

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
706-2**

Première édition  
First edition  
1990-09

**Guide de maintenabilité de matériel**

**Partie 2:**

Section cinq – Etudes de maintenabilité  
au niveau de la conception

**Guide on maintainability of equipment**

**Part 2:**

Section Five – Maintainability studies during  
the design phase



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 706-2: 1990

## Validité de la présente publication

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

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

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

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

## Terminologie

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

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

## Symboles graphiques et littéraux

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

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

et pour les appareils électromédicaux,

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

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

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

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

## Validity of this publication

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

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

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

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

## Terminology

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

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

## Graphical and letter symbols

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

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

and for medical electrical equipment,

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

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

## IEC publications prepared by the same technical committee

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

# NORME INTERNATIONALE INTERNATIONAL STANDARD

CEI  
IEC  
**706-2**

Première édition  
First edition  
1990-09

## Guide de maintenabilité de matériel

### Partie 2:

Section cinq – Etudes de maintenabilité  
au niveau de la conception

## Guide on maintainability of equipment

### Part 2:

Section Five – Maintainability studies during  
the design phase

© CEI 1990 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale CODE PRIX  
International Electrotechnical Commission PRICE CODE  
Международная Электротехническая Комиссия

R

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

## SOMMAIRE

|   | Pages |
|---|-------|
| AVANT-PROPOS .....  | 4     |
| INTRODUCTION .....  | 6     |
| Articles  |       |
| 1     Domaine d'application .....                                     | 6     |
| 2     But des études .....  | 6     |
| 3     Etudes de maintenabilité durant les phases de conception .....  | 6     |
| 3.1     Généralités .....   | 6     |
| 3.2     Analyse de maintenabilité .....                               | 16    |
| 3.3     Moyens de conception pour la maintenabilité .....             | 28    |
| Annexe A (informative) – Exemple d'allocation de maintenabilité ..... | 34    |

IECNORM.COM : Click to view and edit PDF file 706-2:990

## CONTENTS

|   | Page |
|---|------|
| FOREWORD .....  | 5    |
| INTRODUCTION .....  | 7    |
| Clause  |      |
| 1 Scope .....   | 7    |
| 2 Objectives .....  | 7    |
| 3 Maintainability studies in the design process .....                 | 7    |
| 3.1 General .....   | 7    |
| 3.2 Analysis .....  | 17   |
| 3.3 Design support .....  | 29   |
| Annex A (informative) – Example of a maintainability allocation ..... | 35   |

IECNORM.COM : Click to view a full PDF copy of IEC 6006-2:1990

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### GUIDE DE MAINTENABILITÉ DE MATÉRIEL

#### Partie 2: Section cinq Etudes de maintenabilité au niveau de la conception

#### AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le voeu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

Le présent guide a été établi par le Comité d'Etudes n° 56 de la CEI: Fiabilité et maintenabilité.

Le texte de ce guide est basé sur les documents suivants:

| Règle des Six Mois | Rapport de vote |
|--------------------|-----------------|
| 56(BC)109          | 56(BC)123       |

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur les votes ayant abouti à l'approbation de ce guide.

NOTE - Les termes et définitions de ce guide diffèrent de ceux du VEI (50)191. Toutefois, ils seront alignés avec les recommandations du VEI (50)191, dans une prochaine révision comprenant les parties de la CEI 706.

L'annexe A est informative.

La Publication 706-1 de la CEI, parue en 1982, comprend les sections suivantes:

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

La Publication 706-3 de la CEI, parue en 1987, comprend les sections suivantes:

- Section six - Vérification de la maintenabilité.  
Section sept - Recueil, analyse et présentation des données relatives à la maintenabilité.

Les titres prévus pour les autres sections de cette série sont:

- Section quatre - Contrôles et essais pour l'établissement de diagnostics.  
Section huit - Planification de la maintenance et de la logistique de maintenance.  
Section neuf - Méthodes statistiques en maintenabilité.

Ces sections quatre, huit et neuf seront publiées comme parties.

La publication suivante de la CEI est citée dans le présent guide:

Publication n° 812 (1985), Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes - Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE).

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## GUIDE ON MAINTAINABILITY OF EQUIPMENT

Part 2: Section Five  
Maintainability studies during the design phase

## FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This guide has been prepared by IEC Technical Committee No. 56: Reliability and maintainability.

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

| Six Months' Rule | Report on Voting |
|------------------|------------------|
| 56(CO)109        | 56(CO)123        |

Full information on the voting for the approval of this guide can be found in the Voting Report indicated in the above table.

NOTE - Terms and definitions in this guide deviate from those of IEV (50)191. They will, however, be aligned to the recommendations of IEV (50)191 at a future revision comprising all parts of IEC 706.

Annex A is informative.

IEC Publication 706-1, issued in 1982, contains the following sections:

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

IEC Publication 706-3, issued in 1987, contains the following sections:

Section Six - Maintainability verification.  
Section Seven - Collection, analysis and presentation of data related to maintainability.

Tentative titles for other sections of this series are:

Section Four - Diagnostic testing.  
Section Eight - Maintenance and maintenance support planning.  
Section Nine - Statistical procedures in maintainability.

Sections Four, Eight and Nine will be published as parts.

*The following IEC publication is quoted in this guide:*

Publication No. 812 (1985), Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).

## GUIDE DE MAINTENABILITÉ DE MATÉRIEL

### Partie 2: Section cinq Etudes de maintenabilité au niveau de la conception

#### INTRODUCTION

Le présent guide de maintenabilité est destiné à donner des recommandations pour la normalisation des procédures de maintenabilité et à susciter l'éclosion d'idées nouvelles dans ce domaine. Ce guide aidera les utilisateurs à définir leurs exigences de maintenabilité et les programmes correspondants. Les fournisseurs en tireront profit grâce à une meilleure compréhension des exigences relatives à la réalisation et à la vérification des objectifs de maintenabilité.

Le présent guide constitue la section cinq du guide. La publication définitive de la série complète, qui comprendra neuf sections, prendra plusieurs années mais, chaque section pouvant apporter une contribution aux besoins d'autres Comités d'Etudes de la CEI, il a été décidé de faire paraître chaque section dès que sa publication est approuvée.

#### 1 Domaine d'application

Le présent guide expose les études de maintenabilité durant les phases préalables et détaillées de la conception, et leur relation avec les autres tâches de maintenabilité et de maintenance, décrites dans d'autres sections du guide. La présente section décrit les études de maintenabilité et de conception choisies.

Elle comporte également des considérations sur la maintenabilité lors de l'analyse critique de la conception.

#### 2 But des études

Les études de maintenabilité ont pour but:

- de faciliter la prise de décisions pour la conception;
- de chiffrer les caractéristiques de maintenabilité du dispositif;
- d'identifier les modifications à apporter dans la conception ou dans les exigences, ou les deux, pour répondre aux besoins de l'exploitation dans la limite des contraintes imposées.

Il convient de mettre au point et d'intégrer les études de maintenabilité au processus de conception pour satisfaire aux exigences opérationnelles du système. Pour s'assurer que ces exigences sont satisfaites, il convient d'effectuer les études de maintenabilité pendant toutes les phases de conception; les résultats obtenus pourront fournir des éléments pour toute prise de décision au cours de la conception.

#### 3 Etudes de maintenabilité durant les phases de conception

##### 3.1 Généralités

Les études de maintenabilité font partie du programme de maintenabilité dont le but est de s'assurer que les dispositifs livrés répondent aux exigences de maintenabilité. Elles devront être programmées et menées par le fournisseur d'un dispositif, même si elles ne sont pas spécifiées par contrat.

## GUIDE ON MAINTAINABILITY OF EQUIPMENT

### Part 2: Section Five Maintainability studies during the design phase

#### INTRODUCTION

This guide on maintainability is intended to make recommendations for the standardization of maintainability practices and to stimulate ideas in the maintainability field. This guide will assist users in defining maintainability requirements and associated programmes. Suppliers will gain an understanding of the requirements for achieving and verifying maintainability objectives.

This guide contains Section Five of the guide. Final publication of the complete series, which will comprise nine sections, is expected to take several years, but since each section is able to make a contribution to the needs of other IEC Technical Committees, it has been decided to issue each section as it is approved for publication.

#### 1 Scope

This guide outlines maintainability studies in the preliminary and detailed design phases and their relationships to other maintainability and maintenance support tasks, which are described in other sections of the guide.

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

#### 2 Objectives

The objectives of maintainability studies are:

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

Maintainability studies should be developed and integrated with the design process to meet the stated system operational requirements. To ensure that these requirements are met, maintainability studies should be carried out during all phases of design, and their results should provide inputs to design decision-making.

#### 3 Maintainability studies in the design process

##### 3.1 General

Maintainability studies form a part of the maintainability programme intended to ensure that the delivered item meets its maintainability requirements. They should be planned and performed by the supplier, even if they are not contractually specified.

L'analyse de maintenabilité, qui fait partie intégrante des études de maintenabilité, est une méthode qui traduit les exigences opérationnelles en données de maintenabilité qualitatives et quantitatives détaillées et en critères de conception. Cette analyse fournit des éléments pour la conception et permet d'établir les documents suivants:

- les exigences spécifiques de la maintenabilité devant être respectées dès la conception;
- un guide et des listes de contrôle d'aide à la conception, pour s'assurer que les caractéristiques de maintenabilité nécessaires sont incluses dans la conception;
- un résumé des exigences fondamentales et des fonctions de la logistique de maintenance.

Les analyses de maintenabilité sont, dès la conception, liées aux études itératives de compromis, dont certaines peuvent être nécessaires avant de choisir la meilleure conception. Elles permettent également d'évaluer dans quelle mesure les exigences de conception de la maintenabilité sont respectées.

Afin de fournir des résultats optimaux, les analyses devront être basées sur un concept de maintenance établi parallèlement à l'optimisation de la conception, en conformité avec le concept opérationnel du dispositif et les contraintes de maintenance présentes au niveau de l'organisation de l'utilisateur (interaction entre les niveaux de maintenance, les échelons de maintenance et les conditions de maintenance devant être appliquées). Le concept opérationnel est une description de la définition de la mission, du déploiement opérationnel ainsi que du cycle de vie, de l'utilisation et de l'environnement opérationnel. Les éléments du concept de maintenance seront décrits dans la section huit du guide.

L'ingénieur d'étude est responsable du respect des contraintes d'exploitation, y compris celles concernant la maintenabilité dans la limite des contraintes habituelles de l'échéancier et du coût. Pour respecter ces contraintes, la maintenabilité devra être indiquée au début de la phase de conception et les études de maintenabilité nécessaires devront être effectuées en même temps que la conception. Ces études sont menées sous la responsabilité de l'ingénieur chargé de la maintenabilité; elles sont plus ou moins étendues et approfondies selon les besoins et dépendent du degré de complexité du système, ainsi que du niveau critique du dispositif vis-à-vis des exigences en matière de sécurité, de disponibilité et de fiabilité.

La conception est une méthode itérative et chaque tâche de cette conception fournit des éléments pour les tâches suivantes, ainsi que pour celles qui sont menées parallèlement. Les données d'entrée essentielles à l'analyse de maintenabilité qui ne sont pas incluses dans le présent guide sont:

- les données de sortie issues des études de fiabilité;
- les résultats des analyses de maintenabilité conduites au niveau de l'équipement, qui devraient être délivrés par les fournisseurs d'équipement en tant que partie de leur programme de maintenabilité.

La plupart des projets à haute performance pour lesquels un programme de maintenabilité doté d'une bonne vue d'ensemble est important reposent en très grande partie sur les sous-traitants. En conséquence, il est nécessaire d'intégrer les sous-traitants dans le programme de maintenabilité global de tels projets.

La figure 1, ainsi que le tableau 1, sont des exemples de la façon dont les études de maintenabilité dans la phase de conception et leurs conséquences sont reliées aux tâches de conception. Cet exemple montre également la relation entre les analyses de maintenabilité et de logistique de maintenance (voir section huit) qui sont effectuées en parallèle.

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

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

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

In order to provide optimum results, analyses should be based on a maintenance concept established in parallel with the design optimization. They should accord with the operational concept of the item and the maintenance constraints (interrelationships between levels of maintenance, lines of maintenance and maintenance conditions) in the user's organization. The operational concept results in mission definition, operational deployment, life-cycle, utilization and operational environment. The elements of the maintenance concept will be described in Section Eight of the guide.

The designer is responsible for the achievement of operational requirements including maintainability requirements in design within the usual constraints of schedules and costs. In order to satisfy these requirements, maintainability should be specified at the beginning of the design process and necessary maintainability studies should be performed during this process. The maintainability engineer is responsible for conducting these maintainability studies. Their extent and depth will be dictated by the particular needs which themselves depend on the degree of system complexity and item criticality with respect to required safety, availability and reliability.

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

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

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

Figure 1, together with table 1, is an example of the way in which maintainability studies in design and their sequences relate to design tasks. This example also shows the relationship between maintainability analysis and maintenance support analysis (see Section Eight) which are carried out in parallel.

Tableau 1 - Tâches détaillées des études de maintenabilité

### CONCEPTION ET DÉVELOPPEMENT PRÉLIMINAIRES DU SYSTÈME

- Différentes solutions
- Conception préliminaire

### DÉFINITION DU SYSTÈME

- Etudes de compromis au niveau système
- Choix de la conception optimale du système
- Spécification du système
- Choix des sous-traitants

### ANALYSE PRÉLIMINAIRE DE MAINTENABILITÉ

- Blocs diagrammes
- Estimation de faisabilité
- Allocation
- Critères de conception

### DÉFINITION DE LA MAINTENABILITÉ

- Etudes de compromis de maintenabilité au niveau système
- Introduction de la maintenabilité dans les spécifications du système
- Introduction de la maintenabilité dans le choix des sous-traitants
- Examen critique des listes de contrôle

### ANALYSE PRÉLIMINAIRE DE LOGISTIQUE DE MAINTENANCE

- Politique de maintenance du système
- Analyse préliminaire de fiabilité, maintenabilité, logistique de maintenance

### DÉFINITION DE LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE

- Etudes de compromis de la logistique de maintenance du système
- Etudes du coût de cycle de vie
- Développement du concept de maintenance

### CONCEPTION ET DÉVELOPPEMENT DÉTAILLÉS DU SYSTÈME

- Plans
- Maquettes
- Données techniques
- Essais de développement (procédures et résultats)
- Surveillance des efforts de conception des sous-traitants

### PRÉPARATION À LA MISE EN PRODUCTION DU SYSTÈME

- Procédures de fabrication

**Table 1 - Detailed tasks in maintainability studies****PRELIMINARY SYSTEM DESIGN AND DEVELOPMENT**

- Design alternatives
- Preliminary design

**SYSTEM DEFINITION**

- System level trade-off studies
- Selection of optimum system design
- System specifications
- Subcontractor selection

**PRELIMINARY MAINTAINABILITY ANALYSIS**

- Block diagrams
- Feasibility estimation
- Allocation
- Design criteria

**MAINTAINABILITY DEFINITION**

- System level maintainability trade-off studies
- Input to system specification
- Input to subcontractor selection
- Review of check-lists

**PRELIMINARY MAINTENANCE SUPPORT ANALYSIS**

- System maintenance policy
- Preliminary reliability, maintainability and maintenance support analysis

**MAINTENANCE SUPPORT DEFINITION**

- Support system trade-off studies
- Life cycle cost studies
- Maintenance concept development

**DETAILED SYSTEM DESIGN AND DEVELOPMENT**

- Drawings
- Models
- Technical data
- Development of test procedures and results
- Control of subcontractor design efforts

**PREPARATION FOR SYSTEM PRODUCTION**

- Manufacturing procedures

Tableau 1 (fin)

## ANALYSE DÉTAILLÉE DE LA MAINTENABILITÉ

- Estimation prévisionnelle
- Etudes de compromis de maintenabilité à un plus bas niveau de composition du système
- Liaison au niveau conception
- Analyse des modes de défaillance et de leurs effets
- Etudes de facilité de maintenance
- Surveillance des programmes de maintenabilité des sous-traitants

## PRÉPARATION DE LA VÉRIFICATION DE LA MAINTENABILITÉ

- Analyse de maintenabilité des essais de développement
- Procédures de démonstration et de vérification de la maintenabilité

## ANALYSE DÉTAILLÉE DE LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE

- Analyse des tâches de maintenance
- Analyse des niveaux de réparation
- Analyse de réparation ou mise au rebut
- Analyse sur l'aptitude à effectuer des essais
- Plan de maintenance

## PRÉPARATION DE L'ACQUISITION DE LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE

- Définition des ressources de logistique de maintenance: personnel, formation, matériels d'essais et d'aide à la maintenance, manuels, rechanges, installations

## MISE EN PRODUCTION DU SYSTÈME

- Fabrication
- Essai fonctionnel

## VÉRIFICATION DE LA MAINTENABILITÉ

- Évaluation des données de vérification/démonstration de la maintenabilité

## ACQUISITION DE LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE

- Validation de la logistique de maintenance
- Optimisation des ressources de logistique de maintenance
- Acquisition

## ÉVALUATION DU SYSTÈME INTÉGRÉ

- Essais opérationnels intégrés
- Analyse finale de fiabilité, maintenabilité, logistique de maintenance

**Table 1 (concluded)****DETAILED MAINTAINABILITY ANALYSIS**

- Prediction
- Lower level trade-off studies
- Design liaison
- Failure mode and effects analysis
- Ease-of-maintenance studies
- Control of subcontractor programme

**PREPARATION FOR MAINTAINABILITY VERIFICATION**

- Analysis of development tests
- Verification/demonstration procedures

**DETAILED MAINTENANCE SUPPORT ANALYSIS**

- Maintenance task analysis
- Repair level analysis
- Repair/disposal analysis
- Testability analysis
- Maintenance plan

**PREPARATION FOR MAINTENANCE SUPPORT PROCUREMENT**

- Logistic support resources definition: personnel, training, test equipment, support equipment, manuals, spares, facilities

**SYSTEM PRODUCTION**

- Manufacturing
- Functional testing

**MAINTAINABILITY VERIFICATION**

- Evaluation of verification/demonstration data

**MAINTENANCE SUPPORT PROCUREMENT**

- Maintenance support validation
- Logistic support resources optimization
- Procurement

**INTEGRATED SYSTEM EVALUATION**

- Integrated operational test
- Final R/M/S analysis

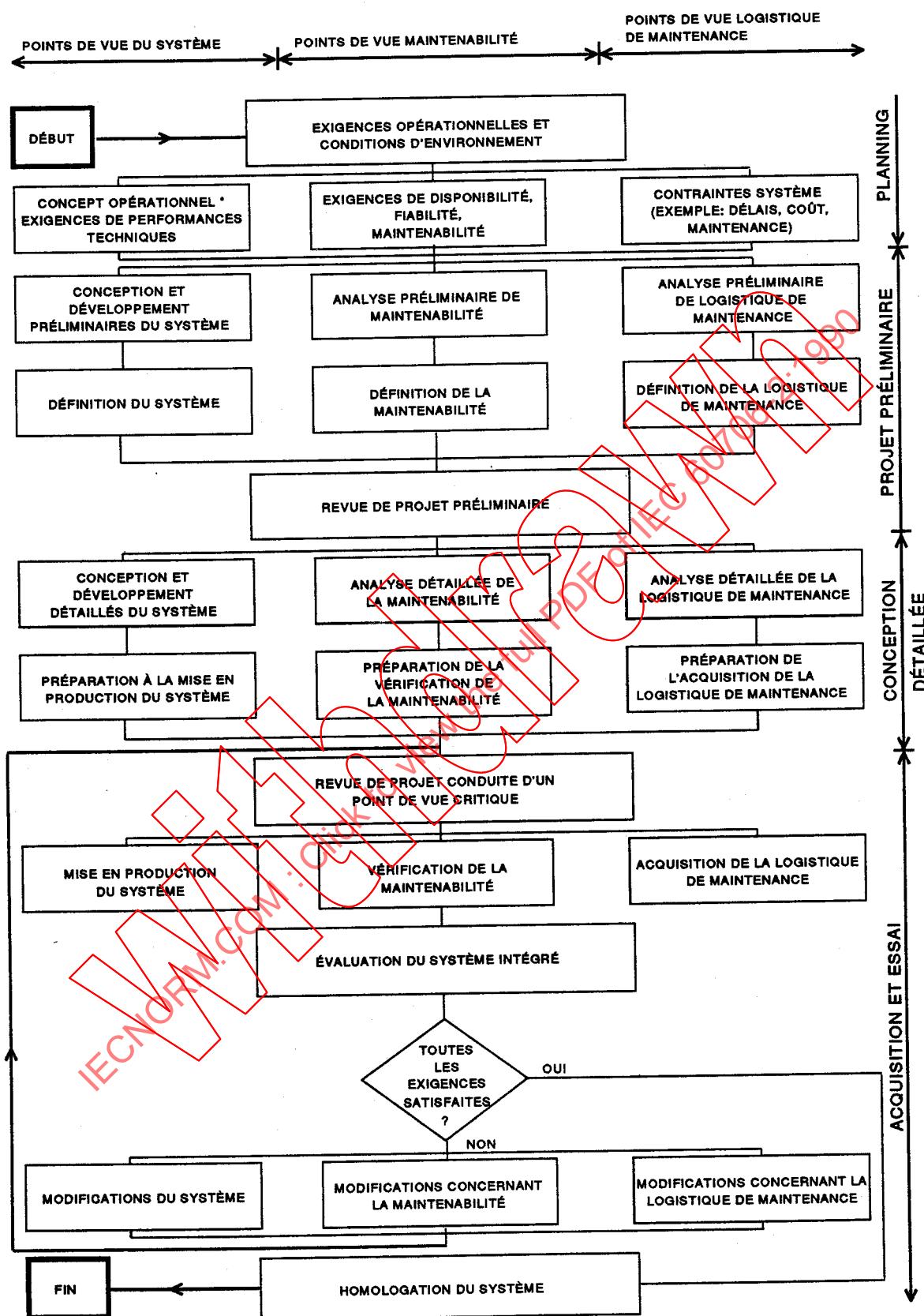


Figure 1 – Etudes de maintenabilité lors du processus de conception

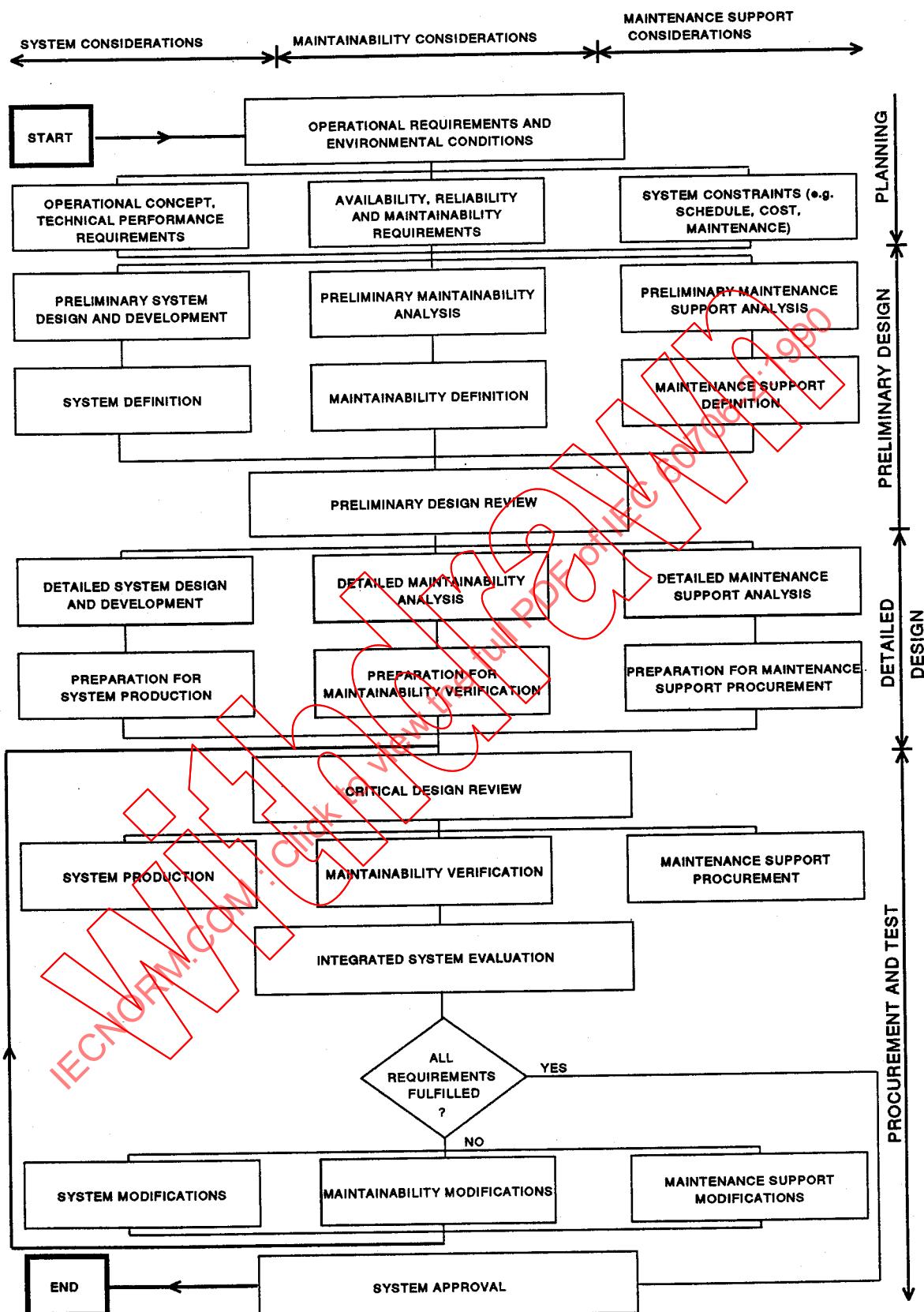


Figure 1 – Maintainability studies in the design process

### 3.2 Analyse de maintenabilité

#### 3.2.1 Conditions préalables

L'existence de contraintes de maintenabilité est une importante condition préalable aux études de maintenabilité. Ces contraintes peuvent soit être précisées par le client dans le contrat, comme indiqué dans la section deux du guide, soit apparaître en termes de contraintes opérationnelles, qui devront être traduites en spécifications fonctionnelles, de performances, de fiabilité, de maintenabilité et de sécurité avant de pouvoir être interprétées en termes de tâches de conception. Il conviendra que les exigences de maintenabilité soient définies clairement en termes qualitatifs et quantitatifs afin que la conception puisse être organisée et mise en oeuvre convenablement.

#### 3.2.2 Blocs diagrammes de maintenabilité

Lors de la conduite de l'analyse de maintenabilité, il s'avère pratique de décrire le dispositif à l'aide de blocs diagrammes, le subdivisant soit en fonctions, soit en éléments de matériel.

La décomposition du dispositif au niveau fonctionnel est déterminée en répartissant ce dernier en divers blocs fonctionnels conformes à l'analyse fonctionnelle, décrivant les fonctions essentielles du dispositif et, par conséquent, servant de base à une analyse des modes de défaillance et de leurs effets, une analyse des essais et une identification des besoins de maintenance.

Une décomposition au niveau éléments matériels correspond à la réalisation matérielle de fonctions identifiées principalement, mais non exclusivement, d'un point de vue action de maintenance. Cela facilite l'identification de dispositions de conception à prendre en matière de maintenabilité. Les sous-ensembles qui, en cas de défaillance, pourront être remis en état de fonctionnement par un remplacement complet peuvent être repérés, de même que ceux qui ne sont pas remplacables mais réparables.

Un exemple de bloc diagramme de maintenabilité au niveau matériel est présenté en figure 2. Les points de tests utilisés pour les essais, la localisation de panne ainsi que l'isolation sont également indiqués sur ce diagramme.

#### 3.2.3 Evaluation de la faisabilité de la maintenabilité

Durant la conception, il est nécessaire, à certaines étapes décisives, d'évaluer la possibilité d'autres approches avant de choisir l'une d'entre elles. Dans la phase préliminaire de conception d'un dispositif, les renseignements ne sont pas assez nombreux pour permettre d'établir une prévision détaillée et de confirmer que le dispositif correspond aux exigences de maintenabilité spécifiées, avant de poursuivre une conception détaillée. Il faut donc utiliser une procédure simplifiée pour faire une prévision globale de maintenabilité, établie principalement à partir de l'expérience acquise. Les données de maintenabilité obtenues lors de conceptions précédentes peuvent être utilisées et corrélées aux nouvelles caractéristiques de la conception et conditions de maintenance. Seules les interventions significatives de maintenance corrective et de maintenance préventive devront être identifiées et leurs durées estimées. Les résultats de l'analyse de faisabilité permettent d'évaluer la conception du système, y compris les solutions de remplacement. L'analyse de faisabilité peut également indiquer que les exigences de maintenabilité concernant le système ne peuvent être satisfaites dans les limites des contraintes spécifiées et devront faire l'objet d'une analyse de compromis.

### 3.2 Analysis

#### 3.2.1 Prerequisites

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

#### 3.2.2 Block diagrams

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

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

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

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

#### 3.2.3 Feasibility estimation

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

### 3.2.4 Allocation de maintenabilité

L'allocation de maintenabilité est la méthode qui consiste à traduire les exigences de maintenabilité du système en niveaux fonctionnels inférieurs. Il s'agit d'une méthode itérative qu'il convient de mettre en oeuvre durant la phase préliminaire de la conception. Toutefois, la procédure d'allocation ne peut être appliquée qu'aux niveaux de subdivision supérieurs, par manque d'informations. Des réitérations et une allocation vers les niveaux inférieurs seront nécessaires lorsqu'une conception détaillée aura été effectuée.

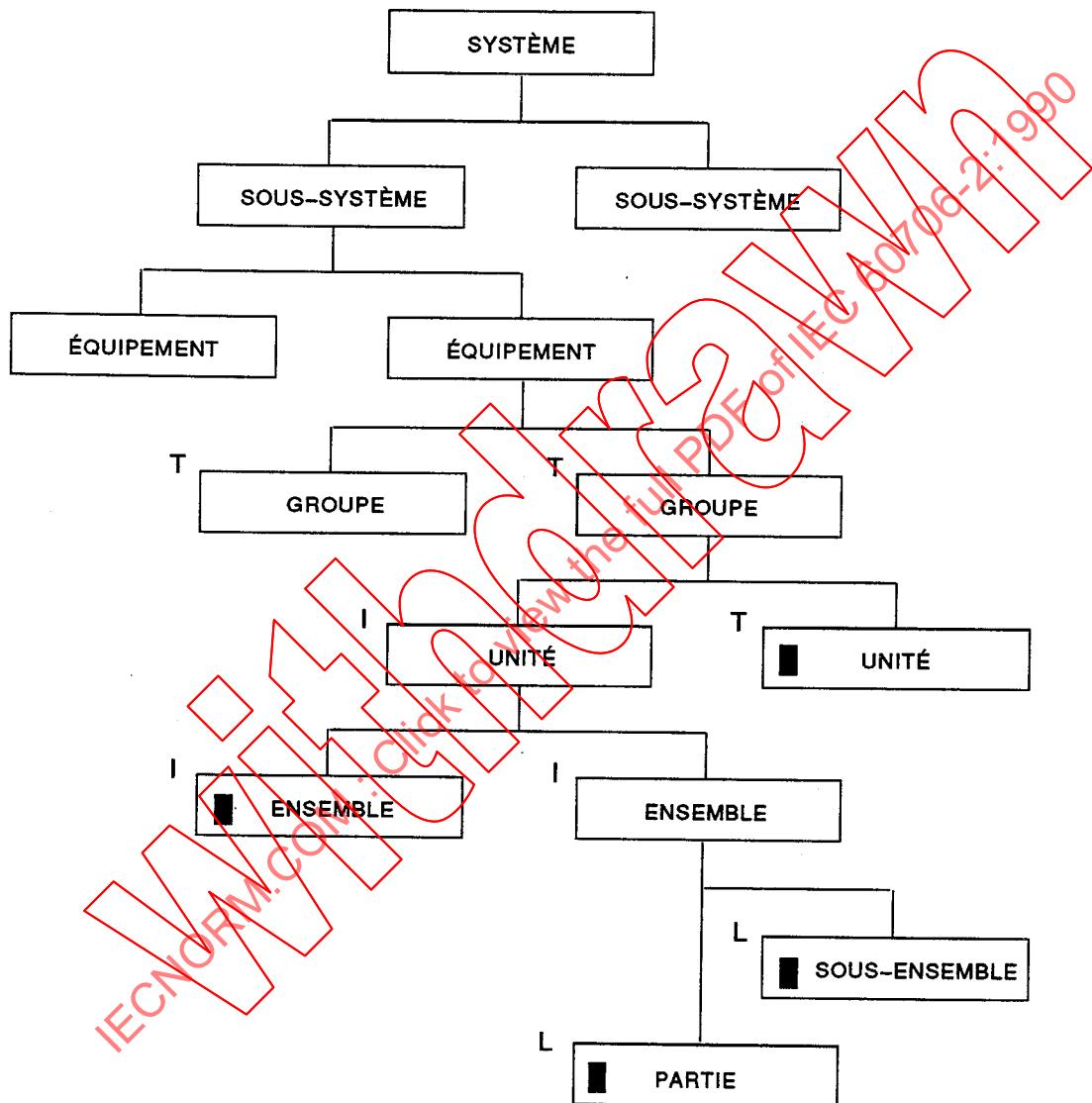
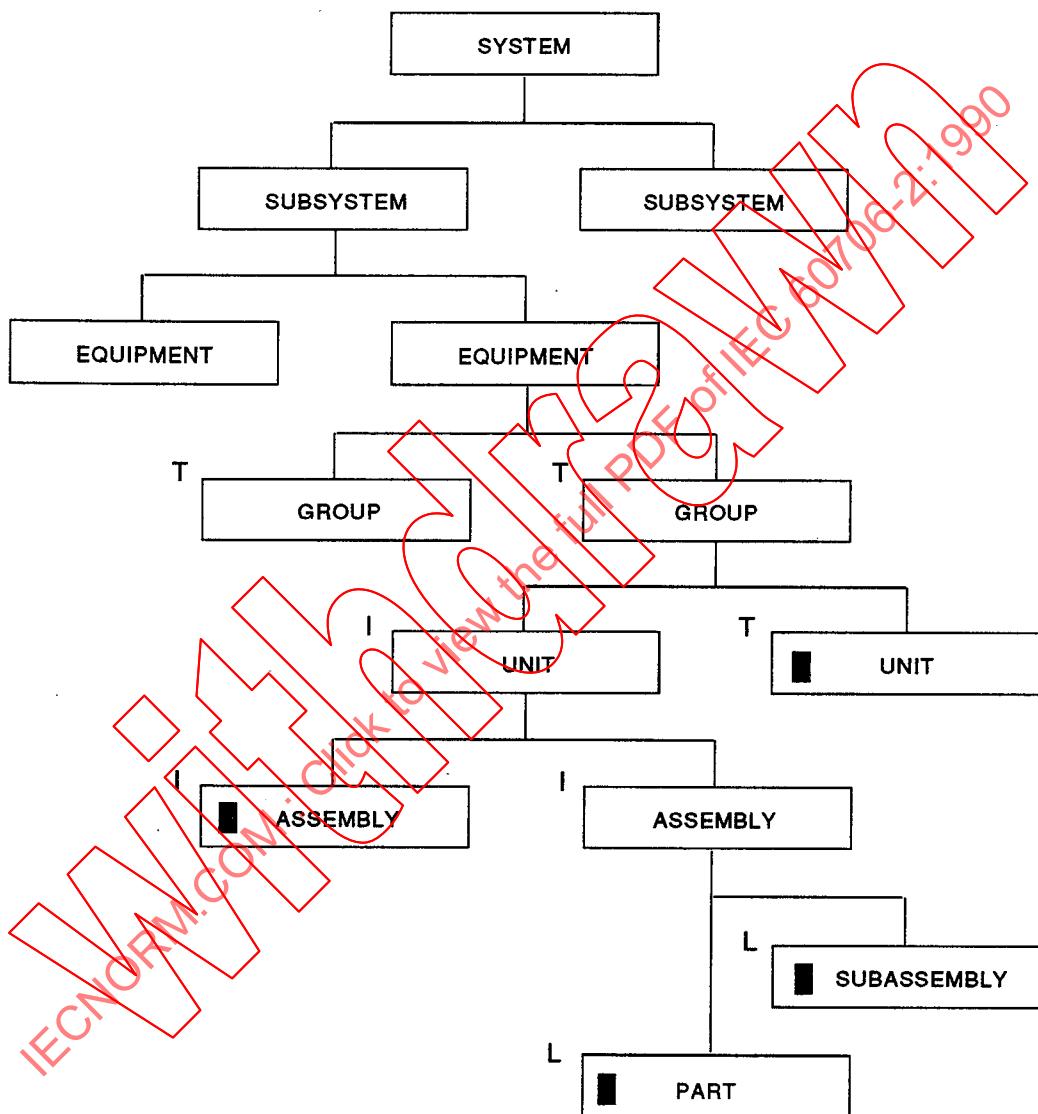


Figure 2 - Bloc diagramme de maintenabilité au niveau du matériel

### 3.2.4 Allocation

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



I Isolation points, at which failure symptoms of an equipment are determined

L Localization points, at which the failed item of an equipment is identified

T Test (check-out) points, at which the performance of an item is tested

Non-replaceable but restorable item

Replaceable item

Figure 2 - Hardware level maintainability block diagram

*La première étape de l'allocation de maintenabilité implique de décomposer le système jusqu'au niveau fonctionnel désiré. Pour cela, on peut utiliser un bloc diagramme de maintenabilité au niveau matériel comme celui qui est décrit en 3.2.2. Au cours des étapes préliminaires, il ne sera peut-être pas possible d'atteindre le niveau souhaité, mais la méthode pourra être poursuivie au fur et à mesure que des renseignements supplémentaires auront été obtenus. Cette méthode présente un aspect très important, à savoir que l'ingénieur de maintenabilité exige une évaluation de la fiabilité de chaque dispositif qu'il identifie dans le bloc diagramme. Les ingénieurs chargés de la fiabilité et de la maintenabilité doivent donc être en liaison étroite, dès le départ, et utiliser le même organigramme fonctionnel.*

*La deuxième étape est l'allocation d'une caractéristique de maintenabilité à chaque dispositif identifié, en tirant profit des meilleurs renseignements disponibles concernant sa conception et son environnement. L'allocation sera faite en fonction de la complexité relative des dispositifs concernés. Dans de nombreux cas, le taux de défaillance d'un dispositif pourra être considéré comme le niveau de complexité. Toute expérience antérieure acquise sur des équipements similaires sera prise en considération.*

Les paramètres utilisés pour l'allocation de maintenabilité sont normalement les mêmes que ceux relatifs aux exigences de maintenabilité (voir la section deux). On peut citer comme exemples:

- le temps moyen actif de réparation (TMAR) qui peut éventuellement être subdivisé en temps de diagnostic, temps de réparation et temps de contrôle;
- le temps maximal actif de réparation, si nécessaire et faisable;
- le temps moyen actif de maintenance préventive;
- le temps maximal actif de maintenance préventive, si nécessaire et faisable;
- le nombre moyen d'hommes-heures de maintenance, par heure de fonctionnement (HHM/HF);
- la durée moyenne d'indisponibilité par heure de fonctionnement pour cause de réparation;
- la durée moyenne d'indisponibilité par heure de fonctionnement pour cause de maintenance préventive.

Si nécessaire, on peut également effectuer l'allocation du temps nécessaire pour la mise en place de la logistique et du retard dû aux démarches administratives.

*La troisième étape est une étude de faisabilité de l'allocation des caractéristiques de maintenabilité de chaque dispositif identifié dans le bloc diagramme de maintenabilité au niveau matériel. Les résultats de l'allocation sont comparés à l'expérience antérieure acquise et des domaines sujets à amélioration et/ou modification concernant l'allocation sont identifiés, à partir de ces résultats, en fonction des nécessités. Lorsque cette allocation n'est pas possible, les démarches suivantes devront être effectuées:*

- améliorer la caractéristique de maintenabilité en effectuant une nouvelle démarche de conception (meilleur diagnostic, accès, modularité, fonctions, etc.);
- nouvelle allocation correspondant aux exigences de l'ensemble du système;
- diminuer les taux de défaillance en améliorant la fiabilité;
- en dernier ressort, revoir les exigences du système.

Un exemple d'allocation de maintenabilité est décrit dans l'annexe A.

The first step of allocation requires a breakdown of the system to the required functional level of detail. This can be done by means of a hardware level block diagram as described in 3.2.2. In the preliminary stages it may not be possible to reach the required depth, but as more detailed information becomes available the process can be continued. An essential input is an estimate of the reliability of each item in the block diagram. Thus it is necessary for the reliability and maintainability engineers to establish close liaison from the outset and use the same functional level diagram.

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

Parameters used for maintainability allocation are normally the same as for specifying maintainability requirements (see Section Two). Examples are:

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

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

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

- improvement of the maintainability characteristic by re-design (better diagnosis, access, modularization, facilities, etc.);
- re-allocation, subject to the overall system requirement being met;
- reduction of failure rates through reliability improvement;
- re-consideration of system requirements, as a last resort.

An example of a maintainability allocation is given in annex A.

### 3.2.5 Prévision de la maintenabilité

#### 3.2.5.1 Objet

La prévision de la maintenabilité est la démarche qui consiste à prévoir, par analyse, les caractéristiques de maintenabilité d'un dispositif et à en faire une évaluation quantitative en utilisant un modèle analytique de maintenabilité défini, dans lequel les exigences de la logistique de maintenance sont indiquées.

Les prévisions de maintenabilité devront être effectuées aux étapes importantes de la conception, ce qui permet:

- de prévoir si les exigences de maintenabilité peuvent être satisfaites et si la logistique de maintenance nécessaire est disponible pour satisfaire aux exigences d'exploitation;
- d'identifier tous les domaines où une modification est nécessaire.

Ces entrées permettent de contrôler que la conception progresse normalement, ou d'indiquer, si besoin, les nouvelles orientations ou changements au niveau de la conception.

Les démarches décrites en figure 3 devront être entreprises conformément à chaque boucle analytique.

#### 3.2.5.2 Modèle de maintenabilité

Un modèle analytique illustrant les caractéristiques de maintenabilité et les relations du dispositif étudié sera prévu. Ce modèle sera constitué à partir du bloc diagramme de maintenabilité au niveau fonctionnel du matériel décrit plus haut en 3.2.2 et déterminera les règles mathématiques permettant de combiner les paramètres de maintenabilité de ses divers éléments en fonction de contraintes données. En général, des modèles analytiques simples sont préférables; cependant, un degré élevé de complexité peut être nécessaire dans certains cas.

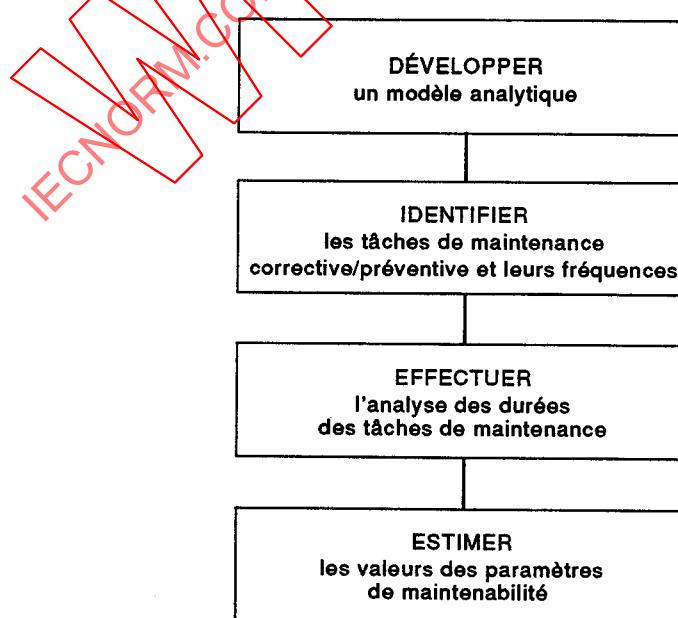


Figure 3 - Étapes fondamentales pour les prévisions de maintenabilité

### 3.2.5 Maintainability prediction

#### 3.2.5.1 Purpose

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

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

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

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

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

#### 3.2.5.2 Model

An appropriate analytical model reflecting the maintainability features and relationships of the item under consideration should be developed. The model should be based on the functional or the hardware level block diagram described in 3.2.2 to determine the mathematical rules for combining the maintainability parameters of the item under given constraints. Normally, simple analytical models should be preferred. However, in certain cases a higher degree of sophistication may be necessary.

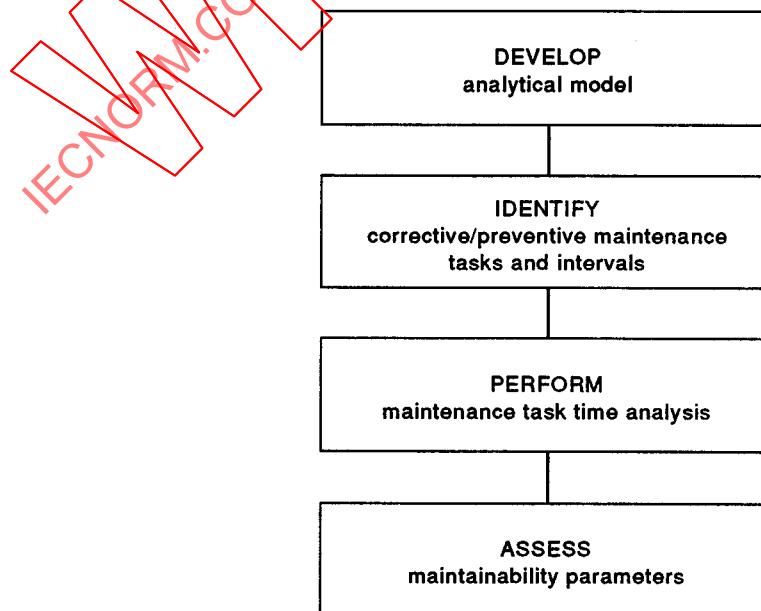


Figure 3 - Basic steps in maintainability prediction

### 3.2.5.3 Opérations de maintenance et fréquence

La prévision de maintenabilité devra tenir compte des tâches de maintenance corrective et préventive, selon leur contribution respective aux dépenses globales de maintenance:

- les paramètres permettant d'aborder la maintenance corrective seront fournis par l'analyse de fiabilité; l'AMDE (voir 3.2.7) identifie les défauts éventuels et les tâches de remise en état; les temps moyens entre opérations de maintenance corrective sont déterminés d'après les taux de défauts correspondants;
- la maintenance préventive sera étudiée en s'appuyant sur le plan de maintenance qui identifie les tâches de maintenance préventive et les intervalles correspondants en termes de temps de fonctionnement ou de cycles.

Les tâches de maintenance telles que le réapprovisionnement, la lubrification, etc., seront, selon les cas, incluses dans les tâches de maintenance corrective ou préventive.

### 3.2.5.4 Analyse des durées des tâches de maintenance

Parmi les tâches de maintenance identifiées comme indiqué en 3.2.5.3, les éléments se rapportant aux opérations effectives ainsi que ceux qui concernent les retards techniques et les éléments du support d'intervention tels que positionnement d'équipements de test, mise en œuvre d'installations, etc., peuvent être déterminés. Les durées nécessaires à l'accomplissement de ces opérations élémentaires seront estimées, dans la mesure où elles dépendent uniquement de la conception de l'équipement, c'est-à-dire sous condition que ces opérations soient exécutées conformément à des manuels homologués et par du personnel formé et compétent, sachant que toutes les ressources sont immédiatement disponibles. Les estimations seront basées sur des données réelles enregistrées ou bien sur une expérience antérieure, et rassemblées conformément à la structure des tâches de maintenance prises en considération. De cette manière, des durées de tâches de maintenance spécifiques de conception devront être estimées de façon prévisionnelle pour chaque phase importante de la tâche, telle que: préparation, localisation de panne, remplacement, ajustement ou étalonnage, vérification et préparation pour l'utilisation opérationnelle ou bien pour le stockage.

Dans l'analyse se rapportant aux applications opérationnelles, un certain nombre de durées additionnelles, qui ne sont pas spécifiques à la conception (temps d'accès, temps d'attente de nature administrative, retards dus à la logistique) devront être prises en considération. Ces durées sont principalement influencées par l'organisation de la logistique de maintenance dont il est question dans la section huit, et devront être traitées séparément.

### 3.2.5.5 Estimation du paramètre de maintenabilité

On peut faire une estimation quantitative des objectifs de maintenabilité de la conception, qui sont fondés sur les renseignements établis conformément aux paragraphes 3.2.5.2 à 3.2.5.4.

La prévision de maintenabilité dépend des exigences de maintenabilité pour la conception considérée; elle tient compte de toutes les actions de maintenance, séparément ou en combinaison.

Les paramètres de maintenabilité de conception qui servent à établir la prévision devront être les mêmes que pour l'allocation de maintenabilité. Ils seront calculés en appliquant le modèle analytique de maintenabilité aux données concernant la fréquence et la durée de la tâche correspondante.

### 3.2.5.3 Maintenance tasks and intervals

The maintainability prediction should consider corrective and preventive maintenance tasks according to their respective contributions to the overall maintenance expenditure, as follows:

- inputs for considering corrective maintenance should be provided by the reliability analysis. The FMEA (see 3.2.7) identifies possible defect events and restoration tasks. Mean times between corrective maintenance actions are determined by corresponding defect rates;
- preventive maintenance considerations should be based on the maintenance plan. This identifies the preventive maintenance tasks and the corresponding intervals, in terms of operational times and cycles.

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

### 3.2.5.4 Maintenance task time analysis

Within the maintenance tasks identified in accordance with 3.2.5.3 the relevant active task elements and the related technical delays and support task elements, such as positioning of test equipment or facilities, can be determined. The time needed to carry out these task elements should be estimated in so far as they are purely dependent on the equipment design. This implies the assumption that they are performed according to approved manuals and by trained and skilled personnel, with all resources being immediately available. The estimations should be based on historical data or previous experience and put together in accordance with the structure of the relevant maintenance tasks. In this way, design specific maintenance task times should be predicted for each important phase of the task, such as preparation, fault localization, replacement, adjustment/calibration, verification and preparation for operational use or storage.

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

### 3.2.5.5 Maintainability parameter assessment

Based on the information established in accordance with 3.2.5.2 to 3.2.5.4 inclusive, the achievement of the maintainability objectives in the design can be quantitatively assessed.

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

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

### 3.2.6 Etudes de compromis

L'étude de compromis consiste à prendre une décision lorsque plusieurs solutions sont possibles, en considérant systématiquement, et comme il convient, tous les facteurs importants, avant de choisir la meilleure solution. Ces études permettent de déterminer les avantages relatifs d'une solution de conception et du concept de maintenance qui y est lié, par rapport à une autre possibilité. Au cours de l'étape préliminaire de la conception, les évaluations de compromis concernent les paramètres d'un système de haut niveau, comme les performances, la disponibilité, la fiabilité, la maintenabilité et les coûts de cycle de vie. Par ailleurs, lors de la conception détaillée d'un dispositif spécifique de niveau inférieur, les paramètres de niveau inférieur comme l'accessibilité, les équipements de test et de soutien, l'emballage, les pièces détachées, etc., doivent être pris en compte.

Les études de compromis comportent en général les quatre étapes suivantes:

- Définition du problème

Description des facteurs spécifiques permettant de résoudre le problème;

- Identification des solutions de rechange réalisables

Tout d'abord, établir une liste de toutes les solutions possibles, puis choisir seulement celles qui semblent acceptables par rapport à l'ensemble du système;

- Choix des critères d'évaluation

Les paramètres qui doivent être utilisés pour l'évaluation seront choisis et classés en fonction de leur pertinence et de leur importance. On peut utiliser les facteurs de pondération des paramètres pour faciliter l'évaluation;

- Evaluation

Les données sont saisies, les modèles sont construits, les analyses sont effectuées et les décisions et comptes rendus sont exécutés.

Lorsque l'on effectue des études de compromis, on doit veiller à faire abstraction de considérations personnelles et à valider les données et les résultats de l'analyse. L'analyse de sensibilité permet de déterminer la variation des résultats en fonction des paramètres d'entrée.

L'un des paramètres les plus importants pour les études de compromis est le coût du cycle de vie (CCV). Au cours de la phase d'évaluation de la conception, des études de coût de cycle de vie sont effectuées pour choisir la meilleure combinaison de caractéristiques de conception. Celles-ci comprennent, en particulier, le concept de maintenance et les caractéristiques de maintenabilité.

Les compromis, comprenant les études de coût de cycle de vie et les autres études, fournissent des informations pour l'évaluation et l'optimisation qui interviennent pour la sélection d'une conception de base optimisée.

### 3.2.7 Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)

L'AMDE est une méthode d'analyse de fiabilité permettant d'identifier la manière dont tous les types possibles de défaillances se produisent dans un dispositif, ainsi que les causes

### 3.2.6 Trade-off studies

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

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

- Definition of the problem

A specific problem to be solved and specific factors to be considered are described;

- Identification of feasible alternatives

All possible solutions are first listed, then only those which appear acceptable from the total system point of view;

- Selection of evaluation criteria

Parameters to be employed in the evaluation process are selected and rated according to relevance and degree of importance, parameter weighting factors may be used to facilitate evaluation;

- Evaluation

Data are acquired, models constructed, analyses performed, and decisions and reports made.

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

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

The trade-off, including LCC and other studies, provides inputs to system evaluation resulting in the selection of an optimum design.

### 3.2.7 Failure mode and effects analysis (FMEA)

FMEA is a method of reliability analysis intended to identify the nature and causes of all possible item failures. It provides an input to maintainability predictions by identification of

de ces défaillances. Elle fournit des données pour les prévisions de maintenabilité en identifiant les modes de défaillance, leur fréquence et les actions de maintenance nécessaires. Elle facilite également la méthode d'allocation. De plus, elle peut servir de base pour la conception et la localisation des équipements de commande et de détection de fautes, ainsi que pour le développement des méthodes de test et de diagnostic automatiques, ce qui permet de réduire les temps d'indisponibilité pour maintenance corrective.

Les étapes principales de l'AMDE sont les suivantes:

- définition des performances exigées du dispositif;
- décomposition du système en éléments fonctionnels;
- identification des modes de défaillances, des fréquences de leur apparition et de leurs effets;
- identification des conditions de défaillance;
- description des caractéristiques des moyens de détection d'erreurs mis en œuvre au niveau de la conception;
- établissement d'une liste des actions fondamentales de maintenance pour la correction des défaillances.

Les méthodes de l'AMDE sont traitées en détail dans la CEI 812.

### 3.2.8 Autres analyses de maintenabilité

En plus des analyses de maintenabilité décrites ci-dessus, il existe d'autres moyens permettant, par exemple, de préciser les exigences du diagnostic, le niveau d'efficacité du diagnostic, la localisation de la réparation. On trouvera à la section huit\* une description des études et analyses concernant la maintenance et la logistique associée, par exemple l'analyse des niveaux de réparation, l'analyse des tâches de maintenance et l'analyse de compétence technique.

## 3.3 Moyens de conception pour la maintenabilité

### 3.3.1 Liaison

L'ingénieur chargé de la maintenabilité devra fournir en permanence un soutien à la conception, en mettant en œuvre les actions suivantes:

- établir un service de liaison concernant la maintenabilité avec les unités de développement internes et avec les sous-traitants;
- participer au déroulement de la conception et jouer un rôle de conseiller;
- fournir des données et des renseignements provenant de son expérience en maintenabilité;
- suivre le déroulement de la conception pour s'assurer que les caractéristiques de maintenabilité sont définies sur les schémas et dans le cahier des charges du matériel;
- surveiller les modifications apportées à la conception pour s'assurer qu'elles ne sont pas en contradiction avec les exigences de maintenabilité;
- assurer une liaison avec les autres programmes et activités étroitement liés à la maintenabilité tels que fiabilité, logistique de maintenance, maîtrise des coûts et analyse de la valeur.

\* Sera publiée ultérieurement.

failure modes, their frequency and the subsequent maintenance actions required. It also facilitates the allocation process. Furthermore, it serves as a basis for the design and location of condition monitoring and fault sensing devices and development of automatic test and diagnostic procedures to minimize corrective maintenance time.

The basic steps in performing an FMEA are:

- definition of item performance requirements;
- system breakdown into functional elements;
- identification of failure modes, frequencies of occurrence, and effects;
- identification of failure conditions;
- description of features of design for failure detection;
- listing of basic maintenance actions for restoration.

Details of FMEA procedures are dealt with in IEC 812.

### 3.2.8 Other analyses

In addition to the analyses already described, other analyses may, for example, address diagnostic requirements, diagnostic effectiveness level, location of repair. Studies and analyses addressing maintenance and maintenance support (e.g. repair level analysis), maintenance task analysis and skill analysis are described in Section Eight\*.

## 3.3 Design support

### 3.3.1 Liaison

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

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

\* Will be published later.

### 3.3.2 Critères de conception et listes de contrôle

Des critères de maintenabilité de conception détaillés devraient être établis à partir des exigences de maintenabilité définies, du concept de maintenance et de l'allocation de maintenabilité pour la conception choisie. Ces critères constituent les buts de maintenabilité spécifiques et les caractéristiques souhaitables pour divers aspects de la conception et peuvent se présenter sous forme de:

- normalisation;
- interchangeabilité;
- modularité;
- réparation ou rebut;
- accessibilité;
- équipement accessoire.

Certains de ces critères peuvent être prévus dans les normes de conception, tandis que d'autres peuvent avoir à être définis spécialement pour un projet donné. Ces critères peuvent être fixés sous forme quantitative ou qualitative et devraient aider le concepteur à atteindre les objectifs de maintenabilité du système ou du dispositif.

Les listes de contrôle sont en général préparées à partir des problèmes de maintenabilité et de maintenance rencontrés lors de conceptions antérieures pour servir d'aide-mémoire à l'ingénieur. Certains problèmes peuvent sembler trop simples et trop pratiques mais, en général, ce sont ceux qui sont sous-estimés au cours de la conception. Les listes de contrôle classiques se trouvent souvent dans les normes de conception et dans les publications des compagnies. Ces listes peuvent également servir de directives pour l'examen critique du projet.

Les listes de contrôle peuvent concerner des domaines tels que:

- normalisation;
- mesures de sécurité;
- protection de l'environnement;
- conditionnement d'un ensemble fonctionnel, miniaturisation et modularité;
- enveloppes d'équipement, consoles, baies, assemblages, câbles, connecteurs;
- interfaces homme-machine, commandes, affichages, points de test;
- logistique de maintenance et exigences de la maintenance programmée, maintenance en cours d'exploitation, contrôle d'usure;
- accessibilité, renovation, aptitude au déclenchement rapide;
- réglage, alignement, huilage, graissage;
- roulements, embrayages, systèmes hydrauliques.

La liste ci-dessus donne des exemples où les directives et les listes de contrôle sont utilisées, mais elle n'est pas exhaustive. Pour la conception d'un nouveau système ou d'un nouveau dispositif, il conviendra d'identifier les zones où l'on prévoit des problèmes à caractère répétitif et de mettre au point des directives et des listes de contrôle appropriées.

### 3.3.3 Prise en compte de la maintenabilité pour les examens critiques du projet

L'examen critique du projet consiste en une étude formelle, systématique et documentée d'un projet, faite par des spécialistes qui ne sont pas directement concernés par cette conception.

### 3.3.2 Design criteria and check-lists

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

- standardization;
- interchangeability;
- modularization;
- repair versus disposal;
- accessibility;
- accessory equipment.

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

Check-lists are generally prepared on the basis of maintainability and maintenance problems experienced with previous designs to serve as a reminder for the designer. Some of the problems may appear too simple and practical, but these are the ones most frequently overlooked in design. Standard check-lists often form part of company design standards and published literature, and can also be used as guidelines to design reviews.

Check-lists may address areas such as:

- standardization;
- safety precautions;
- environmental protection;
- functional assembly packaging, miniaturization, modularization;
- equipment enclosures, consoles, racks, assemblies, cables, connectors;
- man-machine interfaces, controls, displays, test points;
- maintenance support and scheduled maintenance requirements, maintenance during operation, wear-out monitoring;
- accessibility, lifting, quick release capability;
- adjusting, aligning, oiling, greasing;
- bearings, couplings, hydraulic systems.

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

### 3.3.3 Design reviews

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

L'examen critique d'un projet a pour but:

- d'évaluer l'aptitude de la conception à répondre aux exigences de l'ensemble du système, y compris la maintenabilité;
- d'identifier les zones à problèmes et de proposer des solutions;
- de prévoir les besoins de tests de développement, de démonstration et de planification des contrôles;
- de favoriser la réalisation d'un projet soigné.

Des prévisions de maintenabilité devraient être faites en même temps que les examens critiques du projet, à la fin des étapes de la conception considérées comme importantes, de manière à avoir une base de référence pour l'agrément des caractéristiques et des particularités de la maintenabilité. Pour faciliter le déroulement des examens critiques de la conception, les exigences qualitatives et quantitatives à prendre en compte devraient être préparées à l'avance sous forme de critères d'évaluation et de listes de contrôle.

Les questions concernant la maintenabilité pourront être du type:

- le niveau de détail des exigences de maintenabilité est-il suffisant?
- le concept de maintenance a-t-il été développé et est-il compatible avec les exigences de maintenabilité et les contraintes indiquées?
- les exigences de logistique de maintenance sont-elles définies et sont-elles compatibles avec les exigences de maintenabilité, les concepts de maintenance et les contraintes indiquées?
- la notion de conception est-elle compatible avec les exigences de la maintenabilité?
- les études de coût de cycle de vie ont-elles été prises en compte dans les études de faisabilité et d'optimisation?
- les exigences du matériel de test et de diagnostic ont-elles été définies?

On peut savoir si la conception répond aux exigences de la maintenabilité en examinant les questions qui s'y rapportent. Si la conception n'est pas conforme à ces exigences, les actions suivantes peuvent s'avérer nécessaires:

- nouvelles allocations ou définitions des exigences de la maintenabilité;
- nouvelles allocations ou définitions des exigences de la conception;
- vérifier que la conception convient;
- redéfinir les caractéristiques;
- revoir la politique de maintenance.

Si aucune de ces actions n'aboutit, il faudra peut-être, malgré tout, s'en tenir à cette conception. Dans ce cas, il faudra accepter des écarts par rapport aux exigences de maintenabilité qui ont été spécifiées.

Au cours des différentes phases de la conception, des examens critiques moins formels du point de vue de la maintenabilité devraient être effectués chaque fois que cela est nécessaire. Les résultats de ces examens critiques, qu'ils soient définis ou non, devraient être étayés par des documents précisant la démarche qui a donné lieu à une nouvelle conception.

The purpose of a design review is

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

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

The following are examples of questions that should be addressed:

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

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

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

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

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