

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60300-3-10

Première édition
First edition
2001-01

Gestion de la sûreté de fonctionnement –

**Partie 3-10:
Guide d'application – Maintenabilité**

Dependability management –

**Part 3-10:
Application guide – Maintainability**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60300-3-10:2001

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/catlg-f.htm) 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/JP.htm) 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/catlg-e.htm) 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/JP.htm) 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**

60300-3-10

Première édition
First edition
2001-01

Gestion de la sûreté de fonctionnement –

**Partie 3-10:
Guide d'application – Maintenabilité**

Dependability management –

**Part 3-10:
Application guide – Maintainability**

© IEC 2001 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
Articles	
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives	12
3 Définitions et acronymes	14
3.1 Définitions	14
3.2 Acronymes	18
4 Présentation générale de la maintenabilité	18
4.1 Généralités	18
4.2 Cycle de vie du produit	18
4.2.1 Phase de concept et de définition	20
4.2.2 Phase de conception et de développement	20
4.2.3 Phase de fabrication	20
4.2.4 Phase d'installation	22
4.2.5 Phase d'exploitation et de maintenance	22
4.2.6 Phase de mise au rebut	22
5 Programme de maintenabilité	22
5.1 Généralités	22
5.2 Critères pour le développement de programmes de maintenabilité	26
5.2.1 Application de l'utilisateur	26
5.2.2 Facteurs relatifs au produit	26
6 Eléments et tâches du programme de maintenabilité	28
6.1 Planification et contraintes	28
6.1.1 Politique de maintenance	28
6.1.2 Concept de maintenance	30
6.1.3 Spécification des exigences de maintenabilité	32
6.2 Etudes de maintenabilité	34
6.2.1 Allocation de maintenabilité	34
6.2.2 Analyse de maintenabilité	36
6.2.3 Interprétation des exigences	36
6.3 Gestion de projet	36
6.3.1 Gestion de la maintenabilité	38
6.3.2 Plans du programme de maintenabilité	38
6.3.3 Gestion des décisions de projet	38
6.3.4 Gestion de la configuration	40
6.4 Conception en vue de la maintenabilité	40
6.4.1 Conception de la maintenabilité	40
6.4.2 Compromis de fiabilité et de maintenabilité	42
6.4.3 Conception en vue de faciliter la logistique de maintenance	42
6.4.4 Testabilité	42
6.4.5 Facteurs humains	44

CONTENTS

	Page
FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
Clause	
1 Scope.....	13
2 Normative references	13
3 Definitions and acronyms	15
3.1 Definitions	15
3.2 Acronyms	19
4 Maintainability overview.....	19
4.1 General	19
4.2 Product life cycle.....	19
4.2.1 Concept and definition phase	21
4.2.2 Design and development phase	21
4.2.3 Manufacturing phase	21
4.2.4 Installation phase	23
4.2.5 Operation and maintenance phase	23
4.2.6 Disposal phase	23
5 Maintainability programme.....	23
5.1 General	23
5.2 Criteria for the development of maintainability programmes.....	27
5.2.1 User application.....	27
5.2.2 Product related factors	27
6 Maintainability programme elements and tasks.....	29
6.1 Planning and constraints	29
6.1.1 Maintenance policy	29
6.1.2 Maintenance concept.....	31
6.1.3 Specification of maintainability requirements	33
6.2 Maintainability studies	35
6.2.1 Maintainability allocation	35
6.2.2 Maintainability analysis.....	37
6.2.3 Requirements interpretation.....	37
6.3 Project management	37
6.3.1 Maintainability management	39
6.3.2 Maintainability programme plans	39
6.3.3 Project decision management.....	39
6.3.4 Configuration management.....	41
6.4 Design for maintainability	41
6.4.1 Maintainability design	41
6.4.2 Reliability and maintainability trade off	43
6.4.3 Design for maintenance support	43
6.4.4 Testability.....	43
6.4.5 Human factors	45

Articles	Pages
6.5 Produits fournis par des tiers	46
6.5.1 Produits sous-traités	46
6.5.2 Produits fournis par le client	46
6.6 Méthodes d'analyse et de prévision	48
6.6.1 Aspects des AMDE et des AMDEC liés à la maintenabilité	48
6.6.2 Analyse par arbre de pannes	48
6.6.3 Maintenance basée sur la fiabilité (MBF)	48
6.6.4 Prévisions de maintenabilité	50
6.6.5 Analyse de compromis	52
6.6.6 Analyse de risque	52
6.6.7 Revue de conception	52
6.7 Vérification, validation et essai	54
6.7.1 Vérification de la maintenabilité	54
6.7.2 Planification des validations et des essais	54
6.8 Programme de coût du cycle de vie	56
6.9 Planification du soutien logistique de maintenance	58
6.9.1 Planification de la logistique de maintenance	58
6.9.2 Installation	58
6.9.3 Services de soutien	60
6.10 Améliorations et modifications	62
6.10.1 Programmes d'amélioration	62
6.10.2 Maîtrise des modifications	62
6.11 Recueil et analyse des données de maintenabilité	64
6.11.1 Recueil de données	64
6.11.2 Analyse de données	66
Figure 1 – Processus de conception et tâches de maintenabilité relatives à la conception	24
Figure 2 – Temps d'indisponibilité actif et inactif utilisé par la maintenance	30
Figure 3 – Planification de la maintenance et du soutien logistique de maintenance	60

Clause	Page
6.5 Externally provided products	47
6.5.1 Subcontracted products	47
6.5.2 Customer-provided products	47
6.6 Analysis and prediction methods	49
6.6.1 Maintainability aspects of FMEA and FMECA	49
6.6.2 Fault tree analysis	49
6.6.3 Reliability centred maintenance (RCM)	49
6.6.4 Maintainability predictions	51
6.6.5 Trade-off analysis	53
6.6.6 Risk analysis	53
6.6.7 Design review	53
6.7 Verification, validation and test	55
6.7.1 Maintainability verification	55
6.7.2 Validation and test planning	55
6.8 Life cycle cost	57
6.9 Maintenance support planning	59
6.9.1 Maintenance support planning	59
6.9.2 Installation	59
6.9.3 Support services	61
6.10 Improvements and modifications	63
6.10.1 Improvement programmes	63
6.10.2 Modification control	63
6.11 Collection and analysis of maintenance data	65
6.11.1 Data collection	65
6.11.2 Data analysis	67
Figure 1 – Design process and the maintainability related design tasks	25
Figure 2 – Active and inactive downtime spent by maintainers	31
Figure 3 – Planning of maintenance and maintenance support	61

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GESTION DE LA SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT –

Partie 3-10: Guide d'application – Maintenabilité

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 60300-3-10 a été établie par le comité d'études 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/708/FDIS	56/718/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.

La CEI 60300 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: Gestion de la sûreté de fonctionnement:

Partie 1: Gestion du programme de sûreté de fonctionnement

Partie 2: Eléments et tâches du programme de sûreté de fonctionnement

Partie 3: Guide d'application

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

DEPENDABILITY MANAGEMENT –**Part 3-10: Application guide –
Maintainability**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60300-3-10 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

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

FDIS	Report on voting
56/708/FDIS	56/718/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.

IEC 60300 consists of the following parts, under the general title: Dependability management:

Part 1: Dependability programme management

Part 2: Dependability programme elements and tasks

Part 3: Application guide

La présente norme est destinée à être utilisée conjointement avec la CEI 60300-2 et est écrite avec la même présentation. Il est aussi nécessaire qu'elle puisse être utilisée sans référence à la CEI 60300-2. Il y a donc certains exemples dans la norme qui sont similaires à ceux de la CEI 60300-2 pour assurer une continuité, mais cela a été réduit au minimum.

La présente norme annule et remplace les sections 1 et 3 de la CEI 60706-1 (1982).

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60300-3-10:2001

This standard is intended to be used in conjunction with IEC 60300-2 and is laid out in the same format. It is also necessary that this standard can be used without reference to IEC 60300-2. There are therefore some instances in the standard where there are clauses which have some similar content to IEC 60300-2 in order to provide continuity, but this has been kept to a minimum.

This standard cancels and replaces sections 1 and 3 of IEC 60706-1 (1982).

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60300-3-10:2001

0 Introduction

0.1 Objectif

Les normes et les guides de la série CEI 60300¹⁾ expliquent les procédures pour mettre en œuvre un programme de sûreté de fonctionnement pendant la conception et le développement d'un produit dans le but d'atteindre les niveaux spécifiés de sûreté de fonctionnement.

La CEI 60300-1 est la norme de plus haut niveau qui fournit des indications sur la gestion d'un programme de sûreté de fonctionnement.

La CEI 60300-2 est la norme suivante de niveau inférieur qui définit les tâches qui nécessitent d'être accomplies et qui donne des indications sur la manière de les entreprendre.

La CEI 60300-3 inclut une série de guides d'application qui développent pour des domaines spécifiques les tâches décrites dans la CEI 60300-2. Ceux-ci ont conduit à publier des documents supplémentaires qui décrivent les «outils» à utiliser lors de l'application d'un guide.

La CEI 60300-1 et la CEI 60300-2 sont écrites pour fournir un guide sur la sûreté de fonctionnement et sont principalement centrés sur les aspects fiabilistes. Il fut considéré qu'un guide était nécessaire pour lier la CEI 60300-2 aux normes de maintenabilité existantes; il s'agit de la série des guides CEI 60706 sur la maintenabilité des équipements et d'autres normes couvrant des procédures spécifiques employées dans des programmes de maintenabilité. La série originale CEI 60706 est en cours de mise à jour afin d'éviter des redondances inutiles avec le présent guide, la CEI 60706 étant destinée à fournir les outils nécessaires pour appliquer les procédures spécifiées dans le présent guide. Les parties appropriées de la CEI 60706 sont citées en référence lorsqu'elles sont susceptibles de fournir des conseils supplémentaires.

0.2 Concept de maintenabilité

La notion de maintenabilité fait référence à la facilité avec laquelle un travail de maintenance peut être accompli. Elle comprend les procédures pour s'assurer que les produits peuvent être maintenus aisément et en sécurité et que la logistique nécessaire est minimisée.

Quand un produit a une vie raisonnablement longue, les coûts d'exploitation et de soutien logistique pendant cette vie peuvent dépasser de beaucoup l'investissement initial. Il convient que l'intérêt d'optimiser la maintenabilité soit évident pour le client. Certains efforts et dépenses pour réaliser un produit qui puisse être facilement et économiquement maintenu induiront des gains significatifs sur le coût du cycle de vie.

Les coûts de maintenance d'un produit dépendent également de la quantité en usage. Pour un grand parc d'équipements, comme des camions, même une petite amélioration de la maintenabilité peut conduire à des économies significatives à long terme.

Quand un produit doit être vendu sur le marché, le concept de maintenance aisée et à faible prix est un élément important à prendre en considération par le client dans le choix d'un équipement à faibles coûts d'exploitation.

¹⁾ CEI 60300 (toutes les parties), *Gestion de la sûreté de fonctionnement*.

0 Introduction

0.1 Purpose

The IEC 60300¹⁾ series of standards and guides explain the procedures for implementing a Dependability Programme during the design and development of a product in order to achieve specified levels of dependability.

IEC 60300-1 is the top-level standard which provides guidance on dependability programme management.

IEC 60300-2 is the next level down which defines the tasks that need to be carried out and gives guidance on how they should be undertaken.

IEC 60300-3 encompasses a series of application guides which develop the tasks in IEC 60300-2 into specific areas. These then lead to further documents which describe the "tools" to be used when applying a guide.

IEC 60300-1 and IEC 60300-2 are written to provide a guide on dependability, and are predominantly centred on the reliability aspects. It was considered that a guide was required to link IEC 60300-2 to the existing standards on maintainability, that is the IEC 60706 series of guides on maintainability of equipment and other standards covering specific procedures used in maintainability programmes. The original IEC 60706 series is being updated to ensure that there is no undue duplication with this guide, and IEC 60706 is intended to provide the tools for the procedures specified here. The relevant parts of IEC 60706 are referenced where they will provide further guidance.

0.2 Concept of maintainability

Maintainability refers to the ease with which maintenance work can be done. It involves the process of ensuring that products can be easily and safely maintained and that the maintenance support requirement is minimized.

When a product has a reasonably long life, the cost of operation and support during that life can greatly exceed the initial capital cost. The value to the customer of optimizing maintainability should be evident. Some effort and expense applied to achieving a product which can be easily and cheaply maintained will make very significant savings in the life cycle costs.

The maintenance costs of a product are also dependent on the quantity in use. For a large fleet of equipment, such as trucks, even a small improvement in maintainability can render significant cost savings in the long term.

When a product is to be sold on the open market, the concept of easy maintenance at low cost is an important consideration in the selection by the customer of equipment with low operating costs.

¹⁾ IEC 60300 (all parts), *Dependability management*.

GESTION DE LA SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

Partie 3-10: Guide d'application – Maintenabilité

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale, qui appartient à la série de normes CEI 60300-3, constitue le guide d'application pour la maintenabilité. Il peut être utilisé pour mettre en œuvre un programme de maintenabilité couvrant les phases de conception, développement et d'exploitation d'un produit, tâches qui font partie de celles décrites dans la CEI 60300-2.

Elle indique comment il convient que les tâches de maintenance soient prises en considération pour optimiser la maintenabilité. Il convient de noter que le programme complet décrit dans la présente norme ne serait appliqué qu'à un produit complexe avec un potentiel d'usage à long terme.

Pour les produits soumis à une maintenance moins complexe, il convient qu'un programme plus simple soit adopté, en adaptant le programme au degré de complexité et aux exigences du client. La norme utilise d'autres guides et normes de la CEI comme documents de référence ou comme outils pour fournir plus de détails sur la manière de réaliser les tâches, en particulier la CEI 60706.

Les contrats entre le client et le fournisseur varient largement dans différentes industries selon les conditions et les circonstances. La présente norme est écrite sur le principe qu'un produit doit être développé par un contractant à partir d'un concept de base pour les exigences particulières d'un utilisateur quand il est considéré comme un «produit en développement». Cependant, dans de nombreux cas, un produit existe déjà et ne requiert que peu ou pas d'effort. Il s'agit d'un produit non soumis à développement et le programme complet de maintenabilité tel qu'il est décrit dans la présente norme ne sera pas exigé. Cependant, les principes présentés dans la présente norme peuvent être appliqués si nécessaire en adaptant le programme de maintenabilité aux besoins du projet.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60300. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60300 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

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

CEI 60300-2:1995, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 2: Eléments et tâches du programme de sûreté de fonctionnement*

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

DEPENDABILITY MANAGEMENT –

Part 3-10: Application guide – Maintainability

1 Scope

This International Standard, which forms part of the series of standards in the IEC 60300-3 series, is the application guide for maintainability. 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 provides guidance on how the maintenance aspects of the tasks should be considered in order to achieve optimum maintainability. It should be noted that the full programme described in this standard would only be applied to a major complex product with the potential for long-term usage.

For less complex maintainable products, a simpler programme should be adopted by tailoring the programme to suit the degree of complexity and the requirements of the customer. The standard uses other IEC standards and guides, notably IEC 60706, as reference documents or tools to provide more detail as to how a task should be undertaken.

Contracts between customer and supplier will vary widely according to conditions and circumstances in different industries. This standard is written on the premise that a product is to be developed by a contractor from a basic concept for the particular requirements of a user when the product is considered to be a development item (DI). However, in many instances, where a product already exists and needs little or no development effort; it is a Non-development item (NDI) and the full maintainability programme as described in this standard will not be required. However, the principles laid down in the standard can be applied as required, by tailoring the maintainability programme to suit the needs of the project.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60300. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60300 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of ISO and IEC maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050(191), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

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

IEC 60300-2:1995, *Dependability management – Part 2: Dependability programme elements and tasks*

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

CEI 60300-3-2, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3: Guide d'application – Section 2: Recueil de données de sûreté de fonctionnement dans des conditions d'exploitation*

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

CEI 60300-3-9, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3: Guide d'application – Section 9: Analyse du risque des systèmes technologiques*

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

CEI 60706 (toutes les parties), *Guide de maintenabilité de matériel*

CEI 60706-2, *Guide de maintenabilité de matériel. Deuxième partie – Section cinq: Etudes de maintenabilité au niveau de la conception*

CEI 60706-3, *Guide de maintenabilité de matériel. Troisième partie – Sections six et sept. Vérification et recueil, analyse et présentation des données*

CEI 60706-4, *Guide de maintenabilité de matériel – Partie 4 – Section 8: Planification de la maintenance et de la logistique de maintenance*

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 60863, *Présentation des résultats de la prévision des caractéristiques de fiabilité, maintenabilité et disponibilité*

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

CEI 61160:1992, *Revue de conception formalisée*
Amendement 1 (1994)

3 Définitions et acronymes

Pour les besoins de la présente norme, les définitions données dans la CEI 60050(191) ainsi que les suivantes s'appliquent.

3.1 Définitions

3.1.1

maintenabilité (performance)

dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits

NOTE Le terme «maintenabilité» est aussi employé comme caractéristique de cette aptitude (voir 191-13-01).

[VEI 191-02-07]

IEC 60300-3-2, *Dependability management – Part 3: Application guide – Section 2: Collection of dependability data from the field*

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

IEC 60300-3-9, *Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems*

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

IEC 60706 (all parts), *Guide on maintainability of equipment*

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

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

IEC 60706-4, *Guide on maintainability of equipment – Part 4 – Section 8: Maintenance and maintenance support planning*

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 60863, *Presentation of reliability, maintainability and availability predictions*

IEC 61025, *Fault tree analysis (FTA)*

IEC 61160:1992, *Formal design review*
Amendment 1 (1994)

3 Definitions and acronyms

For the purposes of this standard, the definitions given in IEC 60050(191) and the following apply.

3.1 Definitions

3.1.1

maintainability (performance)

the 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]

3.1.2

maintenabilité

pour une entité donnée, utilisée dans des conditions données d'utilisation, probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance active puisse être effectuée pendant un intervalle de temps donné, lorsque la maintenance est assurée dans des conditions données et avec l'utilisation de procédures et de moyens prescrits

NOTE Le terme «maintenabilité» est aussi employé pour désigner l'aptitude caractérisée par cette probabilité (voir 191-02-07).

[VEI 191-13-01]

3.1.3

maintenance

combinaison de toutes les actions techniques et administratives, y compris les opérations de surveillance, destinées à maintenir ou à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise

[VEI 191-07-01]

3.1.4

échelon de maintenance

position, au sein d'une organisation, où des niveaux de maintenance spécifiés sont effectués sur une entité

NOTE 1 L'échelon de maintenance peut correspondre par exemple à la maintenance sur site, dans un atelier de réparation ou chez le constructeur.

NOTE 2 L'échelon de maintenance est caractérisé par la compétence du personnel, les moyens disponibles, l'emplacement, etc.

[VEI 191-07-04]

3.1.5

niveau de maintenance

ensemble des opérations de maintenance à effectuer à un niveau d'intervention spécifié

NOTE Les opérations de maintenance peuvent consister par exemple à remplacer un composant, une carte de circuit imprimé, un sous-système.

[VEI 191-07-06]

3.1.6

concept de maintenance

l'application d'une politique de maintenance globale à un produit particulier

3.1.7

politique de maintenance

relation globale entre les niveaux de maintenance et les échelons de maintenance et les conditions de la maintenance à appliquer pour la maintenance d'un produit

3.1.8

approvisionnement

processus de détermination et d'acquisition du lot et de la quantité (en profondeur) des pièces de rechange et de réparation et des équipements de logistique et d'essai nécessaires pour faire fonctionner et pour maintenir un produit pendant un temps de service spécifié initialement

3.1.9

aptitude au soutien

degré avec lequel la conception d'un système et les moyens logistiques planifiés, y compris la main d'œuvre, satisfont aux exigences opérationnelles d'utilisation du système

3.1.2

maintainability

the probability that a given active 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).

[IEV 191-13-01]

3.1.3

maintenance

the 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]

3.1.4

maintenance echelon (line of maintenance)

a position in an organization where specified levels of maintenance are to be carried out on an item

NOTE 1 Examples of maintenance echelons are: field, repair shop, manufacturer.

NOTE 2 The maintenance echelon is characterized by the skill of the personnel, the facilities available, the location, etc.

[IEV 191-07-04]

3.1.5

level of maintenance

the set of maintenance actions to be carried out at a specified indenture level

NOTE Examples of a maintenance action are replacing a component, a printed circuit board, a subsystem, etc.

[IEV 191-07-06]

3.1.6

maintenance concept

application of a general maintenance policy to a specific item

3.1.7

maintenance policy

general interrelationship between levels of maintenance, lines of maintenance and maintenance conditions to be applied for the maintenance of an item

3.1.8

provisioning

process of determining and acquiring the range and quantity (depth) of spares and repair parts, and support and test equipment required to operate and maintain a product for an initial period of service

3.1.9

supportability

degree to which system design characteristics and planned logistic resources, including manpower, meet system operational utilization requirements

3.2 Acronymes

ETA	équipement de test automatique
TI	test intégré
ETI	équipement de test intégré
DI	produit en développement
AMDE	analyse des modes de défaillance et de leurs effets
AMDEC	analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité
AAP	analyse par arbre de panne
CCV	coût du cycle de vie
URL	unité remplaçable en ligne
MTMA	moyenne des temps de maintenance active
MTTR	moyenne des temps des tâches de réparation
NDI	produit non soumis à développement
MBF	maintenance basée sur la fiabilité

4 Présentation générale de la maintenabilité

4.1 Généralités

La maintenabilité est la facilité, l'économie, la sécurité et la justesse avec laquelle la maintenance nécessaire à un produit peut être effectuée et peut être mesurée soit en termes de probabilité, soit en niveau de ressources nécessaires pour maintenir le produit. Elle a donc un effet direct sur l'aptitude d'un produit à satisfaire aux performances exigées. La maintenance est l'ensemble des actions prises pour maintenir ou rétablir cette aptitude.

Cette distinction apparaît à l'article 3 dans les définitions des termes «maintenabilité» et «maintenance» extraites de la CEI 60050(191).

Lors de la conception d'un produit, il convient que le concepteur envisage la façon dont le système et ses composants devront être maintenus. La maintenabilité et la réalisation des objectifs de performance sont donc directement concernés par les décisions et les activités de conception.

Le besoin pour les concepteurs de prendre en considération la manière dont les personnes interagissent avec les systèmes et les équipements nécessite que des facteurs tels que la sécurité industrielle, le facteur humain et la facilité d'accès soient aussi pris en compte en phase de conception.

Afin d'intégrer ces facteurs dans les parties concernées de la logistique de maintenance, l'approvisionnement en pièces de rechange, les documentations techniques, la formation, etc., il convient qu'un programme de maintenabilité soit développé. Un tel programme consiste en un ensemble de tâches intentionnelles et systématiques qui nécessitent d'être intégrées dans les activités de conception, et constitue une partie essentielle du programme de sûreté de fonctionnement, lequel joue un rôle crucial dans la gestion générale du projet.

4.2 Cycle de vie du produit

L'article 4 de la CEI 60300-2 explique le cycle de vie d'un produit depuis la phase de concept et définition jusqu'à la phase de mise au rebut. Les coûts du cycle de vie sont fortement influencés par les exigences de maintenance et il convient que celles-ci soient complètement prises en compte à chaque étape du cycle de vie. Ce point est essentiel pour finalement atteindre les objectifs requis de maintenabilité ou les marges bénéficiaires requises. Si les objectifs de maintenabilité ne sont pas réalisés, la disponibilité du produit, et vraisemblablement sa viabilité économique ou opérationnelle, sera défavorablement affectée. Chaque phase du cycle de vie est traitée dans les articles suivants.

3.2 Acronyms

ATE	automatic test equipment
BIT	built-in test
BITE	built-in test equipment
DI	development item
FMEA	fault modes and effects analysis
FMECA	fault modes, effects and criticality analysis
FTA	fault tree analysis
LCC	life cycle cost
LRU	line replaceable unit
MAMT	mean active maintenance time
MTTR	mean time to repair (or restoration or recovery)
NDI	non development item
RCM	reliability centred maintenance

4 Maintainability overview

4.1 General

Maintainability is the ease, economy, safety and accuracy with which the necessary maintenance of a product can be undertaken and can be measured either in terms of a probability or in the level of resources required to maintain the item. It therefore has a direct effect on the ability of a product to satisfy the performance required from it. Maintenance is the action taken to retain or restore that ability.

This distinction is seen in the definitions of maintainability and maintenance extracted from IEC 60050(191) in clause 3.

In the design of a product, the designer should consider how the system and its component parts will have to be maintained. Maintainability and the achievement of performance objectives are therefore directly affected by design activities and decisions.

The need for designers to consider how people interact with systems and equipment requires that factors such as industrial safety, human factors and ease of access are also addressed in the design process.

In order to integrate these factors into the associated areas of maintenance support, the provision of spare parts, technical publications, training, etc., a maintainability programme should be developed. Such a programme consists of a systematic and deliberate set of tasks which need to be integrated with design activities, and is an essential part of the dependability programme, which plays a crucial role in the overall management of the project.

4.2 Product life cycle

Clause 4 of IEC 60300-2 explains the life cycle of a product from concept to disposal. The life cycle costs are strongly influenced by maintenance requirements and these should be fully considered at each stage of the life cycle. Such consideration is critical to ultimately achieving the required maintainability targets or required profit margins. If the maintainability targets are not achieved, the availability of a product, and possibly its economic or operational viability, will be adversely affected. Each life cycle phase is discussed in the following clauses.

4.2.1 Phase de concept et de définition

Il est particulièrement important que la maintenabilité d'un produit soit prise en considération dès la première phase, qui est normalement la phase de concept et de définition, ce qui permet de définir une politique de maintenance claire. La conception d'un produit sera fortement influencée par les exigences de maintenance et les paramètres importants suivants sont des exemples de ce qu'il convient de prendre en considération à cette étape:

- les exigences de disponibilité;
- les conditions d'environnement dans lesquelles l'équipement sera exploité et maintenu;
- l'importance de la maintenance préventive;
- la durée de vie requise du produit et la méthode de mise au rebut;
- les exigences de sécurité.

4.2.2 Phase de conception et de développement

Il convient que la maintenabilité soit prise en considération dans le détail comme partie intégrante de la conception d'un produit. Les études de maintenabilité, en conjonction avec les études de fiabilité, sont entreprises pour traduire les exigences opérationnelles en exigences détaillées, qualitatives et quantitatives, de maintenabilité, et en critères de conception.

En particulier, ces études concernent

- les niveaux de qualification du personnel de maintenance;
- les échelons de maintenance proposés;
- le type et le montant de la maintenance à effectuer à chaque «échelon de maintenance» (voir 3.1.4);
- l'accessibilité;
- la modularité;
- l'interchangeabilité fonctionnelle des éléments;
- la moyenne des temps des tâches de réparation (MTTR);
- les coûts de maintenance.

L'utilisation de normes de maintenabilité conventionnelles et éprouvées est recommandée dans le but d'apporter des contributions efficaces au travail de conception de détail. Ces normes sont disponibles au sein de nombreux secteurs industriels et offrent des lignes directrices pour la résolution de divers problèmes de conception relatifs à la maintenabilité propre à l'industrie. Des conseils supplémentaires sur les études de maintenabilité et les activités apparentées à ce niveau sont donnés dans la CEI 60706-2.

Il est également nécessaire, pendant cette phase, de prendre en considération un soutien de maintenance à ce niveau pour garantir que le produit peut donner pleine satisfaction lorsqu'il est mis en fonctionnement. Des conseils supplémentaires sur un soutien de maintenance sont donnés en 6.9 et dans la CEI 60706-4.

4.2.3 Phase de fabrication

Idéalement, il convient que la vérification des paramètres fonctionnels ait été effectuée pendant le développement du produit ainsi que les essais de prototypes ou des têtes de série d'équipements standards. Cependant, ces résultats ne peuvent pas représenter les résultats standards obtenus pour les modèles de série. En outre, la procédure d'essai peut aussi être en développement. Bien que les résultats de vérifications de maintenabilité réalisées pendant cette période soient utiles, la vérification complète, pour s'assurer que les objectifs de maintenabilité ont été réalisés, doit attendre la production d'équipements représentatifs. Davantage d'indications sur la vérification sont données en 6.7 et dans la CEI 60706-3.

4.2.1 Concept and definition phase

It is particularly important that maintainability is considered from the earliest stage of a product, which is normally the concept and definition phase, allowing a clear maintenance policy to be defined. The design of a product will be strongly influenced by the maintenance requirements and the following important parameters are examples of what should be considered at this stage:

- availability requirements;
- environmental conditions in which equipment will operate and be maintained;
- amount of preventive maintenance;
- the life required from the product and the method of disposal;
- safety requirements.

4.2.2 Design and development phase

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.

In particular, these studies should address

- maintainer skills levels;
- the proposed lines of maintenance;
- type and amount of maintenance to be carried out by each "line of maintenance" (see 3.1.4);
- accessibility;
- modularity;
- functional interchangeability of items;
- mean time to repair (MTTR);
- maintenance costs.

The use of conventional and proven standards on maintainability is recommended in making effective contributions to the detailed design work. These are available within many industries and offer guidelines for the solution of various maintainability design problems peculiar to the industry. Further guidance on the maintainability studies and related activities in this phase is given in IEC 60706-2.

Maintenance support will also need to be considered during this phase to ensure that the product can be fully supported when it is brought into operation. Further guidance on maintenance support is given in 6.9 and in IEC 60706-4.

4.2.3 Manufacturing phase

Ideally, verification of functional parameters should have been undertaken during the development of the product and the trials of prototype or early build standard equipment. However, these results may not represent the standard achieved in full production models. In addition, the procedure for testing them may also have been under development. While the results of some maintainability verification carried out during this period will be of use, the full verification of whether the maintainability targets have been achieved has to await the production of representative equipment. Further guidance on verification is given in 6.7 and in IEC 60706-3.

4.2.4 Phase d'installation

L'installation d'un équipement ou d'un processus peut être la première occasion d'essayer les caractéristiques d'un produit ou d'un système complexe. Lors de cette phase, l'accessibilité ainsi que l'aptitude à soulever et à installer des composants, à les essayer et à les ranger seront des indicateurs clefs.

4.2.5 Phase d'exploitation et de maintenance

Quand le produit est mis en service, il convient que la maintenabilité soit vérifiée par des mesures. Il convient qu'un système d'acquisition de données de maintenance soit mis en place pour estimer les paramètres de maintenabilité et identifier les problèmes de maintenance. Davantage d'indications sur le recueil des données de maintenance sont données en 6.11 et dans la CEI 60706-3.

4.2.6 Phase de mise au rebut

La décision de mise au rebut d'un produit sera en partie déterminée par son aptitude à continuer à fonctionner de manière acceptable, ainsi que par ses niveaux de fiabilité et de maintenabilité et ses coûts d'exploitation. Ces facteurs dépendent de l'approvisionnement continu en pièces de rechange, du soutien logistique et de la disponibilité d'équipements de remplacement.

5 Programme de maintenabilité

5.1 Généralités

La durée de vie de conception et la fiabilité intrinsèque d'un produit peuvent être obtenues seulement si la maintenance appropriée est effectuée. Si un produit est conçu comme étant jetable, le besoin de maintenance, et donc de maintenabilité, n'existe pas. Cependant, avec la plupart des produits, certaines défaillances sont inévitables et la maintenance corrective est requise. En outre, la maintenance préventive peut être efficace pour assurer un fonctionnement sûr et économique des produits en fonction de leurs caractéristiques de défaillance, du coût des défaillances et de leur criticité. Dans les cas où la maintenance préventive est efficace et économique, la disponibilité opérationnelle peut être accrue et la fréquence de la maintenance corrective peut être réduite.

Pour assurer une maintenabilité acceptable d'un produit de façon systématique et planifiée, il convient qu'un programme de maintenabilité, en association avec un programme de fiabilité, soit intégré dans le processus général de conception d'un projet.

Il convient qu'un tel programme de maintenabilité comporte les éléments suivants:

- gestion et organisation des activités pour assurer une mise en œuvre efficace du programme;
- un ensemble de tâches d'analyse de la maintenance à exécuter pendant le processus de conception;
- le soutien de spécialistes pour définir les informations nécessaires au programme.

Il convient que les objectifs d'un tel programme soient d'optimiser l'efficacité du système en respectant les contraintes suivantes:

- un équilibre entre la disponibilité d'un produit et les coûts éventuels du cycle de vie (CCV) qui en découlent;
- un équilibre entre la maintenance et la logistique de maintenance requise, et les coûts éventuels du cycle de vie (CCV) qui en découlent;
- une élimination des dangers affectant la sécurité.

La figure 1 montre la relation entre le processus de conception et les tâches de maintenabilité associées.

4.2.4 Installation phase

The installation of the plant or the equipment may be the first opportunity to test the maintainability characteristics of a complex system or product. The accessibility will be a key factor at this time, as will the ability to lift and install components and to align and test them.

4.2.5 Operation and maintenance phase

When the product is brought into operation, its maintainability should be verified through measurement. A maintenance data acquisition system should be set up for the purpose of estimating maintainability parameters and identifying maintenance problems. Further guidance on maintenance data collection is given in 6.11 and IEC 60706-3.

4.2.6 Disposal phase

The decision to dispose of a product will be 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.

5 Maintainability programme

5.1 General

The inherent reliability and design life of a product can only be achieved if the appropriate maintenance is carried out. If a product is designed as a throw away item, the need for maintenance, and therefore maintainability, may not arise. However, with most products, some failures are unavoidable and corrective maintenance is required. In addition, preventive maintenance can be effective in ensuring the safe and economic operation of products depending on their failure characteristics, cost of failure and criticality. In cases where preventive maintenance is effective and economical, it can increase operational availability and reduce the frequency of corrective maintenance.

In order to achieve acceptable product maintainability in a planned and systematic manner, a maintainability programme, in conjunction with a reliability programme, should be integrated with the overall project design process.

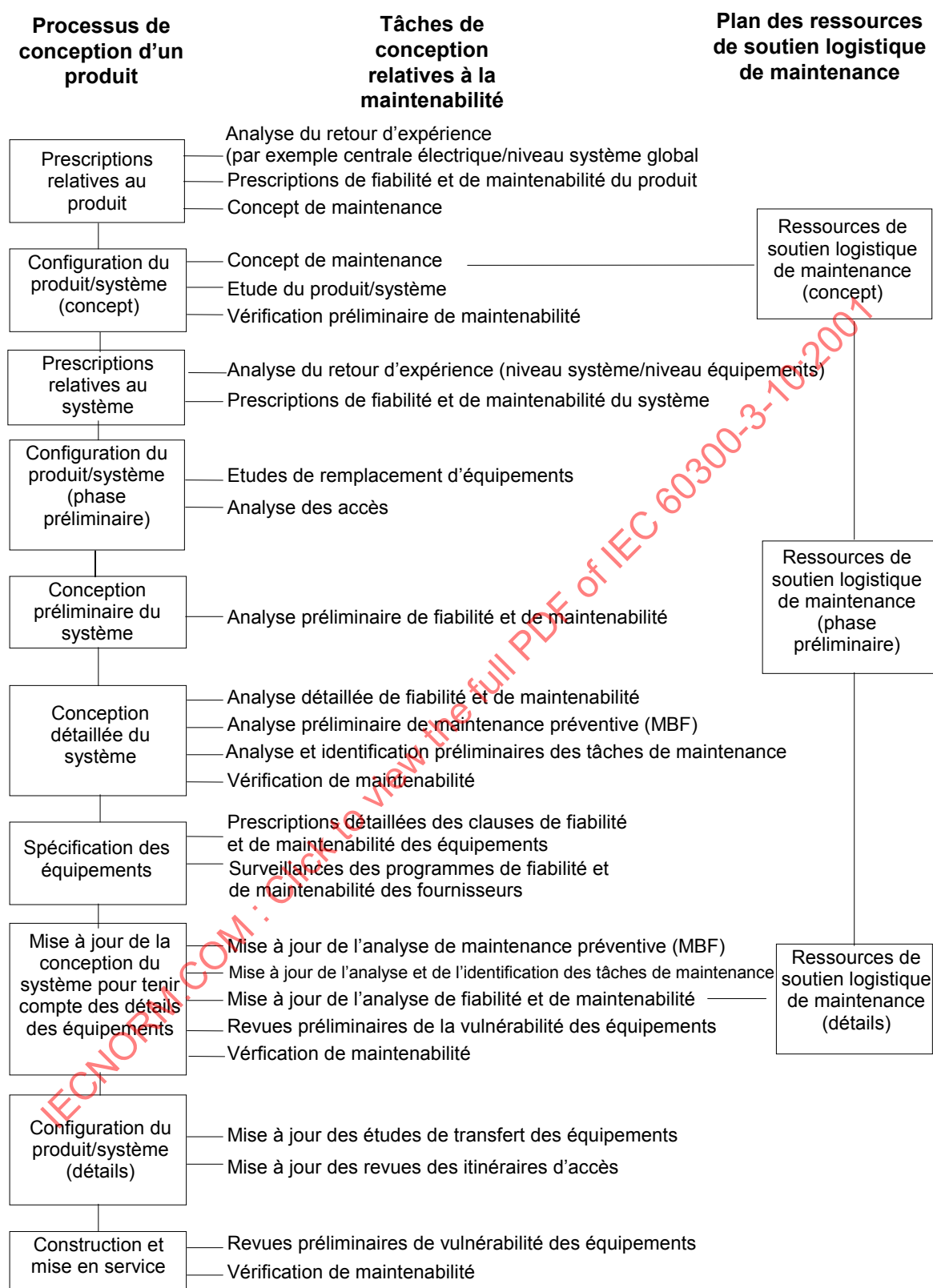
Such a maintainability programme should have the following elements:

- management and organizational activities to ensure effective and efficient implementation of the programme;
- a set of maintainability analysis tasks to be performed during the design process;
- specialist support activities to provide the necessary information for the programme.

The objectives of such a programme should be to optimize system effectiveness with respect to the following constraints:

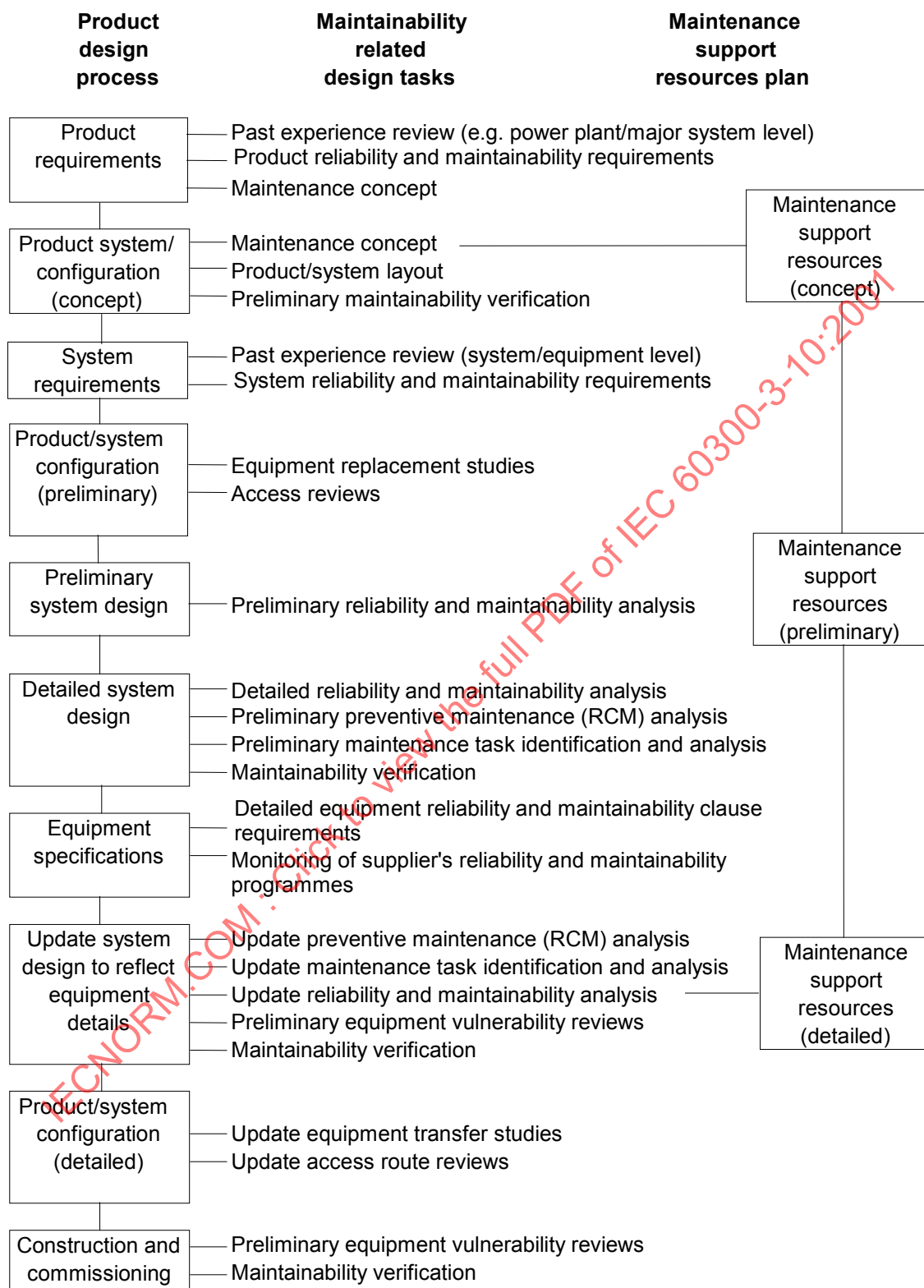
- balancing product availability against possible life cycle costs (LCC);
- balancing maintenance and maintenance support requirements against possible life cycle costs (LCC);
- elimination of safety hazards.

Figure 1 shows the relationship between the design process and the maintainability related design tasks.



IEC 2427/2000

Figure 1 – Processus de conception et tâches de maintenabilité relatives à la conception



IEC 2427/2000

Figure 1 – Design process and the maintainability related design tasks

5.2 Critères pour le développement de programmes de maintenabilité

Le programme de maintenabilité nécessitera d'être adapté pour un produit ou un projet spécifique, en considérant de façon appropriée les conditions pertinentes, les exigences et la complexité. La totalité du programme de maintenabilité décrit dans les articles suivants sera appliqué seulement à un produit complexe et de taille importante dont le développement s'étend de la phase de conception jusqu'à la phase de production. Pour des produits moins complexes et un développement sur la base d'une conception existante, un programme plus simple peut être adopté en utilisant seulement les parties du programme qui sont applicables et adaptées au degré de complexité et aux exigences du client.

La planification d'un programme de maintenabilité efficace pendant chacune des phases du cycle de vie du produit demande une connaissance des principes, méthodes et techniques de maintenabilité. Elle exige également une compréhension du produit lui-même, de sa technologie, de l'utilisation prévue, des divers facteurs relatifs au coût, des attentes du concepteur et du client.

Dans le but d'obtenir des résultats efficaces, il convient que les activités de maintenabilité soient incluses dans les autres activités de conception et de développement plutôt que gérées séparément.

Dans le développement d'un programme de maintenabilité, il convient que les facteurs suivants soient pris en compte.

5.2.1 Application de l'utilisateur

Le besoin de spécifier des exigences de maintenabilité et de réaliser un programme de maintenabilité pour un produit et son soutien logistique dépend des conditions du marché (utilisateur final) qui, dans tous les cas, prévalent.

Les considérations de maintenabilité dépendent d'exigences telles que la vie du produit, la fiabilité, la sécurité et la disponibilité, et des considérations financières liées aux différentes situations du marché. Par exemple, les avions et les centrales nucléaires exigent un haut niveau de sécurité qui impose les exigences relatives à la maintenance. Pour d'autres produits, le coût de maintenance lié aux dépenses d'exploitation peut être le facteur significatif qui détermine le degré de maintenabilité nécessaire.

L'importance de la maintenabilité comme un aspect particulier de la conception ou du soutien logistique d'un produit peut varier pour chaque type de produit et le programme de maintenabilité nécessitera d'être adapté pour satisfaire aux exigences relatives à ce produit.

5.2.2 Facteurs relatifs au produit

Il convient que les facteurs suivants relatifs au produit soient considérés.

- **Les exigences de maintenabilité** Le niveau de maintenabilité et de logistique de maintenance requis pour assurer une disponibilité spécifiée.
- **La complexité** La complexité d'un produit déterminera la complexité des moyens de logistique de maintenance. Par exemple, le degré d'utilisation d'équipements de tests intégrés (ETI) dépendra du niveau de diagnostic exigé.
- **La maturité** Les produits matures auront des procédures de maintenance bien établies, mais il faut prendre en compte l'incidence de technologies expérimentales et le besoin de développer des procédures appropriées pour la conception pour les produits moins matures.

5.2 Criteria for the development of maintainability programmes

The maintainability programme will need to be tailored for a specific product or project, giving appropriate consideration to the relevant conditions, requirements and complexity. The full maintainability programme described in the following clauses would only be applied to a large and complex product being developed from the concept stage to production. For less complex products and the development of existing designs, a simpler programme can be adopted by using only those parts of the programme which are applicable and which suit the degree of complexity and the requirements of the customer.

Planning an effective maintainability programme during any of the product life cycle phases requires a knowledge of maintainability principles, methods and techniques. It also requires an understanding of the product itself and its technology, its intended use, its various related cost factors, its design and customer expectations.

In order to obtain effective results, maintainability activities should be integrated with the other design and development activities rather than managed separately.

In the development of a maintainability programme, the following factors should be taken into account.

5.2.1 User application

The need to specify maintainability requirements and to implement a maintainability programme for a product and its support depends on the market (end user) condition prevailing in each case.

Maintainability considerations depend on requirements such as product life, reliability, safety and availability and on the financial considerations related to different market situations. For example, flight systems and nuclear power plants require a high degree of safety which drive maintenance requirements. With other products, the cost of maintenance related to the operating cost may be the significant factor which determines the degree of maintainability required.

The importance of maintainability as a particular design or support aspect may vary for each type of product and the maintainability programme will need to be tailored to meet the requirements of that product.

5.2.2 Product related factors

The following product related factors should be considered.

- **Maintainability requirements** The level of maintainability performance and maintenance support required to provide a specified availability performance.
- **Complexity** The complexity of a product will determine the complexity of the maintenance support facilities. For example, the degree of built-in test equipment (BITE) used will depend on the level of diagnostic capability required.
- **Maturity** Mature products will have well-established maintenance procedures, but for less mature products account has to be taken of the extent of unproven technology and the need to develop procedures appropriate to the design.

- **La criticité** La maintenance est considérée comme critique lorsque la sécurité est un souci majeur, et les centrales nucléaires et les avions sont des exemples évidents de produits critiques. Les problèmes économiques et opérationnels peuvent aussi être critiques, comme la panne d'un procédé ou d'une installation de fabrication.
- **Les contraintes techniques** Lorsque la conception est contrainte par des paramètres techniques ou physiques en dehors de la maîtrise du concepteur, des actions de maintenance plus complexes peuvent être nécessaires.
- **Les contraintes de programme** Un planning serré ou des limitations de crédits peuvent réduire la liberté de conception pour optimiser la sûreté de fonctionnement. Il est possible que des actions de maintenance supplémentaires soient à considérer pour satisfaire aux exigences de sûreté de fonctionnement.
- **Les conditions de la logistique de maintenance** La politique de maintenance et les niveaux de qualification du personnel à disposition de l'exploitant peuvent influencer l'efficacité des tâches.
- **Les conditions d'exploitation** La sévérité de l'environnement, la durée d'utilisation et les cycles d'exploitation peuvent imposer la fréquence des actions de maintenance.
- **Transport et stockage** Des actions de maintenance peuvent être nécessaires avant et après le stockage, la manutention et le transport.
- **Facteurs relatifs au client** Ces facteurs caractérisent l'expérience en maintenance du client et la mesure dans laquelle le personnel du client exécutera les actions de maintenance, ainsi que l'importance du produit pour le client.
- **Facteurs relatifs au fournisseur** L'expérience en maintenance du fournisseur et le degré de logistique de maintenance qu'il assure imposeront la localisation des actions de maintenance et le niveau de maintenance qui peut être entrepris.
- **Les exigences réglementaires** La réglementation mise en place par les gouvernements ou toutes autres instances statutaires doit être prise en considération et toutes les tâches de maintenance réglementaires pertinentes doivent être incluses dans le programme de maintenance.
- **Les rejets dans l'environnement** La maintenance d'un produit doit assurer que les limites de rejet établies par le client ou une réglementation externe continuent à être respectées lorsque l'équipement se détériore.
- **Phase du cycle de vie** Si un produit ne requiert pas un programme de développement complet, les phases pertinentes de cycle de vie nécessitent d'être considérées, avec le niveau d'analyse de maintenabilité nécessaire pour satisfaire aux exigences.

6 Eléments et tâches du programme de maintenabilité

6.1 Planification et contraintes

La première tâche dans la préparation d'un programme de maintenabilité est de déterminer la politique de maintenance et le concept de maintenance.

6.1.1 Politique de maintenance

La politique de maintenance est le lien général entre les niveaux de maintenance, les échelons de maintenance et les conditions de maintenance à appliquer pour maintenir un produit. Elle décrit la politique générale de maintenance du client en donnant des informations sur la façon dont est organisé son soutien logistique et il convient qu'elle donne

- un ensemble de pratiques de conception et d'objectifs relatifs à la maintenabilité pour le projet ou pour des classes de produits. Ces pratiques et ces objectifs peuvent indiquer, par exemple, la standardisation par le constructeur de types de produits similaires dans toute une installation, l'utilisation de composants modulaires interchangeables rapidement, etc.;

- **Criticality** Maintenance is designated as critical where safety is a primary concern, and nuclear plants and aircraft are obvious examples of safety critical products. Operational and economic issues can also be critical, such as the breakdown of a processing or manufacturing plant.
- **Technical constraints** When the design is constrained by technical or physical parameters beyond the control of the designer, more complex maintenance actions may be required.
- **Programme constraints** Tight schedules or funding limitations may restrict freedom of design for optimum dependability. Additional maintenance actions may have to be considered to meet the dependability requirements.
- **Maintenance support conditions** The maintenance policy and personnel skill levels of staff available to the operator may influence task effectiveness.
- **Operational conditions** Environmental severity, time in use and operating cycles may govern the frequency of maintenance actions.
- **Storage and transportation** Maintenance actions may be required prior to, and following, storage, handling and transportation.
- **Customer related factors** The customer's maintenance experience and the extent to which the customer's staff will carry out maintenance actions. The importance of the product to the customer.
- **Supplier related factors** The supplier's maintenance experience, and the degree to which the supplier will provide maintenance support will govern the location of maintenance actions and the level of maintenance which can be undertaken.
- **Regulatory requirements** The regulations laid down by Government or other statutory bodies need to be considered and any relevant mandated maintenance tasks included in the maintenance programme.
- **Environmental emissions** Maintenance of a product has to ensure that the emission limits set by the customer or external regulation continue to be met as equipment deteriorates.
- **Life cycle phase** If the product does not require a full development programme, the relevant life cycle phases need to be considered, with the degree of maintainability analysis needed to meet the requirement.

6 Maintainability programme elements and tasks

6.1 Planning and constraints

The first task in the preparation of a maintainability programme is to determine the maintenance policy and maintenance concept.

6.1.1 Maintenance policy

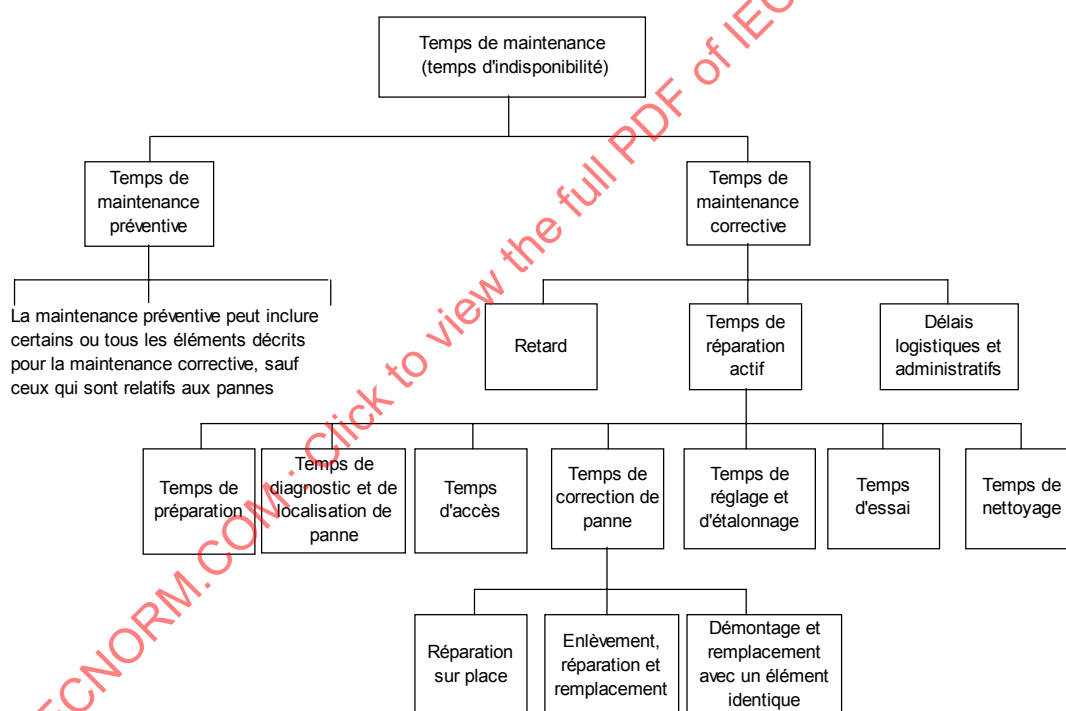
The maintenance policy is the general interrelationship between levels of maintenance, lines of maintenance and maintenance conditions to be applied for the maintenance of an item. This describes the client's general maintenance policy by giving information on how his support organization is structured, and should result in

- a set of design practices and goals related to maintainability for the project and for classes of product. These practices and goals may address, for example, standardization of similar product types by manufacturer throughout a plant, the use of quick change modules, etc.;

- une définition de la démarche de maintenance de base pour des composants significatifs, majeurs et spécifiques d'un produit. Cette démarche peut inclure
 - quelle maintenance sera réalisée, par qui (équipes en horaires décalés, équipes en horaire de jour, etc.), où (sur site, en atelier, etc.) et durant quels états de fonctionnement (arrêt, etc.);
 - des propositions pour réduire la durée d'indisponibilité (la figure 2 présente la décomposition de cette durée), telle que l'utilisation de surveillance en fonctionnement, équipement de test intégré, positionnements simples et procédures de vérification, etc.,
- les fondements de la politique du soutien logistique de maintenance et les exigences relatives aux moyens de maintenance, équipements d'essai et de soutien, approvisionnement en pièces de rechange, formation et qualification du personnel, manuels techniques et logiciels de soutien.

Ces facteurs seront basés sur une approche systématique pour améliorer les caractéristiques de fiabilité et de maintenabilité du produit et des composants associés aux équipements.

Il convient que la politique de maintenance soit périodiquement révisée et mise à jour, si nécessaire, avec l'avancement de la conception.



IEC 2428/2000

Figure 2 – Temps d'indisponibilité actif et inactif utilisé par la maintenance

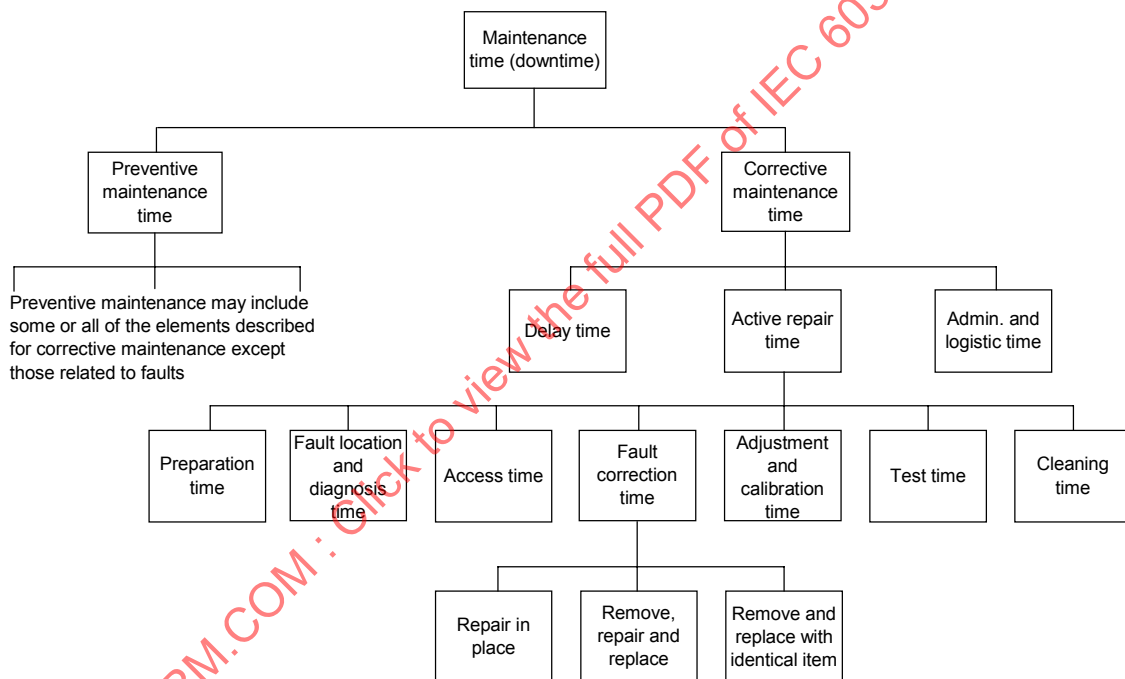
6.1.2 Concept de maintenance

Le concept de maintenance est l'application de la politique générale de maintenance à un produit spécifique. La préparation du concept de maintenance nécessite la coopération du fournisseur ou du concepteur du produit ainsi que du client et de son conseiller en maintenance.

- a definition of the basic approach to maintenance of specific, major and significant items of a product, which may include
 - what maintenance will be performed, by whom (shift maintainers, day maintainers, etc.), where (in situ, in the shop, etc.) and during what operating states (shut-down, etc.);
 - the proposed features to reduce the product's downtime (the constituent elements of which are shown in figure 2), such as the use of condition-monitoring, built-in-test-equipment, simple alignment and checkout procedures, etc.,
- basic maintenance support (logistic) policies and requirements relating to maintenance facilities, test and support equipment, spare parts provisioning, personnel skills and training, technical manuals and support software.

These factors will be based on a systematic approach to improving the reliability and maintainability features of the product and of associated items of equipment.

The maintenance policy should be periodically reviewed and updated, if necessary, as the design progresses.



IEC 2428/2000

Figure 2 – Active and inactive downtime spent by maintainers

6.1.2 Maintenance concept

The maintenance concept is the application of a general maintenance policy to a specific item. The preparation of a maintenance concept requires the co-operation of the supplier or designer of the product and the client and his maintenance advisor.

Il convient que le client ait énoncé les grandes lignes de ses exigences vis-à-vis du produit telles que

- le système de contrôle qualité du produit requis pour assurer la maintenance (par exemple normes aéronautiques);
- la durée de vie prévue;
- les exigences relatives à la documentation technique de maintenance;
- l'aptitude du produit à être amélioré ou modifié;
- la méthode de mise au rebut en fin de vie du produit;
- les effets qu'une défaillance ou une indisponibilité du produit auraient vraisemblablement sur l'activité du client ou de l'utilisateur, y compris les conséquences économiques;
- les limites de coût.

Il convient que le client décrive davantage les exigences de maintenabilité en donnant

- une définition des différents niveaux de maintenance;
- les profondeurs de maintenance corrective envisagées à chaque niveau;
- les conditions d'environnement à chaque niveau;
- les ressources disponibles ou planifiées à chaque niveau;
- les limites de la maintenance préventive;
- les temps de rotation maximaux acceptables;
- la formation du personnel de maintenance et des opérateurs sur les tâches de maintenance qui leur incombent;
- les réglementations pertinentes, légales ou statutaires, y compris les effets sur la santé, la sécurité et l'environnement.

Il convient que le fournisseur conseille le client sur la faisabilité et le coût de réalisation de ses demandes et suggère les modifications qui pourraient faciliter, si nécessaire, la conception finale. Le concept de maintenance peut être révisé lorsque la conception évolue afin d'aboutir à la structure de logistique de maintenance la plus économique.

Les documents de politique de maintenance et de concept de maintenance deviennent alors la base pour la préparation des spécifications de maintenabilité.

6.1.3 Spécification des exigences de maintenabilité

Il convient qu'une spécification de maintenabilité soit préparée par le fournisseur ou l'utilisateur, selon le cas, pour le produit et ses parties et pour le soutien logistique nécessaire au produit.

Les spécifications fournissent les bases de compréhension entre le client et le fournisseur et entre différents groupes de personnes (client et fournisseur) impliqués dans la conception et l'utilisation du produit.

Il convient que le développement des spécifications commence par la définition des types de pannes qui affecteront l'usage efficace du produit, et donc commence par analyser et établir ce qui suit.

- **Les mesures quantitatives des performances de maintenabilité** Les spécifications de maintenabilité de système, avec les démonstrations et les assurances nécessaires, font partie de cette tâche. La maintenabilité d'un système ou d'un sous-système est habituellement quantifiée en termes de temps moyen de maintenance actif (MTMA), avec également un temps maximal donné. Elle peut également inclure davantage de détails, tels que l'accès, l'utilisation d'outils spécifiques et d'équipements de test et les liens avec tout soutien logistique de maintenance existant.

The client should have stated the broad requirements for the product, such as

- the required product quality system under which maintenance will be performed (e.g. aircraft standards);
- the planned life;
- the requirements for technical maintenance manuals;
- the ability for the product to be upgraded or modified;
- the method of disposal at the end of its life;
- the effect that a failure or product non-availability is likely to have on the operations of the client or user, including the economic consequences;
- cost limits.

The client should further describe the maintainability requirements by giving information on

- a definition of the various levels of maintenance;
- the depths of corrective maintenance envisaged at each level;
- the environmental conditions at each level;
- the resources available or planned at each level;
- limitations of preventive maintenance;
- maximum acceptable turn-around times;
- training of maintenance personnel and operators where they are to be involved in maintenance tasks;
- the relevant legal or statutory requirements including health and safety, and environmental impact.

The supplier should advise the customer on the feasibility and cost of achieving these requirements and suggest modifications which might facilitate the final design, if appropriate. The maintenance concept may be revised as the design evolves, in order to produce the most cost effective maintenance support structure.

The maintenance policy and maintenance concept documents then become the basis for the preparation of a maintainability specification.

6.1.3 Specification of maintainability requirements

A maintainability specification should be prepared by the supplier or user, as appropriate, for the product and its parts and for the support requirements of the product.

The specification provides the basis of understanding between the customer and the supplier and among different (supplier and customer) groups of personnel involved with the product's design and use.

The development of a specification should start by defining the types of fault which will detract from the effective use of the product and should then proceed to establish the following by analysis.

- **Quantitative measures of maintainability performance** The system maintainability specification, along with demonstration and assurance requirements, is part of this task. The maintainability of a system or subsystem is usually quantified in terms of a mean active maintenance time (MAMT), with a maximum time also given. It may also include further detailed requirements, such as access, use of special tools and test equipment and relationship with any existing maintenance support.

- **Les prescriptions qualitatives de maintenabilité** Elles comprennent la définition des fonctions du produit, des critères de panne, les conditions d'environnement et d'exploitation, et de la durée de vie utile du produit pendant laquelle ces prescriptions doivent être remplies.
- **Les prescriptions d'essai** Elles comprennent les fonctions et procédures d'essai, la précision des essais à chaque niveau du produit, les prescriptions relatives aux tests intégrés, etc.

Il convient que la spécification de chaque exigence précise les phases de cycle de vie pour lesquelles la conformité sera vérifiée ainsi que les moyens et procédures (méthodes analytiques, simulations, essais, etc.) avec lesquels ce sera effectué. Il convient que l'interdépendance entre les exigences soit clairement décrite.

Il convient que les demandes spécifiées aient pour caractéristiques d'être non ambiguës, complètes, vérifiables, cohérentes et traçables.

6.2 Etudes de maintenabilité

Les études de maintenabilité sont réalisées en tant que partie du programme de maintenabilité pour quantifier les besoins de manière à ce qu'ils puissent être intégrés dans le processus de conception et de développement. Les études de maintenabilité incluent

- l'allocation de maintenabilité;
- l'analyse de maintenabilité;
- l'interprétation des exigences.

Davantage de détails peuvent être trouvés dans la CEI 60706-2.

6.2.1 Allocation de maintenabilité

Les exigences de maintenabilité de l'utilisateur au niveau système demandent à être allouées sous forme d'exigences de maintenabilité au niveau des sous-systèmes. Le processus d'allocation de maintenabilité implique la répartition des exigences de maintenabilité à chaque sous-système, de façon que lorsqu'elles sont remplies, le système satisfera à ses propres exigences. Les paramètres considérés dans cette activité sont le temps et le coût requis pour rétablir un système défaillant (ou un sous-système) dans un état prêt à l'exploitation.

Le but de l'allocation de maintenabilité est d'identifier ces exigences aussitôt que possible pour qu'elles puissent être incluses dans les spécifications techniques des sous-systèmes. Cela est particulièrement important quand la conception d'un sous-système est à sous-traiter.

Il convient que le processus d'allocation de maintenabilité prenne en compte le fait qu'il convient que les produits qui sont les moins fiables soient les plus maintenables.

Il convient que les exigences de maintenabilité soient allouées aux parties d'un produit (ou aux parties du soutien logistique) en considérant

- la structure du produit, des systèmes ou des sous-systèmes;
- le besoin de vérification et de validation des exigences;
- le processus de conception.

Il convient d'inclure des allocations de maintenabilité dans les spécifications pour toutes les parties sous-traitées d'un produit final. Cela servira de base pour la vérification, la spécification et la conception des procédures de test et de validation. Il est possible que de telles allocations soient reconsidérées, en conséquence des études de compromis, au cours de l'avancement de la conception.

- **Qualitative maintainability requirements** This includes 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.
- **Testability requirements** This includes test functions and procedures, test accuracy of each level of the product, BIT requirements, etc.

The specification of each requirement should detail the life cycle phases at which conformity will be verified and the means and procedures (analytical methods, simulations, tests, etc.) by which this will be carried out. The interdependence between requirements should be clearly described.

The specified requirements should have the characteristics of being unambiguous, complete, verifiable, consistent and traceable.

6.2 Maintainability studies

Maintainability studies are undertaken as part of the maintainability programme to quantify the requirements in terms which can be incorporated into the design and development process. Maintainability studies include

- maintainability allocation;
- maintainability analysis;
- requirements interpretation.

More detailed guidance may be found in IEC 60706-2.

6.2.1 Maintainability allocation

The user's maintainability requirements at the system level need to be allocated into maintainability requirements at the subsystem level. The maintainability allocation process involves the apportionment of maintainability requirements to each of the subsystems, such that when these are met, the system will then meet its requirements. The parameters considered in this activity are the time and cost required to restore a failed system (or subsystem) to an operationally ready state.

The purpose of maintainability allocation is to identify these requirements as early as possible so that they can be included in the technical requirements specifications for the subsystems. This is particularly important when the design of a particular subsystem is to be subcontracted.

The maintainability allocation process should recognize that items which are least reliable should be most maintainable.

Maintainability requirements should be allocated to parts of the product (or to parts of the support process) by considering

- the product's structure and systems or subsystems;
- the need for the verification and validation of the requirements;
- the design process.

Allocations should be included in the specifications for any subcontracted parts of the end product. These will be used as a basis for verification, validation and test procedure specification and design. Such allocations may have to be reconsidered as a result of trade-off studies as the design progresses.

6.2.2 Analyse de maintenabilité

Le concepteur peut maintenant traduire les demandes du client en exigences de conception en effectuant une analyse de maintenabilité.

Il convient que le concepteur commence par prendre en compte les prescriptions relatives au fonctionnement du produit, à sa disponibilité, à sa fiabilité et à sa maintenabilité. Il convient alors que l'analyse

- prépare une description fonctionnelle du produit;
- prépare l'information sur l'espace requis et les dispositions d'accès pour la maintenance;
- développe, lorsque cela est nécessaire, des diagrammes de flux sur l'activité de maintenance à partir des schémas d'ensemble du système. Il convient que ces diagrammes de flux présentent la séquence des opérations (démontage, enlèvement, essai, étalonnage, réparation, remontage, etc.) impliquées dans chacune des activités envisagées par le concept de maintenance de l'utilisateur (niveaux, profondeurs, maintenance corrective, maintenance préventive);
- identifie les effets, liés au type d'équipement, de la fabrication, du stockage, de l'emballage, du transport, de la manutention et de l'installation sur la maintenance;
- identifie les opérations qui obligent l'utilisateur à développer de nouvelles qualifications ou à utiliser des spécificités liées au type d'équipement;
- fournisse une liste d'unités remplaçables en ligne (URL) qui nécessiteront d'être remplacées sur la base d'une durée ou d'une usure.

Le concepteur peut alors discuter des problèmes avec les responsables de maintenance de l'utilisateur pour chercher des solutions soit à travers une modification de la conception, soit une modification du concept de maintenance.

Le développement parallèle d'un produit et de ses moyens d'essai peut poser des problèmes lorsque les aptitudes de ces moyens restent longtemps mal définies pendant le développement comme peuvent l'être les exigences relatives aux essais du produit lui-même.

6.2.3 Interprétation des exigences

Il convient que les conditions et les contraintes qui sont spécifiques à l'usage prévu du produit et qui peuvent affecter sa maintenabilité soient analysées, y compris

- les conditions de fonctionnement et de maintenance, telles que durée et type de mission, l'identification des cycles et charges imposées au produit pendant le temps prévu d'utilisation;
- il convient que les contraintes imposées par la politique de maintenance, le niveau de qualification du personnel, etc. soient identifiées et, lorsque cela est nécessaire, des modifications soient recommandées;
- il convient que chaque interprétation des spécifications de besoins faisant l'objet d'un accord soit documentée formellement et jointe aux spécifications.

6.3 Gestion de projet

Il convient qu'une structure efficace, qui tienne compte des exigences de maintenabilité et du soutien logistique de maintenance, soit mise en place pour la gestion du processus de conception et de développement, et conduise à la préparation d'un programme de maintenabilité qui soit partie intégrante des activités de sûreté de fonctionnement.

6.2.2 Maintainability analysis

The designer may now translate the customer's requirements into design requirements by carrying out a maintainability analysis.

The designer should start by being aware of the requirements placed on the product for operational use, availability, reliability and maintainability. The analysis should then

- prepare a functional description of the product;
- prepare information on the space required and access arrangements for maintenance;
- where necessary, develop maintenance activity flow diagrams from the system assembly diagrams. These should show the sequence of operations (disassemble, remove, test, calibrate, repair, reassemble, etc.) involved in each of the activities envisaged by the user's maintenance concept (levels, depths, corrective maintenance, preventive maintenance);
- identify the effect on maintenance of manufacturing, storage, packaging, transportation, handling and installation special to the type of equipment;
- identify operations which require the user to develop new skills or to use skills special to type equipment;
- produce a list of line replaceable units (LRUs) which will need to be replaced on a time or usage basis.

The designer can then discuss problem areas with the user's maintenance authority in order to seek solutions through either modification of the design concept or change to the maintenance concept.

The parallel development of a product and its test facilities may well pose problems since the capabilities of those facilities may remain ill defined until late in development as may the test requirements of the product itself.

6.2.3 Requirements interpretation

This should include analysing those conditions and constraints which are typical for the intended use of the product, and which may affect its maintainability, including:

- operational and maintenance conditions, such as mission types and duration, and identification of load and duty cycles imposed on the product during the intended use;
- constraints caused by the maintenance policy, personnel skill level, etc. should be identified and, where appropriate, changes should be recommended;
- any agreed interpretation of the provisions of the requirements specification should be formally documented and attached to the specification.

6.3 Project management

An effective structure should be set up for the management of the design and development process which takes into consideration maintainability and maintenance support requirements, leading to the preparation of a maintainability programme as an integral part of dependability activities.

6.3.1 Gestion de la maintenabilité

Il convient qu'un plan de gestion de la maintenabilité soit préparé par le fournisseur/concepteur afin d'assurer que la maintenabilité est prise en considération à chaque étape pertinente de la conception. Il convient qu'il implique tout ce qui est concerné par le projet, y compris sa gestion. Il convient qu'il décrive en détail comment l'effort de maintenabilité doit être géré et comment les sous-traitants seront supervisés.

Il convient que le plan tienne compte des exigences de la politique de maintenabilité et de la façon dont elle est susceptible d'être mise en œuvre. Il convient donc que le client soit consulté chaque fois que cela est nécessaire.

Il convient que le plan identifie

- les responsables qui doivent assurer que le produit est réalisé de manière satisfaisante en ce qui concerne la maintenabilité;
- leurs responsabilités dans le programme de maintenabilité;
- les procédures pour maîtriser le programme.

Il convient que le plan conduise à la préparation d'un programme de maintenabilité pour la conception du projet.

6.3.2 Plans du programme de maintenabilité

Il convient que le programme détaille les tâches du programme de maintenabilité qui doivent être réalisées. Il convient qu'il comporte pour chaque tâche les informations suivantes:

- une description détaillée de la tâche, incluant les objectifs spécifiques qui doivent être atteints à chaque étape du programme et les heures de main d'œuvre nécessaires;
- les étapes de la tâche en relation avec le plan global. Il convient que le nombre d'étapes soit suffisant pour assurer une maîtrise satisfaisante de la tâche. Il convient que chaque étape soit décrite en termes d'informations qui doivent être disponibles pour permettre une revue;
- le but de la tâche et les résultats attendus, incluant les méthodes de surveillance en fonctionnement, l'évaluation, les rapports et les actions appropriées pour corriger les problèmes;
- les moyens de communication entre différents fournisseurs ou sous-traitants;
- l'identification des problèmes auxquels on peut s'attendre à partir d'une connaissance préalable de la tâche et les actions proposées pour les résoudre.

Il convient qu'un tableau de correspondances soit fourni, et qu'il présente les relations entre les tâches du programme et

- les normes générales applicables, par exemple la CEI 60300-1 et la CEI 60300-2;
- d'autres documents de référence;
- les politiques et les normes du fournisseur;
- l'estimation des heures de main d'œuvre.

6.3.3 Gestion des décisions de projet

Il convient que des jalons et des points de contrôle soient établis pour chaque étape du programme.

Il convient que des procédures et des critères soient fournis afin d'assurer que des progrès satisfaisants vers la réalisation des exigences de maintenabilité ont été faits à chaque jalon ou point de contrôle.

6.3.1 Maintainability management

A maintainability management plan should be prepared by the supplier/designer to ensure that maintainability is considered at each relevant stage of the design. It should involve all concerned with the project, including its management. It should describe in some detail how the maintainability effort is to be managed and how that of second level suppliers will be supervised.

The plan should take account of the requirements of the maintainability policy and how these might be implemented. The client should therefore be consulted whenever necessary.

The plan should identify

- those responsible for ensuring that the product performs satisfactorily regarding maintainability;
- their responsibilities within the maintainability programme;
- the procedures for establishing control of the programme.

The plan should lead into the preparation of a maintainability programme for the project design.

6.3.2 Maintainability programme plans

The programme should detail the maintainability programme tasks which will have to be carried out. It should include the following information for each task:

- a detailed description of the task, including the specific objectives which have to be met at each stage of the programme and the man-hours involved;
- the stages of the task related to the total plan. The number of stages should be sufficient to ensure a satisfactory control of the task. Each stage should be described in terms of the information to be made available for review purposes;
- the purpose of the task and the expected results, including the methods for monitoring, assessing, reporting and taking appropriate action to correct problems;
- the lines of communication between different suppliers or subcontractors;
- identification of problems which may be expected from a prior knowledge of the task and the actions proposed for their solution.

A cross-index should be provided, which shows the relationships between programme tasks and

- applicable general standards, for example IEC 60300-1 and IEC 60300-2;
- other reference documents;
- supplier policies and standards;
- estimated man-hours.

6.3.3 Project decision management

Milestones and checkpoints should be established for each stage of the programme.

Procedures and criteria should be produced which will ensure that satisfactory progress towards meeting maintainability requirements has been made at each milestone or checkpoint.

6.3.4 Gestion de la configuration

Comme il peut être nécessaire d'introduire des modifications du produit et de sa logistique de maintenance pendant chaque phase du cycle de vie, il convient qu'un système de gestion de la configuration soit établi. Il convient que cela institue un processus systématique pour maîtriser, surveiller et documenter les modifications du produit et de sa logistique de maintenance.

La maîtrise de la configuration est approfondie en 6.10.2.

6.4 Conception en vue de la maintenabilité

6.4.1 Conception de la maintenabilité

Une haute performance de maintenabilité correspond à un produit qui est facile à maintenir et à réparer et qui demande le moins de maintenance possible. Une haute maintenabilité est réalisée à travers des démarches de conception telles que l'application de techniques de maintenance automatique, d'équipement de test intégré (ETI) et de redémarrages automatiques lors de défaillances induites par le logiciel, une conception modulaire, des déconnexions rapides, etc.

Il convient que des critères de conception détaillée de la maintenabilité soient déduits et examinés périodiquement à partir des exigences spécifiées pour le produit. Il convient que ces critères décrivent, par exemple, les méthodes et les techniques pour minimiser

- les pannes qu'il peut être difficile ou coûteux de corriger une fois que le produit est terminé;
- la maintenance complexe;
- la fréquence des activités de maintenance périodiques imposées par la conception du produit;
- la contribution spécifique du produit au temps d'indisponibilité;
- les coûts de logistique de maintenance résultant de la conception du produit;
- la qualification requise du personnel de maintenance;
- les erreurs potentielles de maintenance;
- les difficultés d'accès pour la maintenance et le remplacement;
- l'utilisation d'équipements et d'outils spéciaux;
- les menaces pour la santé résultant de l'utilisation de produits toxiques ou radioactifs.

Il convient que les activités de conception soient guidées par l'utilisation de caractéristiques qui permettent d'obtenir, avec une politique de maintenance donnée, les performances souhaitées de maintenabilité, c'est-à-dire les relations entre

- systèmes, sous-systèmes et matériels;
- les niveaux de maintenance;
- les échelons de maintenance.

Il convient de procéder, si nécessaire, à une analyse de maintenance basée sur la fiabilité (voir 6.6.3.). Cela permettra d'intégrer à la conception la surveillance en fonctionnement conditionnelle adéquate de manière à ce que les tâches de surveillance en fonctionnement puissent être réalisées de la façon la plus efficace.

Il convient que les matériels critiques pour la maintenabilité soient identifiés selon les critères et la définition spécifiée de la criticité. Il convient qu'un programme soit établi pour la maîtrise et la gestion particulière des matériels critiques, depuis les phases de conception et de développement jusqu'aux phases de fabrication et d'installation.

6.3.4 Configuration management

As it may be necessary to introduce changes to the product and its maintenance support during any phase of the life cycle, a configuration management system should be established. This should institute a systematic process for controlling, monitoring and documenting changes to the product and its maintenance support.

Configuration control is further discussed in 6.10.2.

6.4 Design for maintainability

6.4.1 Maintainability design

High maintainability performance results in a product that is easy to maintain and repair and requires the least amount of maintenance possible. High maintainability is achieved through design approaches such as application of automatic maintenance techniques, built-in test equipment (BITE) and automatic restarts at software induced failures, modular design, quick disconnect fasteners, etc.

The derivation and periodic review of detailed maintainability design criteria should be obtained from requirements specified for the product. They should, for example, describe methods and techniques to minimize

- faults which may be difficult or costly to correct once the product is completed;
- complex maintenance;
- frequency of scheduled maintenance activities dictated by the product design;
- product specific contribution to down time;
- maintenance support costs dictated by the product design;
- maintenance personnel skill requirements;
- potential for maintenance mistakes;
- difficulties of access for maintenance and replacement;
- the use of special tools and equipment;
- threats to health by use of toxic or radioactive materials.

Design activities should be guided by the use of features to achieve the desired maintainability performance under the given maintenance policy, i.e. the inter-relationship between

- systems, subsystems and equipment;
- levels of maintenance;
- maintenance echelons.

A reliability centred maintenance analysis (see 6.6.3) should be carried out if applicable. This will enable the appropriate condition monitoring to be incorporated into the design so that monitoring tasks can be carried out in the most effective manner.

Maintainability critical items should be identified according to specified criticality criteria and definition. A programme should be established for the control and special handling of critical items, from the design and development phase to the manufacturing and installation phase.

Quand le travail de conception est réalisé sur un produit existant, il convient que les performances de maintenabilité de ce produit soient clairement documentées et que tous les problèmes connus soient pris en considération pendant la phase de développement.

6.4.2 Compromis de fiabilité et de maintenabilité

Il peut ne pas être toujours possible de combiner un niveau élevé de fiabilité, un niveau élevé de maintenabilité et un faible niveau de maintenance. Dans de tels cas, une solution de compromis peut être développée, qui implique un compromis de la fiabilité et de maintenabilité.

Un niveau élevé de fiabilité peut être atteint en utilisant de bonnes techniques de conception qui permettent de prévenir la survenue de défaillances, manifestes ou latentes (évitements de panne), ou d'éliminer leurs effets (tolérance à la panne). Cela peut être essentiel pour des raisons de sécurité ou d'exploitation pour certains produits, mais le paramètre critique est, dans la plupart des cas, la disponibilité d'un élément, qui est fonction à la fois de la fiabilité, de la maintenabilité et du soutien logistique de maintenance.

Il est par conséquent indispensable que l'analyse de compromis prenne en considération les effets sur la disponibilité, en termes de coûts éventuels du cycle de vie (CCV) et de pénalité éventuelle en exploitation, de l'acceptation d'un niveau inférieur de fiabilité ou de maintenabilité, puisque les coûts initiaux de réalisation d'une conception, qui valorisent les deux paramètres, peuvent ne pas être viables. Des niveaux plus élevés de soutien logistique de maintenance peuvent devoir être considérés lors de l'analyse.

6.4.3 Conception en vue de faciliter la logistique de maintenance

La logistique de maintenance sous la forme de ressources et d'activités de gestion sera nécessaire autant pendant l'installation ou la mise en service d'un produit que pendant sa vie opérationnelle.

Les ressources de soutien logistique requises seront déterminées par la conception du produit, la politique de maintenance définie et les procédures, les outils, les équipements de test, la documentation, les programmes de formation et les dispositions nécessaires pour soutenir cette politique.

De plus, il convient de prendre en considération l'identification et la préparation

- des procédures et des ressources nécessaires au recueil, à l'analyse et à l'évaluation des pannes, des rapports de maintenance et des données relatives à la fiabilité, à la maintenabilité et à la logistique de maintenance;
- des procédures et l'identification des ressources nécessaires à la mise en œuvre des demandes de modification et des transformations du produit;
- de l'identification de l'intervalle de temps pendant lequel le produit sera soutenu par le fournisseur et par le client respectivement.

Quand le travail de conception est basé sur un produit existant, il convient que les conditions de la logistique de maintenance de ce produit soient réexaminées et que les problèmes connus soient pris en considération.

Plus de détails peuvent être trouvés dans la CEI 60706-4.

6.4.4 Testabilité

Les performances de fiabilité comme les performances de maintenabilité d'un produit sont influencées par les moyens internes ou externes qui facilitent la surveillance en fonctionnement, la détection et la localisation de pannes et de toute dégradation des caractéristiques du produit.

Il convient que la partie des spécifications concernant les exigences de testabilité (fonctions de test et procédures, précision des tests à chaque niveau du produit, etc.) guide ces activités de conception.

When the design work is based on an existing product, that product's maintainability performance should be clearly documented and any known problems considered during the development phase.

6.4.2 Reliability and maintainability trade off

It may not always be possible to obtain a combination of high reliability, high maintainability and low maintenance. In such cases a compromise solution may be developed which involves a trade-off between reliability and maintainability.

High reliability performance may be obtained by good design techniques which prevent failures from occurring, whether patent or latent (fault avoidance), or eliminate their effects (fault tolerance). This may be essential for safety or operational reasons for some products, but the critical parameter in most cases will be the availability of an item, which is a function of both the reliability, the maintainability and the maintenance support.

A trade-off analysis will therefore be required to consider the effects on availability, in terms of the LCC and any operational penalty, of accepting a lower level of either reliability or maintainability, as the initial costs of achieving a design which gives both parameters a high value may not be viable. Increased levels of maintenance support may be a consideration which will need to be included in the analysis.

6.4.3 Design for maintenance support

Maintenance support in the form of resources and management activities will be required during the installation or commissioning of the product, as well as during its operational life.

The support resources required will be determined by the design of the product, the defined maintenance policy, and the procedures, tools, test equipment, documentation, training programmes and facilities required to support that policy.

Consideration should, in addition, be given to the identification and preparation of

- procedures and resource needs for collection, analysis and evaluation of fault and maintenance reports and data related to reliability, maintainability and maintenance support;
- procedures and identification of resources needed for handling of modification requests and product changes;
- identification of the time interval during which the product will be supported by the supplier and by the customer, respectively.

When the design work is based on an existing product, that product's maintenance support conditions should be reviewed and known problems considered.

More detailed guidance may be found in IEC 60706-4.

6.4.4 Testability

The reliability performance as well as the maintainability performance of the product is influenced by the internal or external facilities for monitoring, detection and localization of faults and any degradation of the product characteristics.

The part of the specification addressing the testability requirements (test functions and procedures, test accuracy of each level of the product, etc.) should guide these design activities.

Quand le travail de conception est basé sur un produit existant, il convient que les caractéristiques de testabilité de ce produit soient clairement documentées et que les problèmes connus soient pris en compte pendant la phase de développement.

Plus de détails peuvent être trouvés dans la CEI 60706-5.

6.4.5 Facteurs humains

6.4.5.1 Généralités

Un élément important de la maintenabilité est l'interface homme-machine, c'est-à-dire les facteurs humains, et il convient que le concepteur garde à l'esprit les facteurs humains, de manière que la maintenance puisse être exécutée aussi vite que possible de façon efficace et conviviale.

Il convient de tenir compte des facteurs humains dans ce qui suit:

- **les exigences** Il convient que les exigences de maintenabilité incluent un plan pour les facteurs humains comme partie intégrante du projet d'un équipement depuis la conception jusqu'à sa mise en service. Le plan peut inclure une étude de conception de la maintenabilité soutenue par des revues de projet;
- **la politique** Il convient que la politique de maintenance prenne en considération les points suivants:
 - le degré d'utilisation de la maintenance préventive;
 - qui exécutera les tâches de maintenance, à quel niveau et à quelle fréquence;
 - comment le produit doit être réparé ou remis en service et s'il convient que les composants défectueux soient éliminés ou renvoyés pour réparation;
 - le niveau de formation requis pour le personnel de maintenance;
 - les limitations des caractéristiques physiques (par exemple le poids maximal qui peut être soulevé);
 - la sécurité des opérateurs et du personnel de maintenance.

6.4.5.2 Facilité de la maintenance

La maintenance sera normalement effectuée par le personnel de maintenance à des moments prédéterminés ou lorsque cela est nécessaire à la suite de pannes ou en réponse à une action requise par des équipements intégrés comme des capteurs.

Les actions de maintenance peuvent être facilitées, et donc plus rapidement effectuées et à moindre coût en considérant les facteurs suivants.

- **Les conditions d'environnement** Il convient que les équipements permettent d'effectuer la maintenance sur site dans des conditions d'exploitation et d'environnement limites spécifiées.
- **L'accès** Il convient que les composants des équipements soient disposés en laissant de l'espace pour travailler autour de l'équipement. Il convient qu'un éclairage adéquat soit installé et qu'une accessibilité raisonnable aux sous-ensembles et aux composants soit établie, en particulier pour les matériels à vie courte qui exigent un remplacement fréquent. Il convient que la nécessité de désassembler d'autres systèmes soit évitée chaque fois que possible.
- **L'accès aux attaches** Il convient que la standardisation dans l'utilisation des attaches soit prise en considération pour l'ensemble de l'équipement en utilisant les mêmes types d'attaches et des tailles normalisées. Aux endroits où un accès fréquent est exigé pour la maintenance, il convient que des attaches rapides soient utilisées, qui puissent soit être détachées manuellement ou ne requérir que l'utilisation d'outils manuels simples.

When the design work is based on an existing product, that product's testability characteristics should be clearly documented and known problems considered during the development phase.

More detailed guidance may be found in IEC 60706-5.

6.4.5 Human factors

6.4.5.1 General

An important element of maintainability is the man-machine interface, or human factors, and the designer should design with human factors in mind, so that maintenance may be carried out as far as possible in an efficient and user-friendly manner.

Human factors should be involved in the following:

- **requirements** The statement of maintainability requirements should include a plan for human factors as an integral part of an equipment project from concept through to acceptance into service. The plan may include a maintainability design study supported by reviews.
- **policy** The maintenance policy should consider the following points:
 - the degree to which preventive maintenance is to be employed;
 - who will carry out the maintenance tasks and at which level and frequency;
 - how the item is to be repaired or restored to service and whether defective parts should be scrapped or returned for repair;
 - the level of training required for maintenance personnel;
 - limitations in physical performance (e.g. maximum weight that can be lifted);
 - safety of operators and maintenance personnel.

6.4.5.2 Ease of maintenance

Maintenance will normally be carried out by maintenance staff at pre-selected times or as required to address faults or in response to action required by built-in equipment such as sensors.

Maintenance actions can be made easier, and therefore quicker and at lower cost by consideration of the following factors.

- **Environmental conditions** The equipment should permit maintenance to be carried out on site under specified extreme environmental and operational conditions.
- **Access** Units of equipment should be laid out with space to work around the equipment. Adequate lighting should be provided and reasonable access to sub-assemblies and components identified, especially for short life items that require frequent replacement. The need to break into other systems should be avoided wherever possible.
- **Access fasteners** Standardization in the use of fasteners should be considered for the whole equipment by using common types and standard sizes. For areas where frequent access is required for maintenance, quick access fasteners should be used, which are either hand operated or only require the use of simple hand tools.

- **L'outillage** Il convient que des outils standards soient utilisés chaque fois que cela est possible et que le besoin en équipements ou outils spéciaux soit minimisé.
- **Les mesures de sécurité** Il convient que la conception des équipements soit telle qu'une protection adéquate, conforme à la réglementation concernant la santé et la sécurité, soit opérationnelle quand les équipements sont ouverts pour maintenance.
- **Le graissage/l'entretien courant** Il convient que la conception prenne en considération la façon dont l'unité doit être lubrifiée, réapprovisionnée ou remplacée quand elle fait partie d'un système complet.
- **L'entretien lorsque le système est en service** Il convient de prendre en considération la manière dont un produit doit être mis dans un état de fonctionnement sûr, s'il doit être maintenu lorsque le système est en marche, et quelle action doit être faite pour l'isoler.

6.4.5.3 Conditions d'environnement

L'aptitude humaine à accomplir des tâches, même simples, est gravement affectée dans des environnements hostiles. Il est par conséquent nécessaire de prendre en compte les conditions d'environnement lors de la maintenance. Les conditions habituelles à prendre en compte sont les suivantes:

- un environnement extérieur sévère (par exemple travail en hauteur ou dans des conditions de température extrêmes);
- un environnement interne sévère (par exemple haute température, haute tension, vapeurs, danger de radiations);
- des prescriptions vestimentaires spéciales et conséquence du travail avec ces vêtements (par exemple vêtements protecteurs ou adaptés au froid);
- des limitations physiques de l'opérateur de maintenance, telles que la taille, le poids, etc. (par exemple accès à certains compartiments);
- des dispositifs spéciaux qui peuvent être nécessaires à la maintenance et à l'exploitation des équipements dans des conditions extrêmes (par exemple appareils de chauffage, dispositif de conditionnement d'air).

6.5 Produits fournis par des tiers

6.5.1 Produits sous-traités

Quand des parties d'un produit sont fournies par des sous-traitants, il convient que le fournisseur de premier niveau s'assure que des exigences appropriées à un programme de maintenabilité sont prises en considération pour ces parties et qu'elles correspondent convenablement aux exigences pour la totalité du produit livrable.

6.5.2 Produits fournis par le client

Dans le cas où le client fournit des parties d'un produit destinées à être intégrées dans le produit livrable, il convient que le fournisseur demande au client de fournir

- la preuve que la partie a été, ou est, conçue et fabriquée selon un programme de maintenabilité accepté;
- les informations et les données pertinentes nécessaires concernant la partie fournie par le client, pour l'analyse de maintenabilité du produit final;
- l'identification de tout problème qui peut être rencontré avec la partie fournie par le client.

- **Tools** Standard tools should be used where possible and the requirement for special tools and equipment should be minimized.
- **Safety measures** The design of the equipment should be such that adequate safety protection, conforming to statutory health and safety regulations, comes into operation when it is opened for maintenance.
- **Lubrication/servicing** The designer should consider how the unit is to be lubricated, replenished or replaced when part of a complete system.
- **Servicing when system is live/working** Consideration should be given as to how an item will be made safe to work on if required to be maintained while the system is live and what action will be required to isolate it.

6.4.5.3 Environmental conditions

Human ability to perform even simple tasks is dramatically affected by adverse environments. It is therefore necessary to take into account the maintenance environmental conditions. Typical conditions that may need to be considered are as follows:

- any severe external environment (for example working high above ground or in extremely high or low temperature conditions);
- severe internal environment (for example high temperature, high voltage, vapours, radiation hazard);
- special clothing requirement and the effect of working in that clothing (for example protective or cold weather clothing);
- physical restrictions on the maintainer, such as size, weight, etc. (for example limited access to some compartments);
- special equipment which may be required to maintain and operate equipment in extreme conditions (for example heaters, air conditioning equipment).

6.5 Externally provided products

6.5.1 Subcontracted products

When parts of the product are supplied by second level suppliers (subcontractors), the first level supplier should ensure that appropriate maintainability programme requirements are invoked for these parts and that they adequately correspond to the requirements for the entire deliverable product.

6.5.2 Customer-provided products

In the case where the customer provides parts of the product for inclusion in the deliverable product, it is desirable that the supplier should request the customer to provide

- evidence that the part has been or is being designed and manufactured according to an agreed maintainability programme;
- relevant data and information about the customer-provided part needed, for inclusion in the maintainability analysis of the end product;
- identification of any problem that may be encountered with the customer-provided parts.

6.6 Méthodes d'analyse et de prévision

6.6.1 Aspects des AMDE et des AMDEC liés à la maintenabilité

Idéalement, les analyses des modes de défaillance, de leurs effets (et de leur criticité) sont réalisées en tant que partie de la démarche de conception de la fiabilité. Les résultats sont utilisés pour analyser la maintenance proposée et la politique d'essais sur lesquelles sont basés les tests, les plans de maintenance préventive et de maintenance corrective.

La procédure d'analyse de maintenabilité confirmera, par exemple, que

- les actions de maintenance proposées sont conformes aux exigences de maintenabilité;
- chaque dysfonctionnement sera apparent pour l'opérateur; sinon, l'analyse indiquera si un système d'alarme de panne ou un examen périodique pour déceler les pannes cachées est requis;
- le personnel de maintenance sera capable de localiser une panne et d'établir si elle est due à un dysfonctionnement du matériel, d'un microprogramme ou d'un logiciel. Cela permettra d'établir si un équipement de test intégré (ETI) ou un équipement d'essai externe est nécessaire;
- la réparation sera possible en utilisant des outils de maintenance usuels ou si des outils spéciaux seront nécessaires.

Ces facteurs sont fondamentaux pour concevoir les fonctions et les critères de la maintenabilité. Davantage de détails sur l'application des techniques AMDE et AMDEC peuvent être trouvés dans la CEI 60812. Des conseils supplémentaires sur l'utilisation des essais pour diagnostic et des ETI sont donnés dans la CEI 60706-5.

6.6.2 Analyse par arbre de pannes

L'analyse par arbre de panne (AAP) est une approche descendante structurée qui identifie les causes possibles qui conduisent un produit à la panne. C'est une autre méthode qui peut être utilisée pour identifier pour chaque mode de panne la manière selon laquelle une panne peut être détectée et localisée. C'est un outil d'analyse utile qui peut servir à déterminer les relations entre les taux de défaillance, les temps de réparation et l'usage des pièces de rechange, et qui est le point de départ pour certains programmes d'analyses informatiques utilisés dans ce but. Elle peut être aussi employée pour déterminer les périodicités de la maintenance systématique et pour les décisions de réparation ou de remplacement.

L'analyse par arbre de panne est particulièrement adaptée aux systèmes complexes comprenant plusieurs sous-systèmes fonctionnellement en relation ou dépendants, ayant des objectifs de performance différents. La procédure s'applique plus généralement à de grands procédés tels qu'un avion, des systèmes de communication, des installations chimiques ou d'autres procédés industriels.

Tous les détails pour l'application de l'analyse par arbre de panne sont donnés dans la CEI 61025.

6.6.3 Maintenance basée sur la fiabilité (MBF)

La Maintenance basée sur la fiabilité (MBF) est une méthode pour établir un programme de maintenance préventive initial, destinée à assurer que les niveaux inhérents de fiabilité et de sécurité des matériels et des structures sont atteints et entretenus.

6.6 Analysis and prediction methods

6.6.1 Maintainability aspects of FMEA and FMECA

Ideally, fault modes, effects (and criticality) analyses are carried out as part of the reliability design process. The results are used to analyse the proposed maintenance and test philosophy on which the testing, preventive maintenance and corrective maintenance plans are based.

The maintainability analysis procedure will confirm, for example, that

- the proposed maintenance actions conform to the maintainability requirements;
- each malfunction will be apparent to the operator; if not, the analysis will indicate if a fault warning system or a periodic examination to identify hidden faults is required;
- the maintainer will be able to locate a fault and determine whether it is due to a hardware, firmware or software malfunction. This in turn will establish whether built-in test equipment (BITE) or external test equipment is required;
- repair will be possible using normal maintenance tools or whether special tools would be necessary.

These factors are fundamental to the maintainability design function and maintainability design criteria. More detailed guidance on the application of FMEA and FMECA techniques may be found in IEC 60812. Further guidance on the use of diagnostic testing and BITE is given in IEC 60706-5.

6.6.2 Fault tree analysis

Fault tree analysis (FTA) is a top down structured approach which identifies the possible causes that lead to a fault in an item. It is another method which can be employed to identify for each fault mode the method by which a fault can be detected and located. It is a useful analysis tool which can be used for determining the relationship between failure rates, repair times and spares usage and is the starting point for some computer analysis programmes used for this purpose. It can also be used in the determination of scheduled maintenance periods and for taking 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.

Full details of the application of fault tree analysis is given in IEC 61025.

6.6.3 Reliability centred maintenance (RCM)

Reliability centred maintenance (RCM) is a method for establishing an initial preventive maintenance program, which is intended to ensure that the inherent reliability and safety levels for equipment and structures are achieved and maintained.

La MBF permet, en utilisant un arbre de décision logique, d'identifier les besoins en maintenance des matériels et des structures en tenant compte des conséquences sur la sécurité et des conséquences opérationnelles de chaque défaillance ainsi que du mécanisme de dégradation responsable de ces défaillances. Le résultat final du travail, au moyen de la logique de décision, est un jugement tel que la nécessité d'exécuter une tâche de maintenance et le moment où il convient qu'elle soit réalisée.

Toutes les tâches sont basées sur des préoccupations de sécurité, environnementales, opérationnelles et économiques. Cependant, il convient de noter que les tâches décrites ne sont pas requises automatiquement dans chaque programme, mais doivent être spécifiées au cas par cas. Le succès de l'application de la MBF repose sur la compréhension des matériels et de la structure, de leurs systèmes, sous-systèmes, composants, de leurs défaillances et des conséquences de ces défaillances.

Une mise en œuvre correcte de la MBF aidera considérablement à satisfaire l'objectif du programme de maintenabilité: maximiser la disponibilité du produit au moindre coût de cycle de vie.

La CEI 60300-3-11 fournit des précisions sur la mise en œuvre d'un programme MBF.

6.6.4 Prévisions de maintenabilité

6.6.4.1 Généralités

La maintenabilité d'un produit doit être prévue lors de la phase de conception pour garantir qu'il sera conforme aux prescriptions. Lorsque la maintenabilité semble inadaptée sur certains points, il convient d'envisager une modification de la conception du produit à un stade précoce ou de développer une méthode de maintenance améliorée pour résoudre le problème. Il convient que ces étapes soient mises en œuvre au plus tôt, le coût d'une modification de la conception étant d'autant plus élevé que cette modification est envisagée tardivement.

6.6.4.2 Méthodes

Le moyen de base pour prédire les performances de maintenabilité est d'analyser la façon selon laquelle des produits similaires se sont comportés dans le passé. Cela peut être comparé avec la conception du produit en développement pour évaluer la portée des améliorations de la fiabilité et de la maintenabilité.

Lorsqu'un produit similaire n'a pas été produit auparavant, on peut analyser les matériels qui doivent être incorporés dans le nouveau produit et la manière avec laquelle ils vont vraisemblablement interagir les uns avec les autres. Ainsi, on peut faire des hypothèses sur les caractéristiques vraisemblables de la maintenabilité.

Il existe de nombreuses procédures pour prédire la maintenabilité décrites dans des recueils traitant de maintenabilité.

La CEI 60706-2 donne des détails supplémentaires sur les prévisions de maintenabilité. La CEI 60863 est aussi utile.

6.6.4.3 Conditions d'environnement de la maintenance

Le scénario d'exploitation étant défini et la durée nécessaire à la réparation étant estimée, il est indispensable d'affiner l'estimation en prenant en compte les conditions d'environnement de la maintenance. La compréhension des conditions d'environnement est essentielle à l'établissement d'une durée de réparation réaliste et les facteurs décrits en 6.4.5.3 doivent être pris en considération.

RCM provides, for the use of a decision logic tree, to identify the maintenance requirements of equipment and structures according to the safety and operational consequences of each failure and the degradation mechanism responsible for these failures. The end result of working through the decision logic is a judgment as to the necessity of performing a maintenance task and when it should be performed.

All tasks are based on safety, environmental, operational and economic concerns. However, it should be noted that the tasks described are not automatically required in every program, but have to be specified on a case by case basis. Successful application of RCM requires an understanding of the equipment and structure, their systems, subsystems, items of equipment and their failures, and the consequences of those failures.

Proper implementation of RCM will greatly assist in meeting the maintainability programme objective of maximizing product availability at the lowest life cycle cost.

IEC 60300-3-11 provides guidance on the implementation of an RCM programme.

6.6.4 Maintainability predictions

6.6.4.1 General

The maintainability of a product needs to be predicted during the design phase to ensure that it is going to meet the requirement. If any areas are found where the maintainability is seen to be inadequate, a redesign of the product should be considered at an early stage or an improved maintenance method developed to resolve the problem. These steps should be taken at the earliest opportunity as the cost of changing the design increases with time.

6.6.4.2 Methods

The basic tool for predicting maintainability performance is an analysis of the way in which similar products have performed in the past. This may be compared with the design of the product being developed to consider the extent to which reliability and maintainability have been improved.

Where no similar products have been produced in the past, an analysis can be made of the materials to be incorporated in the new product and the way in which they are likely to interact with one another. In this way likely maintainability characteristics can be hypothesized.

There are a number of procedures for maintainability prediction which can be found in text books on maintainability.

IEC 60706-2 gives more detail on maintainability prediction. IEC 60863 is also relevant.

6.6.4.3 Maintenance environmental conditions

Having established the operational scenario and estimated the repair time required, it is necessary to refine the estimate by taking into account the maintenance environmental conditions. Understanding the environmental conditions is essential to establishing a realistic repair time and the factors given in 6.4.5.3 need to be considered.

6.6.5 Analyse de compromis

Les possibilités de compromis pendant la phase de conception et de développement d'un produit ont été exposées en 6.4.2. De tels compromis peuvent prendre de nombreuses formes et influencer sur la manière avec laquelle le produit réalise et satisfait les fonctions pour lesquelles il est conçu. Il y a de nombreux domaines dans lesquels des analyses de compromis peuvent être appliquées à la maintenabilité pour obtenir la solution optimale à un prix raisonnable. Certains de ces domaines sont

- la réparation versus le rebut;
- le degré d'automatisation;
- l'équipement de test, automatique, intégré ou manuel;
- le niveau de réparation sur site et à l'extérieur;
- le degré de modularité;
- l'utilisation de redondance versus la fiabilité.

Les caractéristiques de maintenabilité, de fiabilité et de disponibilité peuvent toutes être modifiées pour obtenir des performances optimales pour un coût acceptable. Le compromis acceptable peut être trouvé en utilisant les techniques d'analyse du coût de cycle de vie (voir 6.8).

6.6.6 Analyse de risque

Le risque peut être relatif au capital, au marché, à la propriété, à l'environnement ou à la vie humaine. Le risque résultant du dysfonctionnement d'un produit peut être financier ou physique, ou il peut s'agir des risques associés à la non-satisfaction des exigences du programme.

Ce guide se rapporte uniquement au risque qui peut provenir d'un produit et à la manière de le traiter avec une maintenance appropriée. La CEI 60300-3-9 fournit plus de détails.

Il est nécessaire d'analyser les risques éventuels afin

- d'identifier les risques potentiels et les approches pour trouver une solution;
- de juger si de tels risques sont acceptables;
- d'évaluer l'effet de tels risques en rapport avec la satisfaction des exigences du programme et des exigences réglementaires.

Il convient que le programme de maintenabilité soit maîtrisé pour assurer que les exigences du programme sont remplies. Là où elles ne sont pas remplies il y aura un risque que le produit n'accomplisse pas convenablement sa fonction et conduise ainsi à un fonctionnement dangereux, ou tout au moins plus coûteux ou moins efficace que celui spécifié.

Il est impératif que l'information sur tout risque non résolu soit donnée à l'acheteur et à l'utilisateur éventuel.

6.6.7 Revue de conception

La maintenabilité et la logistique de maintenance nécessitent d'être examinées à chaque étape du cycle de vie du produit et il convient que les experts en la matière soient intégrés dans les équipes de revue lorsqu'un projet est sujet à une revue de conception formalisée.

Il convient que les revues de conception pendant l'étape «d'utilisation» prennent en considération dans quelle mesure les prévisions de maintenabilité et de maintenance faites pendant la conception ont été atteintes. Cela peut conduire à des améliorations de la maintenance des produits actuels ou futurs.

Il convient que les compromis entre la fiabilité et la maintenabilité soient aussi examinés en se référant aux manuels techniques, à l'état du stock de pièces de rechange et aux dispositions requises de maintenance. La CEI 61160 contient davantage de précisions à ce sujet.

6.6.5 Trade-off analysis

The possibilities of trade-offs during the design and development of a product were discussed in 6.4.2. Such trade-offs may take a number of forms and involve the way in which the product performs and satisfies its design function. There are a number of areas in which trade off analyses can be applied to maintainability to achieve the optimum solution at a price which is affordable. Some of these areas are

- repair against discard;
- degree of automation;
- automatic, built-in or manual test equipment;
- level of repair on and off site;
- degree of modularization;
- use of redundancy against reliability.

Maintainability, reliability and availability characteristics may all be modified in order to achieve optimum performance at an acceptable capital cost. The acceptable balance can be found by the use of life cycle cost analysis techniques (see 6.8).

6.6.6 Risk analysis

Risk may take the form of a risk to capital, to a market, to property, to the environment or to human life. The risk may be financial or physical resulting from the malfunction of the product or the risks associated with failing to meet the requirements of the programme.

This guide is confined to the risk which may arise from a product and how to deal with it by proper maintenance. More complete guidance will be found in IEC 60300-3-9.

The possibility of risk needs to be analysed to

- identify potential risks and approaches to their solutions;
- judge the acceptability of such risks;
- assess the effect of such risks on meeting programme and regulatory requirements.

The maintainability programme should be monitored to ensure that the requirements of the programme are being met. Where they are not being met, there will be a risk that the product will not fulfil its function properly and will result in a dangerous, or at least a less efficient or more expensive operation, than specified.

It is imperative that information on any unresolved risks be passed to the purchaser and eventual user.

6.6.7 Design review

Maintainability and maintenance support need to be reviewed at each stage of the product life cycle and experts in those subjects should be included in the review teams when a project is subject to a formal design review.

Design reviews during the "use" stage should consider the extent to which the maintainability and maintenance predictions made during the design have been achieved. This may lead to improvements in the maintenance of the current and future products.

Trade-offs between reliability and maintainability should also be reviewed together with the standard of technical manuals, the provision of spare parts and the maintenance facilities required. IEC 61160 contains further guidance.

6.7 Vérification, validation et essai

6.7.1 Vérification de la maintenabilité

La vérification est la démarche qui consiste à déterminer si les exigences imposées dans les spécifications ont été réalisées. Cette évaluation peut effectivement commencer aussitôt que les résultats des essais et des analyses sont disponibles et peut se poursuivre pendant le développement du projet et se prolonger pendant la phase d'utilisation.

Il convient que les démarches de vérification à utiliser soient définies dans les spécifications, et les méthodes peuvent varier de la soumission par le fournisseur de données ou d'informations appropriées, jusqu'à une demande d'exécution d'essais spéciaux de démonstration.

La vérification de maintenabilité est une démarche continue de production, de recueil et d'évaluation de données relatives à la maintenabilité lorsqu'elles deviennent disponibles au cours du développement d'un projet, et de comparaison des résultats aux exigences spécifiées. Elle peut être réalisée par

- l'analyse de données historiques et la comparaison avec les résultats des revues de conception et des prévisions de maintenabilité;
- des études spéciales, telles que l'évaluation de la facilité à être maintenu ou des études de simulation, conduites pour étudier des problèmes généraux ou particuliers;
- l'examen de l'expérience en exploitation et des données de terrain, corrélé si nécessaire avec l'examen et l'analyse de données historiques.

La méthode utilisée pour vérifier les exigences de maintenabilité dépendra du type de produit et de son importance et sera habituellement spécifiée dans le contrat. Elle peut aussi concerner différents aspects des performances pour les diverses phases du cycle de vie. Il convient qu'un essai de maintenabilité implique des activités de maintenance manuelles et automatiques adaptées au produit. Il convient que des essais de régression et une répétition des essais soient exécutés lors des modifications de conception et pendant le développement du produit pour détecter tout effet sur la maintenabilité du produit.

6.7.2 Planification des validations et des essais

La validation est la démarche qui consiste à déterminer si le produit final et les fonctions de soutien sont ou non conformes aux spécifications de sûreté de fonctionnement.

Généralement, les essais de maintenabilité se divisent en deux catégories, qui sont

- **les essais de qualification de maintenabilité** C'est la première phase d'essais, qui comprend le travail fait pendant les études initiales, pendant le développement du prototype et sur les premiers produits de série. Le but de ces essais est d'assurer au contractant que le produit satisfait aux exigences du client;
- **la démonstration de maintenabilité** C'est la phase d'essai la plus formelle, sur un produit pleinement représentatif, qui, comme son nom l'indique, démontre au client que le produit remplit les objectifs de maintenabilité.

6.7.2.1 Essais de qualification de maintenabilité

Pour un système complexe, il peut ne pas être économique de planifier une série d'essais de qualification qui sont spécifiquement destinés à confirmer les attributs de maintenabilité.

Les paramètres fonctionnels des produits prototypes et de leurs composants peuvent être essayés en utilisant les normes préparées pour eux. Cependant, il se peut que ces normes ne soient pas celles utilisées en phase de production. De plus, il est possible, lorsque le produit est en développement, que les procédures pour l'essayer ainsi que ses systèmes et ses composants soient développés en même temps.