



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms

Expressions mathématiques pour les termes de fiabilité, de disponibilité, de maintenabilité et de logistique de maintenance

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 03.120.30; 21.020

ISBN 978-2-8322-3558-4

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	9
2 Normative references.....	10
3 Terms and definitions	10
4 Glossary of symbols and abbreviations	13
4.1 General.....	13
4.2 Acronyms used in this standard	13
4.3 Symbols used in this standard	15
5 General models and assumptions	18
5.1 Constituents of up and down times	18
5.2 Introduction to models and assumptions	19
5.3 State-transition approach	20
5.4 Model and assumptions for non-repairable individual items	22
5.5 Assumptions and model for repairable individual items.....	23
5.5.1 Assumption for repairable individual items	23
5.5.2 Instantaneous repair	24
5.5.3 Non-instantaneous repair	25
5.6 Continuously operating items (COI) versus intermittently operating individual items (IOI).....	26
6 Mathematical models and expressions	27
6.1 Systems.....	27
6.1.1 General	27
6.1.2 Availability related expressions	29
6.1.3 Reliability related expressions	36
6.1.4 Mean operating time between failures [192-05-13] and mean time between failures.....	40
6.1.5 Instantaneous failure rate [192-05-06] and conditional failure intensity (Vesely failure rate).....	41
6.1.6 Failure density and unconditional failure intensity [192-05-08].....	44
6.1.7 Comparison of $\lambda(t)$, $\lambda_V(t)$, $z(t)$ and $f(t)$ for high and small MTTRs	47
6.1.8 Restoration related expressions	47
6.2 Non-repairable individual items.....	49
6.2.1 General	49
6.2.2 Instantaneous availability [192-08-01].....	50
6.2.3 Reliability [192-05-05]	50
6.2.4 Instantaneous failure rate [192-05-06]	51
6.2.5 Mean failure rate [192-05-07]	52
6.2.6 Mean operating time to failure [192-05-11].....	53
6.3 Repairable individual items with zero time to restoration	54
6.3.1 General	54
6.3.2 Reliability [192-05-05].....	54
6.3.3 Instantaneous failure intensity [192-05-08].....	56
6.3.4 Asymptotic failure intensity [192-05-10]	58
6.3.5 Mean failure intensity [192-05-09].....	59
6.3.6 Mean time between failures (see 3.3)	60

6.3.7	Mean operating time to failure [192-05-11].....	60
6.3.8	Mean operating time between failures [192-05-13]	61
6.3.9	Instantaneous availability [192-08-01], mean availability [192-08-05] and asymptotic availability [192-08-07]	61
6.3.10	Mean up time [192-08-09]	61
6.4	Repairable individual items with non-zero time to restoration.....	62
6.4.1	General	62
6.4.2	Reliability [192-05-05]	62
6.4.3	Instantaneous failure intensity [192-05-08].....	64
6.4.4	Asymptotic failure intensity [192-05-10]	67
6.4.5	Mean failure intensity [192-05-09].....	68
6.4.6	Mean operating time to failure [192-05-11].....	69
6.4.7	Mean time between failures (see 3.3)	70
6.4.8	Mean operating time between failures [192-05-13]	71
6.4.9	Instantaneous availability [192-08-01].....	71
6.4.10	Instantaneous unavailability [192-08-04].....	73
6.4.11	Mean availability [192-08-05].....	74
6.4.12	Mean unavailability [192-08-06].....	76
6.4.13	Asymptotic availability [192-08-07]	78
6.4.14	Asymptotic unavailability [192-08-08].....	78
6.4.15	Mean up time [192-08-09]	79
6.4.16	Mean down time [192-08-10]	81
6.4.17	Maintainability [192-07-01]	82
6.4.18	Instantaneous repair rate [192-07-20].....	84
6.4.19	Mean repair time [192-07-21]	86
6.4.20	Mean active corrective maintenance time [192-07-22].....	87
6.4.21	Mean time to restoration [192-07-23]	88
6.4.22	Mean administrative delay [192-07-26]	89
6.4.23	Mean logistic delay [192-07-27].....	90
Annex A (informative)	Performance aspects and descriptors	91
Annex B (informative)	Summary of measures related to time to failure	92
Annex C (informative)	Comparison of some dependability measures for continuously operating items.....	95
Bibliography	97
Figure 1	– Constituents of up time	18
Figure 2	– Constituents of down time.....	19
Figure 3	– Acronyms related to failure times	19
Figure 4	– Simple state-transition diagram.....	21
Figure 5	– Sample realization (chronogram) related to the system in Figure 4	22
Figure 6	– State-transition diagram of a non-repairable individual item.....	22
Figure 7	– Sample realization of a non-repairable individual item	23
Figure 8	– State-transition diagram of an instantaneously repairable individual item	24
Figure 9	– Sample realization of a repairable individual item with zero time to restoration	25
Figure 10	– State-transition diagram of a repairable individual item.....	25

Figure 11 – Sample realization of a repairable individual item with non-zero time to restoration	26
Figure 12 – Comparison of an enabled time for a COI and an IOI.....	26
Figure 13 – Equivalent operating time for IOI items.....	27
Figure 14 – State-transition graph for a simple redundant system	27
Figure 15 – Markov graph for a simple redundant system	28
Figure 16 – Evolution of the state probabilities related to the Markov model in Figure 15	28
Figure 17 – Evolution of $A(t)$ and $U(t)$ related to the Markov model in Figure 15.....	29
Figure 18 – Evolution of the $Ast_i(0, t)$ related to the Markov model in Figure 15	31
Figure 19 – Instantaneous availability and mean availability of a periodically tested item	33
Figure 20 – Example of a simple production system.....	34
Figure 21 – Evolution of $A(t)$ and $K(t)$	35
Figure 22 – Illustration of a system reliable behaviour over $[0, t]$	36
Figure 23 – Illustration of a system reliable behaviour over time interval $[t_1, t_2]$	37
Figure 24 – State-transition and Markov graphs for reliability calculations	37
Figure 25 – Evolution of the state probabilities related to the Markov model in Figure 24	38
Figure 26 – Evolution of $R(t)$ and $F(t)$ related to the Markov model in Figure 24	39
Figure 27 – Evolution of $Ast_i(0, t)$ related to the Markov model in Figure 24.....	40
Figure 28 – Time between failures versus operating time between failures	40
Figure 29 – Comparison between $\lambda(t)$ and $\lambda_V(t)$ related to the model in Figure 24	43
Figure 30 – Comparison between $z(t)$ and $f(t)$	46
Figure 31 – Comparison of $\lambda(t)$, $\lambda_V(t)$, $z(t)$ and $f(t)$ for high and small values of MTTRs.....	47
Figure 32 – Illustration of reliable behaviour over $[t_1, t_2]$ for a zero time to restoration individual item	55
Figure 33 – Sample of possible number of failures at the renewal time t	56
Figure 34 – Illustration of reliable behaviour over $[t_1, t_2]$ for a non-zero time to restoration individual item	62
Figure 35 – Evolution of $R(t, t + 1/4)$	64
Figure 36 – Sample of possible number of failures at the renewal time t	64
Figure 37 – Evolution of the failure intensity $z(t)$	66
Figure 38 – Evolution of the mean failure intensity $z(t, t + 1/4)$	69
Figure 39 – Illustration of available behaviour at time t for a non-zero time to restoration individual item	71
Figure 40 – Evolution of the instantaneous availability $A(t)$	73
Figure 41 – Illustration of unavailable behaviour at time t for a non-zero time to restoration individual item	73
Figure 42 – Evolution of the instantaneous unavailability $U(t)$	74
Figure 43 – Evolution of the mean availability $\bar{A}(t, t + 1/4)$	76
Figure 44 – Evolution of the mean unavailability $\bar{U}(t, t + 1/4)$	77
Figure 45 – Sample realization of the individual item state	80
Figure 46 – Plot of the up-time hazard rate function $\lambda_U(t)$	80
Figure 47 – Evolution of the maintainability $M(t, t + 16h)$	84
Figure 48 – Evolution of the lognormal repair rate $\mu(t)$	86

Figure A.1 – Performance aspects and descriptors	91
Table B.1 – Relations among measures related to time to failure of continuously operating items	92
Table B.2 – Summary of characteristics for some continuous probability distributions of time to failure of continuously operating items	93
Table B.3 – Summary of characteristics for some probability distributions of repair time	94
Table C.1 – Comparison of some dependability measures of continuously operating items with constant failure rate λ and restoration rate μ_R	95

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MATHEMATICAL EXPRESSIONS FOR RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY AND MAINTENANCE SUPPORT TERMS

FOREWORD

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

International Standard IEC 61703 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2001. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) standard made as self containing as possible;
- b) item split between individual items and systems;
- c) generalization of the dependability concepts for systems made of several components;
 - introduction of the conditional failure intensity (Vesely failure rate);
 - introduction of the state-transition and the Markovian models;

- generalization of the availability to production availability;
- d) introduction of curves to illustrate the various concepts.

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

FDIS	Report on voting
56/1682/FDIS	56/1693/RVD

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

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

This International Standard is to be used in conjunction with IEC 60050-192:2015.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

IEC 60050-192 provides definitions for dependability and its influencing factors, reliability, availability, maintainability and maintenance support, together with definitions of other related terms commonly used in this field. Some of these terms are measures of specific dependability characteristics, which can be expressed mathematically.

It is important for the users to understand the mathematical meaning of those expressions and how they are established. This is the purpose of the present International Standard which, used in conjunction with IEC 60050-192, provides practical guidance essential for the quantification of those measures. For those requiring further information, for example on detailed statistical methods, reference should be made to the IEC 60605 series [23]¹.

Annex A provides a diagrammatic explanation of the relationships between some basic dependability terms, related random variables, probabilistic descriptors and modifiers.

Annex B provides a summary of measures related to time to failure.

Annex C compares some dependability measures for continuously operating items.

The bibliography gives references for the mathematical basis of this standard, in particular, the mathematical material is based on references [2], [6], [8], [9], [13], [14] and [18]; the renewal theory (renewal and alternating renewal processes) can be found in [6], [8], [9], [10], [11], [13], [15], and [17]; and more advanced treatment of renewal theory can be found in references [1], [3], [12], [16], [19] and [20]. More information on the theory and applications of Markov processes can be found in references [3], [9], [10], [15], [16], [17] and [19].

¹ Numbers in brackets refer to the Bibliography.

MATHEMATICAL EXPRESSIONS FOR RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY AND MAINTENANCE SUPPORT TERMS

1 Scope

This International Standard provides mathematical expressions for selected reliability, availability, maintainability and maintenance support measures defined in IEC 60050-192:2015. In addition, it introduces some terms not covered in IEC 60050-192:2015. They are related to aspects of the system of item classes (see hereafter).

According to IEC 60050-192:2015, dependability [192-01-22] is the ability of an item to perform as and when required and an item [192-01-01] can be an individual part, component, device, functional unit, equipment, subsystem, or system.

To account for mathematical constraints, this standard splits the items between the individual items considered as a whole (e.g. individual components) and the systems made of several individual items. It provides general considerations for the mathematical expressions for systems as well as individual items but the individual items which are easier to model are analysed in more detail with regards to their repair aspects.

The following item classes are considered separately:

- Systems;
- Individual items:
 - non-repairable [192-01-12];
 - repairable [192-01-11]:
 - i) with zero (or negligible) time to restoration;
 - ii) with non-zero time to restoration.

In order to explain the dependability concepts which can be difficult to understand, keep the standard self-contained and the mathematical formulae as simple as possible, the following basic mathematical models are used in this standard to quantify dependability measures:

- Systems:
 - state-transition models;
 - Markovian models.
- Individual items:
 - random variable (time to failure) for non-repairable items;
 - simple (ordinary) renewal process for repairable items with zero time to restoration;
 - simple (ordinary) alternating renewal process for repairable items with non-zero time to restoration.

The application of each dependability measure is illustrated by means of simple examples.

This standard is mainly applicable to hardware dependability, but many terms and their definitions may be applied to items containing software.

2 Normative references

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

IEC 60050-192:2015, *International electrotechnical vocabulary – Part 192: Dependability* (available at <http://www.electropedia.org>)

ISO 3534-1:2006, *Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: General statistical terms and terms used in probability*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	104
INTRODUCTION.....	106
1 Domaine d'application	107
2 Références normatives	108
3 Termes et définitions	108
4 Glossaire des symboles et abréviations.....	112
4.1 Généralités	112
4.2 Acronymes utilisés dans la présente norme	112
4.3 Symboles utilisés dans la présente norme	113
5 Modèles et hypothèses d'ordre général	117
5.1 Composantes des temps de disponibilité et d'indisponibilité	117
5.2 Introduction aux modèles et aux hypothèses.....	119
5.3 Approche états-transitions.....	120
5.4 Modèle et hypothèses pour entités individuelles non réparables	123
5.5 Hypothèses et modèle pour entités individuelles réparables	124
5.5.1 Hypothèse pour entités individuelles réparables.....	124
5.5.2 Réparation instantanée	125
5.5.3 Réparation non instantanée.....	127
5.6 Comparaison entre les entités à fonctionnement continu (EFC) et les entités individuelles à fonctionnement intermittent (EFI).....	128
6 Modèles et expressions mathématiques	130
6.1 Systèmes.....	130
6.1.1 Généralités	130
6.1.2 Expressions relatives à la disponibilité.....	132
6.1.3 Expressions relatives à la fiabilité	140
6.1.4 Moyenne des temps de bon fonctionnement [192-05-13] et temps moyen entre défaillances	146
6.1.5 Taux instantané de défaillance [192-05-06] et intensité conditionnelle de défaillance (taux de défaillance de Vesely)	148
6.1.6 Densité de défaillance et intensité inconditionnelle de défaillance [192-05-08].....	151
6.1.7 Comparaison de $\lambda(t)$, $\lambda_V(t)$, $z(t)$ et $f(t)$ pour des MTTR de valeurs élevées et faibles	154
6.1.8 Expressions relatives au rétablissement	155
6.2 Entités individuelles non réparables.....	157
6.2.1 Généralités	157
6.2.2 Disponibilité instantanée [192-08-01].....	157
6.2.3 Fiabilité [192-05-05]	158
6.2.4 Taux instantané de défaillance [192-05-06].....	159
6.2.5 Taux moyen de défaillance [192-05-07]	160
6.2.6 Durée moyenne de fonctionnement avant défaillance [192-05-11]	161
6.3 Entités individuelles réparables à temps de panne nul	162
6.3.1 Généralités	162
6.3.2 Fiabilité [192-05-05]	162
6.3.3 Intensité instantanée de défaillance [192-05-08]	164
6.3.4 Intensité asymptotique de défaillance [192-05-10].....	166

6.3.5	Intensité moyenne de défaillance [192-05-09]	167
6.3.6	Temps moyen entre défaillances (voir 3.3).....	168
6.3.7	Durée moyenne de fonctionnement avant défaillance [192-05-11]	168
6.3.8	Moyenne des temps de bon fonctionnement [192-05-13]	169
6.3.9	Disponibilité instantanée [192-08-01], disponibilité moyenne [192-08-05] et disponibilité asymptotique [192-08-07]	169
6.3.10	Temps moyen de disponibilité [192-08-09]	170
6.4	Entités individuelles réparables à temps de panne non nul	170
6.4.1	Généralités	170
6.4.2	Fiabilité [192-05-05]	170
6.4.3	Intensité instantanée de défaillance [192-05-08]	173
6.4.4	Intensité asymptotique de défaillance [192-05-10].....	176
6.4.5	Intensité moyenne de défaillance [192-05-09]	177
6.4.6	Durée moyenne de fonctionnement avant défaillance [192-05-11]	179
6.4.7	Temps moyen entre défaillances (voir 3.3).....	180
6.4.8	Moyenne des temps de bon fonctionnement [192-05-13]	180
6.4.9	Disponibilité instantanée [192-08-01]	181
6.4.10	Indisponibilité instantanée [192-08-04].....	183
6.4.11	Disponibilité moyenne [192-08-05].....	184
6.4.12	Indisponibilité moyenne [192-08-06]	186
6.4.13	Disponibilité asymptotique [192-08-07]	188
6.4.14	Indisponibilité asymptotique [192-08-08]	189
6.4.15	Temps moyen de disponibilité [192-08-09]	189
6.4.16	Temps moyen d'indisponibilité [192-08-10]	192
6.4.17	Maintenabilité [192-07-01]	193
6.4.18	Taux de réparation instantané [192-07-20].....	195
6.4.19	Durée moyenne de réparation [192-07-21].....	197
6.4.20	Durée moyenne de maintenance corrective active [192-07-22]	198
6.4.21	Durée moyenne de panne [192-07-23]	199
6.4.22	Délai administratif moyen [192-07-26].....	200
6.4.23	Délai logistique moyen [192-07-27].....	201
Annexe A (informative) Aspects relatifs aux performances et descripteurs		202
Annexe B (informative) Résumé des mesures relatives au temps avant défaillance		203
Annexe C (informative) Comparaison de quelques mesures caractéristiques de la sûreté de fonctionnement des EFC.....		206
Bibliographie		208
Figure 1 – Composantes du temps de disponibilité		117
Figure 2 – Composantes du temps d'indisponibilité.....		118
Figure 3 – Acronymes associés aux temps de défaillance.....		119
Figure 4 – Diagramme états-transitions simple		121
Figure 5 – Exemple d'évolution (chronogramme) du système représenté à la Figure 4.....		122
Figure 6 – Diagramme états-transitions d'une entité individuelle non réparable		123
Figure 7 – Exemple d'évolution d'une entité individuelle non réparable.....		124
Figure 8 – Diagramme états-transitions d'une entité individuelle réparable instantanément.....		125
Figure 9 – Exemple d'évolution d'une entité individuelle réparable avec temps de panne nul		126

Figure 10 – Diagramme états-transitions d'une entité individuelle réparable	127
Figure 11 – Exemple d'évolution d'une entité individuelle réparable avec temps de panne non nul.....	128
Figure 12 – Comparaison du temps de capacité pour une EFC et une EFI.....	129
Figure 13 – Temps de fonctionnement équivalent pour les EFI.....	130
Figure 14 – Graphe états-transitions pour un système redondant simple	131
Figure 15 – Graphe de Markov pour un système redondant simple.....	131
Figure 16 – Évolution des probabilités des états associées au graphe de Markov de la Figure 15.....	132
Figure 17 – Évolution de $A(t)$ et $U(t)$ associées au graphe de Markov de la Figure 15.....	133
Figure 18 – Évolution de $Ast_i(0, t)$ associée au graphe de Markov de la Figure 15	135
Figure 19 – Disponibilité instantanée et disponibilité moyenne d'une entité soumise à des tests périodiques	137
Figure 20 – Exemple d'un système de production simple	138
Figure 21 – Évolution de $A(t)$ et $K(t)$	139
Figure 22 – Représentation, pour un système, d'un comportement fiable sur l'intervalle $[0, t]$	141
Figure 23 – Représentation, pour un système, d'un comportement fiable sur l'intervalle $[t_1, t_2]$	142
Figure 24 – Graphe états-transitions et graphe de Markov pour les calculs de fiabilité.....	143
Figure 25 – Évolution des probabilités des états associées au graphe de Markov de la Figure 24.....	144
Figure 26 – Évolution de $R(t)$ et $F(t)$ associées au graphe de Markov de la Figure 24	145
Figure 27 – Évolution des $Ast_i(0, t)$ associées au graphe de Markov de la Figure 24.....	146
Figure 28 – Comparaison entre le temps entre défaillances et le temps de bon fonctionnement.....	147
Figure 29 – Comparaison entre $\lambda(t)$ et $\lambda_V(t)$ associés au modèle de la Figure 24.....	150
Figure 30 – Comparaison entre $z(t)$ et $f(t)$	154
Figure 31 – Comparaison de $\lambda(t)$, $\lambda_V(t)$, $z(t)$ et $f(t)$ pour des valeurs élevées et faibles de MTTR	154
Figure 32 – Représentation, pour une entité individuelle à temps de panne nul, d'un comportement fiable sur l'intervalle $[t_1, t_2]$	163
Figure 33 – Exemple du numéro possible de la défaillance à l'instant de renouvellement t	165
Figure 34 – Représentation, pour une entité individuelle à temps de panne non nul, d'un comportement fiable sur l'intervalle $[t_1, t_2]$	171
Figure 35 – Évolution de $R(t, t + 1/4)$	173
Figure 36 – Exemple du numéro possible de la défaillance à l'instant de renouvellement t	173
Figure 37 – Évolution de l'intensité de défaillance $z(t)$	176
Figure 38 – Évolution de l'intensité moyenne de défaillance $z(t, t + 1/4)$	179
Figure 39 – Représentation, pour une entité individuelle à temps de panne non nul, d'un comportement disponible à l'instant t	181
Figure 40 – Évolution de la disponibilité instantanée $A(t)$	183
Figure 41 – Représentation, pour une entité individuelle à temps de panne non nul, d'un comportement indisponible à l'instant t	183
Figure 42 – Évolution de l'indisponibilité instantanée $U(t)$	184

Figure 43 – Évolution de la disponibilité moyenne $\bar{A}(t, t+1/4)$	186
Figure 44 – Évolution de l'indisponibilité moyenne $\bar{U}(t, t+1/4)$	188
Figure 45 – Échantillon, pour une entité individuelle, d'une réalisation de l'évolution de son état	191
Figure 46 – Graphe du taux de transition d'un état de disponibilité à un état d'indisponibilité $\lambda_U(t)$	191
Figure 47 – Évolution de la maintenabilité $M(t, t+16h)$	195
Figure 48 – Évolution du taux de réparation log-normal $\mu(t)$	197
Figure A.1 – Aspects relatifs aux performances et descripteurs.....	202
Tableau B.1 – Relations entre les mesures relatives au temps avant défaillance des EFC.....	203
Tableau B.2 – Résumé des caractéristiques de quelques lois de probabilité continues du temps avant défaillance des EFC	204
Tableau B.3 – Résumé des caractéristiques de quelques lois de probabilité du temps de réparation	205
Tableau C 1 – Comparaison de quelques mesures caractéristiques de la sûreté de fonctionnement des EFC ayant un taux de défaillance λ et un taux de rétablissement μ_R constants	206

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EXPRESSIONS MATHÉMATIQUES POUR LES TERMES DE FIABILITÉ, DE DISPONIBILITÉ, DE MAINTENABILITÉ ET DE LOGISTIQUE DE MAINTENANCE

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 61703 a été établie par le comité d'études 56 de l'IEC: Sûreté de fonctionnement.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2001. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) norme aussi autonome que possible;
- b) entité scindée entre entités individuelles et systèmes;
- c) généralisation des concepts de sûreté de fonctionnement pour les systèmes constitués de plusieurs composants;

- introduction de l'intensité conditionnelle de défaillance (taux de défaillance de Vesely);
 - introduction des modèles états-transitions et des modèles de Markov;
 - généralisation de la disponibilité à la disponibilité de production;
- d) introduction de courbes pour représenter les différents concepts.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/1682/FDIS	56/1693/RVD

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

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

La présente Norme internationale doit être utilisée conjointement avec l'IEC 60050-192:2015.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. À cette date, la publication sera

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

INTRODUCTION

L'IEC 60050-192 fournit des définitions relatives à la sûreté de fonctionnement et aux facteurs qui la conditionnent, fiabilité, disponibilité, maintenabilité et logistique de maintenance, ainsi que des définitions d'autres termes associés couramment employés dans ce domaine. Certains de ces termes sont des mesures de caractéristiques spécifiques liées à la sûreté de fonctionnement, qui peuvent être exprimées mathématiquement.

Il est important que les utilisateurs comprennent le sens mathématique de ces expressions et la façon dont elles sont établies. Il s'agit de l'objet de la présente Norme internationale qui, utilisée conjointement avec l'IEC 60050-192, fournit des lignes directrices pratiques essentielles pour l'expression quantitative de ces mesures. Les utilisateurs pour qui des informations complémentaires sont nécessaires, par exemple le détail des méthodes statistiques, il convient de se reporter à la série IEC 60605 [23]¹.

L'annexe A explique, sous forme de diagramme, les relations entre certains termes fondamentaux de la sûreté de fonctionnement, les variables aléatoires associées, les descripteurs probabilistes et leurs qualificatifs.

L'annexe B présente, sous forme résumée, les termes relatifs au temps avant défaillance.

L'annexe C compare quelques mesures caractéristiques de la sûreté de fonctionnement pour des entités à fonctionnement continu.

La bibliographie donne les références des ouvrages relatifs aux mathématiques de base de la présente norme, en particulier, le contenu mathématique s'appuie sur les références [2], [6], [8], [9], [13], [14] et [18]; la théorie du renouvellement (processus de renouvellement et processus de renouvellement alterné) peut être consultée dans les références [6], [8], [9], [10], [11], [13], [15] et [17]; enfin, un traitement plus avancé de la théorie du renouvellement peut être consulté dans les références [1], [3], [12], [16], [19] et [20]. De plus amples informations sur cette théorie et les applications des processus de Markov peuvent être consultées dans les références [3], [9], [10], [15], [16], [17] et [19].

¹ Les nombres entre crochets font référence à la Bibliographie.

EXPRESSIONS MATHÉMATIQUES POUR LES TERMES DE FIABILITÉ, DE DISPONIBILITÉ, DE MAINTENABILITÉ ET DE LOGISTIQUE DE MAINTENANCE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des expressions mathématiques pour les mesures sélectionnées liées à la fiabilité, à la disponibilité, à la maintenabilité et à la logistique de maintenance définies dans l'IEC 60050-192:2015. En outre, elle présente certains termes non couverts par l'IEC 60050-192:2015. Ces termes sont liés aux aspects relatifs aux items de la classe système (voir ci-après).

Selon l'IEC 60050-192:2015, la sûreté de fonctionnement [192-01-22] est l'aptitude d'une entité à fonctionner quand et tel que requis; une entité [192-01-01] peut être une pièce isolée, un composant, un dispositif, une unité fonctionnelle, un équipement, un sous-système ou un système.

Pour tenir compte des contraintes mathématiques, la présente norme effectue une distinction entre les entités individuelles considérées dans leur ensemble (par exemple, des composants individuels) et les systèmes composés de plusieurs entités individuelles. Elle fournit des considérations générales sur les expressions mathématiques liées aux systèmes et aux entités individuelles. Les entités individuelles plus facilement modélisables sont, quant à elles, analysées plus en détail pour ce qui concerne leurs aspects de réparation.

Les classes d'entités suivantes sont considérées séparément:

- Systèmes;
- Entités individuelles:
 - non réparables [192-01-12];
 - réparables [192-01-11]:
 - i) à temps de panne nul (ou négligeable);
 - ii) à temps de panne non nul.

Pour expliquer les concepts vraiment complexes de la sûreté de fonctionnement et garder aussi autonome que possible la norme et aussi simples que possible les formules mathématiques, les modèles mathématiques de base suivants sont utilisés dans la présente norme pour calculer les mesures caractéristiques de la sûreté de fonctionnement:

- Systèmes:
 - modèles états-transitions;
 - modèles de Markov.
- Entités individuelles:
 - variable aléatoire (temps avant défaillance) pour les entités non réparables;
 - processus de renouvellement simple (ordinaire) pour les entités réparables à temps de panne nul;
 - processus de renouvellement alternés simple (ordinaire) pour les entités réparables à temps de panne non nul.

L'application de chaque mesure caractéristique de sûreté de fonctionnement est représentée au moyen d'exemples simples.

La présente norme s'applique principalement à la sûreté de fonctionnement du matériel, mais de nombreux termes et leurs définitions peuvent être appliqués à des entités contenant du logiciel.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050-192:2015, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 192: Sûreté de fonctionnement* (disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>)

ISO 3534-1:2006, *Statistique – Vocabulaire et symboles – Partie 1: Termes statistiques généraux et termes utilisés en calcul des probabilités*