NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
61014

Deuxième édition
Second edition
2003-07

Programmes de croissance de fiabilité

Programmes for reliability growth

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61014:2003

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 (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.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 (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.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
61014

Deuxième édition
Second edition
2003-07

Programmes de croissance de fiabilité

Programmes for reliability growth

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

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE X

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

SOMMAIRE

CONTENTS

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

PROGRAMMES DE CROISSANCE DE FIABILITÉ

AVANT-PROPOS

1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente, les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61014 a été établie par le comité 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/859/FDIS	56/863/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Cette deuxième édition de la CEI 61014 annule et remplace la première édition, parue en 1989, et constitue une révision technique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROGRAMMES FOR RELIABILITY GROWTH

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61014 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

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

FDIS	Report on voting
56/859/FDIS	56/863/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

This second edition of IEC 61014 cancels and replaces the first edition, published in 1989, and constitutes a technical revision.

Les changements majeurs par rapport à l'édition précédente sont les suivants:

- Les références aux normes sur la gestion de la sûreté de fonctionnement ont été insérées.
- Les termes et définitions relatifs à la croissance de fiabilité durant la conception du produit ont été ajoutés.
- Les diagrammes sur la croissance de fiabilité de 4.4 et 6.4.8 (voir Figures 1 et 8) ont été corrigés.
- Un paragraphe sur la planification de croissance de fiabilité pendant la phase de conception a été ajouté (voir 4.5).
- Un paragraphe sur l'organisation couvrant à la fois la croissance de fiabilité dans la conception et la phase d'essai a été ajouté (voir Article 5).
- L'Article 6 inclut une partie supplémentaire sur la croissance de fiabilité dans la phase de conception prenant en compte ses aspects d'analyse et d'essai.
- La figure montrant l'intensité de défaillance projetée, estimée par modélisation (voir Figure 10) a été corrigée.
- Un article sur la croissance de fiabilité en exploitation (voir Article 7) a été ajouté.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2011. A cette date, la publication sera

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

The main changes with respect to the previous edition are listed below.

- References to dependability management standards have been inserted.
- Terms and definitions related to the reliability growth during the product design have been added.
- Flow diagrams for reliability growth in 4.4 and 6.4.8 (see Figures 1 and 8) have been corrected.
- A subclause on planning reliability growth in the design phase has been added (see 4.5).
- A subclause on management aspects covering both reliability growth in design and the test phase has been added (see Clause 5).
- Clause 6 has been extended to include reliability growth in the design phase with its analytical and test aspects.
- The figure showing projected failure intensity estimated by modelling (see Figure 10) has been corrected.
- A clause on reliability growth in the field (see Clause 7) has been added.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2011. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Il convient que l'amélioration de la fiabilité par un programme de croissance fasse partie d'une activité globale liée à la fiabilité dans le développement d'un produit. Cela est particulièrement vrai pour une conception qui utilise des techniques, des composants nouveaux ou non éprouvés, ou un contenu logiciel substantiel. Dans ce cas, il n'est pas exclu que le programme révèle, sur une certaine période, de nombreux types de fragilités liées à la conception. Il est indispensable de réduire le plus possible la probabilité de défaillances dues à ces fragilités, pour éviter leur apparition ultérieure lors d'essais formels ou en exploitation. A ce dernier stade, une correction de conception est souvent peu pratique, onéreuse et prend beaucoup de temps.

Les coûts de possession peuvent être minimisés si les modifications de conception nécessaires sont effectuées au stade le plus précoce.

L'Article 1 de la CEI 60300-3-5, renvoie à un «programme de croissance (ou d'amélioration) de fiabilité» utilisant l'analyse de conception de fiabilité et les essais de fiabilité du matériel. L'analyse de conception de la fiabilité applique les méthodes et techniques analytiques décrites dans la CEI 60300-3-1. L'analyse de la fiabilité de la conception a une valeur particulière, car elle permet d'identifier une fragilité potentielle dès le début et bien avant la fin de la conception. Cela permet l'introduction de modifications peu coûteuses et relativement faciles à mettre en œuvre sans conséquences telles que des changements majeurs de conception, des retards de programme, des modifications de l'outillage et des processus de fabrication. Les essais relatifs au développement de la fiabilité et les configurations environnementales pour les essais faisant partie de ce programme sont essentiellement les mêmes que ceux couverts par la CEI 60300-3-5, la CEI 60605-2 et la CEI 60605-3.

L'importance du programme de croissance de fiabilité, intégré au processus de développement ou de conception du produit, et connu sous le nom d'ingénierie de fiabilité intégrée, est déterminée par le temps limité de mise sur le marché, les coûts de programme et les efforts de réduction de coût du produit.

Bien qu'efficace pour révéler des problèmes potentiels en exploitation, un programme d'essais de croissance de fiabilité isolé est le plus souvent coûteux. Il nécessite beaucoup de temps et de moyens, et les actions correctives sont considérablement plus coûteuses que si les problèmes étaient détectés et corrigés en début de conception. En outre, ces essais qui durent quelquefois très longtemps, affecteraient gravement le planning de commercialisation ou de déploiement du système.

Un programme de croissance de fiabilité entièrement intégré à la fois à la phase de conception et d'évaluation et à la phase d'essai est la solution rentable à ces défis. Cet effort est permis par une gestion de projet rigoureuse, l'ingénierie de conception et souvent la participation et l'implication du client. Durant les dernières années, des organismes industriels majeurs ont développé et appliqué des méthodes analytiques et d'essai entièrement intégrées aux efforts de conception pour accroître la fiabilité dès la phase de conception du produit. Cela réduit le besoin d'essais de croissance de fiabilité formels qui sont très longs. Cette technologie est la base de la stratégie de croissance de fiabilité intégrée de cette norme et sera discutée par la suite, à l'Article 6. Certaines définitions et notions sont d'abord données pour établir la base de discussion des méthodologies de croissance de fiabilité intégrées.

INTRODUCTION

Reliability improvement by a growth programme should be part of an overall reliability activity in the development of a product. This is especially true for a design that uses novel or unproven techniques, components, or a substantial content of software. In such a case the programme may expose, over a period of time, many types of weaknesses having design-related causes. It is essential to reduce the probability of failure due to these weaknesses to the greatest extent possible to prevent their later appearance in formal tests or in the field. At that late stage, design correction is often highly inconvenient, costly and time-consuming.

Life-cycle costs can be minimized if the necessary design changes are made at the earliest possible stage.

IEC 60300-3-5, Clause 1 refers to a “reliability growth (or improvement) programme” employing equipment reliability design analysis and reliability testing, with the principal objective to realize reliability growth. Reliability design analysis applies analytical methods and techniques described in IEC 60300-3-1. Reliability design analysis is of a particular value, as it allows early identification of potential design weakness, well before design completion. This allows introduction of design modifications that are inexpensive and relatively easy to implement without consequences such as major design changes, programme delays, modification of tooling and manufacturing processes. The reliability growth testing and environmental arrangements for the test part of this programme are essentially the same as those covered by IEC 60300-3-5, IEC 60605-2 and IEC 60605-3.

The importance of the reliability growth programme, integrated into the design or product development process, and known as integrated reliability engineering, is driven by limited time to market, programme costs and striving for product cost reduction.

Although effective for disclosure of potential field problems, a reliability growth testing programme alone is typically expensive, requiring extensive test time and resources, and the corrective actions are considerably more costly than if they were found and corrected in the early stages of design. Additionally, the duration of these tests, sometimes lasting for a very long time, would seriously affect the marketing or deployment schedule of the system.

The cost-effective solution to these challenges is a reliability growth programme fully integrated in both the design and evaluation phase as well as the testing phase. This effort is enabled by strong project management, by design engineering and often by customer participation and involvement. Over the past few years, leading industry organizations have developed and applied analytical and test methods fully integrated with the design efforts for increasing the reliability during the product design phase. This reduces reliance on formal and lengthy reliability growth testing. This technology is the basis for the integrated reliability growth strategy in this standard and will be discussed further in Clause 6. Some definitions and concepts are given first in order to lay the groundwork for discussing the integrated reliability growth methodologies.

PROGRAMMES DE CROISSANCE DE FIABILITÉ

1 Domaine d'application

La présente Norme Internationale spécifie des exigences et fournit des directives de détection et l'élimination des fragilités du matériel et du logiciel dans le but d'accroître la fiabilité.

Elle s'applique quand la spécification du produit demande un programme de croissance de fiabilité de l'équipement (matériel électronique, électromécanique et mécanique, ainsi que logiciel) ou quand on sait que la conception est peu susceptible de répondre aux exigences sans amélioration préalable.

Un exposé des concepts de base est suivi de la description de la gestion, de la planification, des essais (en laboratoire ou en exploitation), de l'analyse des défaillances et des techniques correctives requises. La modélisation mathématique permettant d'estimer le niveau de fiabilité atteint, est exposée brièvement.

2 Références normatives

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

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

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

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

CEI 60300-3-5:2001, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-5: Guide d'application – Conditions des essais de fiabilité et principes des essais statistiques*

CEI 60605-2, *Essais de fiabilité des équipements – Partie 2: Conception des cycles d'essai*

CEI 60605-3 (toutes les parties), *Essais de fiabilité des équipements – Partie 3: Conditions d'essai préférentielles*

CEI 60605-4, *Essais de fiabilité des équipements – Partie 4: Méthodes statistiques de distribution exponentielle – Estimateurs ponctuels, intervalles de confiance, intervalles de prédiction et intervalles de tolérance*

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

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

CEI 61160, *Revue de conception formalisée*

CEI 61164, *Croissance de la fiabilité – Tests et méthodes d'estimation statistiques*

———————

1 Deuxième édition à publier.

2 Deuxième édition à publier, en anglais seulement.

PROGRAMMES FOR RELIABILITY GROWTH

1 Scope

This International Standard specifies requirements and gives guidelines for the exposure and removal of weaknesses in hardware and software items for the purpose of reliability growth.

It applies when the product specification calls for a reliability growth programme of equipment (electronic, electromechanical and mechanical hardware as well as software) or when it is known that the design is unlikely to meet the requirements without improvement.

A statement of the basic concepts is followed by descriptions of the management, planning, testing (laboratory or field), failure analysis and corrective techniques required. Mathematical modelling, to estimate the level of reliability achieved, is outlined briefly.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60300-2, *Dependability management – Part 2: Guidance for dependability programme management*[2]

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

IEC 60300-3-5:2001, *Dependability management – Part 3-5: Application guide – Reliability test conditions and statistical test principles*

IEC 60605-2, *Equipment reliability testing – Part 2: Design of test cycles*

IEC 60605-3 (all parts), *Equipment reliability testing – Part 3: Preferred test conditions*

IEC 60605-4, *Equipment reliability testing – Part 4: Statistical procedures for exponential distribution – Point estimates, confidence intervals, prediction intervals and tolerance intervals*

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

IEC 61025, *Fault tree analysis (FTA)*

IEC 61160, *Formal design review*

IEC 61164, *Reliability growth – Statistical test and estimation methods*

---

[1] Second edition to be published.

[2] Second edition to be published.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

NOTE 1 Certains termes proviennent de la CEI 60050(191), et dans ce cas, la référence de la définition concernée est indiquée, entre crochets, après la définition. La norme ISO 9000:2000 est utilisée comme référence pour le vocabulaire relatif à la qualité.

NOTE 2 Pour l'analyse des données d'essai de croissance de fiabilité, il est important de faire la distinction entre les termes «intensité de défaillance» (pour les entités réparées) et «taux de défaillance» ou «taux de défaillance instantané» (pour les entités non réparées ou à utilisation unique) définis dans la CEI 60050(191).

3.1
entité
tout élément, composant, dispositif, sous-système, unité fonctionnelle, équipement ou système que l'on peut considérer individuellement

NOTE Une entité peut être constituée de matériels, de logiciels ou des deux à la fois et peut aussi dans certains cas comprendre du personnel.

[CEI 60050, 191-01-01]

3.2
amélioration de la fiabilité
action destinée à améliorer la fiabilité par élimination des causes de défaillances systématiques et par réduction de la probabilité d'apparition d'autres défaillances

[CEI 60050, 191-17-05]

NOTE 1 La méthode décrite dans cette norme est destinée à apporter des corrections visant à réduire les fragilités systématiques ou à réduire leur probabilité d'apparition.

NOTE 2 Pour toute entité, il existe des limites d'amélioration pratiques et économiques, et de croissance réalisables.

3.3
croissance de fiabilité
amélioration progressive d'une caractéristique de fiabilité d'une entité au cours du temps

[CEI 60050, 191-17-04]

NOTE La modélisation (projection) et analyse d'amélioration de fiabilité pendant la phase de conception est basée sur l'estimation normale de la fiabilité envisagée d'un produit, sur une période donnée.

3.4
ingénierie de fiabilité intégrée
outil d'ingénierie composé d'une multitude de méthodes de fiabilité/maintenabilité intégrées à tous les stades et les activités techniques concernant un produit, de la phase conceptuelle à son utilisation en exploitation, par une combinaison de contributions de la part de tous les intéressés compétents

3.5
objectif de fiabilité de produit
objectif de fiabilité d'un produit, basé sur certaines cibles communes, exigences du marché ou probabilité visée de succès de mission, qui est raisonnablement réalisable compte tenu de l'expérience passée et de l'évolution technique

NOTE Pour certains projets, l'objectif de fiabilité est fixé par le client. L'objectif spécifique au produit est la valeur cible du processus de croissance de fiabilité.

3.6
fragilité systématique
fragilité qui ne peut être éliminée, ou ses effets réduits, que par une modification de la conception du processus de fabrication, des procédures opérationnelles, de la documentation ou d'autres facteurs pertinents, ou par remplacement de composants par des composants de fiabilité supérieure éprouvée

NOTE 1 Une fragilité systématique résulte souvent d'une défaillance liée à une fragilité de la conception ou à une fragilité du processus ou de la documentation de fabrication.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

NOTE 1 Certain terms come from IEC 60050(191) and, where this is the case, the concept from that publication is referenced in square brackets after the definition. ISO 9000:2000 is used as referenced to quality vocabulary.

NOTE 2 For analysis of the reliability growth test data, it is important to distinguish between the terms "failure intensity" (for repaired items) and "failure rate" or "instantaneous failure rate" (for non-repaired or one-shot items) defined in IEC 60050(191).

3.1
item
entity
any part, component, device, subsystem, functional unit, equipment or system that can be individually considered

NOTE An item may consist of hardware, software or both, and may also, in particular cases, include people.

[IEC 60050, 191-01-01]

3.2
reliability improvement
process undertaken with the deliberate intention of improving the reliability performance by eliminating causes of systematic failures and/or by reducing the probability of occurrence of other failures

[IEC 60050, 191-17-05]

NOTE 1 The method described in this standard is aimed at making corrective modifications aimed at reducing systematic weaknesses or reducing their likelihood of occurrence.

NOTE 2 For any item, there are limits to practicable and economic improvement and to achievable growth.

3.3
reliability growth
condition characterized by a progressive improvement of a reliability performance measure of an item with time

[IEC 60050, 191-17-04]

NOTE Modelling (projection) and analysis of reliability improvement during the design phase is based on the standard estimation of the expected product reliability within a given time period.

3.4
integrated reliability engineering
engineering tool, consisting of a multitude of reliability/dependability methods integrated into all engineering stages and activities regarding a product, from the conceptual phase through its use in the field by a combination of contributions from all relevant stakeholders

3.5
product reliability goal
reliability goal for a product based on certain corporate targets, market requirements or desired mission success probability that is reasonably achievable according to the past history and technical evolution

NOTE For some projects, the reliability goal is set by the customer. The product specific goal is the target value of the reliability growth process.

3.6
systematic weakness
weakness, which can be eliminated, or its effects reduced, only by a modification of the design or manufacturing process, operational procedures, documentation or other relevant factors, or by replacement of substandard components by components of proven superior reliability

NOTE 1 A systematic weakness often results in a failure that is related to a weakness in the design or a weakness of the manufacturing process or documentation.

NOTE 2 La réparation ou le remplacement (ou la réutilisation en cas de logiciel) sans modification est susceptible d'entraîner des défaillances récurrentes de nature similaire.

NOTE 3 Les fragilités de logiciel sont toujours systématiques.

3.7
fragilité résiduelle
fragilité qui n'est pas systématique

NOTE 1 Dans ce cas, le risque de défaillance récurrente de nature similaire est faible, voire négligeable, sur la période d'essai envisagée.

NOTE 2 Les fragilités de logiciel ne peuvent pas être résiduelles.

3.8
défaillance
cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise

NOTE 1 Après défaillance d'une entité, cette entité est en état de panne.

NOTE 2 Une «défaillance» est un passage d'un état à un autre, par opposition à une «panne», qui est un état.

[CEI 60050, 191-04-01]

NOTE 3 Le terme «cessation» implique que le produit a eu la capacité de remplir une fonction requise puis l'a perdue. Une fois que la conception d'un système est capable de répondre à l'exigence de performance spécifiée, la défaillance de fiabilité est la cessation de cette capacité.

3.9
mode de défaillance
façon dont tout système ou composant cesse d'assurer son fonctionnement prévu

NOTE 1 Un mode de défaillance peut être caractérisé par sa fréquence d'apparition ou la probabilité de son apparition à prendre en compte dans la fiabilité du système ou du composant.

NOTE 2 Pour considérer la fiabilité d'un système, fondamentalement il faut traiter les causes des modes de défaillance, la fréquence ou la probabilité d'apparition de ces modes dans l'environnement auquel le système est destiné.

3.10
défaillance significative
défaillance à prendre en compte pour interpréter des résultats d'essai ou d'exploitation, ou pour calculer une caractéristique de fiabilité

NOTE 1 Il convient d'indiquer les critères de prise en compte.

[CEI 60050, 191-04-13]

NOTE 2 Les critères de prise en compte sont énoncés en 6.4.6.

3.11
défaillance non significative
défaillance à ne pas prendre en compte pour interpréter des résultats d'essai ou d'exploitation, ou pour calculer une caractéristique de fiabilité

[CEI 60050, 191-04-14]

NOTE Les critères pour déterminer si une défaillance est non significative sont donnés en 6.4.5.

3.12
défaillance systématique
défaillance qui montre, après une analyse physique, une analyse des circonstances ou de la conception, un état ou un modèle de défaillance dont une récurrence est possible

NOTE 1 Une maintenance corrective sans modification n'élimine généralement pas la cause de cette défaillance.

NOTE 2 Il est possible de provoquer une défaillance systématique à volonté en simulant sa cause.

NOTE 3 Dans cette norme, une défaillance systématique est interprétée comme résultant d'une fragilité systématique.

3.13
défaillance résiduelle
défaillance résultant d'une fragilité résiduelle

NOTE 2 Repair or replacement (or re-run in case of software) without modification is likely to lead to recurrent failures of a similar kind.

NOTE 3 Software weaknesses are always systematic.

3.7
residual weakness
weakness, which is not systematic

NOTE 1 In this case, risk of recurrent failure of a similar kind is small or even negligible, within the expected test time scale.

NOTE 2 Software weaknesses cannot be residual.

3.8
failure
termination of the ability of an item to perform a required function

NOTE 1 After failure the item has a fault.

NOTE 2 "Failure" is an event, as distinguished from "fault", which is a state.

[IEC 60050,191-04-01]

NOTE 3 The term "termination" implies that the product had the ability to perform a required function and then lost it. Once the system design is capable of meeting the specified performance requirement, then reliability failure is the termination of this capability.

3.9
failure mode
manner in which any system or component ceases to perform its respective designed operation

NOTE 1 A failure mode may be characterized by its frequency of occurrence or by probability of its occurrence to include into the system's or component's reliability.

NOTE 2 To address the reliability of a system, fundamentally its corresponding failure modes, the causes of these failure modes, and the frequency or probability of occurrence of these modes under the system's intended use environment need to be addressed.

3.10
relevant failure
failure that should be included in interpreting test or operational results or in calculating the value of a reliability performance measure

NOTE 1 The criteria for inclusion should be stated.

[IEC 60050, 191-04-13]

NOTE 2 The criteria for inclusion are stated in 6.4.6.

3.11
non-relevant failure
failure that should be excluded in interpreting test or operational results or in calculating the value of a reliability performance measure

[IEC 60050, 191-04-14]

NOTE The criteria for classifying failures as not relevant are stated in 6.4.5.

3.12
systematic failure
failure that exhibits, after a physical, circumstantial or design analysis, a condition or pattern of failure that may be expected to cause recurrence

NOTE 1 Corrective maintenance without modification does not usually eliminate the failure cause.

NOTE 2 A systematic failure can be induced at will by simulating the failure cause.

NOTE 3 In this standard, a systematic failure is interpreted as a failure resulting from a systematic weakness.

3.13
residual failure
failure resulting from a residual weakness

Catégories de défaillances observées dans un programme d'essais de croissance de fiabilité

3.14
défaillance de catégorie A
défaillance systématique subie en essai, pour laquelle le responsable décide de ne pas entreprendre de modification corrective en raison des coûts, du temps nécessaire, des contraintes technologiques ou d'autres raisons

3.15
défaillance de catégorie B
défaillance systématique subie en essai, pour laquelle le responsable décide d'entreprendre une modification corrective

NOTE La catégorisation des défaillances n'est pas applicable à la croissance de fiabilité dans la phase de conception, car la vision des modes de défaillance potentielle est totalement différente. Ici, tous les composants pourraient potentiellement être défaillants dans un mode ou un autre, mais la probabilité et les conséquences d'un tel fait peuvent éventuellement être très différentes. Les modes de défaillance et leurs causes potentielles, qui sont très probablement susceptibles d'apparaître sont traitées en premier, et, si les moyens et le planning le permettent, les autres modes de défaillance, moins susceptibles d'apparaître sont traités. Un produit comprenant un nombre élevé de composants, où chacun de ceux-ci pourrait avoir de multiples modes de défaillance et chacun des modes de défaillance des causes multiples, pourrait nécessiter beaucoup d'efforts de classification, puis de reclassification de chaque mode ou cause de défaillance, trop pesants et coûteux pour justifier cette classification. La classification des défaillances n'ajoutant aucune valeur, elle n'est pas appliquée pendant l'effort de croissance de fiabilité, dans la phase de conception du produit.

3.16
panne
état d'une entité, inapte à accomplir une fonction requise, non comprise l'inaptitude due à la maintenance préventive ou d'autres actions programmées ou due à un manque de moyens extérieurs

NOTE Une panne est souvent la conséquence d'une défaillance de l'entité elle-même, mais elle peut exister sans défaillance préalable.

[CEI 60050, 191-05-01]

3.17
mode de panne
un des états possibles d'une entité en panne, pour une fonction requise donnée

[CEI 60050, 191-05-22]

NOTE L'utilisation du terme «mode de défaillance» dans ce sens est autorisée pour identifier une défaillance potentielle d'entité ou de composant.

3.18
mesure de la fiabilité instantanée
mesure de la fiabilité d'une entité en un point donné (passé ou présent) lors d'un programme de croissance de fiabilité

NOTE 1 La mesure de fiabilité utilisée dans une analyse de conception est la fiabilité attendue du produit dans un temps prédéterminé, ou son intensité de défaillance équivalente calculée à partir de la fiabilité estimée du produit associée à une période d'intérêt.

NOTE 2 Occasionnellement, il est possible d'exprimer la mesure de fiabilité en termes de MTBF ou de MTTF équivalent calculé à partir de la fiabilité estimée du produit associé à une période considérée.

NOTE 3 Quand le temps est utilisé dans cette norme, il peut être remplacé par d'autres grandeurs comme par exemple les cycles, la distance parcourue (miles, kilomètres) ou les copies.

NOTE 4 Dans cette norme, le terme intensité de défaillance est utilisé pour une mesure de fiabilité d'un système réparable, mais il est possible de substituer des termes comme taux de défaillance, taux de défaillance instantanée, MTBF, ou MTTF, selon les besoins. En outre, le système est supposé réparable, sauf spécification contraire.

NOTE 5 Les mesures de fiabilité d'un système couramment utilisé en essai sont l'intensité (instantanée) de défaillance (VEI 191-12-04) ou la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) (VEI 191-12-09) ainsi que le taux (instantané) de défaillance (VEI 191-12-02), ou la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTTF) (VEI 191-12-07).

NOTE 6 Les caractéristiques de fiabilité sont estimées par des modèles de croissance de fiabilité déterminés pour l'amélioration du produit en conception et en phase d'essai, séparément.

Categories of failures observed in a reliability growth test programme

3.14
failure category A
systematic failure experienced in test for which management decides not to attempt corrective modification, due to cost, time, technological constraints or other reasons

3.15
failure category B
systematic failure experienced in test for which management decides to attempt corrective modification

NOTE Failure categorization is not applicable for reliability growth in the product design phase as the view on potential failure modes is entirely different. Here, all components could potentially fail in one mode or another, but the likelihood and consequence of such an event may be very different. Failure modes and their potential causes that may be highly likely to occur are addressed first, and, if resources and schedules allow, other failure modes, less likely to occur, are addressed. A product with a high number of components where each of those might have multiple failure modes, and each of the failure modes might have multiple causes, might require a great amount of effort to classify and then re-classify each of the failure modes or causes, too cumbersome and costly to justify the classification. As the failure classification does not add any value, it is not applied during the reliability growth effort in the product design phase.

3.16
fault
state of an item characterized by inability to perform a required function, excluding the inability during preventive maintenance or other planned actions, or due to lack of external resources

NOTE A fault is often the result of a failure of the item itself but may exist without prior failure.

[IEC 60050, 191-05-01]

3.17
fault mode
one of the possible states of a faulty item, for a given required function

[IEC 60050, 191-05-22]

NOTE The use of the term “failure mode” in this sense is allowed for identification of a potential item or component failure.

3.18
instantaneous reliability measure
reliability measure for an item at a given point (past or present) in a reliability growth programme

NOTE 1 The reliability measure used in design analysis is the expected product reliability in a predetermined time, or its equivalent failure intensity calculated from the assessed product reliability associated with a time period of interest.

NOTE 2 Occasionally, the reliability measure can be expressed in terms of equivalent MTBF or MTTF also calculated from the assessed product reliability associated with a time period of interest.

NOTE 3 Whenever time is used in this standard, it can be substituted by other counts such as cycles, distance travelled (miles, kilometres), or copies.

NOTE 4 In this standard, the term failure intensity is used for a reliability measure of a repairable system, but terms like failure rate, instantaneous failure rate, MTBF, or MTTF can be substituted as appropriate. Further, the system is assumed repairable unless specifically stated otherwise.

NOTE 5 The reliability measures for a system commonly used in test are the (instantaneous) failure intensity (IEV 191-12-04) or the mean operating time between failures (MTBF) (IEV 191-12-09) as well as the (instantaneous) failure rate (IEV 191-12-02) or the mean time to failure (MTTF) (IEV 191-12-07).

NOTE 6 Values of reliability measures are estimated by reliability growth models determined for product improvement in the design and the test phase separately.

3.19
mesure de fiabilité extrapolée
mesure de fiabilité d'une entité, prédite pour un point futur donné, lors d'un programme d'essai de croissance de fiabilité, où les modifications correctives sont rapidement introduites pendant tout le programme

NOTE 1 La définition du modificateur «extrapolée» (VEI 191-18-03) s'applique ici, mais est limitée au temps.

NOTE 2 Les conditions d'essai précédentes et les procédures de modification corrective sont sensées se poursuivre inchangées.

NOTE 3 La valeur de la mesure de fiabilité est évaluée par un modèle de croissance de fiabilité appliqué aux données précédentes et la même orientation est supposée s'appliquer également à la future période du programme.

NOTE 4 Les mesures de fiabilité couramment utilisées sont l'intensité (instantanée) de défaillance (VEI 191-12-04) ou la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) (VEI 191-12-09) ainsi que le taux (instantané) de défaillance (VEI 191-12-02) ou la durée moyenne avant défaillance (MTTF) (VEI 191-12-07).

NOTE 5 La mesure de fiabilité extrapolée n'est pas applicable pour utilisation dans un programme de croissance de fiabilité pendant la phase de conception.

3.20
mesure de fiabilité projetée
mesure de fiabilité prédite pour une entité, comme conséquence de l'introduction simultanée d'un certain nombre de modifications correctives

NOTE 1 Les modifications sont souvent introduites entre deux phases successives du programme.

NOTE 2 Les mesures de fiabilité couramment utilisées dans l'essai formel de croissance de fiabilité sont l'intensité (instantanée) de défaillance (VEI 191-12-04) ou la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) (VEI 191-12-09) ainsi que le taux (instantané) de défaillance (VEI 191-12-02) ou la durée moyenne avant la défaillance (MTTF) (VEI 191-12-07).

NOTE 3 La mesure de fiabilité au cours de la croissance de fiabilité en phase de conception est la fiabilité projetée du produit pour la période considérée, telle que la période de garantie ou la durée de la mission.

NOTE 4 La valeur de ces mesures est estimée par un modèle de croissance de fiabilité.

3.21
profil d'utilisation
informations détaillées sur les conditions d'environnement et d'exploitation, leur niveau et contenu, durée et séquence, que l'on s'attend à rencontrer sur un nouveau produit

3.22
rapport des performances en exploitation
résumé et analyse des données de performances en exploitation pertinentes du produit à concevoir

3.23
spécification de fiabilité du produit
description des performances envisagées du produit pour une période spécifiée d'après le profil d'utilisation envisagé

3.24
essai de fiabilité et de durée de vie
essai (en environnement et autres contraintes) destiné à prouver ou évaluer la probabilité d'apparition des modes de défaillance et de leurs causes respectives quand ces évaluations sont difficiles à effectuer seulement par analyse

NOTE L'essai de fonctionnement (essai de durée de vie) est effectué sur un produit pour en démontrer la fiabilité.

3.25
planification de la croissance de fiabilité
plan des activités de fiabilité telles qu'analyses, sélections des composants et matériaux et essais dont l'objectif est l'augmentation de la fiabilité du produit

NOTE Ce même terme désigne aussi éventuellement, la planification de l'ampleur et du nombre des améliorations de conception nécessaires pour atteindre l'objectif de fiabilité du produit. Cette planification consiste en une représentation analytique du programme de croissance de fiabilité en conception, et donne une évaluation du nombre et de l'importance des évolutions de conception (améliorations) nécessaires pour atteindre l'objectif de fiabilité.

3.19
extrapolated reliability measure
reliability measure for an item, predicted for a given future point in a reliability growth test programme, where the corrective modifications are promptly introduced throughout the programme

NOTE 1 The definition of the modifier "extrapolated" (IEV 191-18-03) applies here but is restricted to time.

NOTE 2 The previous test conditions and corrective modification procedures are assumed to continue unchanged.

NOTE 3 The value of the reliability measure is estimated by a reliability growth model applied to the previous data and the same trend is assumed to apply also to the future period of the programme.

NOTE 4 The reliability measures commonly used are the (instantaneous) failure intensity (IEV 191-12-04) or the mean operating time between failures (MTBF) (IEV 191-12-09) as well as the (instantaneous) failure rate (IEV 191-12-02) or the mean time to failure (MTTF) (IEV 191-12-07).

NOTE 5 Extrapolated reliability measure is not applicable for use in a reliability growth programme during the design phase.

3.20
projected reliability measure
reliability measure predicted for an item as a consequence of the simultaneous introduction of a number of corrective modifications

NOTE 1 The modifications are often introduced between two successive phases in the programme.

NOTE 2 The reliability measures commonly used in the formal reliability growth test are the (instantaneous) failure intensity (IEV 191-12-04) or the mean operating time between failures (MTBF) (IEV 191-12-09) as well as the (instantaneous) failure rate (IEV 191-12-02) or the mean time to failure (MTTF) (IEV 191-12-07).

NOTE 3 Reliability measure during reliability growth in the design phase is the product reliability projected for the time period of interest such as warranty period or mission duration.

NOTE 4 The values of these measures are estimated by a reliability growth model.

3.21
usage profile
detailed information on environmental and operational aspects, their levels and content, duration, and sequence, expected to be encountered in a new product

3.22
field performance report
summary and analysis of the field data pertinent to the product to be designed

3.23
product specification for reliability
description of expected product performance for the specified time period under the expected usage profile

3.24
reliability and life test
test (environmental or other stress) designed to prove or estimate probability of occurrence of failure modes or their respective causes when those estimates are difficult to make solely by analysis

NOTE Operational test (life testing) is carried out on a product to demonstrate reliability.

3.25
reliability growth planning
plan of reliability activities such as analyses, components and materials selection and testing that would assure increase in product reliability

NOTE The same term can also refer to planning of the magnitude and the quantity of design improvements necessary to attain the product reliability goal. This planning consists of an analytical representation of the course of reliability growth in design and gives an estimate of the number and magnitude of design changes (improvements) necessary to attain the reliability goal.

3.26
estimations préliminaires de la fiabilité
estimations faites pour un nouveau produit basé sur une conception antérieure

3.27
allocation préliminaire de fiabilité
fiabilité assignée aux parties de la conception sur lesquelles, pour cause de manque d'informations, il n'est pas possible de faire des estimations

3.28
directives de conception
document avec des règles de conception qui indiquent les critères de conception connus pour l'amélioration de la fiabilité

3.29
évaluation permanente de la fiabilité de conception
mise à jour de l'évaluation de fiabilité du nouveau produit simultanément à l'évolution de la conception et aux essais des composants et des sous-systèmes

3.30
AMDE et réduction des modes de défaillance
identification des modes de défaillance critiques et/ou relatifs à la sécurité, leurs causes et effets, et estimation de la probabilité de leur apparition compte tenu du profil d'utilisation du produit, et sa durée de vie

NOTE La réduction aborde les causes et effets des modes de défaillance ayant une gravité et une probabilité d'apparition élevée. L'analyse de l'arbre de pannes, qui est une représentation logique du matériel et des modes de défaillance associés est un outil très utile dans l'analyse des modes de défaillance.

3.31
composants clés
composants, déterminés comme essentiels pour les performances prévues du produit et qui sont évalués et sélectionnés sur la base des informations de fiabilité et d'environnement disponibles et satisfaisantes

3.32
rapport final de fiabilité
compilation des méthodes, analyses, essais, résultats, enseignements, réduction des conséquences des modes de panne, des composants critiques et des constats sur leur fiabilité, de la croissance de fiabilité atteinte, de la fiabilité estimée finale, de l'évaluation de la confiance dans la fiabilité et l'intégrité du produit

NOTE Ce rapport consignera les informations à utiliser comme source d'informations, références, procès verbaux, et comme point de départ pour la prochaine version d'un produit similaire.

3.33
évaluation de la fiabilité des évolutions du produit
évaluation des évolutions des composants, de la conception, ou des processus de fabrication sur la fiabilité d'un produit

NOTE Les évolutions résultent éventuellement d'interventions correctives, réduction de coût des produits, ou évolutions des processus de production.

3.34
essais de fiabilité sur échantillon
essais de fiabilité d'un lot de production, pour vérifier que la fiabilité du produit n'a pas été compromise par les processus de fabrication ou un lot de composants de qualité inférieure

3.35
FRACAS
système d'analyse de rapport de défaillance et d'actions correctives, itératives de recherche et de solution des problèmes de conception

NOTE En tant que base de données, c'est une source d'informations sur les modes de défaillance subis en essai et en exploitation par les produits, et liés à la nouvelle conception. Il n'est pas exclu que l'analyse traite alors la possibilité d'existence de ces modes de défaillance dans la conception qui est analysée.

3.26
preliminary reliability estimates
estimates made for new product based on inherited design

3.27
preliminary reliability allocation
reliability apportioned to the parts of design where, because of the lack of information, preliminary estimates cannot be made

3.28
design guidelines
document with design rules that point out known design criteria for reliability enhancement

3.29
continuous design reliability assessment
updating reliability assessment of the new product concurrently with the design evolution and testing of components and subsystems

3.30
FMEA and failure mode mitigation
identification of critical and/or safety-related failure modes, their causes and effects and estimation of likelihood of their occurrence regarding product usage profile, and life

NOTE Mitigation addresses causes and effects of failure modes with high severity and probability of occurrence. A very useful tool in failure mode analysis of a design is found to be fault tree analysis, which is a logical representation of hardware and associated failure modes.

3.31
key components
those components, which are determined to be essential for the intended product performance and which are evaluated and selected on the basis of available and satisfactory reliability and environmental information

3.32
final reliability report
compilation of methods, analyses, tests, results, lessons learned, mitigated consequences of failure modes, critical components and findings on their reliability, achieved reliability growth and the final reliability estimate and evaluation of the confidence in the reliability and integrity of the product

NOTE The report archives the information to be used as a source of information, references, reports, and a starting point for the next version or similar product.

3.33
reliability assessment of product changes
evaluation of changes of components, design or manufacturing process on product reliability

NOTE The changes may result from corrective actions, cost reductions on products or changes in the production process.

3.34
continuing reliability testing
reliability testing on ongoing lot of production to verify that the product reliability has not been compromised by the manufacturing processes or a lot of components of inferior quality

3.35
FRACAS
failure reporting analysis and corrective action system, closed loop system for tracking and bringing design issues to closure

NOTE As a database, it is a source of information on test and field experienced failure modes on products related to the new design. The analysis may then address potential of existence of those failure modes in the design being analysed.

3.36
système
ensemble d'entités en corrélation ou s'interfaçant

[ISO 9000:2000, définition 3.2.1]

NOTE 1 Dans le contexte de la sûreté de fonctionnement, un système aura:

a) un but défini exprimé en termes de fonctions requises; et

b) des conditions de fonctionnement/utilisation établies (voir VEI 191-01-12).

NOTE 2 La structure d'un système est hiérarchique.

3.37
composant
entité du plus bas niveau pris en considération dans l'analyse

3.38
allocation
procédure appliquée pendant la conception d'une entité, destinée à répartir les exigences des mesures de performance d'une entité vers ses sous-entités, conformément aux critères donnés

3.39
croissance de fiabilité intégrée
croissance de fiabilité réalisée grâce aux efforts joints d'analyse, d'essai, et d'ingénierie de conception, et d'autres informations et activités, pour l'identification et la réduction des modes de défaillance potentiels des entités

3.40
défaillance intermittente
défaillance qui peut ne pas être reproduite chaque fois que l'on essaie l'entité pour celle-ci, et qui apparaît sporadiquement

3.41
défaillance récurrente
défaillance qui apparaît de façon répétitive

3.42
liste des actions
liste élaborée pour définir les grandes lignes des mesures nécessaires pour obtenir une croissance de fiabilité

3.43
condition ou modèle de défaillance
manière dont se produisent certaines défaillances

3.44
analyse circonstancielle
analyse des circonstances dans lesquelles se produisent certaines défaillances

3.45
taux de défaillance équivalent
taux de défaillance d'un composant ou d'une entité, calculé à partir de sa fiabilité obtenue pendant la période correspondante, avec une hypothèse de taux de défaillance constant au cours de cette période

NOTE La valeur obtenue du taux de défaillance équivalent n'est valable que pour cette période particulière.

3.36
system
set of interrelated or interfacing elements

[ISO 9000:2000, definition 3.2.1]

NOTE 1 In the context of dependability, a system should have
a) a defined purpose expressed in terms of required functions; and
b) stated conditions of operation/use (see IEV 191-01-12).

NOTE 2 The structure of a system is hierarchical.

3.37
component
item on the lowest level considered in the analysis

3.38
allocation
procedure applied during the design of an item intended to apportion the requirements for performance measures for an item to its sub-items according to given criteria

3.39
integrated reliability growth
reliability growth achieved through joint efforts of analysis, testing, design engineering and other information and activities for identification and mitigation of potential item failure modes

3.40
intermittent failure
failure that may not be reproducible every time the item is tested for it and that appears sporadically

3.41
recurrent failure
failure that appears repetitively

3.42
action list
list prepared to outline actions necessary to be taken for achievement of reliability growth

3.43
condition or pattern of failure
manner in which some failures occur

3.44
circumstantial analysis
analysis of the circumstances in which some failures occur

3.45
equivalent failure rate
failure rate of a component or an item calculated from its achieved reliability for the corresponding time period with an assumption of a constant failure rate in the course of that time period

NOTE The obtained value of the equivalent failure rate is valid for the particular time period only.

4 Concepts de base

4.1 Généralités

Les concepts de base de la croissance de fiabilité d'un produit sont similaires, que les fragilités du produit soient détectées au moyen de la conception, de l'analyse ou de l'essai.

Dans un programme d'analyse de croissance de fiabilité d'une conception, la conception du produit est analysée pour déterminer si ses composants et leurs interactions constituent des fragilités potentielles quand il est soumis aux contraintes extrêmes opérationnelles et environnementales. Les résultats de l'analyse de conception peuvent être comparés aux objectifs ou exigences de fiabilité du produit. Des recommandations sont données pour les améliorations nécessaires. Ici, l'analyse des contraintes de conception et des fragilités des composants en regard de leurs modes de pannes joue un rôle clé pour déterminer des défaillances, améliorations potentielles et la croissance de fiabilité.

Il convient que l'analyse de conception ne se limite pas à l'électronique, car les composants mécaniques et le logiciel sont aussi sujets à des défaillances. Pour cette raison, la mesure de fiabilité appropriée est la probabilité de survie ou la probabilité de défaillance, plutôt que le taux de défaillance ou l'intensité de défaillance, car souvent pour un composant, il n'est pas possible de considérer un taux de défaillance, particulièrement un taux de défaillance constant, mais plutôt une probabilité de défaillance (usure).

Toutes les méthodes d'analyse de fiabilité peuvent être appliquées, y compris celles spécifiquement destinées à détecter les modes de défaillance potentiels, en particulier ceux où l'analyse serait trop complexe, ou risquerait de donner des résultats incertains. Les modes de défaillance, ou leurs causes, avec une forte probabilité d'occurrence, sont traités par amélioration de la conception, et la fiabilité de conception résultante est réévaluée. De cette façon, la croissance de fiabilité est contrôlée et les progrès sont relevés. L'analyse de la fiabilité de conception comprend également le logiciel intégré, ainsi que les interactions matériel-logiciel.

Dans un programme d'essais de croissance de fiabilité, les essais en laboratoire ou en exploitation permettent de stimuler la révélation des fragilités et d'améliorer la fiabilité d'un système, module, sous-ensemble ou composant. Quand une défaillance se produit, elle doit être diagnostiquée, la réparation et/ou le remplacement doivent être effectués et les essais doivent être poursuivis. Parallèlement aux essais, les défaillances passées doivent être analysées pour en trouver les causes fondamentales et, le cas échéant, les modifications correctives doivent être introduites dans la conception ou d'autres procédures, se traduisant par une croissance progressive de la fiabilité. Cette procédure s'applique autant au matériel qu'au logiciel intégré.

Un programme de croissance de fiabilité pour les entités ou composants non réparables ou à utilisation unique doit prévoir des échantillons successifs modifiés, chacun d'une conception plus fiable que le précédent.

4.2 Origine des fragilités et des défaillances

4.2.1 Généralités

Les fragilités sont normalement inconnues pendant l'utilisation d'un produit avant leur révélation par des défaillances. Cependant, une faiblesse peut être créée longtemps avant l'apparition d'une défaillance observable, par exemple, par une erreur humaine lors d'une opération concernant une entité ou par une contrainte opérationnelle ou environnementale excessive, par une caractéristique assignée de puissance inadéquate ou par une contrainte ou une combinaison de contraintes excessives pour une spécification de puissance d'un composant. Les fragilités peuvent aussi être inhérentes au matériau ou au composant, en raison d'un processus non totalement maîtrisé.

4 Basic concepts

4.1 General

The basic concepts for reliability growth of a product are similar, whether the product weaknesses are discovered through design, analysis, or test.

In a programme of reliability growth design analysis, the product design is analysed to determine whether any of its components and their interactions constitute potential weaknesses when subjected to the expected operational and environmental stresses and their potential extremes. Results of the design analysis may be compared with the product reliability goals or requirements, and recommendations are made for the necessary improvements. Here, the design stress and component weakness analysis regarding their respective failure modes are instrumental for determination of potential failures, improvements and the reliability growth.

Design analysis should not be limited to electronics, as mechanical components and software are also subject to failure. For that reason, the appropriate reliability measure is the probability of survival or probability of failure, rather than the failure rate or failure intensity, as the mechanical components often cannot be related to a failure rate especially to a constant failure rate, but rather to a failure probability (wear-out).

All reliability analytical methods can be applied, including testing specifically designed to detect potential failure modes, especially those where the analysis would be too complex, or would be likely to produce uncertain results. Failure modes, or their causes, found to have a high probability of occurrence are addressed through design improvement, and the new design reliability is reassessed. In that manner, reliability growth is monitored and the progress is recorded. Design reliability analysis also includes imbedded software, as well as the hardware-software interactions.

In a programme of reliability growth testing, laboratory or field testing is used to stimulate the exposure of weaknesses and to improve the reliability of a system, module, sub-assembly or component. When a failure occurs it shall be diagnosed, repair and/or replacement shall be carried out and testing shall be continued. Concurrently with testing, past failures shall be analysed to find their basic causes and, where appropriate, corrective modifications shall be introduced into design or other procedures, resulting in progressive reliability growth. This procedure applies equally to pure hardware and to embedded software.

A reliability growth programme on non-repairable, or one-shot, items or component only shall provide for successively modified samples, each of a more reliable design than the one before.

4.2 Origins of weaknesses and failures

4.2.1 General

Weaknesses are normally unknown in product use until they are revealed by failures. However, a weakness may be created long before the occurrence of an observable failure by an unconscious human error in some operation affecting an item such as excessive operational or environmental stress, or inadequate component derating such that the component strength is inadequate to withstand the expected stress or combination of stresses. Alternatively, it may be inherent in a material or component due to a process not being under complete control.

4.2.2 Fragilités systématiques

Les fragilités systématiques sont normalement liées à la conception du produit, au choix des composants, au procédé de fabrication, etc.

Le nombre de types de fragilités présentes est influencé par:

– la précision de la spécification, l'estimation des contraintes d'environnement ou de fonctionnement, ou les conditions d'utilisation (profil d'utilisation du produit);
– la nouveauté, la complexité ou la criticité de la conception, des procédés de fabrication ou de l'utilisation;
– les contraintes telles que des durées de développement ou de production inadéquates, les restrictions financières, les dimensions, le poids ou le fonctionnement;
– la compétence et le niveau de formation du personnel impliqué, en particulier du personnel de conception;
– l'implantation physique, qui peut être une cause de surchauffe de composant, ou une cause de défaut de fabrication.

Les fragilités systématiques peuvent se produire aussi bien dans le matériel que dans le logiciel, et peuvent avoir des effets très importants parce qu'une cause unique peut se traduire par des fragilités similaires pour toutes les entités. Les modifications correctives destinées à éliminer les fragilités systématiques ou à réduire leur probabilité d'occurrence peuvent elles-mêmes comprendre des erreurs introduisant de nouvelles fragilités systématiques.

Ces dernières peuvent être identifiées assez facilement même par des essais portant sur des échantillons de petite taille car elles se produisent dans tous les systèmes ou presque, naturellement dans des conditions d'essai qui stimulent le mode de défaillance.

4.2.3 Fragilités résiduelles

Les fragilités résiduelles sont normalement liées à une variation aléatoire non maîtrisée de l'entité ou de ses composants. Les facteurs donnés en 4.2.2 contribuent également aux taux des fragilités résiduelles, mais cela peut être réduit par la formation du personnel, le processus d'apprentissage et le contrôle qualité.

On ne trouve des fragilités résiduelles que dans le matériel. Contrairement aux fragilités systématiques, leurs effets se limitent aux entités uniques. Une proportion importante des fragilités résiduelles présentes dans une entité peut en général être éliminée par une sélection, mais pas toutes, ce qui se traduira par des défaillances à intervalles aléatoires pendant toute la vie de l'entité. Toutes réparations, remplacements ou modifications implique le risque que de nouvelles fragilités résiduelles puissent être introduites.

Les fragilités résiduelles sont très difficiles à détecter car elles ne se trouvent que dans une petite partie des systèmes. Des échantillons de grande taille peuvent donc être nécessaires. La meilleure façon d'éviter les fragilités résiduelles est la recherche des erreurs, le contrôle de qualité (c'est-à-dire, le contrôle statistique du processus) ou des marges de conception adéquates. Cependant, il faut souligner qu'il est bon d'éviter le terme de défaillance aléatoire. Le temps écoulé avant l'observation de la défaillance peut être aléatoire, mais la cause de cette défaillance est de nature déterministe, même si nous ne sommes pas en mesure de connaître le mécanisme physique des défaillances.

4.2.2 Systematic weaknesses

Systematic weaknesses are normally related to product design, components selection, manufacturing process or similar procedures.

The number of types of weaknesses present is influenced by:

– accuracy of specification or estimation of environmental and operational stresses, or conditions of use (product usage profile);
– novelty, complexity or criticality of design, manufacturing processes or usage;
– constraints such as inadequate development or production time scales, stringency of finance, size, weight or performance;
– skill and level of training of personnel involved, especially design personnel;
– physical layout that may be a cause of component overheat or be a reason for manufacturing defects.

Systematic weaknesses can occur both in hardware and software and may have very wide effects because a single cause results in similar weaknesses being built into all items. Corrective modifications intended to eliminate systematic weaknesses or to reduce the likelihood of their occurrence may themselves include errors that introduce new systematic weaknesses.

Systematic weaknesses can relatively easily be identified by testing even small sample sizes since they occur in all or most of the systems. A precondition is, of course, that the test conditions stimulate the failure mode.

4.2.3 Residual weaknesses

Residual weaknesses are normally related to uncontrolled random variation of the item or of its components. The factors given in 4.2.2 also contribute to the incidence of residual weaknesses but this can be reduced by personnel training, the learning process and quality control.

Residual weaknesses are found only in hardware. Unlike systematic weaknesses, their effects are restricted to single items. A significant proportion of the residual weaknesses present in an item can generally be eliminated by reliability screening, but others remain and will result in failures at random intervals throughout the life of the item. Any extensive repairs, replacements or modifications involve the risk that new residual weaknesses may be introduced.

Residual weaknesses are very difficult to detect in testing, since they are found only in a small fraction of the systems. Large sample sizes can therefore be required. The best way to avoid residual weaknesses is mistake proofing, quality control (i.e. statistical process control) or adequate design margins. However, it has to be emphasized that the term random failures should be avoided. The time that the failure is observed may be random, but the cause of the failure is deterministic, even though we may not know the physical failure mechanism.

4.3 Concepts de base de la croissance de fiabilité dans le processus de développement de produit; concept de l'ingénierie de fiabilité intégrée

Dans un programme de croissance de fiabilité, pendant la phase de conception de produit, la conception du produit est analysée pour déterminer si certains de ses composants ou leurs interactions constituent des fragilités potentielles quand ils sont soumis aux contraintes extrêmes d'exploitation et d'environnement envisagées. Les résultats de l'analyse de conception peuvent être comparés aux objectifs ou exigences de fiabilité du produit, et des recommandations sont faites pour les améliorations nécessaires. Ici, l'analyse des contraintes de conception et des fragilités des composants en regard de leurs modes de pannes, joue un rôle-clé pour déterminer des défaillances, des améliorations potentielles et la croissance de fiabilité.

Toutes les méthodes d'analyse de fiabilité peuvent être appliquées, y compris celles spécifiquement destinées à détecter les modes de défaillance potentiels. En particulier ceux où l'analyse serait trop complexe ou risquerait de donner des résultats incertains. Les modes de défaillance, ou leurs causes, trouvés comme ayant une forte probabilité d'occurrence, sont traités par amélioration de la conception, et la fiabilité de conception résultante est réévaluée. De cette façon, la croissance de fiabilité est surveillée et les progrès sont relevés.

L'analyse de fiabilité de la conception concerne également le logiciel intégré, ainsi que les interactions matériel-logiciel. Il convient que les mesures qualitatives de la fiabilité soient aussi suivies pendant la conception. Une liste d'actions peut être établie, composée des risques identifiés mais non étudiés à fond et des modes de défaillance supposés mais non évalués, ainsi que les modes de défaillance connus. La réduction du nombre et de la sévérité des points de la liste peut être suivie comme mesure de croissance de fiabilité.

4.4 Concepts de base de la croissance de fiabilité en phase d'essai

Dans un programme de croissance de fiabilité, les essais en laboratoire ou les essais en exploitation servent à stimuler la révélation des fragilités et à améliorer la fiabilité d'un système, équipement, composant, ou autre entité. Quand une défaillance se produit, elle doit être diagnostiquée, la réparation et/ou le remplacement doivent être effectués et les essais doivent être poursuivis. Parallèlement aux essais, les défaillances passées doivent être analysées pour trouver leurs causes profondes et, selon les besoins, des modifications correctives doivent être introduites dans la conception ou d'autres procédures, se traduisant par une croissance de fiabilité. Cette procédure s'applique identiquement au matériel et au logiciel intégré.

La croissance de fiabilité en essai ne résulte en général que de la réduction des effets des fragilités systématiques. La succession des événements, de l'état de fragilité initial à son élimination, est présentée à la Figure 1, pour les deux cas, systématique et résiduel.

Décider si une défaillance en essai est de catégorie A ou B s'effectue généralement comme suit:

– Les défaillances systématiques en essai touchant la sécurité, devraient toujours entrer en catégorie B.

– Les défaillances systématiques en essai susceptibles d'être réduites par des contraintes techniques, financières et temporelles raisonnables sont également de catégorie B.

– Les défaillances systématiques en essai qui ne sont pas liées à la sécurité, et nécessiteraient une re-conception complexe d'entité avec un coût et des retards de programme substantiels, peuvent être classées comme défaillances de catégorie A.

– Les défaillances en essai considérées comme résiduelles sont classées comme défaillances de catégorie A.

L'équipe qui prend les décisions est généralement composée de personnels de conception, de spécialistes de la fiabilité et gestion de programme.

4.3 Basic concepts for reliability growth in product development process; integrated reliability engineering concept

In a programme of reliability growth during the product design phase, the product design is analysed to determine whether some of its components or their interactions constitute potential weaknesses when subjected to the expected operational and environmental stresses and their potential extremes. Results of the design analysis may be compared with the product reliability goals or requirements, and necessary recommendations made for the necessary improvements. Here, the design stress and component weakness analysis regarding their respective failure modes are instrumental for determination of potential failures, improvements and the reliability growth.

All reliability analytical methods can be applied for the reliability growth in the product design phase, including testing specifically designed to detect potential failure modes, especially those where the analysis would be too complex, or would be likely to produce uncertain results. Failure modes, or their causes, found to have high probability of occurrence are addressed through design improvement, and the new design reliability is reassessed. In that manner, reliability growth is monitored and the progress is recorded.

Design reliability analysis also includes imbedded software, as well as the hardware-software interactions. Qualitative reliability measures should also be followed during the design. An action list may be made consisting of identified but not thoroughly investigated risks and assumed but not evaluated failure modes, as well as known failure modes. The reduction in number and severity of items on this list may be followed as a reliability growth measure.

4.4 Basic concepts for reliability growth in the test phase

In a programme of reliability growth, laboratory testing or field-testing is used to stimulate the exposure of weaknesses and improve the reliability of a system, equipment, component, or similar item. When a failure occurs it shall be diagnosed, repair and/or replacement shall be carried out and testing shall be continued. Concurrently with testing, past test failures shall be analysed to find their root causes and, where appropriate, corrective modifications introduced into design or other procedures, resulting in reliability growth. This procedure applies equally to pure hardware and to embedded software.

Reliability growth in test is generally associated only with the reduction of the effects of systematic weaknesses. The sequence of events from the initial weakness to its elimination is shown in Figure 1 for both systematic and residual cases.

Decision on whether a test failure is category A or B is usually made as follows.

– Safety-related systematic test failures should always fall in category B.
– Systematic test failures that can be mitigated within reasonable technical, financial, and time constraints are also category B.
– Systematic test failures that are not safety-related and that would require a complex item re-design with a substantial cost and programme delays may be classified as category A failures.
– Test failures determined to be residual are classified as category A failures.

The decision-making team is usually composed of design, reliability, and programme management personnel.

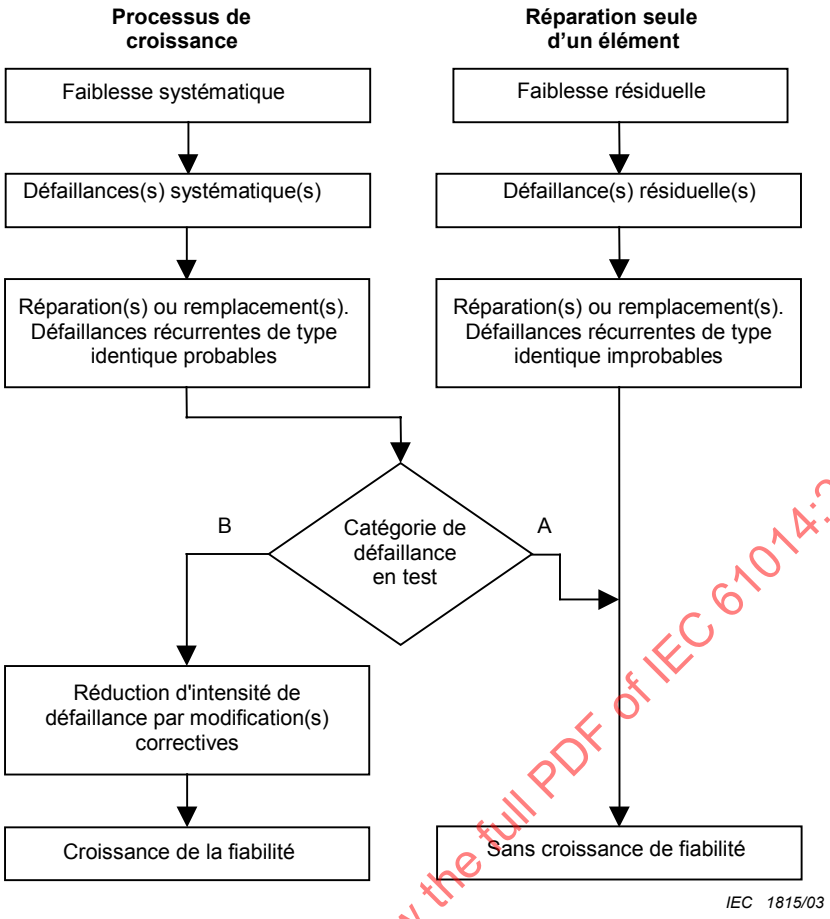


Figure 1 – Comparaison entre processus de croissance et de réparation en essais de croissance de fiabilité

La classification des modifications doit faire l'objet d'un soin très attentif. Pendant les programmes d'essais de croissance de fiabilité, la tendance est souvent de déclarer un choix comme réussi, ou une confiance importante dans un choix. Il est primordial de vérifier le choix en essai, non seulement dans les mêmes conditions d'essai que celles où la défaillance s'est produite, mais aussi de se rappeler les facteurs participant aux environnements des essais précédents. Un autre facteur devant également être examiné avec soin est la possibilité que la modification introduise un mode de défaillance différent qui peut ne pas apparaître dans le reste de l'essai. Des essais supplémentaires pour les modes de défaillance envisagés par rapport au choix peuvent être une pratique justifiée. On doit aussi avoir à l'esprit que les modifications, même si elles semblent réussies, ont aussi un taux de défaillance contribuant à l'intensité de défaillance d'une entité.

Un programme de croissance de fiabilité pour des entités non réparables ou à utilisation unique (tels que missiles) ou pour seulement des composants doit prévoir des prélèvements modifiés successivement, chacun d'un niveau de conception plus fiable que le précédent.

Les essais de croissance de fiabilité du logiciel sont indépendants de l'environnement physique (par exemple, la température et l'humidité), mais peuvent être affectés par les autres environnements (par exemple, l'utilisation et la maintenance), et ils ne sont pas affectés par la sélection. Toutefois, les estimations de performance de fiabilité du logiciel ne peuvent être obtenues que par l'observation des logiciels dans le matériel, soit le matériel d'essai, soit le matériel réel, le code logiciel exerçant la surveillance et l'enregistrement des défaillances. En conséquence, la croissance de fiabilité du logiciel est affectée par la capacité des essais à révéler des fragilités au cours du programme. Il est recommandé que ces essais soient, par conséquent, aussi complets que possible, afin d'inclure toutes les conditions ou combinaisons de conditions propres ou imprévues, qui pourraient se présenter dans l'utilisation pratique.

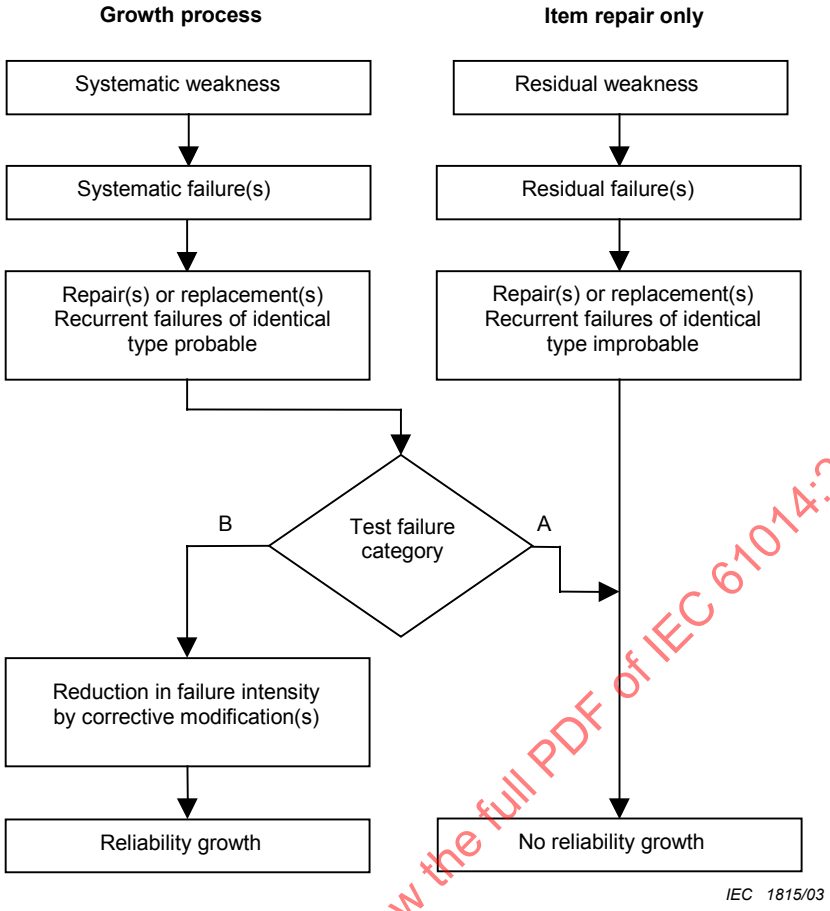


Figure 1 – Comparison between growth and repair processes in reliability growth testing

Extreme caution has to be exercised in classification of the modifications. It is often a tendency during reliability growth test programmes to declare a successful fix or a significant confidence in fix. It is of paramount importance to verify the fix in test, not only in the same test conditions in which the failure occurred, but also to bear in mind the contributing factors of the previous test environments. Another factor that also has to be examined with care is the possibility that the modification introduces a different failure mode, which may not appear in the remainder of the test. Additional testing for possible speculated failure modes of the fix may be a justified practice. It also has to be borne in mind that the modifications, no matter how successful they may appear, also have a failure rate contributing to the failure intensity of an item.

A reliability growth programme on non-repairable or one-shot items (expendable items, such as missiles) or components only, shall provide for successively modified samples, each of a more reliable design standard than before.

Reliability growth testing of software is independent of physical environment (for example, temperature and humidity) but may be affected by other environments (for example, use and maintenance) and is unaffected by reliability screening. However, estimates of reliability performance of software can be obtained only through observation of the software programmes in hardware, either test hardware or the real hardware, software code exercising, monitoring and recording of failures. Consequently, reliability growth of software is affected by the ability of performance testing to expose weaknesses during the programme. Such testing should therefore be as comprehensive as possible, in order to include all peculiar and unforeseen conditions, or combinations of conditions, which may arise in practical use.

4.5 Planification de la croissance de fiabilité et estimation de la fiabilité atteinte pendant la phase de conception

4.5.1 Généralités

L'intensité de défaillance de l'objet en essai étant réduite par chaque modification réussie, les méthodes d'estimation du taux de défaillance instantanée, taux de défaillance équivalente, intensité de défaillance, probabilité de défaillance, ou de MTBF, qui supposent une intensité de défaillance constante, ne sont pas valables pendant le processus de croissance. Cependant, à chaque point d'introduction des améliorations, le concept d'intensité de défaillance constante équivalente (taux de défaillance) peut être valable.

La présente norme donne les principes de modélisation mathématique pour l'estimation de la croissance de fiabilité atteinte et pour la fiabilité projetée. Des techniques associées peuvent être utilisées dans la planification des programmes d'amélioration de fiabilité en comptant ou en estimant le nombre et l'importance des problèmes sur une liste d'actions, ainsi que les évolutions de conception pendant le processus de conception, ou la durée d'essai nécessaire pour atteindre un but de fiabilité spécifié.

4.5.2 Croissance de fiabilité dans la phase de développement/conception de produit

L'estimation de la croissance de fiabilité est relativement simple pendant la phase de développement/conception de produit, de même que les améliorations de conception sont faciles à estimer, et donc la fiabilité résultante du produit. La planification de la croissance de fiabilité dans la phase de conception, est cependant très semblable à la planification de la croissance de fiabilité dans la phase d'essai. Elle implique de garder une trace des actions de la liste, et d'effectuer les changements de conception nécessaires, pendant la durée de conception, pour réaliser la croissance de fiabilité nécessaire. La similitude provient du fait que la croissance de fiabilité par analyse et amélioration de la conception suit le même modèle que l'essai de croissance de fiabilité planifié. Cela est dû au fait que les modes de défaillance potentiels – ou leurs causes – qui sont le plus grand risque, sont traités en premier. L'analogie avec l'expérience de l'essai est que les modes de défaillance qui sont les plus susceptibles de se produire sont ceux qui apparaissent en premier. Ainsi, les modes de défaillance sont traités chronologiquement selon leur probabilité d'occurrence et leur sévérité en conception et en essai et il en résulte des modèles mathématiques similaires.

La modélisation de la croissance de fiabilité est ici basée sur les améliorations de conception résultant d'analyse, par conséquent, le modèle tient compte du nombre et de l'importance des améliorations de conception au cours de la période de conception. Le résultat est un tracé en escalier représentant la fiabilité sous la forme du taux de défaillance équivalent résultant. Cette courbe peut être assimilée à une courbe en puissance pour le taux de défaillance équivalent, d'une façon similaire à ce qui est fait pour le programme d'essai de croissance de fiabilité.

La Figure 2 présente un tracé idéalisé de la planification de la croissance de fiabilité en phase de conception du produit.

L'axe des abscisses de la Figure 2 peut être exprimé en termes de durée en mesurant le temps jusqu'à une amélioration de conception. Le temps total est la durée de la période de conception.

Habituellement, dans l'industrie, il est souhaitable de représenter la fiabilité et les améliorations/croissances de fiabilité en termes d'amélioration de la probabilité de survie sur une période spécifiée, telle que période de garantie ou de mission. C'est particulièrement significatif pour l'industrie grand public, où pourcentage de panne signifie pourcentage de produits retournés pour réparation pendant la période de garantie. Une amélioration de la mesure de fiabilité est également très pratique pour un produit quand il y a un mélange de dispositifs ou structures mécaniques et d'électronique. La croissance de fiabilité planifiée peut être représentée de la même façon qu'à la Figure 2, sauf que la métrique est la probabilité de survie, comme montré à la Figure 3 (méthode Krasich – CEI 61164).

4.5 Planning of the reliability growth and estimation of achieved reliability during the design phase

4.5.1 General

Since the failure intensity of the test object is reduced by every successful modification, methods of estimation of instantaneous failure rate, equivalent failure rate, failure intensity, probability of failure, or of MTBF, which assume constant failure intensity, are not valid during the growth process. However, at each point of introduction of the improvements, the concept of constant equivalent failure intensity (failure rate) may be valid.

This standard therefore outlines the principles of mathematical modelling for estimating the growth achieved and the projected reliability. Related techniques may be used in planning reliability improvement programmes by counting and estimating the number and the magnitude of the problems on the action list as well as design changes during the design process, or the test time required to reach a specified reliability goal.

4.5.2 Reliability growth in the product development/design phase

Estimation of reliability growth is relatively simple during the product development/design phase, as the design improvements are easy to estimate, and thus the resultant product reliability. Reliability growth planning in the design phase, however, is very similar to the reliability growth planning in the test phase. It involves keeping track of the number of activities on the action list and performing the required design changes during the duration of the design period to achieve necessary reliability growth. The similarity stems from the fact that the reliability growth by analysis and design improvement in the design phase follows the same pattern as the planned reliability growth test. This is because the fact that the potential failure modes – or their causes – that are the highest risk are addressed first. The analogy with the test experience is that the failure modes that are the most likely to occur are those that occur first. Thus, the failure modes are addressed chronologically according to their likelihood of occurrence and severity in design and test, resulting in similar mathematical modelling.

The reliability growth modelling here is based on the design improvements resultant from analysis; therefore, the model takes into consideration the number and the magnitude of design improvements during the design period. The result is a step line representing the reliability of the resultant equivalent failure rate. This curve can be approximated with a power line for the equivalent failure rate, in a similar way as is done for the reliability growth test programme.

Figure 2 shows an idealized plot for the planning of the reliability growth in the product design phase.

The x-axis in Figure 2 may be expressed in terms of time duration by measuring time to a design improvement. The total time is the duration of the design period.

Usually in the industry it is desirable to represent reliability and reliability improvement/ growths in terms of improvement in the probability of survival within a specified period such as warranty or mission. This is especially meaningful to the consumer industry where the percentage failed means the percentage of a product returned for repair within the warranty period. Improvement in the reliability measure is also very convenient for a product when there is a mixture of mechanical devices or structures and electronics. Planned reliability growth can be represented in a similar way as in Figure 2, except that the metric is the probability of survival as shown in Figure 3 (Krasich method – IEC 61164).

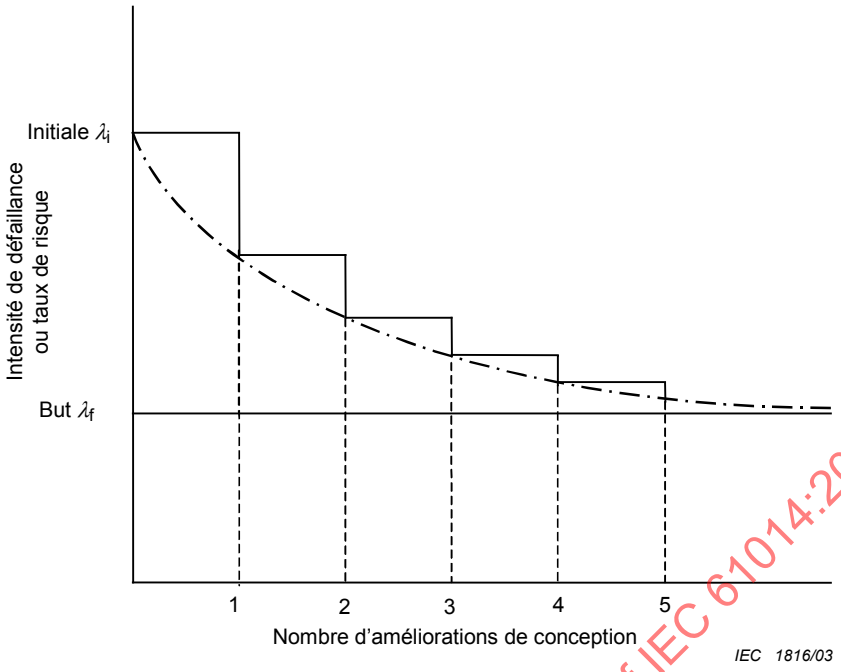


Figure 2 – Amélioration (réduction) planifiée du taux de défaillance équivalente

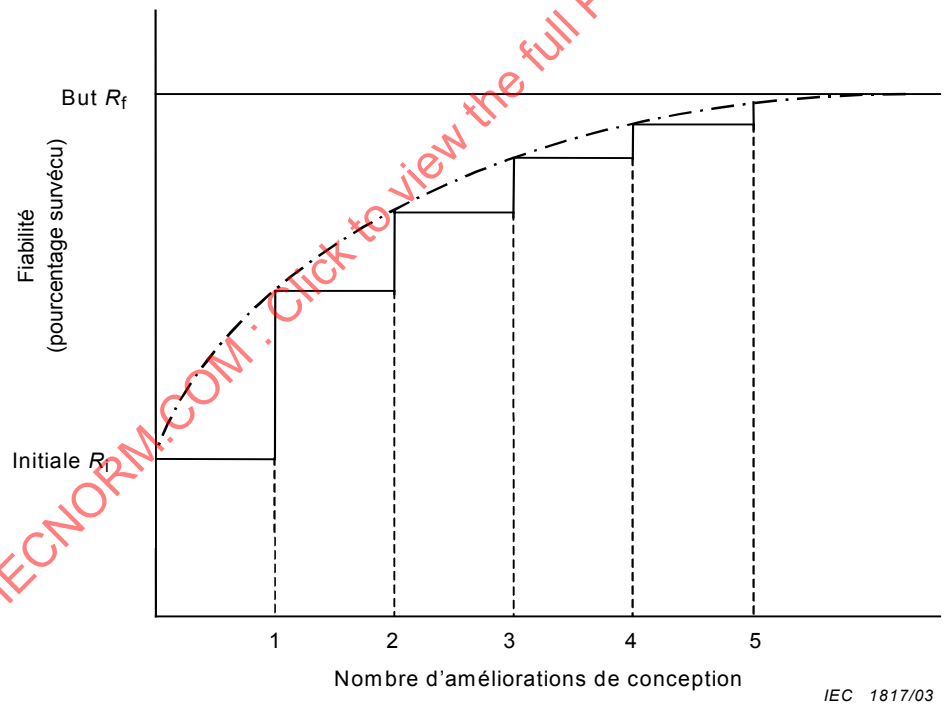


Figure 3 – Amélioration de fiabilité planifiée exprimée en termes de probabilité de survie

4.5.3 Croissance de fiabilité avec les programmes d'essai

La précision de toute méthode d'évaluation à partir d'essais de fiabilité dépend de l'efficacité avec laquelle l'environnement d'essai, les procédures de surveillance et les rapports de défaillance sont maîtrisés et le temps d'essai est enregistré. A cet égard, les données du laboratoire sont généralement plus sûres que celles provenant de l'exploitation ou de programmes d'essai «informels».

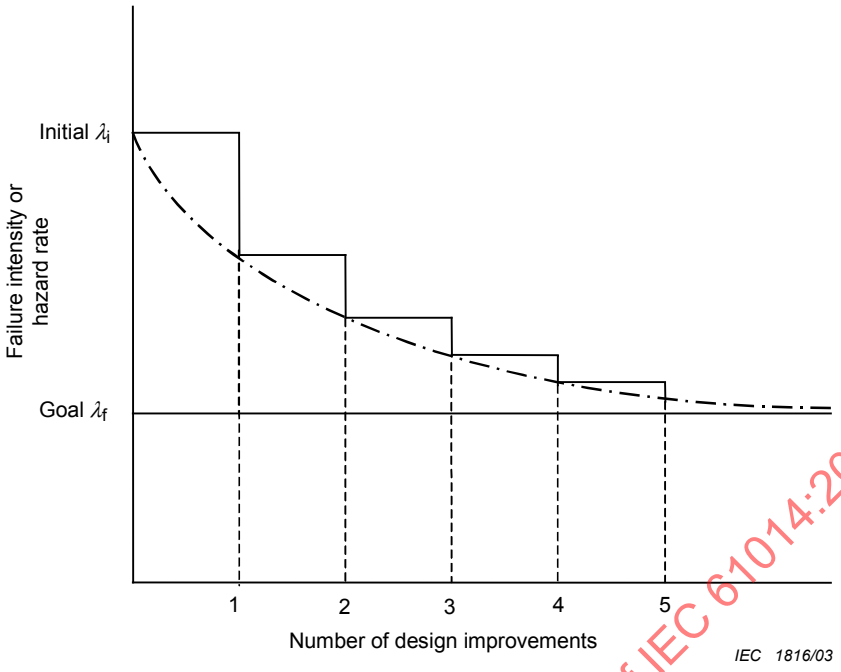


Figure 2 – Planned improvement (reduction) of the equivalent failure rate

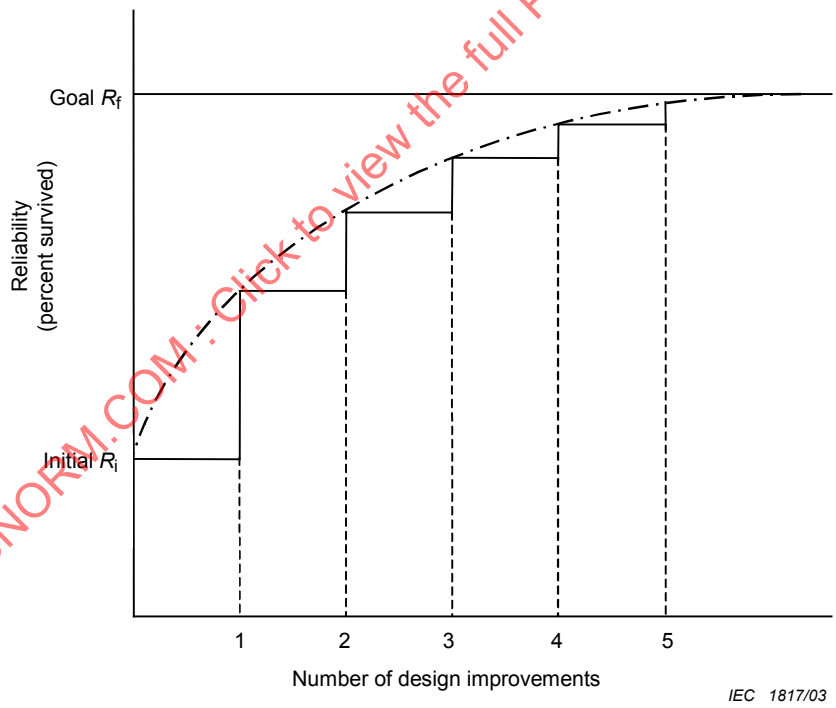


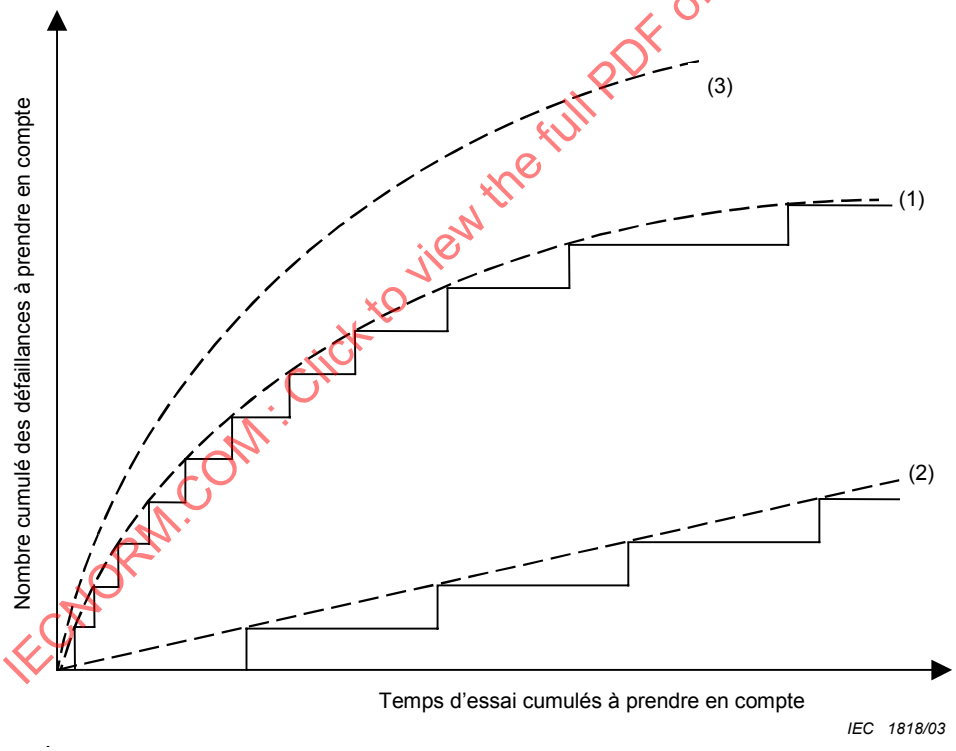
Figure 3 – Planned reliability improvement expressed in terms of probability of survival

4.5.3 Reliability growth with the test programmes

The accuracy of any test reliability evaluation method depends on how efficiently the test environment, monitoring procedures and failure reporting are controlled, and the testing time is recorded. In this respect, data from the laboratory are usually more dependable than those from the field or from “informal” test programmes.

Le facteur le plus influent dans l'essai en laboratoire est la succession des essais et le niveau des contraintes d'environnement et opérationnelles et leurs relations avec l'environnement du niveau d'utilisation. Ici, l'apparition de défaillances dépend beaucoup du type et du niveau de contrainte appliquée, donc les calculs de taux de défaillance et la qualité de l'estimation finale de la fiabilité sont liées à la qualité de la conception de l'essai. Pour cette raison, il convient d'apporter un soin extrême à la représentation précise des contraintes réelles de vie (voir la CEI 60300-3-5, 6.3.2). Il convient de ne pas tenter de modéliser s'il y a un doute sur le degré de maîtrise. Cependant, il est important de réaliser que, même si la maîtrise est insuffisante et la modélisation a été abandonnée, les processus d'amélioration décrits dans la présente norme entraîneront toujours une croissance de fiabilité. Un programme doit être entrepris même si les résultats quantitatifs ne peuvent pas être estimés.

Dans la Figure 4, la caractéristique (1) montre un tracé en escalier idéalisé du nombre cumulé de premières défaillances dues à chaque type de faiblesse systématique, par rapport au temps d'essai. Cette caractéristique apparaît sous forme exponentielle, reflétant le nombre de types de fragilités systématiques inhérentes vers lequel tend la courbe. La caractéristique (2) indique les défaillances résiduelles par rapport au temps de leur observation. Cette caractéristique apparaît sous forme linéaire, après la fin de la période de défaillance précoce. La somme des caractéristiques (1) et (2) donne la caractéristique (3), indiquant les défaillances totales et tendant finalement à la linéarité. Des récurrences de types de défaillances systématiques peuvent se produire si une modification corrective est retardée ou sans effet.



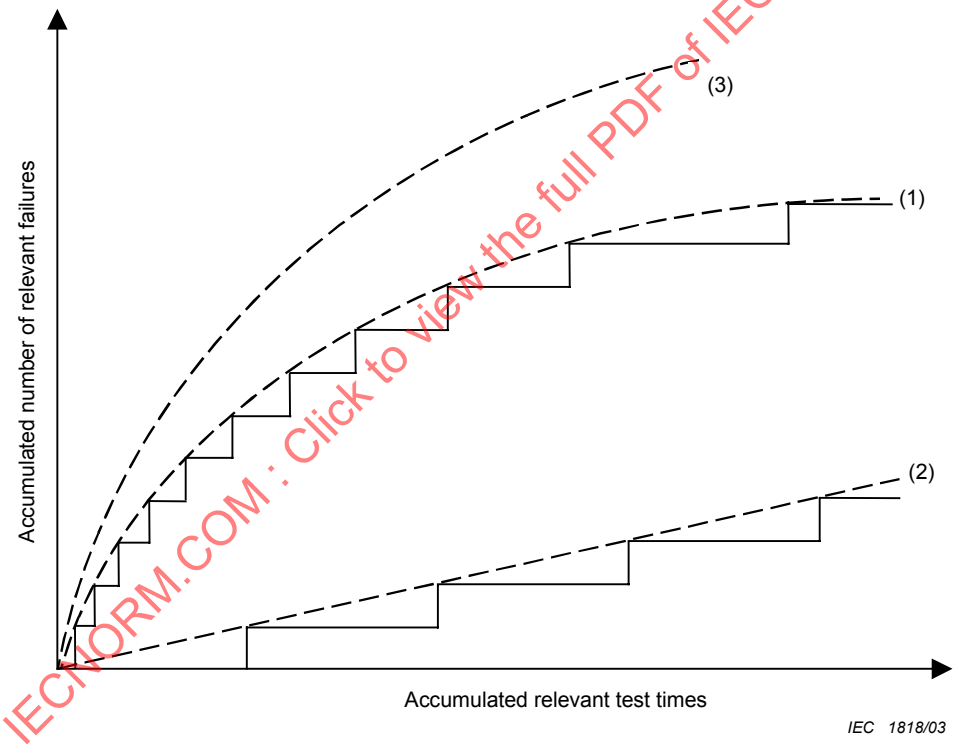
Légende

Caractéristique (1)	Première défaillance de chaque type de faiblesse systématique
Caractéristique (2)	Défaillances résiduelles
Caractéristique (3)	Total de (1) et (2)

Figure 4 – Diagrammes des défaillances en essai ou en laboratoire à prendre en compte avec le temps

The most influential factor in laboratory test is the assumed test sequence and environmental and operational stress levels, and their relationship to the use environment. Here, the appearance of failures is very dependent on the applied type and magnitude of stress; therefore, the failure rate calculations and the goodness of final reliability estimation is related to the goodness of the test design. For that reason, extreme care should be devoted to the accurate representation of real-life stresses (see IEC 60300-3-5, 6.3.2). Modelling should not be attempted if there is doubt about the degree of control. However, it is important to realize that, even if control is insufficient and modelling has to be abandoned, the processes of improvement described in this standard will always result in growth of reliability performance. A programme shall still be undertaken even if quantitative results cannot be estimated.

In Figure 4, characteristic (1) shows an idealized staircase plot of the accumulated number of the first failures due to each type of systematic weakness, against test time. This characteristic appears exponential in shape, reflecting the finite number of types of inherent systematic weakness to which the curve tends. Characteristic (2) is of residual failures against their time of observation. This characteristic appears linear in form, after the end of the early failure period. The sum of characteristics (1) and (2) gives characteristic (3), the total relevant failures, tending ultimately to linearity. Recurrences of similar types of systematic failure may appear if corrective modification is delayed or is ineffectual.



Key

Characteristic (1)	First failure of each type of systematic weakness
Characteristic (2)	Residual failures
Characteristic (3)	Total of (1) and (2)

Figure 4 – Patterns of relevant test or field failures with time

Les caractéristiques de la Figure 4 dépendent des hypothèses suivantes:

– La période de défaillance précoce est exclue; elle engendrerait une non-linéarité au début de la caractéristique (2).
– On ne prend en considération aucun nouveau type de fragilité qui serait créé pendant la période du programme, par exemple introduit pendant une réparation ou une modification.
– On ne prend en considération aucune défaillance due à une usure normale ou acceptable.
– L'environnement, les modes de fonctionnement et profondeur des essais restent constants pendant tout le programme. Tout cycle de la routine d'essai doit être de courte durée et avoir sa propre cohérence.
– Le temps d'essai est contrôlé avec précision.

5 Organisation

5.1 Généralités

La Direction est tenue d'établir les procédures de planification et d'exécution d'un programme de croissance de fiabilité et d'établir les relations entre l'activité d'essai et celles responsables des modifications correctives. Des directives générales sont données dans la CEI 60300-1 et dans la CEI 60300-2.

Avec les exigences de fiabilité élevées et les temps de développement et temps de vie courts des produits d'aujourd'hui, il n'est plus possible de concevoir d'abord le produit, et de procéder ensuite aux essais de fiabilité. Par conséquent, la confiance dans la conception du produit, les composants et les processus de fabrication, doit s'acquérir progressivement pendant le projet. Pendant l'exécution de l'analyse et des essais, des problèmes et des modes de défaillance potentiels sont identifiés, vérifiés, analysés et résolus (supprimés par des changements de conception). Ce processus est décrit dans la présente norme. Le concept classique de la croissance de fiabilité, une fois le produit lancé sur le marché ou mis en service, est inclus dans le processus de croissance de fiabilité, décrit par cette norme internationale, mais aujourd'hui l'accent est mis sur les activités de croissance avant le lancement de la production.

Les comptes rendus provenant du processus de croissance de fiabilité fournissent à la Direction, et si le contrat l'exige, au client, un bilan de la fiabilité du produit à chaque point-clé du projet, à chaque nouveau lancement de conception, et pour chaque prototype de pré-production construit. Le rapport doit comprendre une projection de la fiabilité pour l'avenir, basée sur les activités d'analyse, d'essai et d'amélioration, prévues et reposant sur l'effet de ces activités dans les projets précédents. Cette projection permet une détection précoce d'un éventuel écart entre la fiabilité projetée et la fiabilité cible du produit. En cas d'écart important, il est possible d'ajouter des moyens à temps. Cependant, on doit mettre l'accent sur le fait que la fiabilité projetée est basée sur les activités d'amélioration prévues et leurs effets montrés précédemment. Si le nombre d'activités prévues est réduit, par exemple en raison du manque de temps ou de moyens, on ne peut pas envisager la croissance projetée.

En outre, il convient de noter que les activités qui avaient un effet donné dans des projets antérieurs n'auront pas forcément ce même effet sur le nouveau projet. Par exemple, la technologie, l'équipe projet ou le responsable de projet peuvent avoir changé. De plus, la société a (on doit l'espérer) appris du projet antérieur. Cela signifie que l'on peut s'attendre à ce que la fiabilité au début du processus soit relativement plus faible, mais comme les premières défaillances sont plus faciles à éliminer que les dernières, on ne peut pas attendre le même effet, par les mêmes activités, dans le nouveau projet.

The characteristics in Figure 4 depend upon the following assumptions.

– The early failure period is excluded; otherwise there would be non-linearity at the start of characteristic (2).
– No new types of weakness are included which were created during the period of the programme, such as might be introduced during repair or modification.
– No failures due to normal or acceptable wear-out are included.
– The environment, modes of operation and depth of testing remain constant throughout the programme. Any cycle in the test routine should be short and self-consistent.
– Test time is accurately monitored.

5 Management aspects

5.1 General

Management shall set up procedures for planning and executing a reliability growth programme and shall establish the important liaison links between the testing activity and those responsible for corrective modifications. Managerial guidelines are covered by IEC 60300-1 and IEC 60300-2.

With the high reliability requirements and short development times and market life times of products today, it is no longer possible first to design the product and then to test it for reliability. Therefore the confidence in the product design, components and manufacturing processes has to be built up gradually during the project. As the analysis and tests take place, potential problems and failure modes are identified, verified, analysed and solved (removed by design changes). This process is described in this standard. The classical concept of reliability growth, once the product has been released to the market or taken into use, is included in the reliability growth process, as described by this International Standard, but the main emphasis is now on the growth activities before production is started.

The reporting from the reliability growth process gives the management and, where required by contract, the customer a status for the reliability of the product at each project milestone, at each new design release, and for each preproduction prototype build. The report shall include a projection of the reliability into the future based on the analysis, test and improvement activities planned and based on the effect of such activities in previous projects. This projection allows early detection of a possible gap between the projected reliability and the target reliability for the product. In the case of a significant gap, it is then possible to add resources in time. However, it has to be emphasized that the projected reliability is based on the planned improvement activities and their previously shown effect. If the number of planned activities is reduced, for example, due to lack of time or resources, the projected growth cannot be expected.

Further, it should be noted that the activities that had a given effect in earlier projects will not necessarily have the same effect on the new project. For example, the technology, the project team or the project manager may have changed. In addition, the company has (it is to be hoped) learned from the earlier project. This means that the reliability at the start of the process can be expected to be relatively lower, but since the first failures are easier to remove than the last, the same effect cannot be expected, by the same activities in the new project.

5.2 Méthodes comprenant les processus de la phase de conception

La Figure 5 présente un diagramme des méthodes d'organisation.

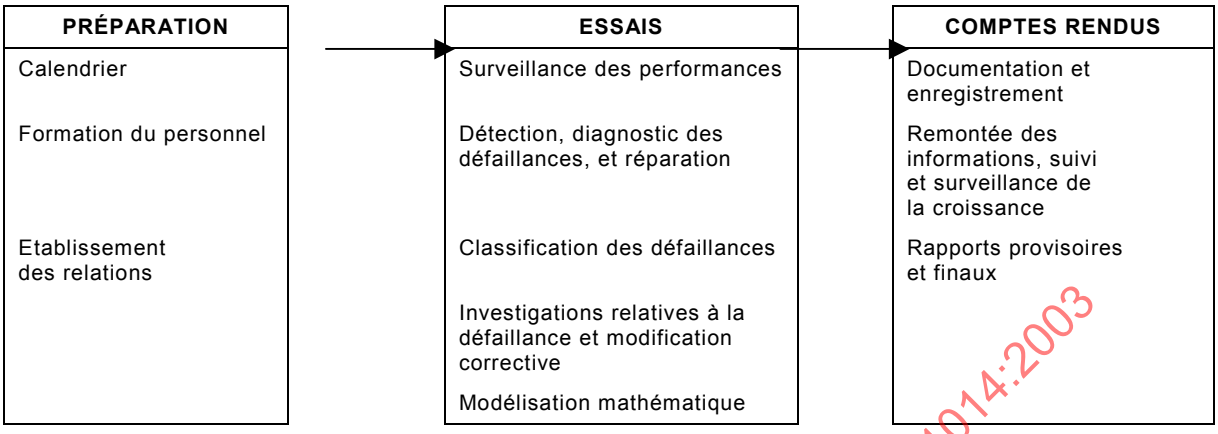


Figure 5 – Structure générale d'un programme de croissance de fiabilité

Il est nécessaire de prévoir une période de préparation pour planifier (voir l'Article 6). Elle permettra au personnel de se familiariser avec le matériel à essayer, et facilitera l'établissement des relations formelles et informelles entre les activités d'essai et celles de conception (voir 5.3). Les conditions d'essai sont détaillées en 6.4, celles de la classification en 6.4.4, et celles de modification corrective en 6.4.8. Ces trois méthodes sont résumées à la Figure 5.

La modélisation mathématique du programme de croissance de fiabilité en phase de développement/conception du produit peut être commencée dès que la fiabilité initiale du produit est connue et que l'objectif de fiabilité du produit est définie.

La modélisation mathématique (voir 6.4.9) du programme d'essai dédié à la croissance de fiabilité ne doit pas être commencée avant qu'un nombre statistiquement significatif de défaillances ne se soit produit. Comme l'estimation de la croissance est moins importante que le processus d'amélioration, il vaut mieux ne pas utiliser la modélisation si les conditions requises ne sont pas remplies plutôt que de courir le risque de fournir des résultats erronés.

Les comptes rendus des défaillances subies en essai consistent essentiellement à consigner au jour le jour le détail des résultats, à remonter les informations et rendre compte à l'utilisateur. Les éléments de ces activités figurent en 6.4.12.

5.3 Relations

Les modifications correctives destinées à éliminer les fragilités systématiques nécessitent qu'un ingénieur en fiabilité en surveille personnellement le déroulement, car la documentation à elle seule ne déclenchera pas efficacement les actions nécessaires. Cet ingénieur est tenu de maintenir des relations étroites avec le personnel concerné par les différentes sources d'informations sur les défaillances, et avec les responsables chargés d'éliminer les fragilités systématiques.

Les principales sources de données de défaillance sont les suivantes:

– les informations du fournisseur;
– l'analyse et la simulation;
– l'essai accéléré et les essais sous contrainte échelonnée, essais de vie hautement accélérés (HALT);
– les essais d'amélioration de fiabilité;

5.2 Procedures including processes in the design phase

Figure 5 shows the management procedures diagrammatically.

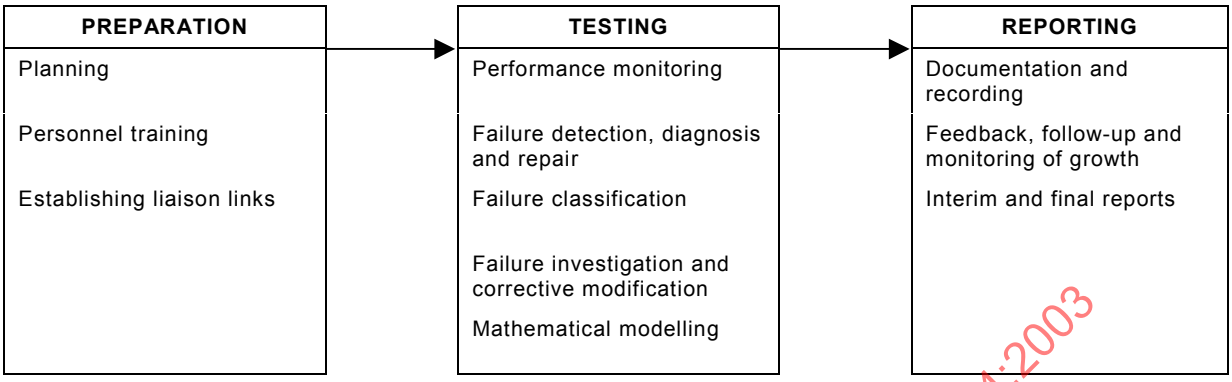


Figure 5 – Overall structure of a reliability growth programme

A period of preparation shall be scheduled for planning purposes (see Clause 6). This also allows all personnel to become acquainted with the equipment to be tested, and for both formal and informal liaison links between the testing and design activities to be set up (see 5.3). Testing requirements are detailed in 6.4, failure classification is detailed in 6.4.4 and corrective modification in 6.4.8. These three procedures are summarized in Figure 5.

Mathematical modelling for the reliability growth programme in the product development/ design phase can be commenced as soon as the knowledge about the initial product reliability is acquired and the project-specific reliability goal is set.

Mathematical modelling (see 6.4.9) for the dedicated reliability growth test programme should not commence until a statistically significant number of failures have occurred. Since estimation of growth is of less importance than the process of improvement, modelling shall be omitted if the model requirements are not fulfilled, rather than run the risk of giving misleading results.

Reporting of the failures experienced in test consists essentially of day-to-day detailed logging, feedback to design and reporting to the user. The elements of these activities appear in 6.4.12.

5.3 Liaison

Corrective modifications aimed at removing systematic weaknesses require a reliability engineer to progress them personally, since documentation alone will not trigger the necessary actions effectively. This engineer shall maintain close liaison with the personnel concerned with the various sources of failure information and with those responsible for elimination of systematic weaknesses.

The principal sources of failure data are as follows:

– supplier information;
– analysis and simulation;
– accelerated test and step-stress tests, highly accelerated life test (HALT);
– reliability improvement testing;

– les essais de sélection;
– les démonstrations de fiabilité;
– les essais de qualification en environnement;
– les essais de réception;
– les essais en exploitation;
– l'exploitation opérationnelle;
– les données venant de matériel similaire.

Il est nécessaire de considérer les essais d'amélioration de fiabilité comme la source la plus significative, car c'est leur but, et qu'ils nécessitent un contrôle étroit de l'environnement et de la collecte de données. Cependant, d'autres sources peuvent fournir des informations de base utiles pour établir les catégories de défaillance pour les données en exemple provenant de matériel similaire. Une banque de données informatique, avec ses possibilités de recherche et de tri permet de regrouper les types similaires de défaillances venant de différentes sources.

Les domaines de responsabilité pour lesquels une action de suivi peut être nécessaire comprennent:

– la conception et le développement;
– les fournisseurs de composants et les sous-traitants;
– les bureaux d'études;
– les spécifications;
– le calendrier de production;
– la fabrication;
– les essais de sélection;
– les essais de réception;
– les manuels techniques;
– les instructions d'utilisation et de maintenance;
– la formation;
– le transport et la manutention;
– les utilisateurs.

La Figure 6 illustre un exemple des relations essentielles. Différents fournisseurs peuvent avoir des organisations différentes et le personnel peut avoir différentes ou multiples responsabilités.

– reliability screening;
– reliability demonstrations;
– environmental qualification testing;
– acceptance testing;
– field trials;
– operational use;
– data from similar equipment.

Reliability improvement testing shall be regarded as the most significant source, since it is dedicated to this purpose and specifies close control of environment and data collection. However, other sources may provide useful background information in establishing failure categories, for example, data from similar equipment. A computer data bank with searching and sorting facilities enables similar types of failure from the various sources to be collated.

The areas of responsibility in which follow-up action may be needed include:

– design and development;
– components suppliers and sub-contractors;
– drawing offices;
– specifications;
– production planning;
– manufacture;
– reliability screening;
– acceptance testing;
– technical manuals;
– operating and maintenance instructions;
– training;
– transportation and handling;
– users.

Figure 6 illustrates an example of the essential liaison links. Different suppliers may have different organizations and the personnel may have different or multiple responsibilities.

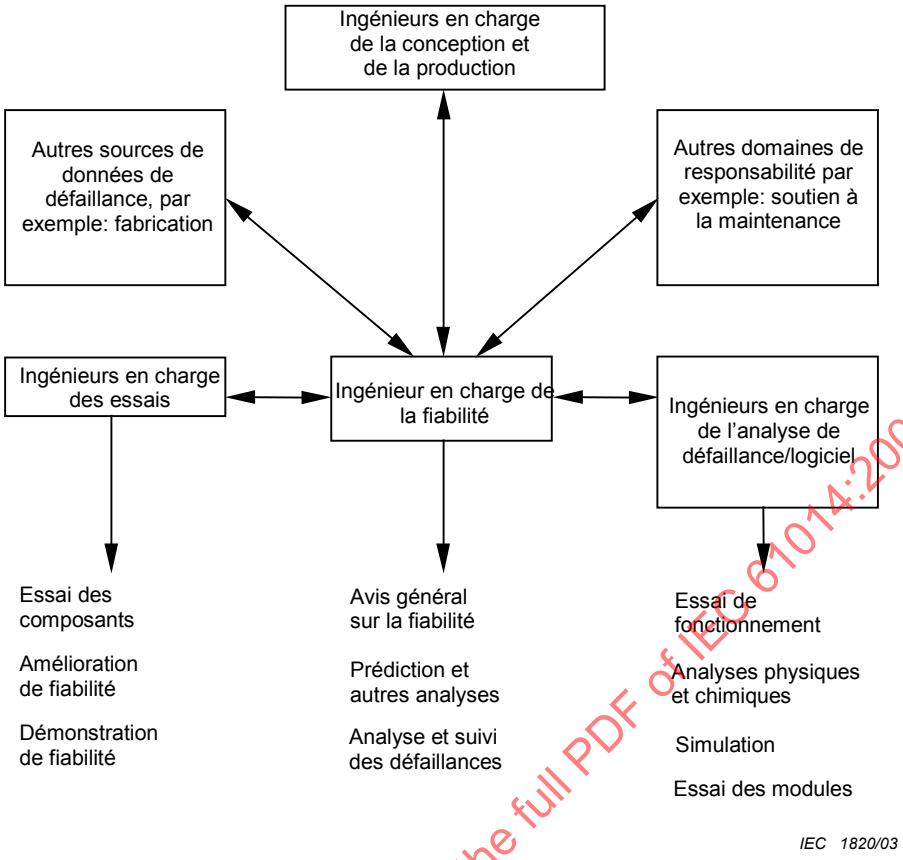


Figure 6 – Diagramme indiquant les relations et les fonctions

5.4 Main-d'œuvre et coûts de la phase de conception

Comme les projets et les entités varient beaucoup, tant par leur nature que par leur importance, on ne peut donner que des indications générales. Pour les petits projets, l'ingénieur en fiabilité indiqué en 5.3 peut ne se consacrer qu'à temps partiel à un projet, alors que, dans d'autres cas, il peut avoir besoin d'être assisté par une équipe importante.

Pour estimer la main-d'œuvre nécessaire, il conviendrait de prendre en compte les besoins en personnel de l'ingénieur en fiabilité et de l'effort de conception pour le suivi des fragilités qui n'auraient pas été connues sans le programme de croissance de fiabilité. L'analyse des défaillances et la mise au point des modifications peuvent exiger un effort important au niveau de la conception et dans d'autres domaines concernés.

Les entités à essayer et le matériel d'essai peuvent être récupérables ultérieurement, et peuvent être affectés à d'autres utilisations après remise en état, et ne pas intervenir dans le coût global. Les pièces de rechange non utilisées peuvent également être récupérables, mais peuvent nécessiter une reprise, une mise à jour par rapport à la révision en cours ou être rebutées.

5.5 Economies

Investir dans un programme de croissance de fiabilité peut faire réaliser des économies substantielles sur tout le cycle de vie de la population totale des entités.

Ces économies dépendent de nombreux facteurs, tels que la taille de la population d'entités (ou des éléments sujets à défaillance dans une entité), la durée du cycle de vie, le coût moyen de réparation et l'investissement dans des moyens de maintenance en exploitation. Généralement, une analyse des économies déterminera la rentabilité d'un programme de croissance de fiabilité.

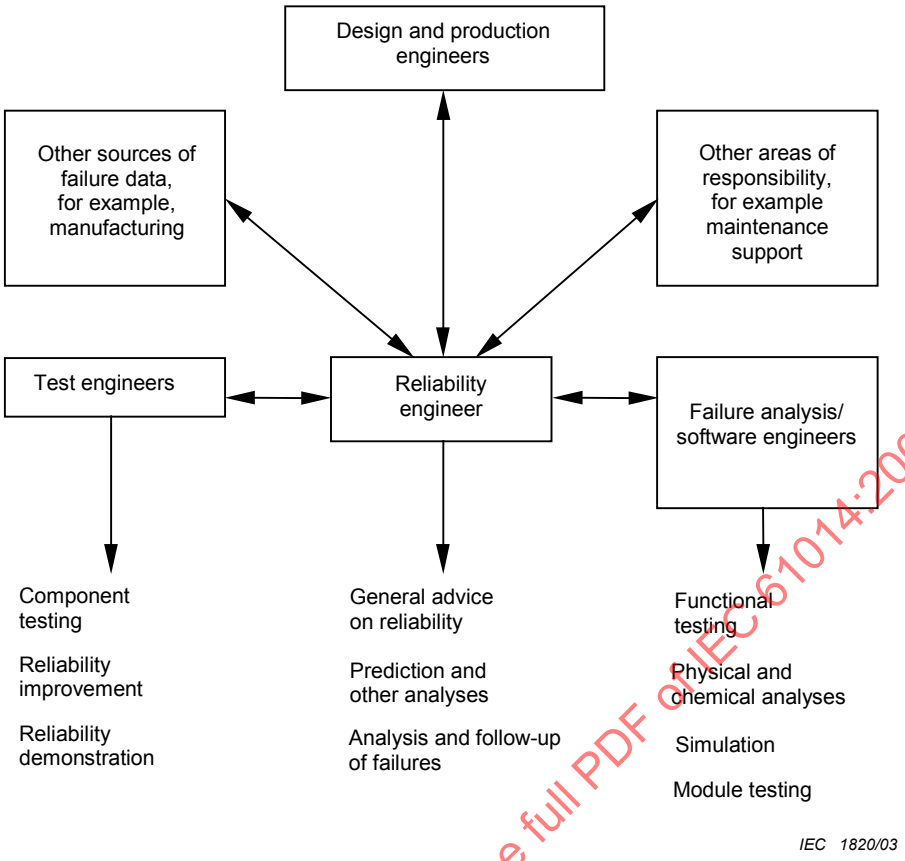


Figure 6 – Chart showing liaison links and functions

5.4 Manpower and costs for design phase

As the nature and scale of projects and items vary widely, only general guidance can be given. For small projects the reliability engineer indicated in 5.3 may be engaged only part-time on a project, while in other cases he may require considerable supporting staff.

The estimated manpower should allow both for the reliability engineer and for the design effort needed to follow up weaknesses, which would not have been known if there were no reliability growth programme. Analysis of failures and design of modifications may absorb significant effort in design and other appropriate areas.

Items to be tested and test equipment may afterwards be recoverable and may not contribute to the overall costs if they can be delivered or diverted to other uses after refurbishment. Unused spares may also be recoverable but may have to be reworked, updated to current revision or scrapped.

5.5 Cost benefit

An investment in a reliability growth programme may bring substantial savings over the life cycle of the total population of items.

These savings depend on many factors, including the size of the population of items (or of the elements subject to failure within an item), the length of the life cycle, the average repair cost and the investment in maintenance facilities in the field. Usually, a cost-benefit analysis will determine the cost effectiveness of a reliability growth programme.

Un complément substantiel d'économies vient du fait que pendant la phase de conception, dans le cas de changement de conception, il n'y a pas de changement d'outillage, de changement d'implantation de carte électronique, ou de changement de processus de fabrication pour les changements effectués avant la fin de ces activités.

6 Préparation et exécution des programmes de croissance de fiabilité

6.1 Concepts intégrés et aperçu de la croissance de fiabilité

Un produit, indépendamment de l'application prévue et de sa nature, évolue normalement pendant plusieurs phases majeures. Les phases de développement d'un produit dépendent des plannings des fournisseurs et de la structure de gestion du produit. Un exemple de flux général de développement de produit est donné ci-dessous.

a) Phase de concept et de spécifications

Le produit est défini conceptuellement, et les spécifications préliminaires sont déterminées, concernant ses performances et sa durée de vie envisagée.

b) Définition du produit

Le produit est défini plus en détail, et le calendrier est établi, pour sa conception, production, et commercialisation. Ici, sont déterminées une architecture préliminaire et une conception technique préliminaire, en même temps que la fonctionnalité et les caractéristiques opérationnelles du produit (conception du système).

c) Conception

Le produit est défini en détail, en ce qui concerne sa fonctionnalité, sa structure, et toutes ses caractéristiques de fonctionnement. La conception est finalisée sur la base d'analyses et évaluations techniques, et les composantes de la conception sont déterminées. A la fin de cette phase, le produit est prêt pour la production.

d) Phase d'essais d'évaluation et de validation

Simultanément aux préparations nécessaires pour une production normale, les performances et la fiabilité du produit sont évaluées par des essais. Les essais de qualification et de fiabilité du produit ont lieu avec le premier lot de production.

e) Phase d'utilisation opérationnelle du produit

La dernière phase du produit est son utilisation. Lors de cette phase a lieu la collecte de données sur les performances; et l'analyse de données appropriée fournit des informations, pour notamment d'éventuelles améliorations des générations suivantes du produit ou des parties de sa conception qui seraient utilisées par un autre produit.

Au cours de chacune des phases du processus de conception, a lieu une activité concernant la fiabilité, l'analyse ou les essais, dont chacune est affectée à la croissance de fiabilité du produit, faisant de celle-ci un processus de croissance de fiabilité ou un processus d'ingénierie de fiabilité.

Les phases de développement du produit varient avec chaque fournisseur individuel et peuvent porter des noms différents. L'exemple exposé ci-dessus et représenté à la Figure 7 donne une idée générale de l'étape où ont lieu les différentes activités concernant la fiabilité.

A substantial addition to the cost savings comes from the fact that, during the design phase, in the case of design changes, there is no change in tooling, circuit board layout change, or change in the manufacturing process, for the changes made before these activities are finished.

6 Planning and execution of reliability growth programmes

6.1 Integrated reliability growth concepts and overview

A product, regardless of the intended application and its nature, normally evolves through several major phases. The product development phases depend on the individual suppliers' planning and product management structure. An example of product development general flow is as follows.

a) Concept and requirements phase

The product is conceptually defined, and the preliminary requirements are determined regarding its performance and expected life.

b) Product definition

The product is defined in more detail, and planning is done for its design, production, and marketing. Here, a preliminary architecture and preliminary engineering design are determined along with product functionality and operational characteristics (system design).

c) Design

The product is defined in detail regarding its functionality, structure, and all performance characteristics. The design is finalized based on engineering analyses and evaluations, and the design components are determined. At the end of this phase, the product is ready for production.

d) Evaluation and validation test phase

Concurrently with necessary preparations for regular production, the product is evaluated by test, for its performance and reliability. With the first production run, qualification and reliability testing of the product take place.

e) Product field-use phase

The last phase of the product is its use, when data collection on its performance takes place, and the appropriate data analysis provides information for further considerations and possible improvements of the next generations of the product or the parts of its design that would be inherited by another product.

In the course of each of the design process phases, a reliability activity, analysis or test, is taking place, each of these contributing to the product reliability growth, making it an integrated reliability growth process or integrated reliability engineering process.

The product development phases vary with each individual supplier and may bear different names. The example explained above and depicted in Figure 7 gives a general timeline when various reliability activities take place.

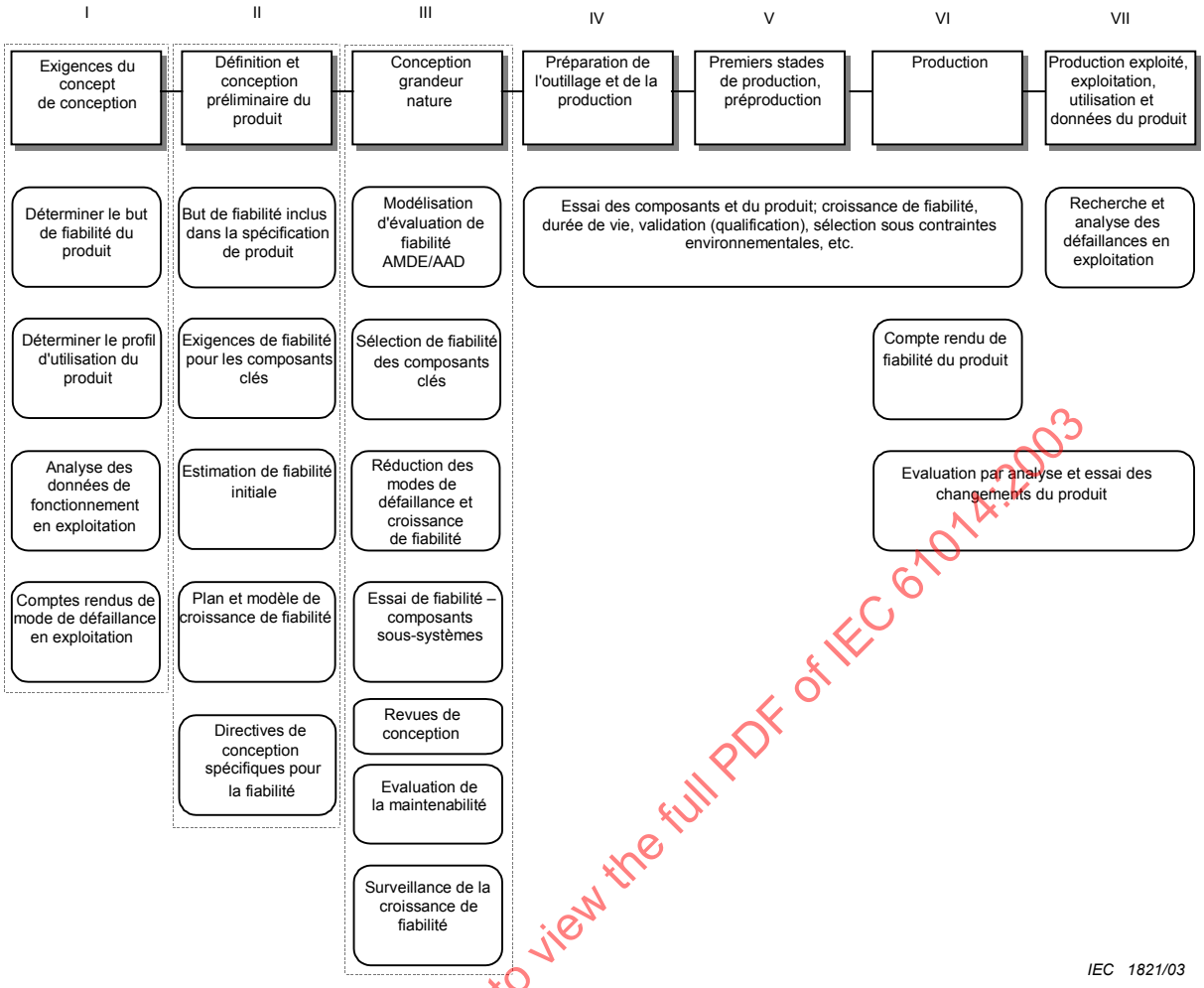


Figure 7 – Processus intégré d'ingénierie de fiabilité

6.2 Activités de croissance de fiabilité en phase de conception

6.2.1 Activités en phase de concept ou de spécifications du produit

L'objectif de fiabilité spécifique du produit doit être fixé au début du programme, sur la base d'une fiabilité raisonnablement réalisable, grâce au programme de croissance de fiabilité du produit, pendant sa phase de conception. L'objectif doit être fixé en tenant compte:

– pour les produits grand public, d'hypothèses raisonnables de pourcentage acceptable de retours pendant la période de garantie du produit;

– pour les produits militaires (de défense), de scénarios de mission et de fonctionnement envisagés, qui sont dictés par le produit conçu et son utilisation appropriée.

Cette activité ne se limite pas à déterminer quels sont les objectifs ou spécifications de fiabilité numériques ou descriptives. Il est indispensable de déterminer ce que sont les fonctions du produit, ainsi que de déterminer toutes les conditions et tous les niveaux de fonctionnement acceptables. Cela sert à évaluer et définir ce qui constitue une défaillance critique, des performances dégradées, ou une anomalie fonctionnelle mineure d'un système. On doit s'attendre à ce que les définitions de défaillances ou de fonctionnement dégradé soient différentes pour des sous-systèmes différents ou leurs assemblages.

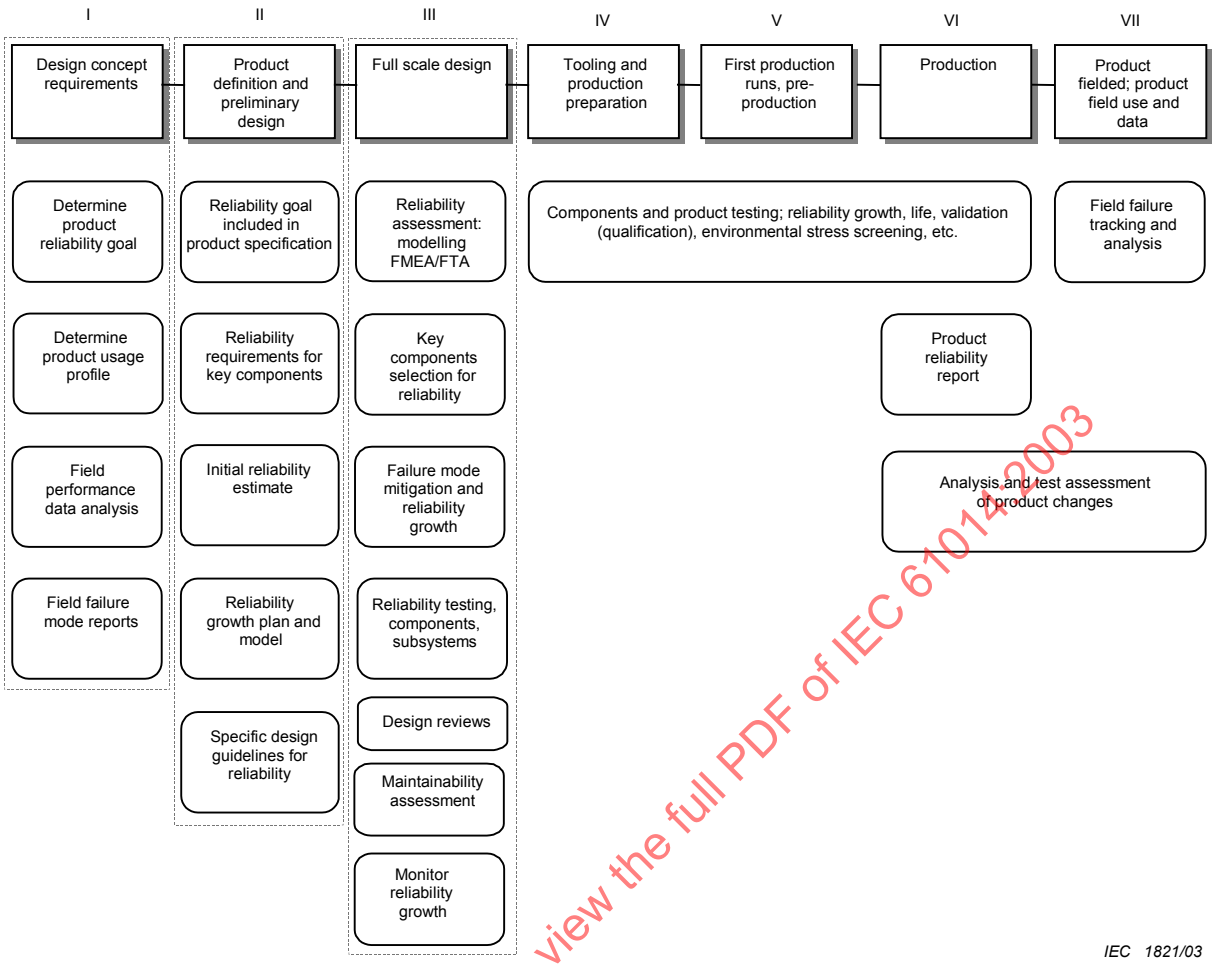


Figure 7 – Integrated reliability engineering process

6.2 Reliability growth activities in the design phase

6.2.1 Activities in concept and product requirements phase

The product specific reliability goal shall be set at the beginning of the programme based on reasonably achievable reliability through the product reliability growth programme during its design phase. The goal shall be set taking into account the following:

– for consumer products, reasonable assumptions of tolerable percentage return for service in the product warranty period;

– for military (defence) products, the mission scenario and expected performance that is dictated by the product designed and its designated use.

This activity is not limited to the determination of numerical or descriptive reliability goals or requirements. It is essential to determine what the product functions are, and also to determine all conditions and levels of acceptable operation. This is to evaluate and define what constitutes a system critical failure, degraded performance, or minor operational anomaly. It is to be expected that the definitions of failures or degraded operation are different for different subsystems or their assemblies.

Le profil d'utilisation du produit ou un profil de mission doit comprendre la suite et le niveau détaillés des conditions d'environnement et de fonctionnement attendues dans l'utilisation du produit quand il est mis au point sur la base de recherches et des attentes et besoins identifiés du client ou de l'utilisateur. Ce profil doit servir à déterminer l'objectif de fiabilité et l'estimation de fiabilité du produit.

Il est recommandé que l'analyse des données de performance en exploitation, d'un produit similaire en exploitation soit effectuée pour estimer la fiabilité et pour fixer l'objectif de fiabilité à atteindre.

Il y a lieu que les rapports de modes de défaillance en exploitation d'un produit similaire en exploitation servent d'informations sur les modes de défaillance potentiels des produits nouvellement conçus.

6.2.2 Définition et conception préliminaire du produit

L'introduction de l'objectif de fiabilité dans le cahier des charges du produit assure que le programme est exécuté à chaque tentative de réalisation du but de fiabilité.

Les exigences de fiabilité des composants clés assurent que ces composants jugés clés pour le fonctionnement du produit ont une prévision de fiabilité réaliste, de telle sorte que le produit est capable d'atteindre l'objectif de fiabilité qui lui est assigné. Il convient, normalement, que les exigences de fiabilité spécifient les taux de défaillance maximaux tolérables, déterminés pour l'environnement opérationnel prévu, et soient incluses dans les spécifications des composants. Quand les informations de fiabilité sont fournies pour un environnement général, (normalement de 25 °C en intérieur), elle doivent être transposées à l'environnement opérationnel prévu en utilisant la loi d'Arrhenius ou une autre méthode applicable.

Les estimations initiales de fiabilité sont effectuées lors de cette phase, sur la base de l'expérience acquise sur des produits similaires ainsi que de l'évaluation de fiabilité de la conception préliminaire.

Les plan et modèle de croissance de fiabilité sont élaborés dans cette phase pour déterminer quelles activités vont être entreprises et quels sont le nombre et l'importance des améliorations de conception nécessaires pour atteindre l'objectif de fiabilité du produit dans la période de conception donnée.

Le modèle de calendrier de croissance de fiabilité est basé sur la courbe de croissance de fiabilité idéalisée qui suit la loi en puissance. L'hypothèse que la croissance de fiabilité en conception suit bien mathématiquement la loi en puissance est basée sur le fait que normalement les modes de défaillance ayant les taux de défaillance les plus élevés sont traités en premier, et que l'ordre d'allégement ou de réduction de la probabilité d'occurrence suit l'importance du taux de défaillance équivalente du mode de défaillance (causes). Cela signifie que les modes de défaillance ayant les taux de défaillance les plus élevés sont traités en premier (voir la CEI 61164).

Les directives de conception spécifiques à la fiabilité sont élaborées pour assurer que les pratiques de conception spécifiques au produit sont appliquées pour l'amélioration de la fiabilité.

6.2.3 Phase de conception du projet

L'évaluation de la fiabilité, la modélisation, l'AMDE/AAD sont faites pour évaluer la fiabilité du produit à différents stades de la conception, et identifier et réduire les modes de défaillance et leurs effets qui pourraient poser un problème potentiel à l'exploitation du produit. La réduction de ces modes de défaillance et de leurs causes respectives, ou la minimisation de leurs effets contribue à la réalisation de la croissance de fiabilité du produit.

The product usage profile or a mission profile shall include the detailed sequence and magnitude of operational and environmental conditions expected in product use as it is developed based on research and identified customer or user expectations and needs. The profile shall be used in determination of the product reliability goal and for reliability estimation.

Field performance data analysis of a similar fielded product should be done to estimate initial reliability and to set the attainable reliability goal.

Field failure mode reports of a similar product should be used as information on potential failure modes of the newly designed product.

6.2.2 Product definition and preliminary design

Reliability goal inclusion in the product specification ensures that the programme is carried out with every attempt being made to achieve the reliability goal.

Reliability requirements for the key components ensure that those components deemed key for the product operation have realistic reliability expectation such that the product is capable of meeting its allocated reliability goal. Reliability requirements should normally specify maximum tolerable component failure rates as determined for the anticipated operational environment and shall be included in the component specification drawings. When the reliability information is provided for a general (normally 25 °C indoor) environment, it has to be adjusted to the expected operating environment using Arrhenius thermal adjustment or another applicable method.

Initial reliability estimates are made in this phase on the basis of the filed experience of similar products as well as the reliability evaluation of the preliminary design.

The reliability growth plan and model are prepared in this phase to determine what activities are going to be undertaken and what is the necessary number and magnitude of design improvements to achieve the product reliability goal within the given design period.

The reliability growth planning model is based on the idealized reliability growth curve that follows the power law. The assumption that the reliability growth in design does mathematically follow the power law is based on the fact that normally, the failure modes with the highest failure rates are addressed first, and the order of mitigation or reduction in probability of occurrence follows the magnitude of the equivalent failure rate of the failure mode (causes). This means that the failure modes of the highest equivalent failure rates are addressed first (see IEC 61164).

Specific design guidelines for reliability are prepared to ensure that the design practices specific to the product are applied for reliability enhancement.

6.2.3 Project design phase

Reliability assessment, modelling, FMEA/FTA is done to evaluate product reliability at various stages of the design evolution and to identify and mitigate failure modes and their effects, which might pose a potential problem to the operability of the product. Mitigation of those failure modes and their respective causes, or minimization of their effects, contributes to the realization of the product reliability growth.

L'analyse des modes de défaillance de la conception et de leurs effets, AMDE (voir la CEI 60812), doit être effectuée pour chaque produit, et fournir des estimations de tous les modes de défaillance et de leurs causes respectives, ainsi que la détermination de leur probabilité individuelle d'occurrence.

Pour évaluer la probabilité de défaillance ou la fiabilité du système global, on doit associer les modes de défaillance individuels et leurs causes au matériel et les modéliser pour représenter l'architecture réelle du système. Cela peut être effectué par modélisation de fiabilité traditionnelle, manuelle, à l'aide d'un logiciel de prédiction de fiabilité disponible dans le commerce, ou en construisant un arbre des pannes qui représente le matériel (voir la CEI 61025 et la CEI 60300-3-1), en effectuant l'analyse de l'arbre de pannes manuellement, ou à l'aide d'un logiciel disponible dans le commerce, tel qu'un logiciel d'analyse d'arbre de pannes.

L'analyse d'arbre de pannes (AAP), étant une analyse technique descendante, suit tous les chemins de panne possibles qui peuvent contribuer à la défaillance des ensembles individuels par des entrées de bas niveau que représentent les modes de défaillance de composants logiciels ou matériels. Les causes potentielles de modes de défaillance individuels sont normalement représentées comme des événements de base associés à une probabilité d'occurrence. La remontée des valeurs de probabilité au niveau supérieur fournit des informations sur la probabilité de défaillance du produit (fiabilité). L'avantage de l'utilisation de la méthodologie AAP réside dans l'analyse des modes de défaillance et la modélisation de fiabilité qui s'effectuent en même temps, une autre modélisation de fiabilité séparée n'étant pas nécessaire, et il est aisé d'accepter et de justifier les changements de conception.

On fait l'estimation de l'importance et de la sévérité des modes de défaillance individuels et de leurs causes pour déterminer les priorités de réduction ou de minimisation de leur probabilité d'occurrence. La priorité absolue de réduction doit être donnée aux causes de modes de défaillance qui peuvent présenter une menace pour la sécurité et avoir une probabilité d'occurrence raisonnable. Les modes de défaillance qui sont critiques pour le fonctionnement du produit et qui ont une probabilité d'occurrence élevée sont également situés très haut dans la liste prioritaire. Le changement d'un type de composant à cause du niveau de qualité et fiabilité est acceptable comme solution de conception quand il contribue fortement à la fiabilité de l'ensemble ou du produit global.

La sélection des composants clés pour leur fiabilité assure que les composants qui sont indispensables aux fonctions du produit ont bien la fiabilité requise. Leur fiabilité est normalement calculée sur la base des informations des essais d'endurance obtenues auprès des fabricants de composants et transposées au profil d'utilisation du produit.

La réduction des modes de défaillance est le résultat de la coopération étroite des ingénieurs en conception et en fiabilité dans la recherche de solutions de conception pour l'amélioration de la fiabilité du produit. Elle peut comprendre les changements de conception et de composants, la prise en considération de la caractéristique assignée de puissance des composants, le changement d'implantations, la gestion du bilan thermique, et autres solutions de conception disponibles. La réduction des modes de défaillance permet la croissance de fiabilité du produit.

Les essais de fiabilité des composants peuvent être effectués à la place de la détermination analytique de leur fiabilité. Ici, les composants peuvent être des composants électroniques, des ensembles ou des sous-systèmes d'un produit et les essais peuvent être conduits pour une période prédéterminée ou pour la durée de vie ou pour une mission. C'est bénéfique dans les cas où la conception des composants n'est pas bien décrite (composants achetés). L'essai est alors destiné à s'assurer de la fiabilité attribuée à ce composant pour le profil d'utilisation défini pour le produit.

Les revues de conception, formelles et informelles, quand elles sont conduites en gardant à l'esprit l'objectif de fiabilité, contribuent à la collaboration étroite des ingénieurs en conception et en fiabilité, pour la conception la plus fiable. (voir CEI 61160)

Failure modes and effects analysis, FMEA (see IEC 60812) of the design needs to be done for each product and needs to provide estimates of all failure modes and their respective causes along with determination of their individual probability of occurrence.

To assess the overall system probability of failure, or reliability, the individual failure modes and causes have to be associated with the hardware and modelled to represent actual system architecture. This can be done by traditional reliability modelling, manually, using commercially available reliability prediction software, or by constructing a fault tree that represents hardware (see IEC 61025 and IEC 60300-3-1), performing this fault tree analysis manually, or using commercially available software such as fault tree analysis software.

The fault tree analysis (FTA), being a top-down engineering analysis, follows all possible fault paths that can be contributors to the failure of the individual assemblies through the low-level gates that represent failure modes of software or of hardware components. Potential causes of individual failure modes are represented normally as basic events with an associated probability of occurrence. The roll-up of the probability values to the top gate provides information on product probability of failure (reliability). The advantage of using the FTA methodology is that both failure mode analysis and reliability modelling are done at the same time, another separate reliability modelling is not necessary, and the design changes are easy to accommodate and to account for.

The magnitude and severities of individual failure modes and causes are estimated to determine priorities for failure mode mitigation or minimization of their probability of occurrence. Absolute priority for mitigation should be given to the failure mode causes that may pose a threat to safety, and that have a reasonable likelihood of occurrence. Failure modes that are critical for product operation and have a high likelihood of occurrence are also very high on the priority list. Change of a component type of reliability quality level is acceptable as a design solution when it has a significant contribution on the assembly or overall product reliability.

Key component selection for reliability ensures that the components that are essential for the product functions do have the required reliability. Their reliability is normally calculated on the basis of the life test information obtained from the components manufacturers and normalized to the usage profile of the product.

Failure mode mitigation is a result of the tight cooperation of design and reliability engineering in finding design solutions for product reliability improvement. It may include design and component changes, component derating consideration, change in layouts, thermal management, and other design solutions available. Mitigation of the failure modes allows product reliability growth.

Reliability testing of components may be done in lieu of analytical determination of their reliability. Here, components may be electronic components, assemblies or subsystems of a product, and the testing may be done for a predetermined time period or for life or for a mission. It is beneficial in cases where their design is not well disclosed (purchased components). The test then is designed in such a way as to ensure reliability allocated to that component for the usage profile defined for the product.

Design reviews, formal and informal, when done with reliability in mind, contribute to the close interaction of design and reliability engineering for the most reliable design (see IEC 61160).

L'évaluation de la maintenabilité assure que le produit peut être maintenu sans trop de difficulté ni de coût. Elle ne contribue pas directement à la croissance de fiabilité, mais la réduction des défaillances potentielles pouvant nécessiter une maintenance accrue, amène à ce résultat.

La surveillance de la croissance de fiabilité consiste à relever la fiabilité de produit réalisée, telle qu'évaluée pendant la période de conception et au moment des améliorations de conception (évolutions), et en une comparaison de cette croissance avec le modèle de croissance de fiabilité prévu pour le produit. Toute action nécessaire pour la réalisation de la croissance prévue peut alors être menée en temps utile.

6.2.4 Outillage, premiers lots de production (pré-production), phase de production

Outre les essais de croissance de fiabilité prévus, l'essai des composants et du produit pour l'évaluation de l'ingénierie du produit, la validation des améliorations de conception ou la validation des composants de rechange, sont quelques-unes des dernières activités, avant la production.

La sélection sous contrainte d'environnement peut être effectuée sur des unités de pré-production pour évaluer l'intégrité des processus de fabrication, ou peut être effectuée sur des unités de production comme moyen d'amélioration des processus de fabrication.

Les essais de validation s'effectuent sur des unités de pré-production ou de production pour valider leur exploitation dans les conditions extrêmes opérationnelles et d'environnement spécifiées pour le produit.

Les essais de croissance de fiabilité sont un processus prévu pour identifier les modes de défaillance de produit non identifiés par les analyses précédentes. C'est une méthode de croissance de fiabilité et elle est expliquée séparément en 6.3.

Les essais d'endurance sont effectués sur le produit, quand c'est nécessaire pour déterminer son endurance ou sa fiabilité. Plus souvent, ils peuvent être effectués sur des composants qui n'ont pas été soumis aux essais par le fabricant, et c'est essentiel comme alternative pendant le processus d'amélioration de la conception (du produit).

Le rapport de fiabilité est élaboré pour saisir et documenter toutes les activités concernant l'analyse de fiabilité du produit, les améliorations mises en œuvre, les essais et les résultats d'essais, la croissance de fiabilité réalisée et tous les enseignements acquis qui peuvent être une source utile d'informations dans la conception d'un autre produit.

6.2.5 Phase produit en exploitation

La recherche et l'analyse de défaillance en exploitation doivent être effectuées en prêtant attention aux détails, de telle sorte que les informations sur la défaillance en exploitation soient saisies et puissent être utilisées pour tout produit à venir dans la première phase de concept du produit, ou les améliorations du produit en exploitation, que ce soit par des révisions de conception du produit ou par des remplacements. La croissance de fiabilité du produit en exploitation est traitée à l'Article 7.

6.3 Activités de croissance de fiabilité en phase d'essai de validation

En phase de validation, le produit est évalué du point de vue de l'utilisateur. Les résultats d'essai provenant de cette phase peuvent être très difficiles à utiliser pour l'estimation quantitative de la croissance de fiabilité, à moins que les conditions d'essai n'aient été conçues depuis le début pour simuler l'utilisation réelle du produit. Pour les produits grand public, en phase de validation le produit est souvent utilisé par les employés du fabricant, ou par des clients spécialement sélectionnés («bêta test» ou sites d'essai). Même quand les résultats de ces essais ne pourront pas être utilisés pour les estimations de croissance de fiabilité quantitative, les modes de défaillance et problèmes identifiés peuvent entrer indirectement, au moyen de la liste d'actions, dans le processus de croissance de fiabilité qualitative et, de cette façon, dans les rapports de croissance de fiabilité.

Maintainability assessment assures that the product can be maintained with reasonable ease and cost. It does not contribute directly to the reliability growth, but mitigation of potential failures that may require extensive maintenance does result in reliability growth.

Monitoring of reliability growth consists of plotting the achieved product reliability as assessed during the design period and at times of design improvements (changes), and comparing this growth with the reliability growth model as planned for the product. Any actions necessary for achievement of the planned growth can then be taken on a timely basis.

6.2.4 Tooling, first production runs (preproduction), production phase

Components and product testing for product engineering evaluation, validation of design improvements or validation of replacement components, are some of the last activities, besides the planned reliability growth testing, and prior to production.

Environmental stress screening may be done on preproduction units to evaluate integrity of the manufacturing processes, or can be done on the production units as a means of manufacturing process improvement

Validation testing is done on the preproduction or production units to validate their operability in the extreme operational and environmental conditions specified for the product.

Reliability growth testing is a planned process to identify product failure modes not identified in earlier analyses. As it is a reliability growth method, it is explained separately in 6.3.

Life testing is done on the product, when so required, to determine its life or reliability. More often, it may be done on components that have not been tested by the manufacturer, and that are essential as a potential replacement during the design (product) improvement process.

The reliability report is prepared to capture and document all activities concerning the product reliability analysis, implemented improvements, testing and test results, achieved reliability growth and all lessons learned that may be a useful source of information in the design of another product.

6.2.5 Product fielded phase

Field failure tracking and analysis need to be done with attention to detail so that the information on field failure is captured and can be used for any future product in the first product concept phase, or for improvements of the fielded product whether by product design revisions or by replacements. Reliability growth of the fielded product is addressed in Clause 7.

6.3 Reliability growth activities in the validation test phase

In the validation phase, the product is evaluated as seen from the user's point of view. The test results from this phase may be very difficult to use for the quantitative reliability growth estimation, unless the test conditions from the beginning have been designed to simulate practical use of the product. In the product validation phase for consumer products, the product is often used by the employees of the manufacturer, or by specially selected customers (beta test or test sites). Even when the results of these tests cannot be used for the quantitative reliability growth estimates, the identified failure modes and problems may indirectly, through the action list, enter the qualitative reliability growth process and, in that way, the reliability growth reports.

6.4 Considérations pour les essais de croissance de fiabilité

6.4.1 Généralités

On admet que, dans des conditions de temps et d'effort financièrement et pratiquement réalisables, toutes les fragilités ne peuvent être éliminées. Certaines fragilités, systématiques et résiduelles, subsistent et déterminent l'intensité de défaillance ou la probabilité de défaillance projetée. Le but du programme de croissance de fiabilité dans la phase de conception du produit et dans la phase d'essai est l'élimination des fragilités systématiques, ou la réduction de leur occurrence à un niveau acceptable pour atteindre l'objectif de fiabilité du produit. Le programme d'essais de croissance de fiabilité spécialisé peut être exécuté pour les deux raisons majeures suivantes:

a) Poursuivre la croissance de fiabilité du produit en le soumettant à l'environnement d'utilisation accélérée, dans une tentative pour révéler les fragilités non détectées au cours de l'analyse de conception.

b) Démontrer la fiabilité du produit quand le client le demande. Ici, la démonstration classique de fiabilité, par des essais de durée fixe, est remplacée par des essais de croissance de fiabilité spécialisés, pour permettre l'amélioration du produit et en même temps confirmer sa fiabilité requise. Cela peut prendre la forme d'une période de rodage ou d'un essai de réception ayant une durée fixée par contrat.

Un temps d'essai cumulé typique, pour l'amélioration de la fiabilité, est l'inverse de l'intensité de défaillance (le MTBF) divisée par le facteur d'accélération (voir la CEI 60300-2 et la CEI 60300-3-5), si la fiabilité n'a pas déjà été améliorée par les méthodes analytiques ou par les essais destinés à déceler les modes de défaillance éventuels spécifiques, des sous-systèmes ou des ensembles.

Le système de comptes rendus et d'actions correctives de défaillances (FRACAS), également appelé par certains système de comptes rendus, analyses et actions correctives de défaillances est dans le cadre d'une action organisée un instrument pour les essais de croissance de fiabilité. C'est un système itératif, où chacune des défaillances rapportées est analysée et, quand il est déterminé qu'elle est liée à la conception, une action corrective est entreprise pour améliorer la conception et réduire la défaillance. Ce système permet une croissance de fiabilité performante en forçant la résolution des problèmes de conception, qui ne se produit qu'à la validation de la réduction de la défaillance.

6.4.2 Préparation d'essai

6.4.2.1 Généralités

La préparation d'un essai de croissance de fiabilité doit commencer à un stade suffisamment précoce du programme pour permettre une livraison en temps voulu de toutes les entités et tous les moyens qui doivent être approvisionnés. En préparant un plan d'essai pour le programme de croissance de fiabilité, il est nécessaire de prendre des décisions concernant:

– le nombre d'entités de chaque type à tester et l'état/révision de leur conception;
– le matériel d'essai (standard et spécial);
– les entités de rechange (modules et composants);
– les conditions d'essai et les moyens environnementaux;
– la durée envisagée du programme, en temps de fonctionnement et temps calendaire;
– la main-d'œuvre pour la préparation, l'essai, les aspects relationnels, la réparation, l'analyse, l'investigation et la modification.

6.4 Considerations for reliability growth testing

6.4.1 General

It is accepted that, within a practicable and economic test time scale and effort, not all weaknesses can be eliminated. Some weaknesses, both systematic and residual, remain and determine the projected failure intensity or probability of failure. The goal of a reliability growth programme both in product design and test phase is elimination of systematic weaknesses, or reduction of their likelihood of occurrence to an acceptable value to achieve the product reliability goal. The dedicated reliability growth test programme may be carried out for the following two major reasons:

a) To continue reliability growth of the product by subjecting it to the accelerated use environment in an attempt to reveal weaknesses that were unnoticed during design analysis.

b) To demonstrate product reliability when so required by the customer. Here, the classical reliability demonstration by fixed duration testing is substituted by a dedicated reliability growth testing to allow product improvement and at the same time confirm its required reliability. This can take the form of a run-in period or an acceptance testing with a duration fixed by contract.

A typical accumulated testing time for reliability improvement is the reciprocal of the failure intensity (the MTBF) divided by the acceleration factor (see IEC 60300-2 and IEC 60300-3-5), if the reliability has not already been improved by analytical methods or by testing to uncover specific possible failure modes in subsystems or assemblies.

An organized effort that is instrumental in reliability growth test is failure reporting and corrective action system (FRACAS) also spelled out by some as the failure reporting analysis and corrective action system. It is a closed loop system where each of the reported failures is analysed, and when determined to be related to design, a corrective action is instituted for design improvement and failure mitigation. This system allows aggressive reliability growth by forcing closure of the design issues, which occurs only upon validation of the failure mitigation.

6.4.2 Test planning

6.4.2.1 General

Planning of a reliability growth test shall commence at a sufficiently early stage in the programme to allow for the timely delivery of all items and facilities that have to be procured. In preparing a test plan for a reliability growth programme, decisions shall be made concerning:

– the number of items of each type to be tested and status/revision of their design;
– test equipment (both standard and special);
– spare items (modules and components);
– test conditions and environmental facilities;
– expected programme duration in operating time and calendar time;
– manpower for preparation, testing, liaison, repair, analysis, investigation and modification.

6.4.2.2 Nombre d'entités à soumettre aux essais

Augmenter le nombre d'entités à soumettre aux essais simultanément rend l'échantillon plus représentatif de la population totale. Souvent, plus une entité est simple et sans complexité, plus son coût est faible et sa fiabilité élevée. Par conséquent, pour produire un nombre total important de défaillances en un temps raisonnable, il est recommandé de soumettre aux essais plus d'entités. C'est généralement acceptable en raison de coûts faibles et de petites dimensions physiques par entité. Il est très important, cependant, de s'assurer que le fait de soumettre aux essais des unités multiples ne contribue pas à l'accélération de l'essai. L'apparition de certaines défaillances est fonction du temps (c'est-à-dire de l'usure, de l'électromigration), et le raccourcissement du temps d'essai en utilisant des unités multiples peut conduire à ce que ces phénomènes n'aient pas lieu. Pour cette raison, il peut être prudent de limiter le nombre d'unités d'essais et de laisser suffisamment de temps, accéléré ou non, pour l'apparition de ces phénomènes. Une approche beaucoup plus sûre consiste à accélérer les niveaux d'essai, et à permettre au nombre de défaillances de déterminer le niveau de confiance des résultats d'essai.

6.4.2.3 Essais sous contraintes

Les fragilités n'étant normalement révélées que par l'apparition de défaillances, les programmes d'amélioration de fiabilité se proposent à la fois de stimuler les défaillances et d'éliminer ou de réduire le risque d'apparition des défaillances qu'elles révèlent. Cependant la stimulation délibérée de défaillances se fait généralement en laboratoire plutôt qu'en exploitation.

Pour le choix de contraintes d'environnement adaptées à la stimulation de défaillances, il est recommandé de se reporter aux considérations de la CEI 60605-2 et de la CEI 60605-3, mais pour stimuler des défaillances le plus rapidement possible, il est nécessaire d'appliquer les techniques d'accélération d'essai, en gardant à l'esprit les capacités limites de la conception, qui ne peuvent pas être dépassées. Si la spécification de conception contient les conditions d'environnement les plus sévères, qui sont égales ou supérieures aux capacités de certains composants ou matériaux, ces conditions extrêmes ne sont pas à appliquer pendant l'essai de croissance de fiabilité spécialisé, même si ces composants ou matériaux peuvent leur résister pendant l'essai de qualification, qui est d'une durée limitée. A titre d'exemple, un produit contenant des condensateurs électrolytiques d'une classe de température de 85 °C peut supporter l'exposition à 85 °C le temps de l'essai de qualification à haute température, mais ces mêmes condensateurs tomberaient en panne pendant une exposition prolongée à cette température lors d'une suite d'essais de croissance de fiabilité. Les contraintes opérationnelles peuvent également être accélérées, mais elles ne doivent pas dépasser les capacités maximales des composants du produit en essai.

Les contraintes d'environnement et les modèles opérationnels doivent être liés aux conditions d'utilisation d'une entité, mais ils peuvent être conçus pour apporter une stimulation accrue des fragilités latentes. Il convient de veiller à ne pas introduire de mécanismes de défaillance sans lien avec l'utilisation normale et qui pourraient rendre les modèles mathématiques irréalistes. S'ils sont effectués, des essais séparés d'évaluation et de qualification, dans des conditions extrêmes d'environnements, peuvent fournir des données supplémentaires sur les défaillances. Le type et la sévérité de la stimulation utilisée peuvent varier en fonction du niveau de l'assemblage.

Pour s'assurer que toutes les défaillances ont été détectées, il est nécessaire de faire fréquemment un relevé complet des essais de fonctionnement par rapport à la spécification d'essai. Quand l'entité comporte des logiciels intégrés, il convient que ce relevé d'essai couvre tous les modes de fonctionnement prévus et leurs combinaisons probables.

6.4.2.2 Number of items to be tested

Increasing the number of items tested simultaneously makes the sample more representative of the total population. Often, the simpler and less complex an item, the lower its cost and the higher its reliability. Therefore, to produce a significant total number of failures in a reasonable time, more items should be tested. This is generally acceptable because of the lower cost and probable smaller physical size per item. It is very important, however, to ensure that testing of multiple units does contribute to the test acceleration. Appearance of some failures is time-dependent (i.e. wear-out, electro-migration), and shortening of the test time by using multiple units may not allow these phenomena to take place. For that reason, it may be prudent to limit the number of test units and to allow enough time, accelerated or otherwise, for these phenomena to occur. A much safer approach is to accelerate the test levels, and to allow the number of failures determine the confidence in test results.

6.4.2.3 Testing by stressing

Because weaknesses are normally revealed only by the appearance of failures, reliability improvement programmes involve both the stimulation of failures and the elimination or reduction of likelihood of appearance of the systematic weaknesses that they expose. However, deliberate stimulation usually applies in laboratory testing rather than in the field.

Selection of appropriate environmental stresses for stimulating failure should be guided by the considerations contained in IEC 60605-2 and IEC 60605-3, but in order to stimulate failures as quickly as possible the test acceleration techniques shall be applied, keeping in mind the design extreme capabilities, which may not be exceeded. If the design specification contains environmental extremes that are equal to, or exceed, environmental ratings of some components or materials, these extremes shall not be applied during the dedicated reliability growth testing, even though those components or materials can withstand them during qualification testing that is of a limited duration. As an example, a product containing electrolytic capacitors rated to 85 °C may pass the exposure to 85 °C of the high-temperature qualification test, but the same capacitors would fail during extended exposure to the same temperature during a reliability growth test sequence. Operational stresses shall also be accelerated but shall not exceed the maximum rating of the components in the tested product.

Environmental stresses and operational patterns shall be related to the conditions of use of an item but may be designed to give increased stimulation of latent weaknesses. Care should be taken not to introduce failure mechanisms atypical of normal use, which might render mathematical modelling unrealistic. Separate engineering evaluation or qualification tests in extreme environments, if carried out, may provide additional failure data. The type and severity of stimulation used may vary according to the level of assembly.

To ensure that all failures are detected, a comprehensive and frequent schedule of performance tests against the test specification shall be carried out during the test. Where imbedded software is involved in the item, this testing schedule should embrace all expected modes of operation and their likely combinations.

6.4.2.4 Durée du programme

Le temps nécessaire pour atteindre un objectif de fiabilité donné ne peut être prédit qu'à partir des expériences passées (privées ou publiées), et à l'aide de modèles de croissance de fiabilité. Les modèles mathématiques sont un moyen de prédire le nombre de défaillances à prendre en compte, sur la base des paramètres pertinents du modèle, estimés à partir des programmes. Le modèle est ajusté afin de tenir compte de défaillances supplémentaires, de défaillances à ne pas prendre en compte, et de défaillances systématiques récurrentes dues à des fragilités toujours présentes. Il faut également estimer le temps calendaire moyen nécessaire pour réparer et apporter les modifications, en prévoyant les éventualités telles que la perte de moyens, indisponibilité du personnel, etc.

Le temps calendaire pour tout le programme sera la somme

– de la durée totale de fonctionnement requise, convertie en temps calendaire, selon le nombre maximal d'heures possibles par semaine (ou par mois);
– du temps total d'indisponibilité nécessaire pour réparer toutes les défaillances prévisibles;
– du temps total d'indisponibilité nécessaire pour corriger toutes les fragilités systématiques prévisibles.

6.4.2.5 Croissance planifiée et contrôle de la croissance

L'utilisateur doit préciser une mesure de l'objectif de fiabilité pour l'équipement soumis à l'essai.

Afin d'être en mesure au cours du programme de vérifier le progrès de la croissance de fiabilité vers ce niveau, une courbe de planification de la croissance peut être préparée. Cette courbe montrera la fiabilité envisagée à des instants spécifiés du programme, en termes de temps calendaire ou de temps d'essai. Si le programme est mené en phases distinctes, ces instants peuvent coïncider avec la fin de chaque phase.

Le graphique de croissance globale envisagée, ou «courbe de croissance idéale», sera normalement construit à partir d'un modèle mathématique retenu (voir la CEI 61164) dont les paramètres reflètent un taux de croissance réaliste basé sur l'expérience des activités passées. Si le programme a des phases distinctes, on fixera un objectif individuel pour chaque phase. Aux instants spécifiés dans le programme, la croissance réelle estimée par la modélisation sera comparée à la croissance envisagée (contrôle de la croissance).

6.4.3 Considérations particulières pour les entités non réparables ou à utilisation unique (consommables) et les composants

Les principes qui s'appliquent à un programme de croissance de fiabilité d'entités réparables, s'appliquent également, en général, à un programme spécialement conçu pour améliorer la fiabilité des entités non réparables ou à utilisation unique, ou des composants. Il existe, cependant, des différences avec un programme pour un équipement. Dans ce cas, les mesures de fiabilité les plus communes sont le taux de défaillance et le MTTF.

Chaque échantillon d'entités de type identique, soumis à l'essai, doit être aussi grand que possible. Il n'est pas nécessaire de remplacer une entité défaillante, à condition que l'échantillon ne soit pas d'une taille trop réduite. Afin de révéler toute nouvelle fragilité inhérente non encore détectée, il convient de poursuivre l'essai en parallèle avec toute analyse de défaillance systématique. Les défaillances systématiques doivent normalement être suivies d'une modification corrective de l'entité, après quoi tout l'échantillon en cours d'essai est mis, sans délai, au niveau de la version modifiée. Il convient de reprendre l'essai afin de vérifier l'efficacité de cette modification et des autres, et de continuer pour révéler les autres fragilités inconnues. Dans certains cas, on peut décider de poursuivre un essai, même si un essai avec une nouvelle révision est déjà lancé, juste pour rechercher les défaillances qui ne se produisent pas avant un temps de fonctionnement plus long (c'est-à-dire l'usure).

6.4.2.4 Programme duration

The time required to achieve a given target reliability can be predicted only on the basis of past experience (private or published) with the aid of reliability growth modelling. Mathematical models provide a means of predicting the number of relevant failures based on assumed model parameters estimated from previous programmes. This figure is then adjusted to allow for additional failures, i.e. non-relevant failures and repetitions of systematic failures from weaknesses still present. The average calendar time to repair and to make modifications is also estimated, together with a contingency for loss of facilities, sickness, etc.

The calendar time for the total programme shall be the sum of

– the total operating time required, converted to calendar time according to the maximum number of hours possible per week (or month);
– the total downtime to repair all expected failures;
– the total downtime for modifications to correct all expected systematic weaknesses.

6.4.2.5 Planned growth and growth monitoring

The user shall specify a target reliability measure for the equipment being tested.

In order to be able to assess progress in reliability growth towards this level during the programme, a planned growth curve may be prepared. This will show the reliability to be expected at specified points in the programme, in terms of calendar or test times. If the programme is conducted in distinct time phases, then these points may coincide with the ends of phases.

The planned overall growth pattern or “idealized growth curve” should normally be constructed from an accepted mathematical model (see IEC 61164) whose parameters reflect a realistic rate of growth based on experience with the effect of past activities. If there are distinct phases, an individual target within each phase shall be set. At the specified points in the programme, the actual growth as estimated by modelling should be compared with the planned growth (growth monitoring).

6.4.3 Special considerations for non-repaired or one-shot (expendable) items and components

The principles which apply to a reliability growth programme for repairable items also apply in general to a programme specially intended to improve the reliability of non-repaired or one-shot items or components. There are, however, some differences from an equipment programme. In this case, the most common reliability measures are failure rate and MTTF.

Each sample of identical type items undergoing testing should be as large as possible. An item that fails need not be replaced, provided the sample is not substantially reduced in size. In order to expose any further undiscovered inherent weaknesses, testing should continue in parallel with any systematic failure analysis. Systematic failures should normally be followed by corrective modification of the item, after which the entire sample under test is promptly upgraded to the modified version. Testing should recommence to verify the effectiveness of this and other modifications and to continue to reveal further unknown weaknesses. In some cases it may be decided to continue a test even though a test with a new revision is started, just to find failures that do not occur until after a longer operating time (i.e. wear-out).

Lorsque l'usure de l'entité est importante, l'amélioration consiste à allonger la durée de vie (paramètre de localisation de Weibull), et à réduire la variation de la durée de vie (paramètre de forme de Weibull). Ces activités nécessitent d'autres méthodes, telles que l'analyse de Weibull (voir la CEI 60605-4).

6.4.4 Classification des défaillances

Les classes de défaillance, dont la cause de base n'est ni la conception ni la construction, décrites à l'Article 4, ne sont pas à prendre en compte pour une modification corrective ni pour la modélisation et l'évaluation de la croissance. La première étape de la classification consiste à identifier et à exclure les défaillances qui ne sont pas à prendre en compte, et la deuxième étape, à classer les défaillances à prendre en compte en défaillances systématiques et en défaillances résiduelles.

La classification nécessite un jugement technique fondé sur autant d'informations que les recherches permettent d'en obtenir. La classification tente de remonter l'enchaînement décrit en 4.2, c'est-à-dire de la défaillance à la fragilité et à la nature de la cause originelle.

6.4.5 Classes de défaillances à ne pas prendre en compte

Les défaillances à ne pas prendre en compte en général, sont mentionnées en 7.2.1 de la CEI 60300-3-5. Selon les exigences particulières de chaque programme (telles que définies dans la spécification ou le plan appropriés), tout ou partie des types de défaillance énumérés ci-après peuvent être classés comme ne nécessitant pas de modification corrective et aussi comme ne devant pas être pris en compte pour évaluer la croissance de fiabilité (voir 6.4.9).

Si des défaillances de l'un de ces types ont des conséquences plus larges sur la fiabilité (par exemple dans des interfaces, le matériel associé ou les appareils d'essai), il peut être pertinent d'apporter des modifications correctives à ces défaillances, même si elles ne concernent pas l'objet principal du programme.

a) Défaillances secondaires

NOTE Voir 7.2.1.1 de la CEI 60300-3-5.

Si elles sont considérées systématiques, ces défaillances sont prises en compte.

b) Défaillances dues à une mauvaise utilisation

NOTE Voir 7.2.1.2 de la CEI 60300-3-5.

Si elles sont considérées systématiques, ces défaillances sont prises en compte.

c) Défaillances se produisant pendant la correction, ou déjà éliminées par correction de la conception

NOTE Voir 7.2.1.3 de la CEI 60300-3-5.

Lorsque l'on utilise des modèles mathématiques pour évaluer la croissance de fiabilité, des spécifications individuelles peuvent exclure, ou non, ces défaillances.

d) Défaillances intermittentes identiques

Après la première apparition d'un type quelconque, ces défaillances peuvent ne pas être prises en compte.

La fragilité latente sera très vraisemblablement systématique, et doit donc être prise en considération.

e) Défaillances nécessitant un réglage ou une maintenance par l'opérateur (seulement celles prévues pour être effectuées par l'opérateur)

Les défaillances qui peuvent être corrigées par ces moyens peuvent ne pas être prises en compte.

Si elles sont considérées comme systématiques, alors ces défaillances sont prises en compte.

Where the wear-out of the item is significant, improvement consists in extending this lifetime (Weibull location parameter) and in reducing the variation of the lifetime (Weibull shape parameter). Those activities require other methods such as Weibull analysis (see IEC 60605-4).

6.4.4 Classification of failures

Classes of failure, which do not result from those basic causes in design or construction, as described in Clause 4, are non-relevant to corrective modification and to growth modelling and assessment. The first stage in classification is to identify and exclude failures that are non-relevant and the second stage is to subdivide the relevant failures into systematic and residual failures.

Classification requires engineering judgement, based on as much information as is obtainable from investigations. Classification attempts to trace backwards the conceptual sequence described in 4.2, i.e. from failure to weakness and to the nature of the original cause.

6.4.5 Classes of non-relevant failures

Non-relevant failures, in general, are covered by 7.2.1 of IEC 60300-3-5. Depending upon the special requirements of particular programmes (as defined in the appropriate specification or plan), some or all of the types of failure listed below may be classified as not requiring corrective modification and also as being non-relevant to reliability growth assessment (see 6.4.9).

If failures of any of the following types carry wider implications of unreliability, for example, in interfaces, associated equipment or test gear, they may be relevant to corrective modification in these areas even if they are non-relevant to the main item in the programme.

a) Secondary failures

NOTE See 7.2.1.1 of IEC 60300-3-5.

If considered to be systematic, these failures are relevant.

b) Misuse failures

NOTE See 7.2.1.2 of IEC 60300-3-5.

If considered to be systematic, then these failures are relevant.

c) Failure in the process of correction, or already eliminated by design correction

NOTE See 7.2.1.3 of IEC 60300-3-5.

When mathematical models are used for reliability growth assessment, individual requirements may or may not exclude these failures.

d) Identical intermittent failures

After the first appearance of any one type, such failures may be non-relevant.

The underlying weakness is very likely to be systematic and hence relevant.

e) Failure needing operator adjustment or maintenance (normal operator use only)

Failures that can be corrected by these means may be non-relevant.

If considered to be systematic, then these failures are relevant.

f) Défaillances de composants vis-à-vis des essais de la spécification, mais satisfaisants dans leur fonction propre

Si le fonctionnement général d'un équipement n'est pas altéré, ces défaillances, qui peuvent être détectées au cours de l'investigation, peuvent ne pas être prises en compte.

g) Défaillances se produisant après une durée de vie acceptable

Les défaillances d'entités, dues à l'usure, après la durée de vie minimale spécifiée, peuvent ne pas être prises en compte.

h) Défaillances se produisant pendant la sélection

Ces défaillances ne doivent pas être prises en compte pour évaluer la croissance de fiabilité. Cependant, les défaillances révélant de nouvelles fragilités systématiques pendant la sélection nécessitent toujours une investigation et éventuellement une modification corrective.

6.4.6 Classes de défaillances à prendre en compte

Les défaillances à prendre en compte sont à classer soit comme systématiques, soit comme résiduelles, pour deux raisons:

– décider si une modification corrective est nécessaire;

– pour certaines méthodes de modélisation de la croissance de fiabilité, fournir séparément les données sur les catégories de défaillances.

Les règles de base suivantes sont très utiles pour classer les défaillances:

a) Défaillances systématiques

Les défaillances systématiques sont celles qui, après une analyse physique, circonstancielle ou de conception, présentent des caractéristiques qui permettent de prévoir leur récurrence. Leur réapparition effective au bout d'une durée d'essai suffisamment longue peut le confirmer. Par exemple, un composant trouvé légèrement surchargé à cause d'une erreur de conception pourrait présenter des défaillances récurrentes sur une période suffisamment longue.

b) Défaillances résiduelles

Défaillances qui ne présentent aucun caractère de récurrence et dont l'origine rend la récurrence improbable, par exemple un composant apparemment anormal ou une erreur accidentelle de fabrication.

Les classifications doivent être revues en permanence, car de nouveaux indices peuvent obliger à une reclassification, le plus souvent pour une défaillance systématique et de catégorie B (voir la Figure 8).

6.4.7 Catégories de défaillances, se produisant pendant l'essai et à prendre en compte

Il est recommandé de classer les défaillances systématiques dans les catégories A ou B, de la façon suivante:

a) celles n'ayant pas à être suivies de modifications correctives parce que les résultats attendus n'en justifient pas le coût, le temps passé ni les difficultés techniques;

b) celles qui sont suivies de modifications correctives destinées à éviter leur récurrence.

f) Components failing to meet specification tests but satisfactory in their particular function

If the overall performance of a piece of equipment is unimpaired, such failures, which may be detected during investigation, may be non-relevant.

g) Failures that occurred after acceptable lifetime

Failures of items subject to wear-out, which fail after the specified minimum lifetime, may be non-relevant.

h) Failures during reliability screening

These failures shall be non-relevant to reliability growth assessment. However, failures revealing new systematic weaknesses in reliability screening always require investigation and possible corrective modification.

6.4.6 Classes of relevant failures

Relevant failures should be classified as either systematic or residual for two reasons:

– to decide whether corrective modification is required;

– for some methods of reliability growth modelling, to provide separate failure category inputs.

The following ground rules have been found to be useful in classifying failures.

a) Systematic failures

Systematic failures are those that exhibit, after a physical, circumstantial or design analysis, a condition or pattern, which may be expected to cause recurrence. This may be confirmed by actual recurrences after a sufficiently long test time. For example, a component, which is found to be mildly over-stressed due to a design error, might show recurrent failures over a sufficiently long period.

b) Residual failures

Residual failure are those that show no pattern of failure recurrence and whose causes do not suggest that recurrence is likely, for example, an apparent rogue component or chance error of workmanship.

Classifications shall be constantly reviewed as later events may provide new evidence to support reclassification, most often towards a systematic failure category B (see Figure 8).

6.4.7 Categories of relevant failures that occur in test

Systematic failures should be classified as category A or B as explained below:

a) those not to be followed by corrective modifications because the expected results would not justify the cost, time or technical difficulty;

b) those which are followed by corrective modification aimed at preventing their recurrence.

6.4.8 Processus d'amélioration de la fiabilité dans les essais de croissance de fiabilité

La Figure 8 montre la séquence de diagnostic, de réparation ou de remplacement, et de classification et (quand c'est nécessaire) d'investigation et de modification corrective ultérieures. La même méthode générale doit s'appliquer quand la source d'informations est un programme informel ou une activité ayant un objectif primaire différent.

Pour que le temps d'essai soit le plus long possible, il est recommandé de n'interrompre l'essai, à la suite d'une défaillance, que le temps nécessaire pour faire le diagnostic et effectuer une réparation, un retrait ou un remplacement. Dans la mesure du possible, la recherche des défaillances systématiques et la conception des modifications seront poursuivies en parallèle avec l'essai, avec le risque, naturellement, que le même type de défaillance se reproduise tant que la défaillance subsiste.

Il convient que les défaillances systématiques de catégorie B soient toujours suivies d'une modification corrective. Une fois mise au point, on effectuera la modification au moment propice, le plus tôt possible (par exemple lors d'une autre défaillance ou d'une interruption). Cependant, on obtiendra une meilleure efficacité si le programme est divisé en étapes distinctes, dont on attendra la fin pour effectuer les modifications (surtout les modifications à grande échelle) nécessaires. La Figure 8 en donne un exemple.

Des modules ou d'autres pièces de rechange peuvent être utilisées après une défaillance pour poursuivre l'essai. Cela permet d'apporter une modification à la pièce de rechange, sans interrompre le fonctionnement de l'entité, et de réduire le temps d'indisponibilité lors de l'utilisation ultérieure. Il est donc intéressant d'avoir un jeu de pièces de rechange, mais, à moins d'effectuer sur chacune d'elles toutes les modifications précédentes, on ne doit les utiliser que provisoirement.

L'efficacité d'une modification n'est connue qu'à l'issue d'une période probatoire nettement plus longue que la période avant la première défaillance due à un type donné de fragilité. Cette période probatoire montre non seulement si telle ou telle fragilité a pu être réduite ou éliminée efficacement, mais aussi si d'autres fragilités systématiques ont été introduites. Afin de révéler ces fragilités, il est nécessaire également de faire fonctionner sur une certaine durée (à peu près celle de la sélection), les dispositifs susceptibles de présenter des défauts de fabrication ou des défauts sur des composants neufs pouvant entraîner de nouvelles fragilités résiduelles. Un essai comparatif peut être utilisé comme outil statistique (voir la CEI 60300-3-5).

6.4.8 Process of reliability improvement in reliability growth tests

Figure 8 shows the sequence of failure diagnosis, repair or replacement, classification and (where applicable) further investigation and corrective modification. The same general process shall apply where the source of information is an informal programme or an activity having a different primary objective.

In order to minimize interruptions, the testing should be suspended at the time of a failure only long enough to permit diagnosis and repair, withdrawal or replacement. As far as possible, investigation of systematic failures and design of modifications should continue in parallel with testing, with the risk, of course, of repetitions of the same type of failure while the weakness still persists.

Systematic failures in category B should always be followed by corrective modification. When the modification has been devised it may be incorporated at the earliest convenient stopping-point (i.e. at the occurrence of another failure or other interruption). However, more efficient operation may be achieved if the programme is divided into distinct time phases and some (especially large-scale) modifications delayed until the end of each phase. Figure 8 shows an example of this.

Modules or other replacement units may be exchanged for spares to restore operation after a failure. This allows the modification to be incorporated into the spare unit independently, with further down-time saving when it is reintroduced later. It is therefore an advantage to have a set of such spare units, but unless they include all previous modifications they should be used only temporarily.

The effectiveness of a modification is not known until after a period of testing that is several times longer than the period to first failure due to a particular type of weakness. This shows not only whether the effects of a particular weakness have been successfully reduced or eliminated, but also whether alternative systematic weaknesses have been introduced. Any errors in workmanship or in new components, bringing new residual weaknesses, shall also require a period of operation (similar to that for reliability screening) in order to expose them. As a statistical tool, comparison testing can be used (see IEC 60300-3-5).

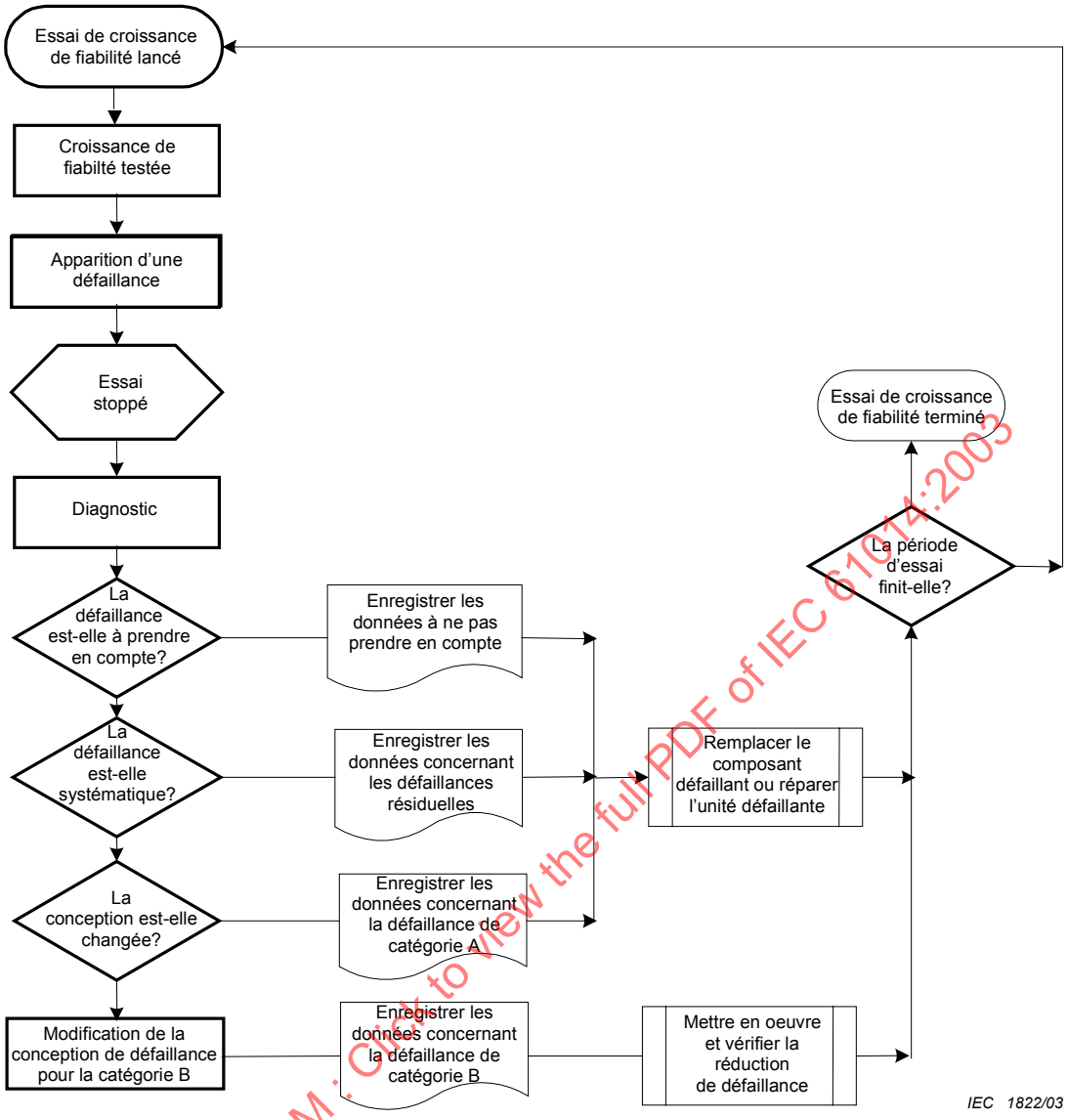


Figure 8 – Processus de croissance de fiabilité en essai