

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61014**

Première édition  
First edition  
1989-10

---

---

**Programmes de croissance de fiabilité**

**Programmes for reliability growth**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 61014: 1989

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

## Publications 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.

## Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI\*
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement  
(Catalogue en ligne)\*
- **Bulletin de la CEI**  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI\* et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (IEV).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

## Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site\***
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates  
(On-line catalogue)\*
- **IEC Bulletin**  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC

61014

Première édition  
First edition  
1989-10

---

---

Programmes de croissance de fiabilité

Programmes for reliability growth

© IEC 1989 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
PREAMBULE .....	6
PREFACE .....	6
INTRODUCTION .....	8
 <b>Articles</b>	
1. Domaine d'application .....	10
2. Objet .....	10
3. Termes et définitions .....	10
3.1 Amélioration de la fiabilité .....	12
3.2 Croissance de la fiabilité .....	12
3.3 Défaillance par fragilité .....	12
3.4 Fragilité systématique .....	12
3.5 Fragilité résiduelle .....	12
3.6 Défaillance à prendre en compte .....	14
3.7 Défaillance à ne pas prendre en compte .....	14
3.8 Défaillance systématique .....	14
3.9 Défaillance résiduelle .....	14
3.10 Défaillance de catégorie A .....	14
3.11 Défaillance de catégorie B .....	14
3.12 Mesure de la fiabilité instantanée .....	16
3.13 Mesure de la fiabilité extrapolée .....	16
3.14 Mesure de la fiabilité projetée .....	16
4. Concepts de base .....	18
4.1 Origines des fragilités et des défaillances .....	18
4.2 Fragilités systématiques .....	22
4.3 Fragilités résiduelles .....	22
4.4 Modèles de défaillance pour les programmes de croissance de fiabilité .....	22
5. Organisation .....	28
5.1 Méthodes .....	28
5.2 Relations .....	30
5.3 Main-d'oeuvre et coûts .....	32
5.4 Economies .....	32
6. Préparation des programmes de croissance de fiabilité .....	34
6.1 Nombre d'entités à essayer .....	34
6.2 Essais sous contraintes .....	34
6.3 Durée du programme .....	36
6.4 Croissance envisagée et contrôle de la croissance .....	36
6.5 Considérations particulières pour les entités non réparées, ou monocoups, et les éléments constituants .....	38

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	7
PREFACE .....	7
INTRODUCTION .....	9
 <b>Clause</b>	
1. Scope .....	11
2. Object .....	11
3. Terms and definitions .....	11
3.1 Reliability improvement .....	13
3.2 Reliability growth .....	13
3.3 Weakness failure .....	13
3.4 Systematic weakness .....	13
3.5 Residual weakness .....	13
3.6 Relevant failure .....	15
3.7 Non-relevant failure .....	15
3.8 Systematic failure .....	15
3.9 Residual failure .....	15
3.10 Failure category A .....	15
3.11 Failure category B .....	15
3.12 Instantaneous reliability measure .....	17
3.13 Extrapolated reliability measure .....	17
3.14 Projected reliability measure .....	17
4. Basic concepts .....	19
4.1 Origins of weaknesses and failures .....	19
4.2 Systematic weaknesses .....	23
4.3 Residual weaknesses .....	23
4.4 Failure patterns in reliability growth programmes .....	23
5. Management aspects .....	29
5.1 Procedures .....	29
5.2 Liaison .....	31
5.3 Manpower and costs .....	33
5.4 Cost benefit .....	33
6. Planning of reliability growth programmes .....	35
6.1 Number of items to be tested .....	35
6.2 Testing by stressing .....	35
6.3 Programme duration .....	37
6.4 Planned growth and growth monitoring .....	37
6.5 Special considerations for non-repaired or one-shot items and component parts .....	39

Articles	Pages
7. Classification des défaillances .....	38
7.1 Classes de défaillances à ne pas prendre en compte .....	40
7.2 Classes de défaillances à prendre en compte .....	42
7.3 Catégories de défaillances à prendre en compte .....	42
8. Processus d'amélioration de la fiabilité .....	44
9. Utilisation de modèles mathématiques .....	48
9.1 Nature et objectifs de la modélisation .....	50
9.2 Concepts des mesures de fiabilité utilisés dans la modélisation .....	50
10. Compte rendu et documentation .....	60
Figures	
1 Comparaison entre processus de croissance et processus de réparation .....	20
2 Modèles de défaillances à prendre en compte en fonction du temps .....	26
3 Structure générale d'un programme de croissance de fiabilité ...	28
4 Diagramme indiquant les relations et les fonctions .....	32
5 Processus d'amélioration de la fiabilité .....	46
6 Courbe caractéristique représentant les intensités de défaillance instantanée et extrapolée .....	52
7 Intensité de défaillance projetée, estimée par modélisation .....	56
8 Exemples de courbes de croissance et de "sauts" .....	58

IECNORM.COM: Click to purchase IEC 61074-1:1989

Clause	Page
7. Classification of failures .....	39
7.1 Classes of non-relevant failures .....	41
7.2 Classes of relevant failures .....	43
7.3 Categories of relevant failures .....	43
8. Process of reliability improvement .....	45
9. Mathematical modelling .....	49
9.1 Nature and objectives of modelling .....	51
9.2 Concepts of reliability measures as used in modelling .....	51
10. Reporting and documentation .....	61
 Figures	
1 Comparison between growth and repair processes .....	21
2 Patterns of relevant failures with time .....	27
3 Overall structure of a reliability growth programme .....	29
4 Chart showing liaison links and functions .....	33
5 Process of reliability improvement .....	47
6 Characteristic showing instantaneous and extrapolated failure intensities .....	53
7 Projected failure intensity estimated by modelling .....	57
8 Examples of growth curves and "jumps" .....	59

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61014:1989

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROGRAMMES DE CROISSANCE DE FIABILITE

PREAMBULE

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

PREFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 56 de la CEI: Fiabilité et maintenabilité.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
56(BC)122	56(BC)130

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

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

- Publications n<sup>os</sup> 50(191) (19xx): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) - Chapitre 191: Fiabilité, maintenabilité et qualité de service (projet approuvé pour publication).
- 300 (1984): Gestion de la fiabilité et de la maintenabilité.
- 605-1 (1978): Essais de fiabilité des équipements, Première partie: Prescriptions générales.
- 605-2 (19xx): Deuxième partie: Recommandations pour la définition de cycles d'essai (projet approuvé pour publication).
- 605-3-2 (1986): Troisième partie: Conditions d'essai préférentielles. Equipements pour utilisation à poste fixe à l'abri des intempéries - Degré de simulation élevé.
- 605-4 (1986): Quatrième partie: Méthode de calcul des estimateurs ponctuels et des limites de confiance résultant d'essais de détermination de la fiabilité d'équipements.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## PROGRAMMES FOR RELIABILITY GROWTH

## FOREWORD

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

## PREFACE

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

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

Six Months' Rule	Report on Voting
56(C0)122	56(C0)130

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

The following IEC publications are quoted in this standard:

- Publications Nos. 50(191) (19xx): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 191: Reliability, maintainability and quality of services. (Draft approved for publication.)
- 300 (1984): Reliability and maintainability management.
- 605-1 (1978): Equipment reliability testing, Part 1: General requirements.
- 605-2 (19xx): Part 2: Guidance for the design of test cycles. (Draft approved for publication).
- 605-3-2 (1986): Part 3: Preferred test conditions. Equipment for stationary use in weatherprotected locations - High degree of simulation.
- 605-4 (1986): Part 4: Procedures for determining point estimates and confidence limits from equipment reliability determination tests.

## INTRODUCTION

L'amélioration de la fiabilité par un programme de croissance n'est qu'une des nombreuses activités liées à la fiabilité pour le développement d'un nouveau produit. Cela est particulièrement vrai dans le cas d'un projet faisant appel à des techniques, des composants ou des éléments importants de logiciels nouveaux ou non encore confirmés. Dans ce cas, le programme peut révéler, sur une certaine période, plusieurs types de fragilités liées à la conception. Il est essentiel de réduire au maximum la probabilité d'une défaillance due à ces fragilités afin d'éviter qu'elles ne soient détectées qu'ensuite, lors des essais formels ou en exploitation. A ce stade avancé, les corrections de conception sont souvent très gênantes, coûteuses et longues.

Au contraire, les coûts de cycle de vie seront minimisés si les modifications de conception sont faites à l'étape la plus précoce.

La CEI 605-1, article 1, décrit un "programme de croissance (ou d'amélioration) de la fiabilité" utilisant les essais de fiabilité d'un équipement, et dont le principal objectif est de relever le niveau de la fiabilité. Les préparatifs d'essai et d'environnement d'un tel programme sont, pour l'essentiel, les mêmes que ceux décrits dans les CEI 605-1, 605-2 et 605-3.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 605-1:1989

Without watermark

## 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 which uses novel or unproven techniques or component parts 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 will be minimised if the necessary design changes are made at the earliest possible stage.

IEC 605-1, Clause 1, refers to a "reliability growth (or improvement) programme" employing equipment reliability testing, with the principal object of upgrading the reliability. The testing and environmental arrangements for such a programme are essentially the same as those covered by IEC 605-1, 605-2 and 605-3.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 605-1:1988

Without

## PROGRAMMES DE CROISSANCE DE FIABILITE

### 1. Domaine d'application

La présente norme internationale spécifie des exigences et fournit des directives pour la détection et l'élimination des fragilités du matériel et du logiciel afin d'accroître la fiabilité. Elle s'applique lorsque la spécification réclame un programme de croissance de fiabilité de l'équipement (matériel électronique, électromécanique et mécanique aussi bien que logiciel) ou lorsqu'on sait que la conception est inachevée et donc peu susceptible de répondre aux exigences d'un essai de conformité sans amélioration préalable. Un exposé des concepts de base est suivi des descriptions de l'organisation, de la planification, des essais (en laboratoire ou en exploitation), de l'analyse des défaillances et des techniques correctives requises. Les modèles mathématiques qui permettent d'estimer le niveau de fiabilité atteint sont brièvement exposés.

### 2. Objet

Cette norme insiste tout particulièrement sur l'amélioration de la fiabilité par les essais mais les mêmes principes généraux peuvent également s'appliquer à d'autres activités, même si ce n'est pas exigé par un programme formalisé.

L'amélioration peut être basée sur les résultats:

- des études théoriques (par exemple l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets);
- des expériences en exploitation;
- de l'expérience des usagers;
- des tâches non destinées, au départ, à l'amélioration de la fiabilité.

### 3. Termes et définitions

Les termes généraux de fiabilité employés dans cette norme sont, dans la mesure du possible, conformes au chapitre 191 du Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) (Publication 50(191) de la CEI). Les termes nécessitant une définition particulière ou un éclaircissement sont définis ci-après avec le sens qu'on leur donne dans la présente norme. Sauf indication contraire, ils s'appliquent à la fois aux dispositifs purement matériels et à ceux dont le logiciel est inclus ou prédominant.

Il importe de distinguer entre les termes "intensité de défaillance" (pour les dispositifs réparés) et "taux de défaillance" (pour des dispositifs non réparés, ou monocoups) dans le chapitre 191 du VEI.

## 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 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 immature and is unlikely to meet the requirements of a compliance test 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. Object

This standard focuses principally upon reliability improvement through testing but the same general principles may also apply to other activities, even if not required by a formal programme.

Improvement may be based on the results of:

- theoretical studies (e.g. failure modes and effects analysis);
- field trials;
- users' experience;
- tasks not aimed primarily at reliability improvement.

### 3. Terms and definitions

General reliability terms used in this standard comply with Chapter 191 of the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) (IEC Publication 50(191)) as far as applicable. Terms requiring special definition or clarification are described below in the sense in which they are used in this standard. Unless otherwise stated they apply both to items of pure hardware and to items for which software is included or is predominant.

It is important to distinguish between the terms "failure intensity" (for repaired items) and "failure rate" (for non-repaired or one-shot items) in IEC Chapter 191.

### 3.1 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. (VEI 191-17-05.)

- Notes supplémentaires*
- 1.- Cette méthode décrite dans cette norme est destinée à effectuer des corrections afin d'éliminer les fragilités systématiques.
  - 2.- Pour chaque entité, il existe des limites aux améliorations pratiques et économiques et à la croissance réalisable.

### 3.2 Croissance de la fiabilité

Amélioration progressive d'une caractéristique de fiabilité d'une entité au cours du temps. (VEI 191-17-04.)

### 3.3 Défaillance par fragilité

Défaillance due à une fragilité de l'entité elle-même, lorsqu'elle est soumise à des contraintes restant dans les limites fixées.

*Note.*- Une fragilité peut être intrinsèque ou induite. (VEI 191-04-06.)

- Notes supplémentaires*
- 1.- Une fragilité est une imperfection (connue ou inconnue) inhérente à une entité et capable d'entraîner une ou plusieurs défaillances.
  - 2.- On suppose que chaque type de fragilité est statistiquement indépendant de tous les autres types.

### 3.4 Fragilité systématique

Fragilité qui peut être éliminée ou dont les effets peuvent être réduits par une modification corrective de la conception, de la fabrication, du mode d'utilisation, de la documentation ou des procédures qui s'y rapportent, ou par l'élimination des lots de composants de qualité inférieure.

- Notes*
- 1.- Une réparation ou un remplacement (ou une relance dans le cas d'un logiciel) sans modification risque d'entraîner la récurrence de défaillances du même type.
  - 2.- Les fragilités dues au logiciel sont toujours systématiques.

### 3.5 Fragilité résiduelle

Fragilité qui n'est pas systématique.

- Notes*
- 1.- Dans ce cas, le risque de défaillance périodique du même type est négligeable sur la période d'essai envisagée.
  - 2.- Les fragilités dues au logiciel ne peuvent pas être résiduelles.

### 3.1 Reliability improvement

A 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. (IEV 191-17-05.)

*Additional notes* 1.- The method described in this standard is to make corrective modifications aimed at reducing systematic weaknesses.

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

### 3.2 Reliability growth

A condition characterized by a progressive improvement of a reliability performance measure of an item with time. (IEV 191-17-04.)

### 3.3 Weakness failure

A failure due to a weakness in the item itself when subjected to stresses within the stated capabilities of the item.

*Note.*- A weakness may be either inherent or induced. (IEV 191-04-06.)

*Additional notes* 1.- A weakness is any imperfection (known or unknown) in an item, capable of causing one or more weakness failures.

2.- Each type of weakness is assumed to be statistically independent of all other such types.

### 3.4 Systematic weakness

A weakness which can only be eliminated, or its effects reduced, by a modification of the design or manufacturing process, operational procedures, documentation or other relevant factors, or elimination of substandard batches of component parts.

*Notes* 1.- Repair or replacement (or re-run in case of software) without modification is likely to lead to recurrent failures of a similar kind.

2.- Software weaknesses are always systematic.

### 3.5 Residual weakness

A weakness which is not systematic.

*Notes* 1.- In this case, risk of recurrent failure of a similar kind is negligible, within the expected test time scale.

2.- Software weaknesses cannot be residual.

### 3.6 Défaillance à prendre en compte

Défaillance à prendre en compte pour interpréter des résultats d'essai ou d'exploitation ou pour calculer une caractéristique de fiabilité.

*Note.*- Il convient d'indiquer les critères de prise en compte. (VEI 191-04-13.)

*Note supplémentaire.*- Les critères de prise en compte sont définis, ci-après, en 7.2.

### 3.7 Défaillance à ne pas prendre en compte

Défaillance à ne pas prendre en compte pour interpréter des résultats d'essai ou d'exploitation ou pour calculer une caractéristique de fiabilité.

*Note.*- Il convient d'indiquer les critères d'exclusion. (VEI 191-04-14.)

*Note supplémentaire.*- Les critères d'exclusion sont définis, ci-après, en 7.1.

### 3.8 Défaillance systématique

Défaillance liée d'une manière certaine à une cause qui ne peut être éliminée que par une modification de la conception, du procédé de fabrication, du mode d'emploi, de la documentation, ou d'autres facteurs appropriés.

*Notes 1.*- Une maintenance corrective sans modification n'élimine généralement pas la cause d'une défaillance systématique.

*2.*- Une défaillance systématique peut être provoquée à volonté en simulant sa cause. (VEI 191-04-19.)

*Note supplémentaire.*- Dans la présente norme, une défaillance systématique est interprétée comme une défaillance résultant d'une fragilité systématique.

### 3.9 Défaillance résiduelle

Défaillance résultant d'une fragilité résiduelle.

### 3.10 Défaillance de catégorie A

Défaillance systématique pour laquelle le responsable décide de ne pas entreprendre de modification corrective en raison des coûts, du temps, de contraintes technologiques ou d'autres raisons.

### 3.11 Défaillance de catégorie B

Défaillance systématique pour laquelle le responsable décide de tenter une modification corrective.

### 3.6 *Relevant failure*

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

*Note.-* The criteria for inclusion should be stated. (IEV 191-04-13.)

*Additional note.-* The criteria for inclusion are stated in 7.2 below.

### 3.7 *Non-relevant failure*

A failure that should be excluded in interpreting test or operational results or in calculating the value of a reliability performance measure.

*Note.-* The criteria for exclusion should be stated. (IEV 191-04-14.)

*Additional note.-* The criteria for exclusion are stated in 7.1 below.

### 3.8 *Systematic failure*

A failure related in a deterministic way to a certain cause, which can only be eliminated by a modification of the design or of the manufacturing process, operational procedures, documentation or other relevant factors.

*Notes* 1.- Corrective maintenance without modification will usually not eliminate the failure cause.

2.- A systematic failure can be induced at will by simulating the failure cause. (IEV 191-04-19.)

*Additional note.-* In this standard, a systematic failure is interpreted as a failure resulting from a systematic weakness.

### 3.9 *Residual failure*

A failure resulting from a residual weakness.

### 3.10 *Failure category A*

A systematic failure for which management decides not to attempt corrective modification, due to cost, time, technological constraints or other reasons.

### 3.11 *Failure category B*

A systematic failure for which management decides to attempt corrective modification.

### 3.12 *Mesure de la fiabilité instantanée*

Mesure de la fiabilité d'une entité à un point donné (passé ou présent) lors d'un programme de croissance de fiabilité.

- Notes*
- 1.- 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 de fonctionnement avant défaillance (MTTF) (VEI 191-12-07).
  - 2.- Les valeurs de ces mesures sont estimées à l'aide d'un modèle de croissance de fiabilité.

### 3.13 *Mesure de la fiabilité extrapolée*

Mesure de fiabilité d'une entité, prédite pour un point futur donné lors d'un programme de croissance de fiabilité, lorsque les modifications correctives sont rapidement introduites tout au long du programme.

- Notes*
- 1.- La définition du qualificatif "extrapolé ..." dans le chapitre 191 du VEI, 191-18-03, s'applique ici mais est limitée au temps.
  - 2.- Les conditions d'essai précédentes et les procédures de modifications correctives sont supposées inchangées.
  - 3.- La valeur de la mesure de fiabilité est estimée par un modèle de croissance de fiabilité appliqué aux données précédentes et on suppose que la même tendance s'applique également à la période future du programme.
  - 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 de fonctionnement avant défaillance (MTTF) (VEI 191-12-07).

### 3.14 *Mesure de la fiabilité projetée*

Mesure de fiabilité prédite, pour une entité, comme une conséquence de l'introduction simultanée de plusieurs modifications correctives.

- Notes*
- 1.- Les modifications sont souvent introduites entre deux phases successives du programme.
  - 2.- 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 de fonctionnement avant défaillance (MTTF) (VEI 191-12-07).
  - 3.- Les valeurs de ces mesures sont estimées à l'aide d'un modèle de croissance de fiabilité.

### 3.12 *Instantaneous reliability measure*

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

*Notes* 1.- 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).

2.- The values of these measures are estimated by a reliability growth model.

### 3.13 *Extrapolated reliability measure*

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

*Notes* 1.- The definition of the modifier "extrapolated ..." in IEV Chapter 191, 191-18-03 applies here, but is restricted to time.

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

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.

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).

### 3.14 *Projected reliability measure*

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

*Notes* 1.- The modifications are often introduced between two successive phases in the programme.

2.- 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).

3.- The values of these measures are estimated by a reliability growth model.

#### 4. Concepts de base

Lors d'un programme de croissance de fiabilité, les essais en laboratoire ou en exploitation sont utilisés pour accélérer la détection des fragilités et améliorer la fiabilité d'un système, d'un équipement, d'un composant ou d'une entité similaire. Lorsqu'une défaillance survient, on devra procéder à un diagnostic, à une réparation et/ou à un remplacement et poursuivre l'essai. Parallèlement à l'essai, on devra analyser les défaillances passées pour découvrir leurs causes fondamentales et, si besoin est, procéder à des modifications correctives de la conception ou des autres procédures, pour aboutir à un accroissement progressif de la fiabilité. Cette procédure s'applique aussi bien au matériel seul qu'au logiciel implanté.

Un programme de croissance de fiabilité pour des dispositifs non réparés, ou monocoups, des entités ou des éléments constituants seulement, s'appliquera à des échantillons modifiés successivement, chacun étant d'une conception plus fiable que le précédent.

L'amélioration de la fiabilité d'un logiciel est indépendante de l'environnement physique, par exemple température et humidité, mais peut être affectée par d'autres environnements (par exemple utilisation et maintenance), et n'est pas affectée par la sélection. Cependant, les estimations de la fiabilité du matériel comme du logiciel ne peuvent être obtenues que par l'observation, le contrôle et l'enregistrement des défaillances. En conséquence, elles sont affectées par la capacité des essais à révéler les fragilités au cours du programme. De tels essais devraient donc être aussi complets que possible afin d'inclure toutes les conditions spéciales et non prévues ou les combinaisons de conditions qui pourraient survenir durant l'exploitation normale.

##### 4.1 Origines des fragilités et des défaillances

Les fragilités sont normalement inconnues avant d'être mises en évidence par des défaillances. Cependant, longtemps avant l'apparition d'une défaillance observable, une fragilité peut être le résultat d'une erreur humaine involontaire lors d'une opération concernant une entité. Autrement, elle peut être inhérente au matériel ou due à un processus non entièrement contrôlé.

La croissance de fiabilité n'est généralement associée qu'à la réduction des effets des fragilités systématiques. La séquence d'événements allant depuis la fragilité initiale jusqu'à son élimination est détaillée dans la figure 1, aussi bien pour des cas systématiques que pour des cas résiduels.

#### 4. Basic concepts

In a programme of reliability growth, laboratory or field testing is used to stimulate the exposure of weaknesses and improve the reliability of a system, equipment, component part or similar item. When a failure occurs it shall be diagnosed, repair and/or replacement carried out and testing continued. Concurrently with testing, past failures shall be analysed to find their basic causes and, where appropriate, corrective modifications 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-repaired, or one-shot items or component parts only, shall provide for successively modified samples, each of a more reliable design standard than before.

Reliability growth of software is independent of physical environment (e.g. temperature and humidity) but may be affected by other environments (e.g. use and maintenance) and is unaffected by reliability screening. However, estimates of reliability performance of both hardware and software can only be obtained through observation, monitoring and recording of failures. Consequently they are 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 might arise in practical use.

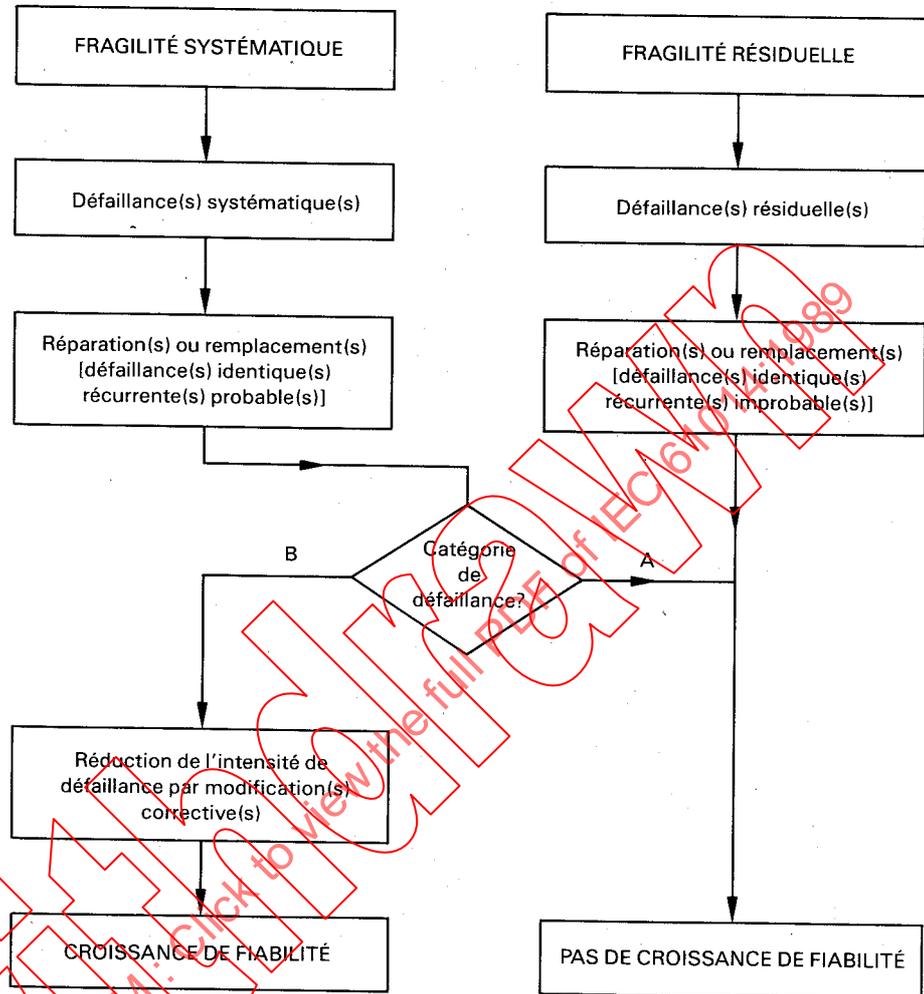
##### 4.1 *Origins of weaknesses and failures*

Weaknesses are normally unknown until 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. Alternatively, it may be inherent in material or due to a process not being under complete control.

Reliability growth 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.

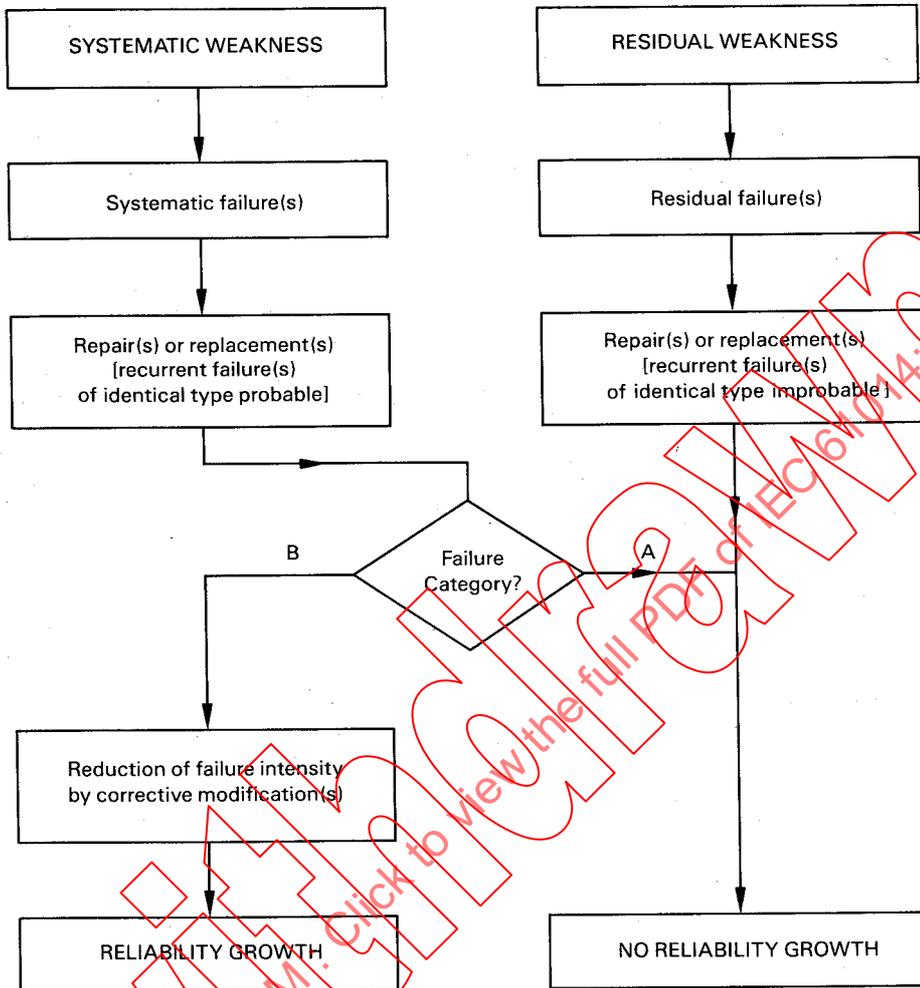
Processus de croissance

Réparation seulement



544/89

Fig. 1. - Comparaison entre processus de croissance et processus de réparation.



544/89

Fig. 1 - Comparison between growth and repair processes.

#### 4.2 Fragilités systématiques

Les fragilités systématiques sont normalement liées à la conception ou à des procédures de ce genre.

Le nombre de types de fragilités présents est influencé par:

- la précision de la spécification de l'environnement ou des conditions d'utilisation;
- la nouveauté, la complexité ou la criticité de la conception, de la fabrication ou de l'utilisation;
- les contraintes telles qu'un développement inadéquat ou les calendriers de production, les restrictions financières, la dimension, le poids ou le fonctionnement;
- la compétence du personnel concerné et son niveau de formation.

Les fragilités systématiques peuvent apparaître aussi bien dans le matériel que dans le logiciel et peuvent avoir des conséquences très importantes car toutes les entités peuvent être affectées par des fragilités similaires inhérentes ayant une seule et même origine. Des modifications correctives destinées à éliminer des fragilités systématiques peuvent elles-mêmes contenir des erreurs qui entraînent de nouvelles fragilités systématiques.

#### 4.3 Fragilités résiduelles

Les fragilités résiduelles sont normalement liées à la fabrication de l'entité ou de ses parties. Les facteurs cités en 4.2 peuvent aussi entraîner l'apparition de fragilités résiduelles, mais ce phénomène peut être limité par la formation du personnel, l'expérience acquise et le contrôle de la qualité.

Les fragilités résiduelles n'existent que dans le matériel. Contrairement aux fragilités systématiques, leurs effets sont limités à des entités uniques. On peut éliminer une proportion importante des fragilités résiduelles d'une entité par la sélection, mais pas toutes, ce qui entraînera des défaillances aléatoires pendant toute la durée de vie de l'entité. Toute réparation, tout remplacement ou toute modification importante comporte le risque de créer de nouvelles fragilités résiduelles.

#### 4.4 Modèles de défaillance pour les programmes de croissance de fiabilité

Comme chaque modification réussie contribue à réduire l'intensité de défaillance d'une entité, les méthodes d'estimation de l'intensité de défaillance ou de la MTBF, qui supposent une intensité de défaillance constante, ne sont pas valables pendant le processus de croissance.

C'est pourquoi on trouvera dans cette norme les principes des modèles mathématiques permettant d'estimer la croissance obtenue et la fiabilité projetée. On peut utiliser des techniques similaires pour la préparation de programmes d'amélioration de fiabilité en estimant le temps d'essai requis pour atteindre un objectif de fiabilité spécifié.

#### 4.2 *Systematic weaknesses*

Systematic weaknesses are normally related to design or similar procedures.

The number of types of weaknesses present will have been influenced by:

- accuracy of specification of environment, or conditions of use;
- 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.

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 may themselves include errors which introduce new systematic weaknesses.

#### 4.3 *Residual weaknesses*

Residual weaknesses are normally related to manufacture of the item or of its parts. The factors in 4.2 will 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 will 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.

#### 4.4 *Failure patterns in reliability growth programmes*

Since the failure intensity of the item is reduced by every successful modification, methods of estimation of failure intensity or of MTBF which assume constant failure intensity are not valid during the growth process.

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 estimating the test time required to reach a specified reliability goal.

L'exactitude d'une telle méthode d'évaluation de la fiabilité dépend du degré d'efficacité du contrôle de l'environnement, des opérations de surveillance, du compte rendu des défaillances, et de l'enregistrement du temps d'essai. A cet égard, on peut davantage se fier aux données provenant des essais en laboratoire qu'à celles provenant des essais en exploitation ou obtenues à partir de programmes d'essais "informels". Il ne faudrait pas tenter de modélisation s'il y avait un doute sur le degré de contrôle. Cependant il faut bien voir que, même si un contrôle est insuffisant et si les modèles mathématiques doivent être abandonnés, les méthodes décrites dans cette norme amélioreront les performances de fiabilité. On devra entreprendre un programme, même si des résultats quantitatifs ne peuvent pas être estimés.

Dans la figure 2, la courbe (1) indique un tracé en escalier idéalisé du nombre cumulé des premières défaillances dues à chaque type de fragilité systématique en fonction du temps d'essai. Cette courbe caractéristique est pratiquement exponentielle et montre le nombre fini de types de fragilités systématiques inhérentes vers lequel tend la courbe. La courbe (2) représente le nombre de défaillances résiduelles en fonction de l'instant où on les a observées. Cette courbe caractéristique est à peu près linéaire après la fin de la période de défaillance précoce. La somme des deux courbes (1) et (2) donne, en (3), le tracé de toutes les défaillances à prendre en compte qui tend, à l'infini, à être linéaire. Si les modifications correctives sont effectuées trop tard ou sont sans effet, il peut y avoir réapparition périodique de types similaires de défaillances systématiques.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF document

The accuracy of any such 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. 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 2, the 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. The 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 (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.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 1014:2000

Withdwn

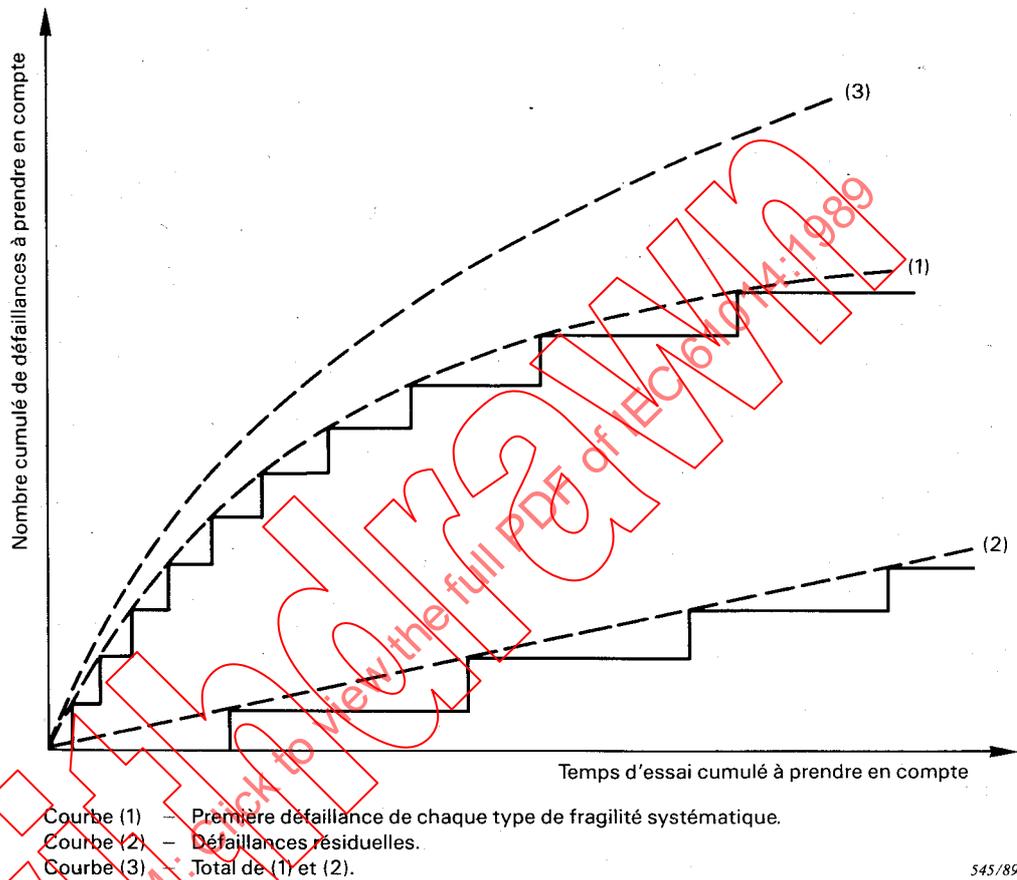


Fig. 2. - Modèles de défaillances à prendre en compte en fonction du temps.

Les courbes caractéristiques de la figure 2 dépendent des hypothèses suivantes:

- la période de défaillance précoce est exclue; elle engendrerait une non-linéarité au début de la courbe caractéristique (2);
- on ne prend en considération aucun des nouveaux types de fragilité qui seraient créés pendant la durée du programme, par exemple à l'occasion d'une réparation ou d'une modification;
- on ne prend en considération aucune défaillance due à une usure normale ou acceptable;
- l'environnement, les modes de fonctionnement et les types d'essai restent constants pendant tout le déroulement du programme. Il convient que tout cycle de routine soit de courte durée et ait une cohérence propre;
- le temps d'essai est contrôlé avec précision.

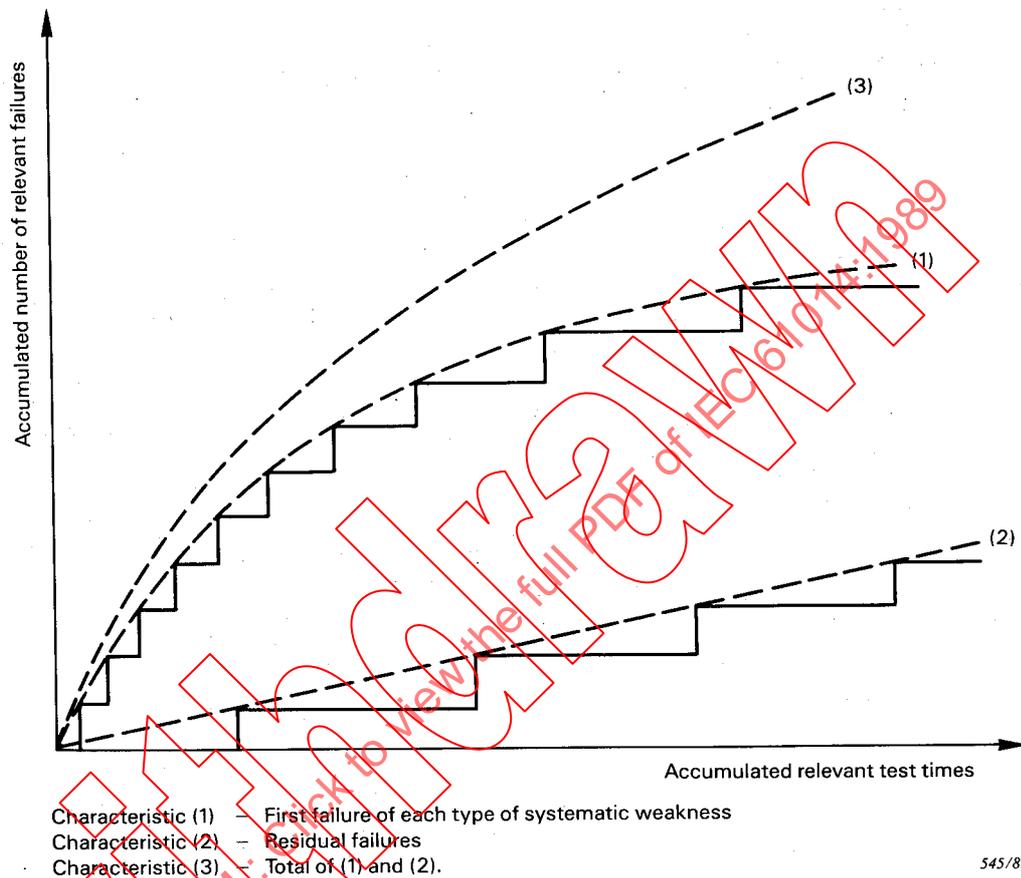


Fig. 2. - Patterns of relevant failures with time.

The characteristics in Figure 2 depend upon the following assumptions:

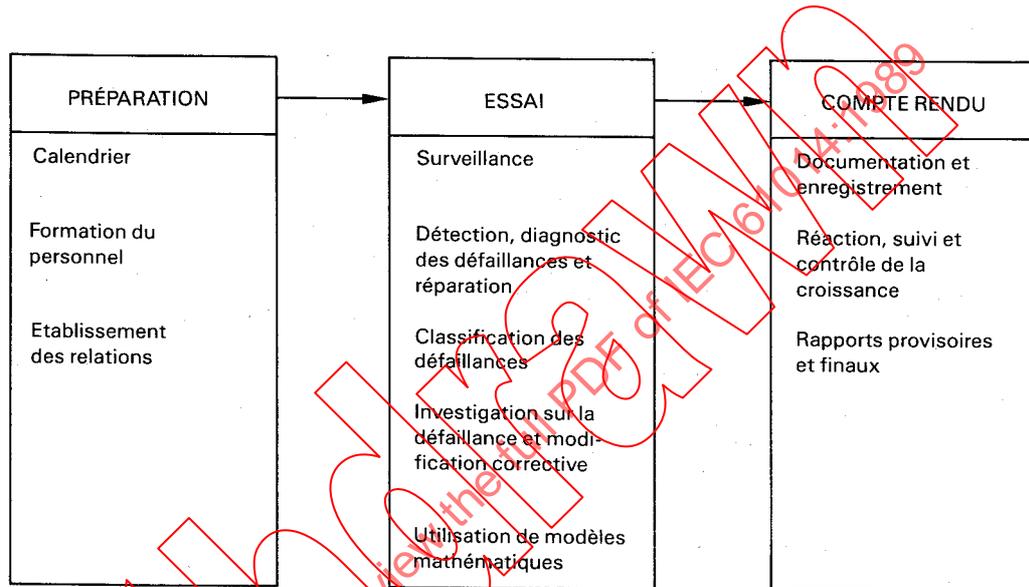
- the early failure period is excluded; otherwise there would be nonlinearity at the start of characteristic (2);
- no new types of weakness are included which were created during the period of the programme, such as might be introduced during repair or modification;
- no failures due to normal or acceptable wearout 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. Organisation

Les responsables devront mettre en place les méthodes de préparation et d'exécution d'un programme de croissance de fiabilité et établir les relations fondamentales entre les responsables des essais et ceux des modifications correctives. Des règles générales d'organisation sont données dans la CEI 300.

### 5.1 Méthodes

La figure 3 présente un diagramme des méthodes d'organisation.



546/89

Fig. 3. - Structure générale d'un programme de croissance de fiabilité.

Une période de préparation devra être prévue pour établir le calendrier (article 6). Cela 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 (5.2). Les conditions d'essai sont détaillées dans l'article 6, la classification des défaillances dans l'article 7 et la modification corrective dans l'article 8. Ces trois opérations sont résumées à la figure 5.

On ne devrait pas avoir recours aux modèles mathématiques (article 9) 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, on ne devra pas avoir recours aux modèles mathématiques si les conditions requises ne sont pas remplies, afin d'éviter d'obtenir des résultats trompeurs.

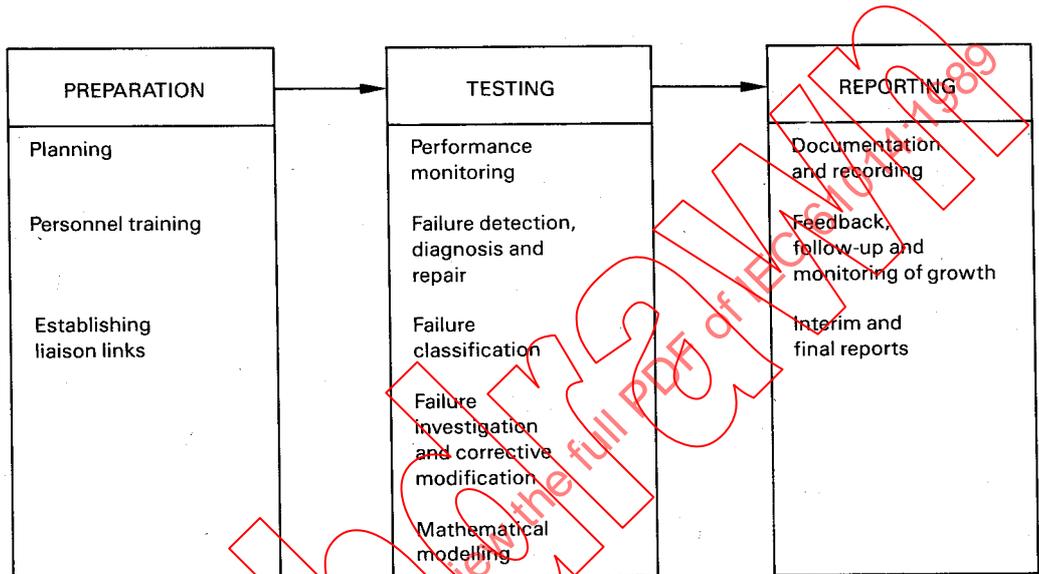
Faire un compte rendu consiste essentiellement à consigner au jour le jour le détail des résultats, à les répercuter sur la conception et à établir un rapport pour l'utilisateur. Les éléments de ces activités sont énoncés à l'article 10.

## 5. Management aspects

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 300.

### 5.1 Procedures

Figure 3 shows the management procedures diagrammatically.



546/89

Fig. 3. - Overall structure of a reliability growth programme.

A period of preparation shall be scheduled for planning purposes (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 (5.2). Testing requirements are detailed in Clause 6, failure classification in Clause 7 and corrective modification in Clause 8. These three procedures are summarized in Figure 5.

Mathematical modelling (Clause 9) 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 risk giving misleading results.

Reporting consists essentially of day-to-day detailed logging, feedback to design and reporting to the user. The elements of these activities appear in Clause 10.

## 5.2 Relations

Les modifications correctives destinées à éliminer les fragilités systématiques nécessitent qu'un ingénieur en fiabilité en surveillance personnellement le déroulement car la documentation ne permettra pas, à elle seule, de déclencher les actions nécessaires de manière efficace. Cet ingénieur devra être en relation étroite avec les spécialistes liés aux différentes sources d'informations concernant les défaillances ainsi qu'avec les responsables des actions destinées à éliminer les fragilités systématiques.

Les principales sources de données de défaillance sont:

- les essais d'amélioration de fiabilité;
- les essais de sélection;
- les démonstrations de fiabilité;
- les essais de conformité à l'environnement;
- les essais de réception;
- les essais en exploitation;
- le fonctionnement en exploitation.

Les essais d'amélioration de fiabilité devront être considérés comme la principale source de données puisque c'est leur objectif 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. Une banque de données informatique, avec ses possibilités de recherche et de classement, permettra de regrouper facilement les types de défaillances identiques.

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

- la conception et le développement;
- les fournisseurs de pièces détachées et les sous-traitants;
- les bureaux de dessin;
- 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 4 illustre les relations essentielles.

## 5.2 *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:

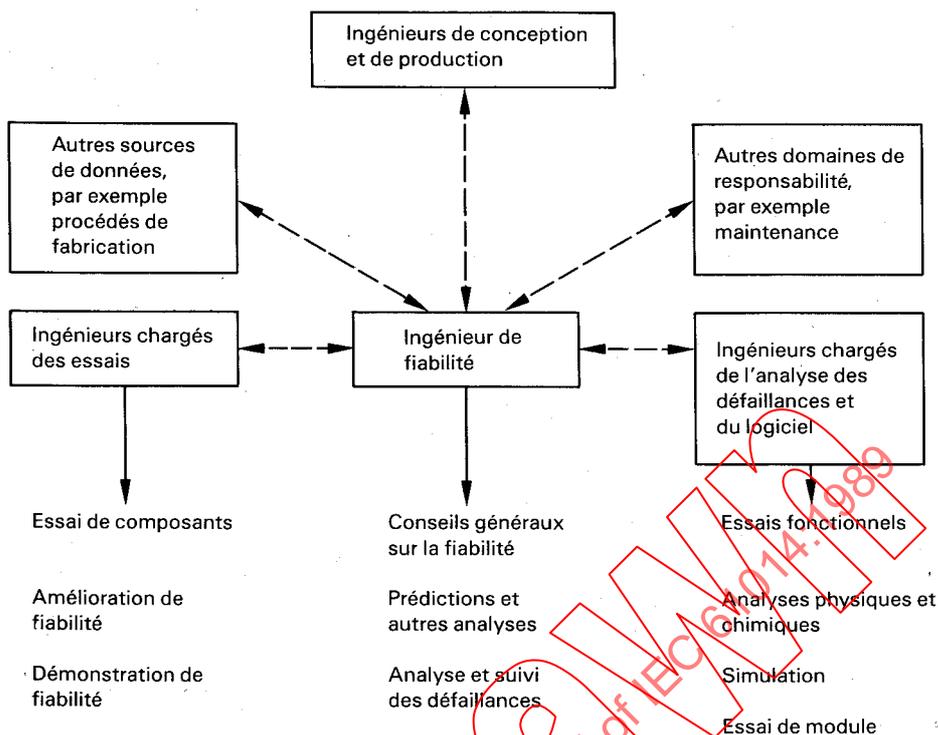
- reliability improvement testing;
- reliability screening;
- reliability demonstrations;
- environmental qualification testing;
- acceptance testing;
- field trials;
- operational use.

Reliability improvement testing shall be regarded as the most significant source, since it is dedicated to this purpose and requires close control of environment and data collection. However, other sources may provide useful background information in establishing failure categories. A computer data bank with searching and sorting facilities will enable 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;
- parts 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 4 illustrates the essential liaison links.



547/89

Fig. 4. - Diagramme indiquant les relations et les fonctions.

### 5.3 Main-d'oeuvre et coûts

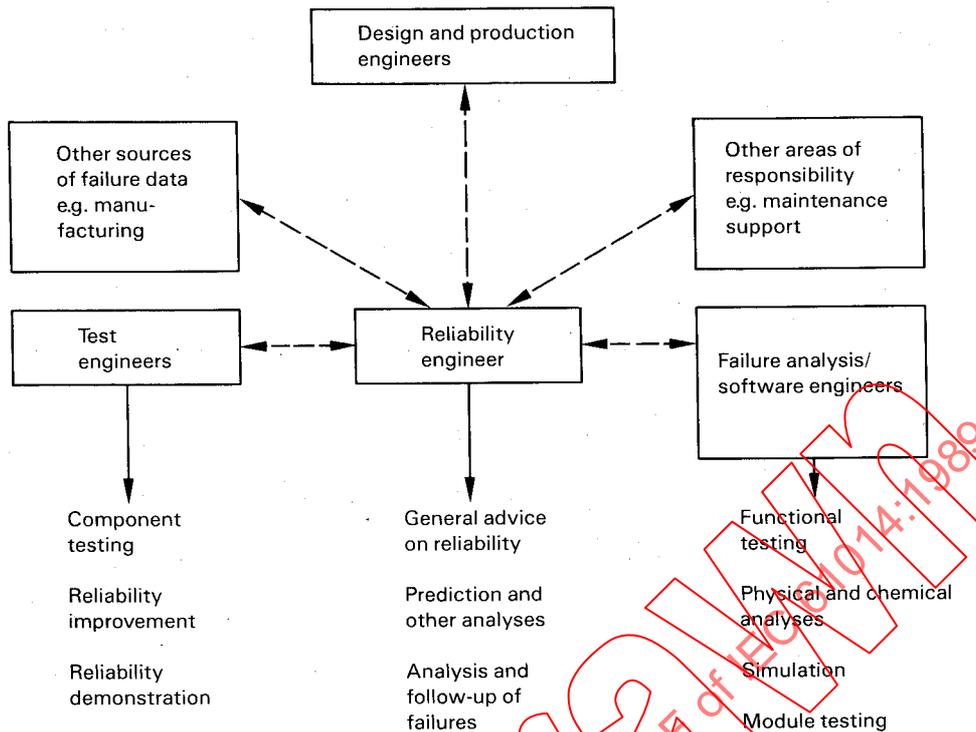
Comme les projets et les entités varient beaucoup, tant par leur nature que par leur importance, on ne peut donner que des indications générales. Pour de petits projets, l'ingénieur en fiabilité évoqué en 5.2 peut ne travailler qu'à temps partiel sur un projet alors que, dans d'autres cas, il peut avoir besoin d'être assisté par une équipe importante.

Pour estimer la main-d'oeuvre nécessaire, il conviendrait de prendre en compte les besoins en personnel de l'ingénieur en fiabilité et de la 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 exigeront un effort important au niveau de la conception comme dans d'autres domaines concernés.

Les entités à essayer et le matériel d'essai peuvent être récupérables; ils 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 sont également récupérables.

### 5.4 Economies

Investir dans un programme de croissance de fiabilité permet généralement de réaliser des économies substantielles sur le coût de la maintenance en exploitation, tout au long du cycle de vie de la population totale des entités. Ces économies dépendent de nombreux facteurs, tels que la taille de la population des 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.



547/89

Fig. 4. - Chart showing liaison links and functions.

### 5.3 Manpower and costs

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 5.2 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 will 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 are also recoverable.

### 5.4 Cost benefit

Investment in a reliability growth programme generally brings substantial savings in the cost of maintenance in the field 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.

## 6. Préparation des programmes de croissance de fiabilité

On admet que, dans des conditions de temps de travail et d'effort financièrement et pratiquement réalisables, toutes les fragilités ne seront pas éliminées. Certaines fragilités, tant systématiques que résiduelles, subsisteront et détermineront l'intensité de défaillance projetée. On peut considérer que quelques milliers d'entité-heures constituent une durée d'essai caractéristique pour l'amélioration de la fiabilité, selon le degré d'amélioration requis.

La préparation devra débiter suffisamment tôt dans le programme pour permettre la fourniture, à temps, de toutes les entités et moyens nécessaires. Lors de la préparation d'un plan d'essai pour un programme de croissance de fiabilité, il faudra prendre un certain nombre de décisions relatives:

- au nombre d'entités de chaque type à soumettre à l'essai et à leurs spécifications de conception;
- à l'équipement d'essai (qu'il soit normalisé ou spécial);
- aux entités de rechange (modules et pièces détachées);
- aux conditions d'essais et aux moyens d'essais d'environnement;
- à la durée prévue du programme en durée de fonctionnement et en temps calendaire;
- à la main-d'oeuvre nécessaire à la préparation, aux essais, aux relations, aux réparations, à l'analyse, à l'investigation et aux modifications.

### 6.1 Nombre d'entités à essayer

Plus le nombre d'entités essayées simultanément sera important et plus représentatif de la population totale sera l'échantillon. En général, plus l'entité est simple, moins son coût est important et plus sa fiabilité est élevée. Aussi, pour obtenir dans un délai raisonnable un nombre total significatif de défaillances, il conviendra d'essayer davantage d'entités. Cela est généralement possible en raison du coût peu élevé et des petites dimensions de chaque entité.

### 6.2 Essais sous contraintes

Etant donné que c'est normalement l'apparition de défaillances, et elle seule, qui révèle les fragilités, les programmes d'amélioration de fiabilité se proposent à la fois d'accélérer l'apparition de défaillances et d'éliminer les fragilités systématiques qu'elles révèlent. Cependant, la stimulation délibérée de défaillances se fera généralement en laboratoire plutôt qu'en exploitation.

Pour le choix d'un environnement adapté à la stimulation de défaillances, il est recommandé de se reporter aux CEI 605-1, 605-2 et 605-3 mais, si l'on désire stimuler le plus rapidement possible les défaillances, il conviendra d'adopter l'environnement et les conditions d'utilisation les plus sévères permis par la spécification de conception (pour le fonctionnement plutôt que pour le stockage). Pour la même raison, il conviendra de faire exécuter par l'entité une série d'opérations réalistes mais étudiées pour la soumettre aux contraintes maximales permises.

## 6. Planning of reliability growth programmes

It is accepted that, within a practicable and economic time scale and effort, not all weaknesses will be eliminated. Some weaknesses, both systematic and residual, will remain and will determine the projected failure intensity. A typical total testing time for reliability improvement would be a few thousand item-hours, depending on the degree of improvement required.

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

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

### 6.1 *Number of items to be tested*

Increasing the number of items tested simultaneously will make 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 probably smaller physical size per item.

### 6.2 *Testing by stressing*

Because weaknesses are normally revealed only by the appearance of failures, reliability improvement programmes involve both the stimulation of failures and elimination of the systematic weaknesses which they expose. However, deliberate stimulation will usually apply 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 605-1, 605-2 and 605-3, but in order to stimulate failures as quickly as possible the most severe environment and intensive use permitted by the design specification (for operation rather than storage) should be employed. For the same reason the item should also execute a repeated series of functions which are realistic but designed to give the maximum permissible stresses.

Les contraintes d'environnement et les modèles de fonctionnement ne sont pas nécessairement très proches des conditions d'utilisation d'une entité mais peuvent être conçus pour accroître la stimulation des fragilités latentes. Cependant, il conviendra de ne pas introduire des mécanismes de défaillance non typiques qui n'apparaîtraient pas en usage normal; dans ce cas, en effet, une modélisation mathématique pourrait ne pas être réaliste. Des essais de "qualification" effectués séparément dans des conditions d'environnement extrêmes peuvent fournir des données supplémentaires sur les défaillances. Le type et le degré de sévérité des conditions de stimulation choisies peuvent varier selon le niveau d'assemblage.

Pour s'assurer que toutes les défaillances ont été détectées, on devra faire fréquemment un relevé complet des essais de fonctionnement par rapport à la spécification d'essai. Lorsque l'entité comporte du logiciel, ce relevé d'essai devra absolument couvrir tous les modes de fonctionnement prévus et leurs combinaisons possibles.

### 6.3 *Durée du programme*

La durée nécessaire pour atteindre un objectif de fiabilité donné ne peut être prédite qu'à partir des expériences passées (privées ou publiées) et à l'aide de modèles mathématiques de croissance. Les modèles mathématiques fournissent un moyen de prédire le nombre de défaillances à prendre en compte sur la base des paramètres supposés du modèle, estimés à partir des programmes précédents. Le chiffre obtenu est alors ajusté afin de tenir compte des défaillances supplémentaires, c'est-à-dire des défaillances à ne pas prendre en compte et des défaillances systématiques récurrentes dues aux fragilités non encore supprimées. On estime aussi le temps calendaire moyen nécessaire pour effectuer les réparations et les modifications, en prévoyant des éventualités telles que la perte de matériel, la maladie, etc.

Le temps calendaire nécessaire pour l'ensemble du programme sera la somme:

- de la durée de fonctionnement totale requise, exprimée en temps calendaire, en tenant compte du nombre maximal d'heures possibles par semaine (ou par mois);
- du temps calendaire total d'indisponibilité nécessaire pour réparer toutes les défaillances prévisibles;
- du temps calendaire total nécessaire aux modifications pour remédier à toutes les fragilités systématiques prévisibles;
- du temps calendaire alloué aux imprévus.

### 6.4 *Croissance envisagée et contrôle de la croissance*

Normalement, l'utilisateur spécifiera un objectif mesuré de la fiabilité qu'il souhaite pour l'équipement soumis à l'essai.

On peut préparer une courbe de croissance pour évaluer l'évolution vers ce niveau de la croissance de fiabilité tout au long du programme. Cette courbe montrera la fiabilité attendue à des instants spécifiés du programme, en termes de temps calendaire ou de temps d'essai. Si le programme est mené en plusieurs étapes distinctes, on pourra faire coïncider ces instants avec la fin de chaque étape.

Environmental stresses and operational patterns need not be closely related to the conditions of use of an item but may be designed to give increased stimulation of latent weaknesses. However care should be taken not to introduce failure mechanisms untypical of normal use, which might render mathematical modelling unrealistic. Separate 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 shall be carried out against the test specification. Where software is involved in the item, this testing schedule shall embrace all expected modes of operation and their likely combinations.

### 6.3 Programme duration

The time required to achieve a given target reliability can only be predicted 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 will be the sum of:

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

### 6.4 Planned growth and growth monitoring

A target reliability measure for the equipment being tested will normally be specified by the user.

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.

On construira généralement le graphique de croissance globale envisagée, ou la "courbe de croissance idéalisée", à partir d'un modèle mathématique reconnu (voir article 9) dont les paramètres reflètent un taux de croissance réaliste, évalué à partir de l'expérience passée. Si le programme se fait par étapes distinctes, on déterminera un objectif unique par étape, comme indiqué à la figure 8. Aux instants spécifiés dans le programme, on comparera la croissance réelle, telle qu'estimée à l'aide de modèles mathématiques, avec la croissance visée (contrôle de la croissance).

#### 6.5 *Considérations particulières pour les entités non réparées, ou monocoups, et les éléments constituants*

En général, les principes applicables à un programme de croissance de fiabilité d'entités réparables pourront aussi s'appliquer à un programme spécialement conçu pour améliorer la fiabilité des entités non réparées, ou monocoups, ou des éléments constituants. Il existe cependant des différences pratiques avec un programme pour un équipement. En ce cas, les mesures les plus communes de fiabilité sont le taux de défaillance et la MTTF.

Il convient que chaque échantillon d'entités d'un type identique soumis à l'essai soit aussi grand que possible. Il n'est pas nécessaire de remplacer une entité défaillante à condition que la taille de l'échantillon n'en soit pas considérablement réduite. Il est recommandé de ne pas interrompre l'essai pendant l'analyse des défaillances systématiques, afin de révéler toute nouvelle fragilité inhérente non encore détectée. Après chaque défaillance systématique, il conviendrait normalement de procéder à une modification corrective de l'entité, après quoi tout le reste de l'échantillon en essai serait rapidement modifié pour être élevé, de la même façon, à un niveau supérieur. Il est alors recommandé de reprendre l'essai pour vérifier l'efficacité de cette modification, comme des autres, et pour continuer à rechercher de nouvelles fragilités inconnues.

Lorsque l'usure d'une entité est significative, l'amélioration peut consister en un simple accroissement de sa durée de vie. L'évaluation au moyen de modèles de croissance de fiabilité est peu susceptible d'être faisable ou fiable, car il est peu probable qu'il y ait un nombre statistiquement significatif de fragilités systématiques et de modifications. Néanmoins, si les échantillons sont suffisamment grands, on peut utiliser d'autres méthodes appropriées telles que l'analyse de Weibull (voir CEI 605-4).

### 7. Classification des défaillances

Les classes de défaillances ayant une cause autre que la conception ou la construction décrites dans l'article 4 ne sont pas à prendre en compte pour les modifications correctives ni pour la modélisation et l'évaluation de la croissance. La première étape de la classification consiste à identifier et à exclure les défaillances à ne pas prendre en compte et, la deuxième étape, à subdiviser 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 peuvent en fournir. La classification vise à remonter l'enchaînement conceptuel décrit en 4.1, c'est-à-dire de la défaillance à la fragilité et à la nature de la cause originelle.

The planned overall growth pattern or "idealized growth curve" will normally be constructed from an accepted mathematical model (see Clause 9) whose parameters reflect a realistic rate of growth based on past experience. If there are distinct phases, an individual target within each phase will be set, as shown in Figure 8. At the specified points in the programme, the actual growth as estimated by modelling will be compared with the planned growth (growth monitoring).

#### 6.5 *Special considerations for non-repaired or one-shot items and component parts*

The principles which apply to a reliability growth programme for repairable items will also apply in general to a programme specially intended to improve the reliability of non-repaired or one-shot items or component parts. 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 which 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.

Where the wearout of the item is significant, improvement may consist in extending this lifetime. Assessment by reliability growth modelling is unlikely to be practicable or dependable, since it is unlikely that there will be a statistically significant number of systematic weaknesses and modifications. However, if the samples are large enough, other methods such as Weibull analysis may be appropriate (see IEC 605-4).

### 7. 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 which are non-relevant and the second stage is to subdivide the relevant failures into systematic and residual classes.

Classification requires engineering judgement, based on as much information as obtainable from investigations. Classification attempts to trace backwards the conceptual sequence described in 4.1, i.e. from failure to weakness and to the nature of the original cause.

### 7.1 *Classes de défaillances à ne pas prendre en compte*

Les défaillances à ne pas prendre en compte sont mentionnées au 9.3 dans la CEI 605-1. Selon les exigences particulières de chaque programme (telles qu'elles sont définies dans la spécification appropriée ou dans le projet), tout ou partie des types de défaillances 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 (article 9).

Si des défaillances de l'un de ces types ont des conséquences plus graves du point de vue de la fiabilité, c'est-à-dire sur les interfaces, les équipements associés ou les appareils d'essai, elles peuvent être à prendre en compte pour la modification corrective dans ces domaines, même si on ne doit pas les prendre en compte pour l'entité principale dans le programme.

#### 7.1.1 *Défaillances secondaires - voir 9.3.1 de la CEI 605-1*

Si elles se produisent de façon systématique, ces défaillances devront être prises en compte.

#### 7.1.2 *Défaillances dues à une mauvaise utilisation - voir 9.3.2 de la CEI 605-1*

Si elles se produisent de façon systématique, ces défaillances devront être prises en compte.

#### 7.1.3 *Défaillance se produisant pendant la correction ou défaillance déjà éliminée par une correction de conception - voir 9.3.3 de la CEI 605-1*

Lorsqu'on utilise des modèles mathématiques pour évaluer la croissance de fiabilité, des spécifications particulières peuvent, selon les cas, inclure ou exclure ces défaillances.

#### 7.1.4 *Défaillances intermittentes identiques*

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

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

#### 7.1.5 *Défaillances nécessitant un simple réglage ou une maintenance de la part de l'opérateur (seules 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 se produisent de façon systématique, ces défaillances doivent être prises en compte.

#### 7.1.6 *Défaillances d'éléments constitutants vis-à-vis des essais de la spécification mais par ailleurs satisfaisants dans leur fonction propre*

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

## 7.1 *Classes of non-relevant failures*

Non-relevant failures, in general, are covered by 9.3 of IEC Publication 605-1. 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 non-relevant to reliability growth assessment (Clause 9).

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

### 7.1.1 *Secondary failures - see 9.3.1 of IEC 605-1*

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

### 7.1.2 *Misuse failures - see 9.3.2 of IEC 605-1*

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

### 7.1.3 *Failure in process of correction, or already eliminated by design correction - see 9.3.3 of IEC 605-1*

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

### 7.1.4 *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.

### 7.1.5 *Need for operator adjustment or maintenance (normal operator use only)*

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

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

### 7.1.6 *Component parts failing to meet specification tests but satisfactory in their particular function*

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

### 7.1.7 Défaillances d'usure survenant après une durée de vie acceptable

Les défaillances d'usure d'entités survenant après une durée de vie acceptable, c'est-à-dire au-delà de la durée de vie minimale spécifiée, peuvent ne pas être prises en compte.

### 7.1.8 Défaillances survenant pendant la sélection

Les défaillances survenant pendant la sélection ne doivent pas être prises en compte pour l'évaluation de la croissance de fiabilité. Cependant, si elles révèlent de nouvelles fragilités systématiques pendant l'essai de sélection, ces défaillances devront toujours être étudiées et éventuellement entraîner une modification corrective.

### 7.2 Classes de défaillances à prendre en compte

Il est recommandé, pour deux raisons, de classer les défaillances à prendre en compte en défaillances systématiques et en défaillances résiduelles:

- afin de pouvoir juger de la nécessité d'une modification corrective;
- parce que, pour certaines méthodes de modélisation de la croissance de fiabilité, on utilisera séparément les données concernant ces différentes catégories de défaillances.

On considère que les règles de base suivantes sont d'un grand secours pour classer les défaillances:

- **Défaillances systématiques**  
Défaillances qui, à la suite d'une analyse physique, circonstancielle ou de conception, présentent des caractéristiques de défaillance permettant de prévoir leur récurrence. Leur réapparition effective au bout d'une durée d'essai suffisante peut le confirmer. Par exemple, un composant ayant été légèrement surchargé à cause d'une erreur de conception pourra présenter des défaillances récurrentes après un temps suffisamment long.
- **Défaillances résiduelles**  
Défaillances ne présentant 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, en particulier pour les défaillances systématiques et de catégorie B (voir 7.3).

### 7.3 Catégories de défaillances à prendre en compte

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

- A - défaillances n'entraînant pas de modifications correctives parce que les résultats attendus n'en justifient pas le coût, le temps d'intervention ou les difficultés techniques;
- B - défaillances suivies de modifications correctives destinées à éviter leur récurrence.

### 7.1.7 Failures after acceptable lifetime

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

### 7.1.8 Failures during reliability screening

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

## 7.2 Classes of relevant failures

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

- in order 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:

#### - Systematic failures

Those which show after a physical, circumstantial or design analysis a condition or pattern of failure which may be expected to cause recurrence. This may be confirmed by actual recurrences after a long enough test time. For example, a component part found to be mildly over-stressed due to a design error might show recurrent failures over a sufficiently long period.

#### - Residual failures

Those which 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 7.3).

## 7.3 Categories of relevant failures

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.

## 8. Processus d'amélioration de la fiabilité

La figure 5 indique la séquence du diagnostic de défaillance, de la réparation ou du remplacement, de la classification et, quand on le peut, de l'investigation et de la modification corrective ultérieures. La même méthode générale s'appliquera lorsque la source d'information correspond à un programme informel ou à une activité correspondant à un objectif dont le but initial était différent.

Pour que le temps d'essai soit le plus long possible, on ne devra interrompre le programme à la suite d'une défaillance que le temps nécessaire pour établir le diagnostic et procéder à une réparation ou à un remplacement. Dans la mesure du possible, la recherche des défaillances systématiques et la conception des modifications seront poursuivies en parallèle avec l'essai; dans ce cas, le risque évident est que le même type de défaillance se reproduise tant que la fragilité n'est pas supprimée.

Après avoir découvert une faiblesse systématique de catégorie B, on devra toujours procéder à 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 autre interruption). Néanmoins, 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. On trouvera un exemple à la figure 8.

Des modules ou d'autres pièces de remplacement pourront être remplacés par des pièces de rechange pour remise en état de fonctionnement après une défaillance. Cela permettra d'apporter une modification à la pièce défaillante sans interrompre le fonctionnement de l'entité et de réduire encore le temps d'indisponibilité lors de sa réutilisation future. Il est donc très avantageux de disposer d'un ensemble de ces pièces de rechange mais, à moins d'effectuer sur chacune d'elles toutes les modifications apportées, on ne devrait les utiliser que provisoirement.

## 8. Process of reliability improvement

Figure 5 shows the sequence of failure diagnosis, repair or replacement, classification and (where applicable) further investigation and corrective modification. The same general process will 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 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 will 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 will allow the modification to be incorporated into the spare unit independently, with further downtime saving when it is re-introduced 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.

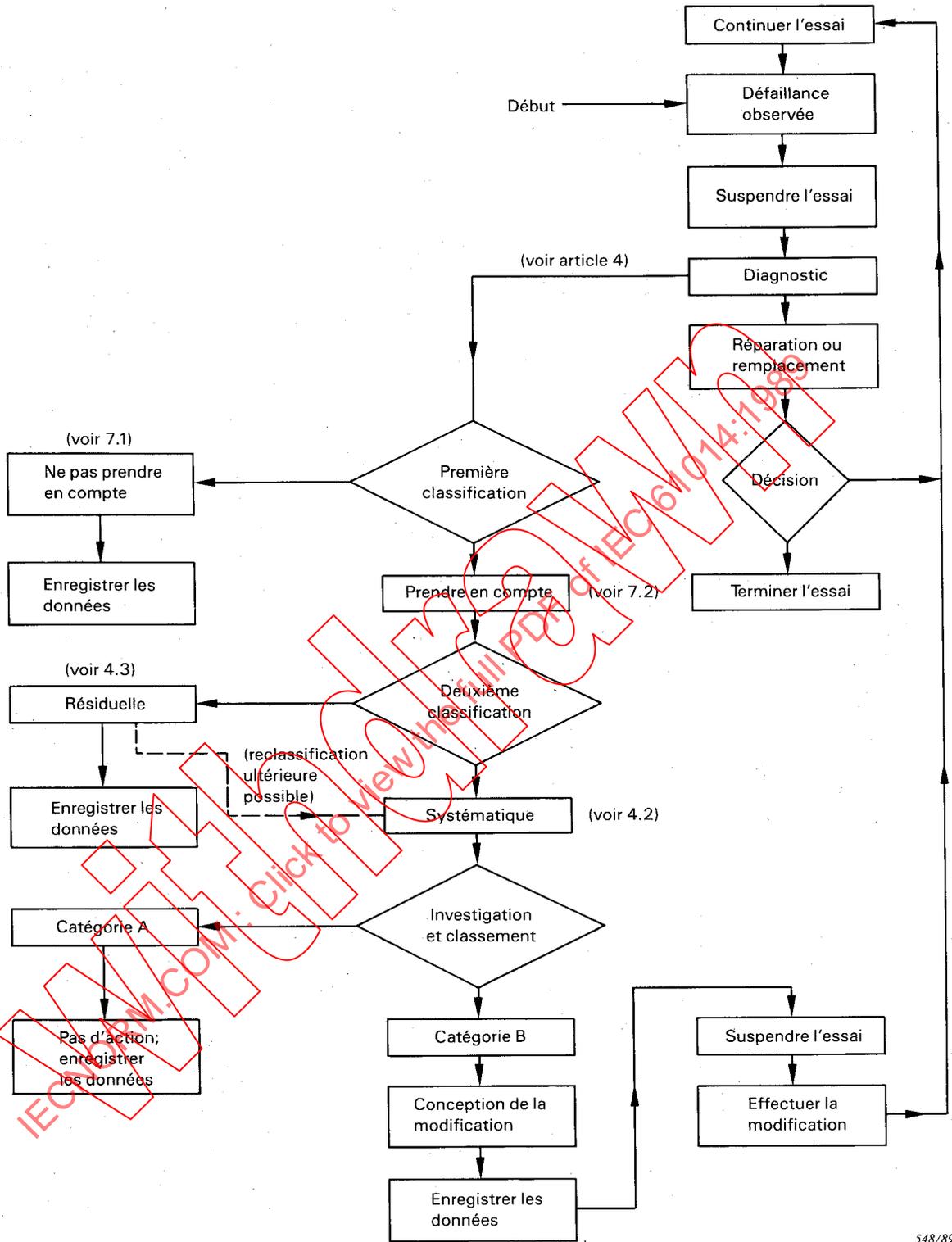
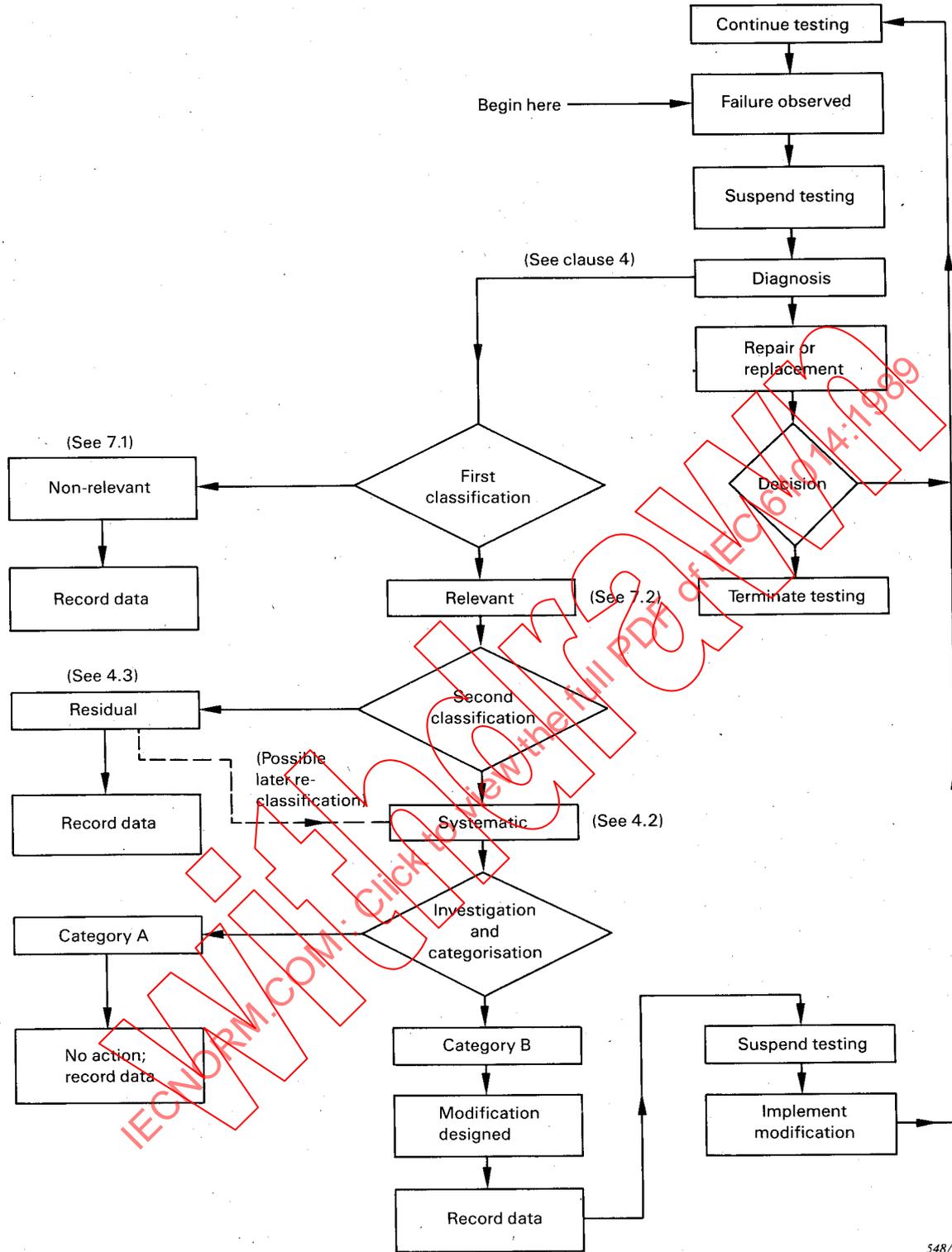


Fig. 5.- Processus d'amélioration de la fiabilité.



548/89

Fig. 5. - Process of reliability improvement.

L'efficacité d'une modification ne sera connue qu'à l'issue d'une période probatoire plusieurs fois supérieure à la période jusqu'à la première défaillance due à un certain type de fragilité. Cela permettra de savoir, non seulement si on a pu réduire ou éliminer efficacement telle ou telle fragilité, mais aussi si d'autres fragilités systématiques ont été introduites. Il faudra également faire fonctionner pendant une certaine durée (à peu près celle de la sélection) les dispositifs susceptibles de présenter des erreurs de fabrication ou des erreurs sur des lots de composants nouveaux pouvant entraîner de nouvelles fragilités résiduelles, afin de révéler ces fragilités.

## 9. Utilisation de modèles mathématiques

Cet article décrit l'utilisation de modèles de croissance lorsque la fiabilité est estimée par une intensité de défaillance ou par la MTBF. Pour d'autres estimateurs de fiabilité, c'est-à-dire le taux de défaillance, la MTTF ou le pourcentage de succès, il conviendrait d'utiliser d'autres types de modèles. La modélisation de croissance de fiabilité permet de quantifier des estimateurs pour l'évaluation de la fiabilité obtenue et future à la fin d'un programme de croissance de fiabilité ou à des points intermédiaires, exprimés sous les formes suivantes:

- l'intensité de défaillance ou la MTBF instantanée, à un instant donné du programme;
- l'intensité de défaillance ou la MTBF extrapolée à un instant futur du programme;
- l'intensité de défaillance ou la MTBF projetée, après qu'on a apporté les modifications différées ou qu'on a interrompu le programme d'amélioration.

Les intensités de défaillance instantanées ou extrapolées sont de la plus grande utilité lorsque le programme avance et la mesure projetée est de la plus grande valeur en tant qu'estimateur final à la fin d'une phase ou à la fin du programme.

De plus, les rapports suivants peuvent être estimés:

- les évaluations citées ci-dessus, par rapport à l'évaluation instantanée au début du programme;
- le nombre de fragilités systématiques découvertes, par rapport au nombre total inhérent annoncé par l'estimateur de la modélisation;
- le nombre de fragilités systématiques résultant de la modification, par rapport au nombre total inhérent.

On peut estimer la durée de la période de défaillance précoce directement à partir des données sur les défaillances, par examen visuel de la courbe caractéristique des défaillances par rapport au temps ou par d'autres moyens. Pour cette période, on ne tiendra compte ni des défaillances ni des temps pour les calculs de la croissance de fiabilité.

The effectiveness of a modification will not be known until after a period of testing several times longer than the period to first failure due to a particular type of weakness. This will show 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 component parts, bringing new residual weaknesses, will also require a period of operation (similar to that for reliability screening) in order to expose them.

## 9. Mathematical modelling

This clause describes the modelling applicable where reliability is measured by failure intensity or by MTBF. For other measures of reliability, e.g. failure rate, MTTF or success ratio, alternative types of model should be used. Reliability growth modelling enables quantitative estimates to be made of the achieved and future reliability measures at the end of a reliability growth programme or at intermediate points, expressed in the following forms:

- the instantaneous failure intensity or MTBF at a given point in the programme;
- the extrapolated failure intensity or MTBF at some future point in the programme;
- the projected failure intensity or MTBF beyond the time when delayed modifications are incorporated or improvement ceases.

The instantaneous or extrapolated failure intensities are of greatest use while the programme is in progress and the projected measure is of the most value as a final estimate at the end of a phase or the end of the programme.

In addition, the following ratios may be estimated:

- the measures listed above, relative to the current measure at the start of the programme;
- the number of systematic weaknesses revealed, relative to the total inherent number as estimated by modelling;
- the number of systematic weaknesses acted upon by modification, relative to the total inherent number.

The length of the early failure period may be estimated directly from the failure data, by visual examination of the failure/time characteristic or by other means. Both failures and times within this period shall be excluded from data used in reliability growth calculations.

## 9.1 Nature et objectifs de la modélisation

Les modèles de croissance de fiabilité utilisent des fonctions mathématiques qui, lorsque leurs variables ou paramètres ont des valeurs optimales pour un ensemble de données particulier, reproduisent rigoureusement les caractéristiques de cet ensemble de données. Il est préférable d'exprimer ces fonctions et caractéristiques sous la même forme que les données d'origine, c'est-à-dire par les nombres cumulés de défaillances à prendre en compte et par les temps d'essai cumulés correspondants à prendre en compte, comme sur la figure 2. Les fonctions de ces modèles peuvent être, soit continues, soit discrètes. En représentant les défaillances comme des étapes distinctes, les modèles discrets en offrent une image plus proche de la réalité, mais ils nécessitent souvent davantage d'étapes dans l'évaluation que les modèles continus.

Pour le choix du modèle à utiliser, on s'efforcera de trouver un compromis entre la simplicité, l'évaluation et le réalisme. La plupart des modèles n'ont que deux paramètres, car un plus grand nombre compliquerait l'évaluation. On résout les équations de façon à obtenir des estimateurs des paramètres selon le maximum de vraisemblance ou selon les moindres carrés. La substitution de ces valeurs dans le modèle permet alors d'estimer la croissance obtenue sous les formes énumérées au début de cet article.

Les deux conditions importantes pour procéder à une modélisation sont:

- que l'on dispose de données appropriées;
- que l'environnement d'essai soit constant.

On ne devrait pas considérer les modèles comme infaillibles, ni les utiliser à tort et à travers, mais les utiliser comme des outils statistiques pour aider le jugement technique.

## 9.2 Concepts des mesures de fiabilité utilisés dans la modélisation

### 9.2.1 Intensité de défaillance instantanée

Comme l'a déjà montré la courbe (3) de la figure 2, la caractéristique du nombre total de défaillances à prendre en compte par rapport au temps d'essai est généralement telle qu'elle apparaît sur la courbe en trait plein de la figure 6.

L'intensité de défaillance instantanée à un instant donné est la pente d'une tangente à la courbe en cet instant. La figure 6 indique les tangentes tracées à l'origine et à un point intermédiaire ( $t_1, n_1$ ) d'un programme d'amélioration de fiabilité, tangentes dont la pente représente l'intensité de défaillance instantanée d'une entité (ou d'une population d'entités). Un ajustement de courbe faisant appel à l'utilisation d'un modèle mathématique permet d'estimer ces pentes.

Néanmoins, si l'on a procédé à des modifications pour améliorer la fiabilité pendant les dernières étapes de la période d'essai totale, le modèle peut ne pas avoir disposé d'une période suffisamment longue pour refléter la croissance résultant de ces modifications. En conséquence, l'intensité de défaillance instantanée vraie sera inférieure à