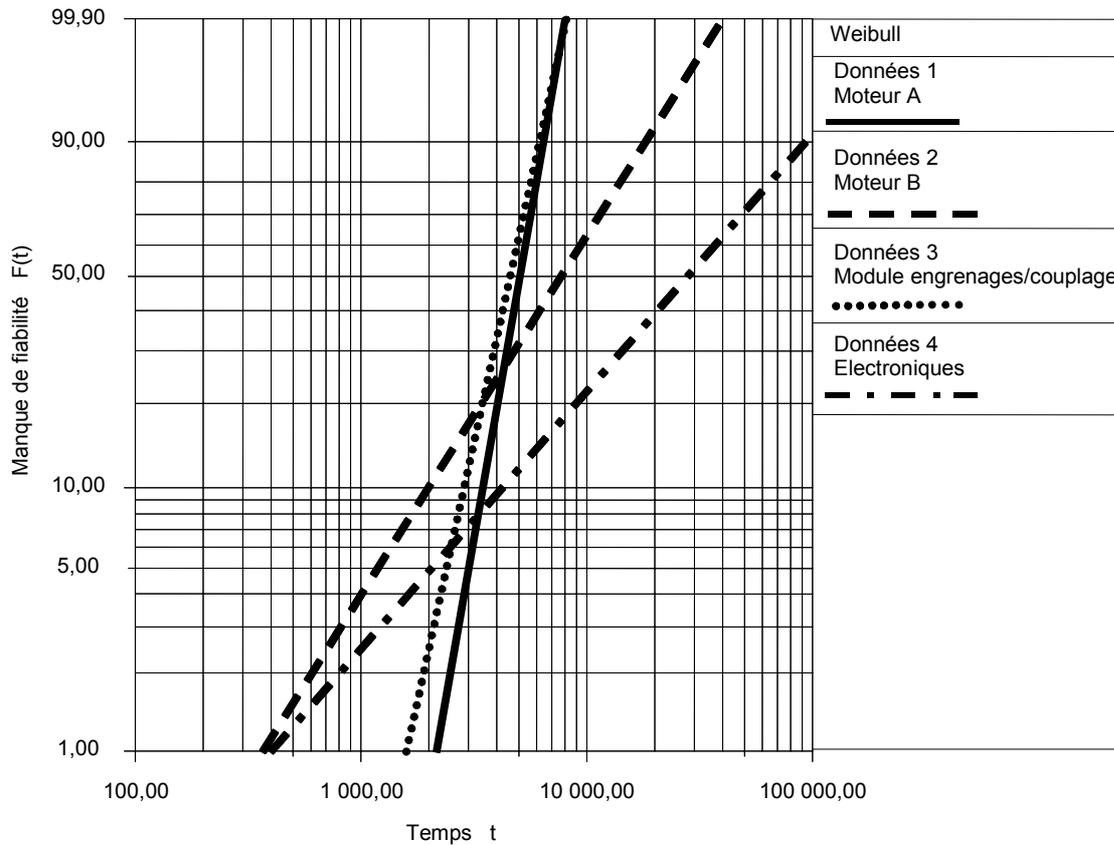
Cost per year Mu	No preventive maintenance Mu	Preventive maintenance at B1 Mu	Preventive maintenance at B5 Mu
Electronics	2 628	–	–
Motor A	53 443	5 355	–
Motor B	29 872	29 061	–
Gear and couplings	235 644	16 587	36 347

La solution la plus coûteuse est le Moteur B sans maintenance préventive, et pas de maintenance préventive pour le module engrenages/couplage – Coût total: 268 114 Mu.

Cette solution aurait été sélectionnée si uniquement le risque constant (MTTF/MTBF) avait été considéré.

La solution la moins coûteuse est le Moteur A avec maintenance préventive, et maintenance préventive pour le module engrenages/couplage – Coût total: 24 570 Mu.

Les économies résultant de l'analyse du système en prenant en compte le taux de défaillance variable est 243 574 Mu par an.



$\beta_1 = 5,0000$	$\eta_1 = 5400,0000$	$\rho = 0$
$\beta_2 = 1,4000$	$\eta_2 = 10000,0000$	$\rho = 0$
$\beta_3 = 4,0000$	$\eta_3 = 5000,0000$	$\rho = 0$
$\beta_4 = 1,0000$	$\eta_4 = 4,0000E+4$	$\rho = 0$

IEC 351/06

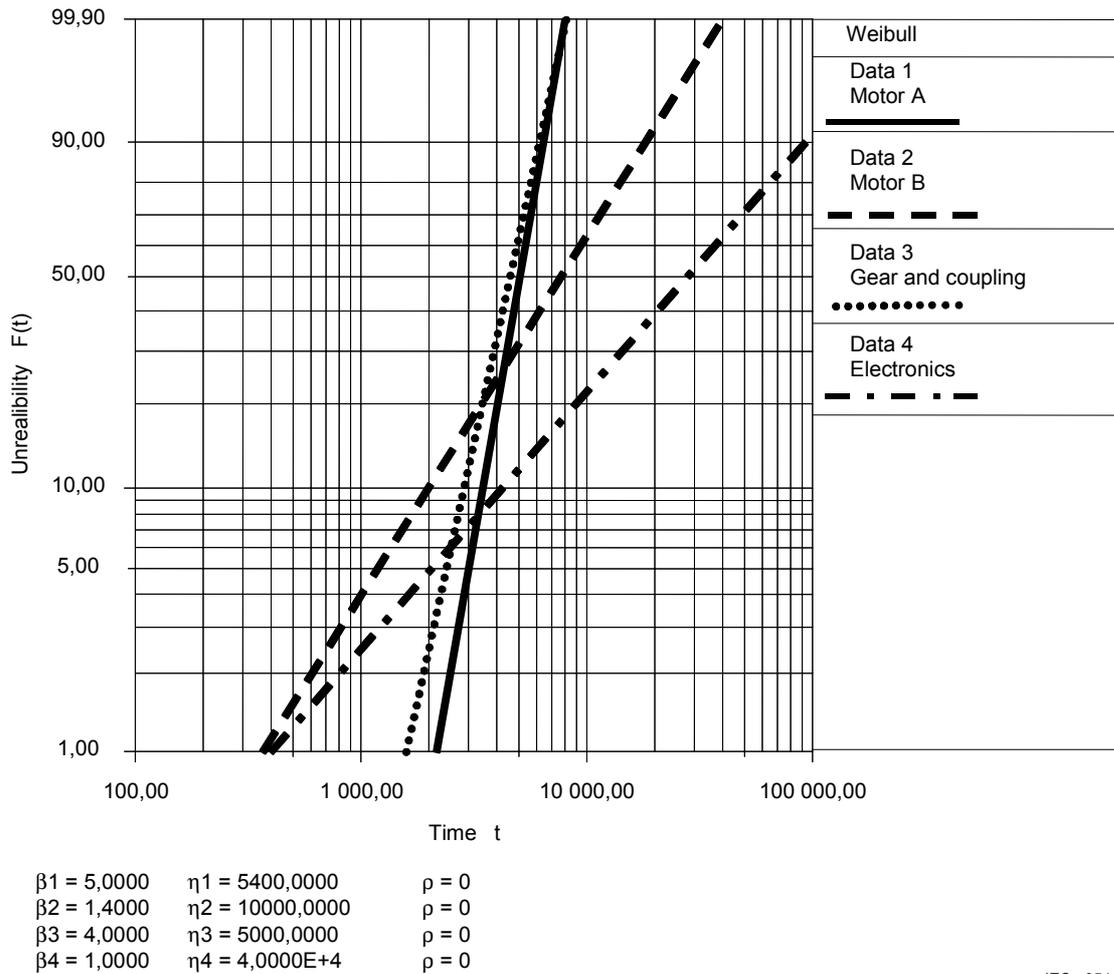
Figure C.1 – Tracé de Weibull pour les composants du système

The most expensive solution is Motor B with no preventive maintenance, and no preventive maintenance on gear and coupling – Total cost 268 144 Mu.

This solution would have been chosen if only constant risk (MTTF/MTBF) was considered.

The lowest cost solution is Motor A with preventive maintenance and preventive maintenance for gear and coupling – Total cost 24 570 Mu.

The savings from analysing the system taking into account non-constant failure rate is 243 574 Mu per year.



IEC 351/06

Figure C.1 – Weibull plot of the components in the system

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

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



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 2-8318-8556-6



9 782831 885568

ICS 03.120.01; 21.020
