

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Reliability testing – Compliance tests for constant failure rate and constant failure intensity

Essais de fiabilité – Plan d’essais de conformité d’un taux de défaillance constant et d’une intensité de défaillance constante



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2012 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.



IEC 61124

Edition 3.0 2012-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Reliability testing – Compliance tests for constant failure rate and constant failure intensity

Essais de fiabilité – Plan d’essais de conformité d’un taux de défaillance constant et d’une intensité de défaillance constante

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XF

ICS 03.120.30; 19.020; 21.020

ISBN 978-2-88912-061-1

**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.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms, definitions, abbreviations and symbols.....	11
3.1 Terms and definitions	11
3.2 Abbreviations and symbols	11
3.2.1 Abbreviations	11
3.2.2 Symbols	11
4 General requirements and area of application	13
4.1 Requirements	13
4.2 Applicability to replaced and repaired items.....	13
4.3 Types of test plans	13
4.3.1 General	13
4.3.2 Advantages and disadvantages of the different test plan types	14
5 General test procedure.....	14
5.1 Test conditions	14
5.2 General characteristics of the test plans	15
5.3 Data to be recorded.....	15
5.4 Calculation of accumulated test time, T^*	15
5.5 Number of failures	16
6 Sequential test plans	17
6.1 General	17
6.2 Common test procedure	17
6.3 Decision criteria	17
6.4 Overview of test plans	17
7 Fixed time/failure terminated test plans – Fixed duration test plans	18
7.1 General	18
7.2 Common test procedure	18
7.3 Decision criteria	19
7.4 Test plans	19
8 Design of alternative time/failure terminated test plans.....	20
8.1 General	20
8.2 Design procedures	20
8.3 Common test procedure	20
8.4 Decision criteria	21
9 Calendar time/failure terminated test plans for non-replaced items.....	21
9.1 General	21
9.2 Common test procedure	21
9.3 Decision criteria	21
9.4 Use of Table 2 of IEC 61123:1991 for fixed calendar time tests	22
9.4.1 General	22
9.4.2 Procedure when the test time is given	22
9.4.3 Procedure when the number of items is given.....	22
10 Combined test plans.....	23

10.1	General	23
10.2	Common test procedure	23
10.3	Decision criteria	23
10.4	Test plans	24
11	Performing the test	24
12	Presentation of results.....	24
Annex A (normative)	Tables and graphs for sequential test plans	25
Annex B (normative)	Graphs for fixed time/failure terminated test plans.....	44
Annex C (normative)	Graphs for alternative time/failure terminated test plans.....	53
Annex D (normative)	Tables and graphs for combined test plans and additional sequential test plans	60
Annex E (informative)	Examples and mathematical references for sequential test plans	78
Annex F (informative)	Design of sequential test plans using a common spreadsheet program	86
Annex G (informative)	Examples and mathematical references for fixed time/failure terminated test plans – Fixed duration test plans	97
Annex H (informative)	Design of fixed duration time/failure terminated test plans using a spreadsheet program	99
Annex I (informative)	Examples and mathematical references for the design of alternative time/failure terminated test plans	105
Annex J (informative)	Examples and mathematical references for the calendar time terminated test plans	112
Annex K (informative)	Derivation and mathematical reference for the optimized test plans of GOST R 27 402	114
	Bibliography.....	122
Figure A.1	– Accept and reject lines for test plan A.1	25
Figure A.2	– Test plan A.1 – Operating characteristic curve	26
Figure A.3	– Test plan A.1 – Expected accumulated test time to decision	27
Figure A.4	– Accept and reject lines for test plan A.2	27
Figure A.5	– Test plan A.2 – Operating characteristic curve	28
Figure A.6	– Test plan A.2 – Expected accumulated test time to decision	29
Figure A.7	– Accept and reject lines for test plan A.3	29
Figure A.8	– Test plan A.3 – Operating characteristic curve	30
Figure A.9	– Test plan A.3 – Expected accumulated test time to decision	31
Figure A.10	– Accept and reject lines for test plan A.4	31
Figure A.11	– Test plan A.4 – Operating characteristic curve	32
Figure A.12	– Test plan A.4 – Expected accumulated test time to decision	33
Figure A.13	– Accept and reject lines for test plan A.5	33
Figure A.14	– Test plan A.5 – Operating characteristic curve	34
Figure A.15	– Test plan A.5 – Expected accumulated test time to decision	35
Figure A.16	– Accept and reject lines for test plan A.6	35
Figure A.17	– Test plan A.6 – Operating characteristic curve	36
Figure A.18	– Test plan A.6 – Expected accumulated test time to decision	37
Figure A.19	– Accept and reject lines for test plan A.7	37

Figure A.20 – Test plan A.7 – Operating characteristic curve 38

Figure A.21 – Test plan A.7 – Expected accumulated test time to decision 39

Figure A.22 – Accept and reject lines for test plan A.8 40

Figure A.23 – Test plan A.8 – Operating characteristic curve 41

Figure A.24 – Test plan A.8 – Expected accumulated test time to decision 41

Figure A.25 – Accept and reject lines for test plan A.9 42

Figure A.26 – Test plan A.9 – Operating characteristic curve 43

Figure A.27 – Test plan A.9 – Expected accumulated test time to decision 43

Figure B.1 – Operating characteristic curves for test plans B.1, B.2, B.3 and B.4 44

Figure B.2 – Test plan B.1 – Expected test time to decision 45

Figure B.3 – Test plan B.2 – Expected test time to decision 45

Figure B.4 – Test plan B.3 – Expected test time to decision 46

Figure B.5 – Test plan B.4 – Expected test time to decision 46

Figure B.6 – Operating characteristic curves for test plans B.5, B.6, B.7 and B.8 47

Figure B.7 – Test plan B.5 – Expected test time to decision 47

Figure B.8 – Test plan B.6 – Expected test time to decision 48

Figure B.9 – Test plan B.7 – Expected test time to decision 48

Figure B.10 – Test plan B.8 – Expected test time to decision 49

Figure B.11 – Operating characteristic curves for test plans B.9, B.10 and B.11 49

Figure B.12 – Test plan B.9 – Expected test time to decision 50

Figure B.13 – Test plan B.10 – Expected test time to decision 50

Figure B.14 – Test plan B.11 – Expected test time to decision 51

Figure B.15 – Operating characteristic curves for test plans B.12 and B.13 51

Figure B.16 – Test plan B.12 – Expected test time to decision 52

Figure B.17 – Test plan B.13 – Expected test time to decision 52

Figure C.1 – Discrimination ratio, D , and the acceptable number of failures, $c = 0$ to 8 , as a function of the expected number of failures, μ_0 , for recommended values, 2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, and 30 % of $\alpha = \beta$ 56

Figure C.2 – Operation characteristic curves for $c = 0$ to 8 ; probability of acceptance P_a as a function of the (unknown) true expected number of failures, μ_0 57

Figure C.3 – Discrimination ratio, D , as a function of the expected number of failures, μ_0 , for recommended values, 2,5 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % and 30 % of $\alpha = \beta$ 58

Figure C.4 – Acceptable number of failures, c , minus expected number of failures, μ_0 ($\Delta\mu_0 = c - \mu_0$) as a function of the expected number of failures μ_0 for recommended values 2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, and 30 % of $\alpha = \beta$ 59

Figure D.1 – Accept and reject lines 61

Figure D.2 – Expected test time to decision T_e^* 62

Figure D.3 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$ 62

Figure D.4 – Operating characteristic P_a 62

Figure D.5 – Accept and reject lines 63

Figure D.6 – Expected test time to decision T_e^* 64

Figure D.7 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$ 64

Figure D.8 – Operating characteristic P_a 64

Figure D.9 – Accept and reject lines	65
Figure D.10 – Expected test time to decision T_e^*	66
Figure D.11 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$	66
Figure D.12 – Operating characteristic P_a	67
Figure D.13 – Accept and reject lines	68
Figure D.14 – Expected test time to decision T_e^*	69
Figure D.15 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$	69
Figure D.16 – Operating characteristic P_a	69
Figure D.17 – Accept and reject lines	70
Figure D.18 – Expected test time to decision T_e^*	71
Figure D.19 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$	71
Figure D.20 – Operating characteristic P_a	71
Figure D.21 – Accept and reject lines	72
Figure D.22 – Expected test time to decision T_e^*	73
Figure D.23 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$	73
Figure D.24 – Operating characteristic P_a	73
Figure D.25 – Accept and reject lines	74
Figure D.26 – Expected test time to decision T_e^*	74
Figure D.27 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$	74
Figure D.28 – Operating characteristic P_a	75
Figure D.29 – Accept and reject lines	75
Figure D.30 – Expected test time to decision T_e^*	76
Figure D.31 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$	76
Figure D.32 – Operating characteristic P_a	76
Figure E.1 – Example of a sequential test using test plan A.3 – $\alpha = \beta = 10\%$, $D = 3$, $m_0 = 1,11 \times 10^6$ h; r versus $\frac{T^*}{m_0}$	80
Figure F.1 – SPRT spreadsheet graphing example	92
Figure F.2 – OC curve for probability of acceptance, P_a	95
Figure F.3 – Expected test time for making a decision	95
Figure H.1 – OC curve plotted from the spreadsheet calculations	104
Figure K.1 – Test plan types and terminology	115
Figure K.2 – Principle of test plans	117
Figure K.3 – Partitioning of the test plan graph	117
Figure K.4 – Interior nodes and border nodes	118
Figure K.5 – Paths to the accept line	118
Figure K.6 – Paths to the reject line	118
Figure K.7 – Probabilities of paths transfer between nodes	119

Figure K.8 – The recurrent element – Two cases 121

Table 1 – Advantages and disadvantages for the different test plan types 14

Table 2 – Overview of the sequential test plans given in Annex A and D 18

Table 3 – Fixed time/failure terminated test plans 19

Table 4 – Combined test plans in Annex D 24

Table A.1 – Accept and reject lines for test plan A.1 26

Table A.2 – Accept and reject lines for test plan A.2 28

Table A.3 – Accept and reject lines for test plan A.3 30

Table A.4 – Accept and reject lines for test plan A.4 32

Table A.5 – Accept and reject lines for test plan A.5 34

Table A.6 – Accept and reject lines for test plan A.6 36

Table A.7 – Accept and reject lines for test plan A.7 38

Table A.8 – Accept and reject lines for test plan A.8 40

Table A.9 – Accept and reject lines for test plan A.9 42

Table D.1 – Sequential test plans in this annex 60

Table D.2 – Combined test plans in this annex 60

Table D.3 – Accept and reject lines 61

Table D.4 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a 62

Table D.5 – Accept and reject lines 63

Table D.6 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a 65

Table D.7 – Accept and reject lines 66

Table D.8 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a 67

Table D.9 – Accept and reject lines 68

Table D.10 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a 69

Table D.11 – Accept and reject lines 70

Table D.12 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a 71

Table D.13 – Accept and reject lines 72

Table D.14 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a 73

Table D.15 – Accept and reject lines 74

Table D.16 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a 75

Table D.17 – Accept and reject lines 76

Table D.18 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a 77

Table E.1 – Example for a sequential test using test plan A.3 (with example data) 80

Table E.2 – Constants for border line formulae and their coordinates for sequential test plans A.1 to A.9 85

Table F.1 – Beginning of the spreadsheet prepared to obtain a sequential test graph 87

Table F.2 – Continuation of parameters calculation for the lines necessary for the SPRT graph 88

Table F.3 – Calculations of accept and reject line for the SPRT graph 88

Table F.4 – Determination of the test termination time 89

Table F.5 – Formulae for accept and reject line along with the test termination 91

Table F.6 – Spreadsheet set-up for construction of the OC curves for the SPRT 94

Table H.1 – Set-up of the spreadsheet with embedded formulae – Example	100
Table H.2 – Formulae embedded into the spreadsheet shown in Table H.1	101
Table H.3 – OC curve for the time/failure terminated fixed duration test	103
Table I.1 – Cumulative normal distribution for fixed u_γ values	111
Table I.2 – Inverse cumulative normal distribution for fixed $1-\gamma$ values	111

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RELIABILITY TESTING – COMPLIANCE TESTS FOR CONSTANT FAILURE RATE AND CONSTANT FAILURE INTENSITY

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 61124 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

This third edition of IEC 61124 cancels and replaces the second edition, published in 2006, and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition are as follows:

- A number of new test plans have been added based on the Russian standard GOST R 27.402 [1]¹, and it is intended to align the new edition of MIL-HDBK-781 [2] with this edition. Algorithms for optimizing test plans using a spreadsheet program are given and a number of optimized test plans are listed. Furthermore, emphasis is laid on the fact that the test should be repeated following design changes.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

- Discrepancies in test plans A, B as well as Annexes A and B that originated in IEC 60605-7 [3], now withdrawn, have been corrected so these test plans differ from those given in previous editions of IEC 61124. As requested by the National Committees, mathematical background material and spreadsheet program information has been moved to informative annexes. In addition, the symbol lists have been divided, so that some annexes have separate lists of symbols.
- Guidance on how to choose test plans has been added as well as guidance on how to use spreadsheet programs to create them. Test plans A.1 to A.9 and B.1 to B.13 have been corrected.
- Subclauses 8.1, 8.2, 8.3, Clause 9, Annex C, Clauses G.2, I.2, I.3 and Annex J are unchanged, except for updated terminology and references.
- Corrections to the second edition proposed by National Committees have been implemented.

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

FDIS	Report on voting
56/1461/FDIS	56/1468/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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site 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.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

RELIABILITY TESTING – COMPLIANCE TESTS FOR CONSTANT FAILURE RATE AND CONSTANT FAILURE INTENSITY

1 Scope

This International Standard gives a number of optimized test plans, the corresponding operating characteristic curves and expected test times. In addition the algorithms for designing test plans using a spreadsheet program are also given, together with guidance on how to choose test plans.

This standard specifies procedures to test whether an observed value of

- failure rate,
- failure intensity,
- mean time to failure (MTTF),
- mean operating time between failures (MTBF),

conforms to a given requirement.

It is assumed, except where otherwise stated, that during the accumulated test time, the times to failure or the operating times between failures are independent and identically exponentially distributed. This assumption implies that the failure rate or failure intensity is constant.

Four types of test plans are described as follows:

- truncated sequential tests;
- time/failure terminated tests;
- fixed calendar time terminated tests without replacement;
- combined test plans.

This standard does not cover guidance on how to plan, perform, analyse and report a test. This information can be found in IEC 60300-3-5.

This standard does not describe test conditions. This information can be found in IEC 60605-2 and in IEC 60300-3-5.

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

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

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

IEC 60605-4:2001, *Equipment reliability testing – Part 4: Statistical procedures for exponential distribution – Point estimates, confidence intervals, prediction intervals and tolerance intervals*

IEC 60605-6, *Equipment reliability testing – Part-6: Tests for the validity and estimation of the constant failure rate and constant failure intensity*

IEC 61123:1991, *Reliability testing – Compliance test plans for success ratio*

3 Terms, definitions, abbreviations and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document the terms and definitions given in IEC 60050-191 apply.

The terms "failure rate" and "failure intensity" are used as meaning constant failure rate and constant failure intensity.

3.2 Abbreviations and symbols

3.2.1 Abbreviations

MTBF mean operating time between failures

MTTF mean time to failure

OC operating characteristic

SPRT sequential probability ratio test (in some literature called probability ratio sequential test (PRST)).

3.2.2 Symbols

The generic symbol λ is used in the following for failure rate and failure intensity.

The symbol m is used to denote both the following reliability measures:

- mean operating time between failures, MTBF;
- mean time to failure, MTTF.

When used, the relationship between the above quantities, under the given assumptions, is:

$$\lambda = \frac{1}{m}$$

Sequential test plans (see Clause 6) and fixed time/failure terminated test plans (see Clause 7) are based on m as a reliability measure, thus in these cases:

$$m = \frac{1}{\lambda}$$

c acceptable number of failures during the test

D discrimination ratio; $D = m_0/m_1$ or $D = \lambda_1/\lambda_0$

k summation variable for failures

MTBF	mean operating time between failures
MTTF	mean time to failure
m	true MTBF or MTTF
m_0	specified MTTF or MTBF $m_0 = 1/\lambda_0$ (design goal)
m_1	lower limit for MTTF or MTBF $m_1 = 1/\lambda_1$
n	number of test items at the beginning of the test
P_a	probability of acceptance
p_0	acceptable failure ratio
q_0	acceptable success ratio, $q_0 = 1 - p_0$
$R(t)$	reliability at time t
r	observed number of failures during the test
r_0	test truncation failure number for sequential tests (SPRT)
T^*	accumulated test time
T_a^*	accumulated test time stated as accept criterion
$T_{a, \min}^*$	minimum test time for $r = 0$ stated as accept criterion
T_e^*	expected accumulated test time to decision
$T_e^*(+)$	expected accumulated test time to acceptance
T_r^*	accumulated test time stated as reject criterion
T_t^*	accumulated test time stated as termination criterion
t	test time
t^*	test truncation time
t_t^*	test time for each test item (assumed here to be the same for all test items)
t_i	life time of failed item i
$t_{\text{cal}, t}^*$	calendar test time stated as termination criterion
$P(r)$	probability of r failures
$\Delta\mu_0$	auxiliary quantity for determination of c , $\Delta\mu_0 = c - \mu_0$
α	nominal producer's risk (type I risk)
α'	true producer's risk (type I risk)
β	nominal consumer's risk (type II risk)
β'	true consumer's risk (type II risk)
λ	true failure rate per item
λ_0	expected failure rate per item (design goal)
λ_1	upper limit for constant failure rate per item

μ expected number of failures during the test at the true λ

NOTE μ is not necessarily an integer.

μ_0 expected number of failures during the test at the specified λ_0 as parameter of the Poisson distribution $\mu_0 = T_t^* / m_0 = \lambda_0 T_t^*$

4 General requirements and area of application

4.1 Requirements

It is assumed, except where otherwise stated, that during the accumulated test time the times to failure or the operating times between failures are independent, and identically exponentially distributed. This assumption implies that the failure rate or failure intensity is constant. Under this assumption there is no difference between failure rate and failure intensity. Therefore they are both called λ and referred to in the following as failure rate.

It is assumed that the requirement is specified in one of the terms: the acceptable constant failure rate λ_0 , or the acceptable mean number of failures per time unit, λ_0 or the acceptable mean time to failure or mean operating time between failures, m_0 .

If it is necessary to test the constant failure rate/constant failure intensity assumption, the procedures given in IEC 60605-6 should be used.

4.2 Applicability to replaced and repaired items

The sequential test plans (see Clause 6), the time/failure terminated test plans (see Clause 7) and the combined test plans (see Clause 10) are applicable to the following:

- replacement of failed items;
- without replacement of failed items;

under the assumption that

- an item can be replaced by repair of the item itself;
- the accumulated test time is calculated as elapsed operating item-time, in accordance with 5.4;
- replaced items belong to the same population as the original items;
- repaired items can be considered to have the same failure intensity after repair as they had before they failed.

The calendar time/failure terminated test plans in Clause 9, however, are applicable to cases where failed items are not replaced and where a fixed number of items are placed on test for a fixed calendar time. This means that the test is running, even though the number of items under test may not remain constant because some items may not survive.

4.3 Types of test plans

4.3.1 General

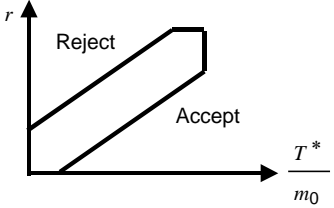
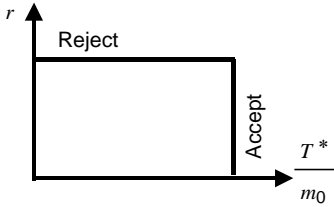
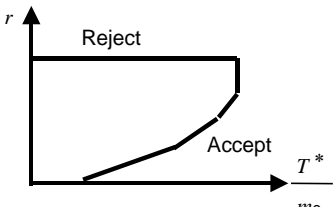
Test plans are given for four types of tests:

- truncated sequential tests (see Clause 6);
- time/failure terminated tests (for fixed time/failure terminated tests see Clause 7, and for alternative time/failure terminated tests, see Clause 8);
- calendar time terminated tests without replacement (see Clause 9);
- combined test plans (see Clause 10).

4.3.2 Advantages and disadvantages of the different test plan types

The different test plan types are shown in Table 1.

Table 1 – Advantages and disadvantages for the different test plan types

Test plan type	Advantages	Disadvantages
<p>Truncated sequential</p> <p>Test plans in Clause 6 (Table 2), Annex A and Annex D</p> 	<p>Assures highest test efficiency (shortest test time). For the A test plans the user can develop new test plans using a spreadsheet program.</p> <p>The C test plans have true alpha and beta risks which are closer to the nominal risks than the A test plans</p>	<p>Complicated to administer.</p> <p>For marginal reliability, the test time is longer than for time/failure terminated and combined test plans.</p> <p>The test plans in Annex D are created using an iterative process. They cannot be computed using the spreadsheets described in Annex F</p>
<p>Time/Failure terminated</p> <p>Test plans in Clause 7 (Table 3) and Annex B</p> 	<p>Simple to understand and to administer.</p> <p>For marginal reliability, the test time is often shorter than for sequential test plans. The user can develop new test plans using a spreadsheet program.</p> <p>More failure information is collected for a test, analyse and fix program (TAAF) using these test plans</p>	<p>For very reliable, or very unreliable test items, the test time is much longer than for the sequential test plans, or for the combined test plans (in case of high reliability)</p>
<p>Combined</p> <p>Test plans in Clause 10 (Table 4) and Annex D</p> 	<p>Combines the advantages of the time/failure terminated test plans and the sequential test plans. Very reliable test items will be accepted quickly while test items with early failures will not be rejected early in the test.</p> <p>More failure information is collected for a TAAF (test, analyse and fix program) using these test plans</p>	<p>More complicated to administer.</p> <p>For test items of marginal reliability, the test may last longer than a sequential test plan.</p> <p>The test plans in Annex D are created using an iterative process. They cannot be computed using the spreadsheets described in Annexes F and H</p>

5 General test procedure

5.1 Test conditions

A guide on how to plan, perform, analyse and report a test can be found in IEC 60300-3-5. Test conditions can be found in IEC 60605-2 and IEC 60300-3-5.

All of these test types can be accelerated to accommodate high reliability requirements and enable shorter time to market. Mission and life-cycle environment profiles and test conditions are provided as follows:

- The mission profiles should be used to determine the environmental specifications and should be derived from the operational life profile defined by the equipment or system

requirements. If this information is not provided in the original contractual documentation, provision should be made to derive the mission profiles and the equipment environmental specifications. Here, the term "equipment" is used in place of the more appropriate general term "item" to match the terminology of the referenced standards.

- This derivation should make use of historical data on similar equipment applications and mounting platforms and the effect of equipment location in the platform should be accounted for. Each significant life-cycle event has to be considered including transportation, handling, installation and testing as well as for platform category and operational conditions.
- Environmental test conditions (for reliability growth, qualification, acceptance tests) should be used. All of the test types should be performed under combined influence of the appropriate test conditions which are expected to be combined in the use environments.
- The test level for these test conditions should be derived from the equipment's mission and environment profiles:
 - when the equipment is designed for one application with a single mission or one type of repetitive mission, there is a simple relationship between the test profile, mission profile and life-cycle environmental profile. The tests conditions should simulate the stress level during the mission;
 - if the equipment is designed for multi-missions and environmental conditions, the test profile should represent a composite of those missions, with the test levels and durations being rated according to the percentage of each mission type expected during the equipment's life-cycle. In order to derive realistic test conditions and levels, the actual environments (especially temperature and vibration) should be measured at the location where the equipment is to be mounted during actual operation;
 - if design changes are made during the test, the accumulated test time shall start from 0 after the changes have been incorporated in the test items, unless specifically agreed between the parties and justified in the test report (see IEC 60300-3-5).

5.2 General characteristics of the test plans

All test plans and decision criteria are based on either of two characteristics, as follows:

- an acceptable number of failures in a specified test time;
- an acceptable test time for a specified number of failures.

The detailed criteria for test plans, with variants, are given in 6.3, 7.3, 8.4 and 9.3.

5.3 Data to be recorded

In order to apply the statistical procedures defined in this standard, the following data shall be recorded:

- the observed number of failures;
- the accumulated test time.

If it is necessary to test the assumption stated in 4.1, the following data shall also be recorded:

- the time of occurrence of each failure.

5.4 Calculation of accumulated test time, T^*

Whenever the term time is used in this standard it can be replaced by other similar measures of the duration of the operation for the item(s) under test, e.g. distance driven, operating cycles, start and stop cycles, etc. (see IEC 60605-2).

The accumulated test time T^* is calculated as the sum of the test time(s) accumulated by each item in the test. For more than one repaired item under test, the accumulated test time is the sum of all elapsed operational times (excluding all repair and other down times).

When n items are put on test at the same time, the accumulated test time can be determined using the following formulae:

$$T^* = n \times t^* \quad \text{for tests with replacement of failed items}$$

$$T^* = (n - r) \cdot t^* + \sum_{i=1}^r t_i \quad \text{for tests without replacement of failed items}$$

where

n is the number of items at the beginning of the test;

t^* is the test truncation time;

t_i is the life time of failed items;

r is the number of failed items.

It is necessary to monitor the test items during the test in order to replace failed items, register accumulated test time and, where required, record time to failures (see 5.3).

Several items can be tested simultaneously or sequentially. The recommended sample size is $n \geq 1$ with replacement and $n \geq r_0 + 1$ (Clause 6 and 10) respective $n \geq c + 1$ (Clauses 7, 8 and 9) without replacement.

Calendar time is used to state the test time when more than one item is on test simultaneously (see Clause 9).

For guidance on how to calculate accumulated test time when items enter the test after the test has started, or are removed from the test before the test ends (censoring) see IEC 60300-3-5 and Annex C of IEC 60605-4:2001.

The accumulated test time is normally counted as the operating time. If the parties to the test wish to include other operational modes such as "idle" or "stand by" in the test time, for example in a test cycle, this shall be specified and agreed before the test is started (see IEC 60605-2).

5.5 Number of failures

In this standard the test result is determined by the test time and the number of failures. But in practice failures can have very different consequences. Therefore, the user should consider if there are failures that are so critical that the test is failed even though the total number of failures are not exceeded. Alternatively, there can be failures where the consequences are so insignificant that they should not be considered as relevant failures. All failures are counted except when they can be classified as non-relevant, e.g. caused by factors not relevant for the reliability of the item in the field. Such classification rules should be agreed between the parties before start of the test (see IEC 60300-3-5). Re-classification of failures requires agreement between the parties and shall be justified in the test report.

6 Sequential test plans

6.1 General

Sequential test plans are characterized by decision rules for accepting or rejecting compliance or continuing the test at any test time. They are determined by selected values of risks and discrimination ratio. To implement a test plan, m_0 needs to be specified. An overview of test plans is given in 6.4. The test plans and the corresponding operating characteristic curves and expected test times are stated in Annexes A and D. Examples and a mathematical reference are given in Annex E. Sequential test plans derived using a different methodology based on GOST R 27.402 are numbered C1 to C8 and are included in Annex D. In order to facilitate comparison between the C test plans and the combined test plans they have been plotted together in Annex D. Descriptions of the iterative procedure for creating those test plans can be found in Annex K.

6.2 Common test procedure

The test procedure should include the following steps:

- decide the combined environmental conditions to be applied during the test based on analysis to determine appropriate test conditions (see 5.1 and IEC 60300-3-5:2001);
- specify m_0 , according to requirement or agreement;
- choose risks, α and β , and discrimination ratio, D , considering that low values of α , β and D make a more powerful test, but require longer test time and/or more items;
- select α and β . These are generally chosen to be equal (shared risk) for easier calculations and agreements;
- select an appropriate test plan from Table 2 and Annex A or Annex D;
- note the test times, T_a^* for accept, and T_r^* for reject;
- perform the test and apply the decision criteria in accordance with 6.3.

6.3 Decision criteria

The accumulated test time and the number of failures shall be compared with the accept and reject criteria continuously during the test, or at intervals not greater than the length of the test cycle or the monitoring interval (see 5.1 and 7.1.3 of IEC 60300-3-5:2001). The following criteria shall apply:

- | | |
|------------------|---|
| Accept the test | if the elapsed $T \geq T_a^*$ for the observed $r \leq r_0$.
The specified requirement is regarded as being complied with. |
| Continue testing | if the elapsed T^* is between the limits $T_r^* < T^* < T_a^*$ for the observed $r \leq r_0$.
No decision can be taken. |
| Reject the test | if the elapsed $T^* \leq T_r^*$ for the observed $r \leq r_0$, or if $r \geq r_0 + 1$.
The specified requirement is regarded as not being complied with. |

6.4 Overview of test plans

Table 2 summarizes the sequential test plans given in Annex A and D. These annexes provide, for each test plan, a decision graph, decision table, graphs of operating characteristic curve and expected test time to decision.

Table 2 – Overview of the sequential test plans given in Annex A and D

Test plan No.	Characteristics of the plan		Minimum test time (Acceptance at 0 failures)	Expected time for decision in multiples of m_0 for $m = m_0$	Test truncation time in multiples of m_0	True risks for		
	Nominal risks					Discrimination ratio	$m = m_0$	$m = m_1$
	α %	β %	D	$\frac{T_{a,min}^*}{m_0}$	$\frac{T_e^*}{m_0}$	$\frac{T_t^*}{m_0}$	α' %	β' %
A.1	10	10	1,5	4,39	17,88	33,04	12,03	9,77
A.2	10	10	2	2,20	5,37	10,30	13,39	9,62
A.3	10	10	3	1,098	1,77	3,152	15,09	9,43
A.4	10	10	5	0,549	0,65	1,102	16,81	9,24
A.5	20	20	1,5	2,77	8,00	14,37	24,32	18,92
A.6	20	20	2	1,39	2,31	4,73	27,27	18,18
A.7	20	20	3	0,693	0,72	1,54	31,03	17,24
A.8	30	30	1,5	1,69	2,93	5,41	37,70	26,70
A.9	30	30	2	0,847	0,79	1,91	43,24	24,32
C.1	5	5	1,7	7,584	23,89	29,300	5,00	5,00
C.2	10	5	1,7	5,032 9	16,57	24,240	9,998	5,00
C.3	10	10	1,7	4,429 4	13,28	18,030	10,00	9,999
C.4	15	5	1,7	5,836 6	16,40	19,900	14,999	5,001
C.5	20	10	1,7	4,023 2	10,00	12,600	19,998	10,002
C.6	20	20	1,7	2,342 4	5,62	8,300	19,992	20,016
C.7	30	20	1,7	2,102 1	3,95	5,500	29,990	20,014
C.8	30	30	1,7	1,275 7	2,13	3,800	30,056	29,912

7 Fixed time/failure terminated test plans – Fixed duration test plans

7.1 General

Fixed time/failure terminated test plans are characterized by decision rules for accepting or rejecting compliance when the test time for termination has been reached, or the acceptable number of failures has been exceeded. The test plans are determined by selected values of risks and discrimination ratio. To implement a test plan, m_0 needs to be specified (or derived).

There are four types of fixed duration tests:

- a) time terminated tests with replacement;
- b) time terminated tests without replacement;
- c) failure terminated tests with replacement;
- d) failure terminated tests without replacements.

Test plans are given in 7.4. Operating characteristics and expected test times are given in Annex B, examples and a mathematical reference are given in Annex G.

7.2 Common test procedure

The test procedure should include the following steps:

8 Design of alternative time/failure terminated test plans

8.1 General

Alternative time/failure terminated test plans are characterized by decision rules for accepting or rejecting compliance when the test time for termination has been reached or the acceptable number of failures has been exceeded. The test plans are determined by selected values of risks and test time. The test time is chosen independently of λ_0 which enables test plans to be designed individually to meet particular needs including, for example, economy, resources or time scheduling.

The derived discrimination ratio is used to evaluate the test plan. In order to implement a test plan, λ_0 needs to be specified (or derived). The transformation between failure rate and mean time to failure or mean operating time between failures to λ_0 is given in 3.2.2.

It is also possible to choose different test plan parameters and determine unknown parameters as indicated in Annex C and Annex I.

Graphs for determining test plan parameters are given in Annex C, including the associated operating characteristic curves. Examples and a mathematical reference are given in Annex I.

8.2 Design procedures

The procedures given in Annex C may be applied directly to tests in which

- replacement occurs, and replacement/repair times are negligible;
- replacement does not occur, and $\lambda_0 t_t^* < 0,1$ is valid.

In such cases, $T_t^* = n t_t^*$.

However, the procedures may also be applied to tests in which

- replacement occurs, and replacement times are long (e.g. by repair),
- replacement does not occur, and $\lambda_0 t_t^* > 0,1$.

In such cases, the formulae involving accumulated test time, T_t^* (see 5.4) shall be used, and in the formulae $n t_t^*$ shall be replaced by T_t^* . This implies that n and t_t^* cannot be separated, as in Clause C.2.

In each case, when applicable, the values of α and β , as stated in Table 3, shall be considered as preferred values.

Annex C describes how test plans are derived and examples are included.

8.3 Common test procedure

The test procedure should include the following steps:

- decide the combined environmental conditions to be applied during the test based on analysis to determine appropriate test conditions (see 5.1 and IEC 60300-3-5);
- specify the acceptable λ_0 , according to requirement or agreement;
- choose risks, α and β , test time for each item, t_t^* , and number of test items, n , according to resources;

- design the test plan according to Annex C and Annex I using the figures in Annex C;
- evaluate the test plan especially regarding the derived discrimination ratio D , and perhaps redesign with modified parameters to satisfy the need;
- perform the test with the stated test time, $T_t^* = n t_t^*$ and the derived acceptable number of failures, c , and apply the decision criteria according to 8.4.

8.4 Decision criteria

The following decision criteria shall apply:

- | | |
|-----------------|---|
| Accept the test | if $r \leq c$ at T_t^* ; The specified requirement is regarded as being complied with. |
| Reject the test | if $r > c$ at or before T_t^* ; The specified requirement is regarded as not being complied with. |

9 Calendar time/failure terminated test plans for non-replaced items

9.1 General

Fixed calendar time/failure terminated test plans for non-replaced items are characterized by decision rules for accepting or rejecting compliance when the test time for termination has been reached, or the acceptable number of failures has been exceeded. The test plans are determined by selected values of risks and discrimination ratios. To implement a test plan, λ_0 needs to be specified (or derived). The transformation of m_0 to λ_0 is indicated in 3.2.2.

Since no replacement takes place, the number of items under test will generally not remain constant, and the accumulated time of operation is not relevant. Thus, the compliance test plans for success ratio, Table 2 of IEC 61123:1991, should be used.

However, if the number of items is large compared to the number of failures, the time/failure terminated test plans (see Clause 7) may be used.

Examples and a mathematical reference are given in Annex J.

9.2 Common test procedure

The test procedure should include the following steps:

- decide the combined environmental conditions to be applied during the test based on analysis to determine appropriate test conditions (see 5.1 and IEC 60300-3-5:2001);
- specify λ_0 , according to requirement or agreement;
- choose risks, $\alpha = \beta$, and discrimination ratio, D , considering that low values of α , β and D make a more powerful test but require longer time and/or more items;
- choose test termination time, $t_{cal,t}^*$, or number of items, n , and calculate according to 9.4.2 or 9.4.3, respectively;
- select an appropriate test plan from Table 2 of IEC 61123:1991, using the derived q_0 and the found n , to give the acceptable number of failures c ;
- perform the test and apply the decision criteria according to 9.3.

9.3 Decision criteria

The decision criteria include the following:

- Accept the test if $r \leq c$ at $t_{\text{cal},t}^*$; The specified requirement is regarded as being complied with;
- Reject the test if $r > c$ at or before $t_{\text{cal},t}^*$; The specified requirement is regarded as not being complied with.

9.4 Use of Table 2 of IEC 61123:1991 for fixed calendar time tests

9.4.1 General

Two procedures may be used. The first one, given in 9.4.2, is used when the (maximum available) test time is given. The second one, given in 9.4.3, is used when the (maximum available) number of items is given.

The following formulae apply:

$$p_0 = 1 - q_0 = 1 - e^{-t/m_0} = 1 - e^{-\lambda_0 t} \quad (1)$$

where $t = t_{\text{cal},t}^*$

and the derived

$$t_{\text{cal},t}^* = -m_0 \cdot \ln(1 - p_0) = -m_0 \cdot \ln(q_0) \quad (2)$$

where

p_0 is the acceptable failure ratio;

q_0 is the acceptable success ratio, $q_0 = 1 - p_0$.

NOTE 1 According to the normal use of IEC 61123, p_0 or q_0 is specified, but in this case p_0 is derived from the specified m_0 or λ_0 , according to Formula (1). For further information on p_0 and q_0 , see IEC 61123.

NOTE 2 In this case, p_0 expresses the failure probability $1-R(t)$ for $t = t_{\text{cal},t}^*$.

NOTE 3 The procedures can only determine the product nt^* .

9.4.2 Procedure when the test time is given

The test procedure should include the following steps:

- choose $t_{\text{cal},t}^* \leq 0,223 m_0 = \frac{0,223}{\lambda_0}$ (to be within the range of Table 2 of IEC 61123:1991);
- calculate p_0 using Formula (1);
- adjust $t_{\text{cal},t}^*$ if necessary to fit a $q_0 = 1 - p_0$ stated in Table 2 of IEC 61123:1991 using Formula (2);
- select a relevant test plan from Table 2 of IEC 61123:1991 fulfilling the required D and $\alpha = \beta$, and thereby determine n and c .

9.4.3 Procedure when the number of items is given

The test procedure should include the following steps:

- a) select a relevant test plan from Table 2 of IEC 61123:1991 fulfilling the required D and $\alpha = \beta$, and with n close to the indicated n , and thereby determine $q_0 = 1 - p_0$, n and c ;
- b) calculate $t_{cal,t}^*$ using Formula (2).

10 Combined test plans

10.1 General

The combined test plans use a reject line with a constant number of failures, while the accept line is curved (see Table 1). Therefore, test items with a high reliability will be accepted early while items with many early failures will not be rejected immediately. Test plans are also suitable for a test, analysis and fix program (TAAF) as more information is collected about the failure modes than for a sequential test. The test plans are derived using an iterative procedure that is described in Annex K.

10.2 Common test procedure

The test procedure should include the following steps:

- decide the combined environmental conditions to be applied during the test based on analysis to determine appropriate test conditions (see 5.1 and IEC 60300-3-5:2001);
- specify m_0 , according to requirement or agreement;
- choose risks, α and β , and discrimination ratio, D , considering that low values of α , β and D make a more powerful test, but require longer time and/or more items;
- select an appropriate test plan from Table 4 and Annex D;
- note the test times, T_a^* for accept;
- perform the test and apply the decision criteria in accordance with 10.3.

10.3 Decision criteria

The accumulated test time and the number of failures shall be compared with the accept and reject criteria continuously during the test; or at intervals not greater than the length of the test cycle or the monitoring interval (see 5.1 and 7.1.3 of IEC 60300-3-5:2001).

The following criteria shall apply:

- | | |
|------------------|--|
| Accept the test | if the elapsed $T \geq T_a^*$ for the observed $r \leq r_0$.
The specified requirement is regarded as being complied with. |
| Continue testing | if $T^* < T_a^*$ for the observed $r \leq r_0$. No decision can be taken. |
| Reject the test | If the number of failures $r \leq r_0 + 1$ during the test.
The specified requirement is regarded as not being complied with. |

10.4 Test plans

Table 4 – Combined test plans in Annex D

Test plan	Characteristics of the plan		Discrimination ratio D	Minimum test time (Acceptance at 0 failures) $T_{a,min}^*/m_0$	Expected time for decision in multiples of m_0 for $m = m_0$ T_e^*/m_0	Test truncation time in multiples of m_0 T_t^*/m_0	Acceptable number of failures r_0
	Nominal risks α %	β %					
D.1	5	5	1,7	6,454 0	22,07	29,463 2	38
D.2	10	5	1,7	4,721 9	16,59	24,517 0	30
D.3	10	10	1,7	4,426 4	13,12	18,183 9	23
D.4	15	5	1,7	5,732 0	16,22	19,989 8	24
D.5	20	10	1,7	3,949 5	9,80	12,757 3	15
D.6	20	20	1,7	2,436 5	5,60	8,568 4	10
D.7	30	20	1,7	2,144 1	3,96	5,714 6	6
D.8	30	30	1,7	1,219 4	2,30	4,388 1	4

11 Performing the test

Guidance on test conditions and practical management of the test can be found in 5.1 of this standard, in IEC 60300-3-5 and in IEC 60605-2.

12 Presentation of results

When presenting the results, the following information shall be given:

- test conditions (see 5.1 of this standard and IEC 60300-3-5);
- identification of test items, number of items on test and possible replacement during test;
- the test plan used;
- specified acceptable λ_0 or m_0 ;
- nominal test plan parameters given or derived, for example risk levels, discrimination ratio, accumulated test time for termination, acceptable number of failures;
- true test plan parameters, if required;
- observed number of failures and justification for any failures classified as non-relevant;
- definition of accumulated test time especially if test cycles or several mission modes are used;
- accumulated test time when the test is stopped;
- result(s) of other analyses, if required;
- conclusions.

Annex A (normative)

Tables and graphs for sequential test plans

NOTE 1 See Clause 6.

NOTE 2 This annex uses the symbols listed in 3.2.

A.1 Test plan A.1 – $\alpha = 0,10$; $\beta = 0,10$; $D = 1,5$

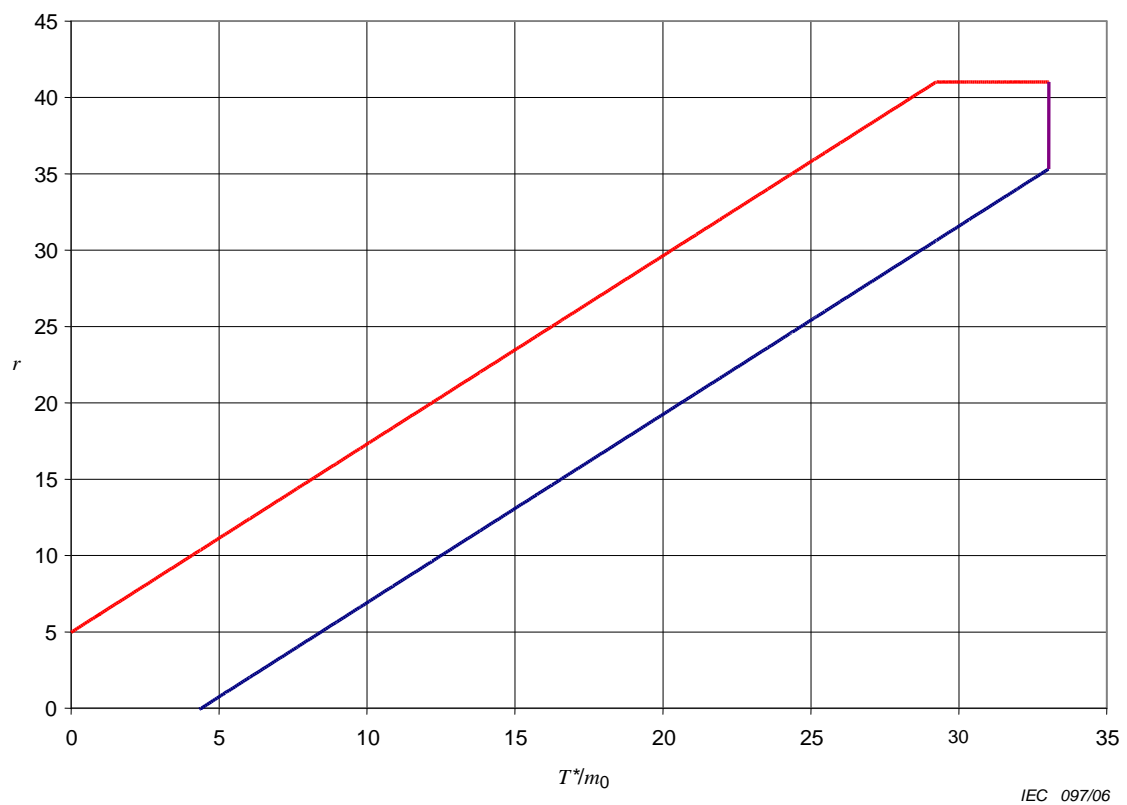


Figure A.1 – Accept and reject lines for test plan A.1

Table A.1 – Accept and reject lines for test plan A.1

r	T_r^* / m_0 Reject (equal or less)	T_a^* / m_0 Accept (equal or more)	r	T_r^* / m_0 Reject (equal or less)	T_a^* / m_0 Accept (equal or more)
0	–	4,39	21	13,00	21,42
1	–	5,21	22	13,81	22,23
2	–	6,02	23	14,62	23,05
3	–	6,83	24	15,43	23,86
4	–	7,64	25	16,24	24,67
5	0,025	8,45	26	17,05	25,48
6	0,836	9,26	27	17,87	26,29
7	1,65	10,07	28	18,73	27,10
8	2,46	10,88	29	19,49	27,91
9	3,27	11,69	30	20,30	28,72
10	4,08	12,50	31	21,11	29,53
11	4,89	13,31	32	21,92	30,34
12	5,70	14,13	33	22,73	31,16
13	6,51	14,94	34	23,54	31,97
14	7,32	15,75	35	24,35	32,78
15	8,13	16,56	36	25,16	33,04
16	8,94	17,37	37	25,97	33,04
17	9,76	18,18	38	26,79	33,04
18	10,57	19,00	39	27,60	33,04
19	11,40	19,80	40	28,41	33,04
20	12,19	20,61	$r_0=41$	29,22	33,04
			42	33,04	N/A

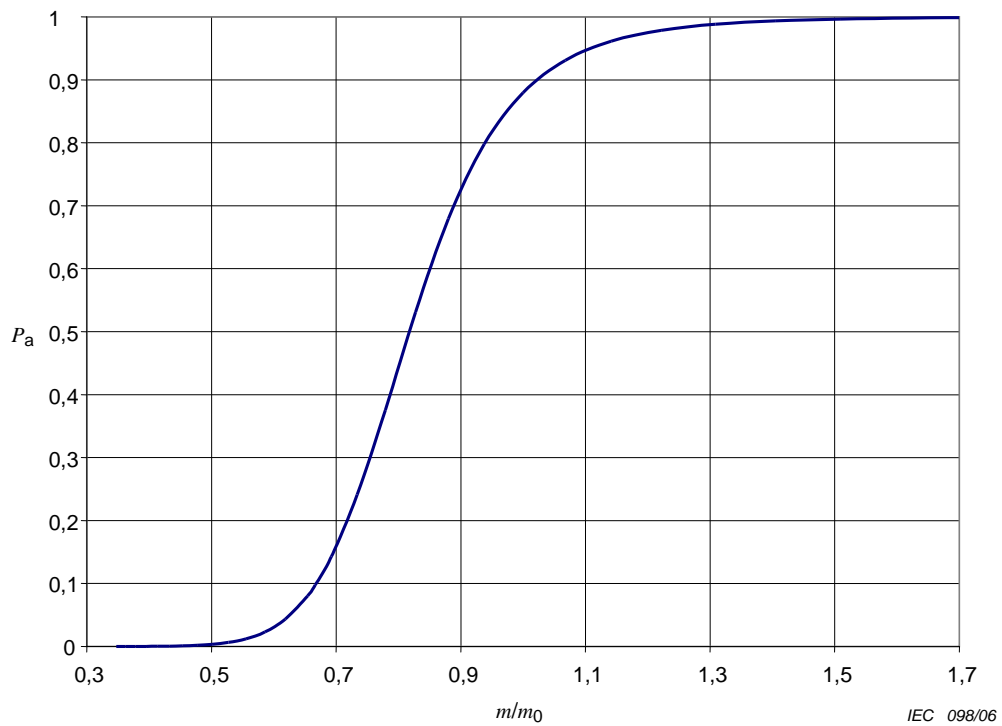


Figure A.2 – Test plan A.1 – Operating characteristic curve

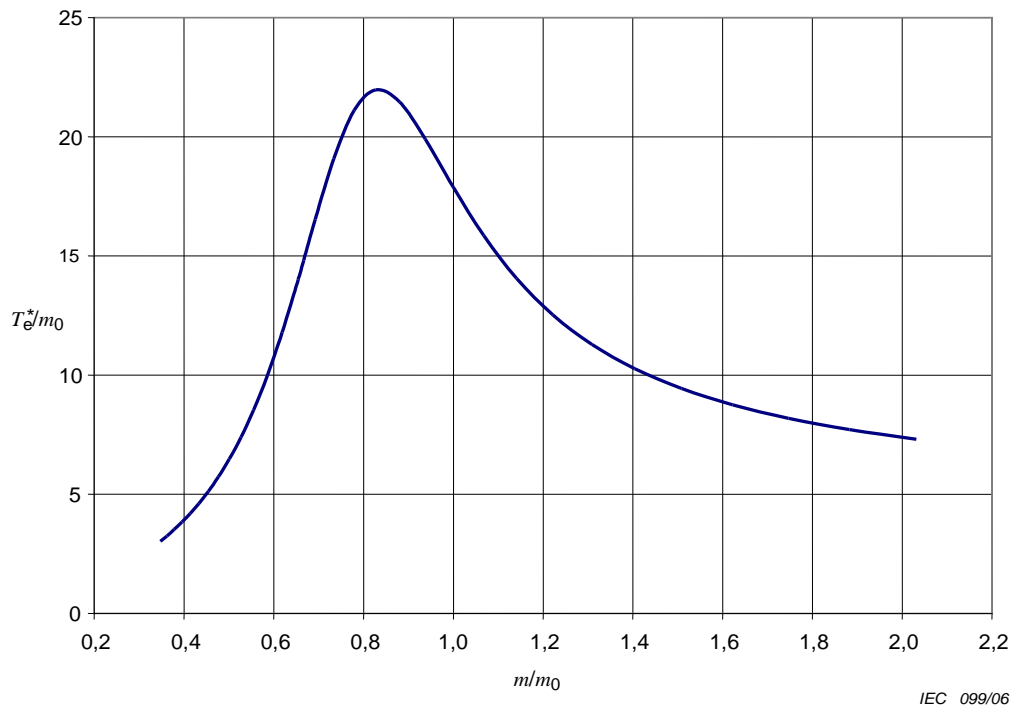


Figure A.3 – Test plan A.1 – Expected accumulated test time to decision

A.2 Test plan A.2 – $\alpha = 0,10$; $\beta = 0,10$; $D = 2,0$

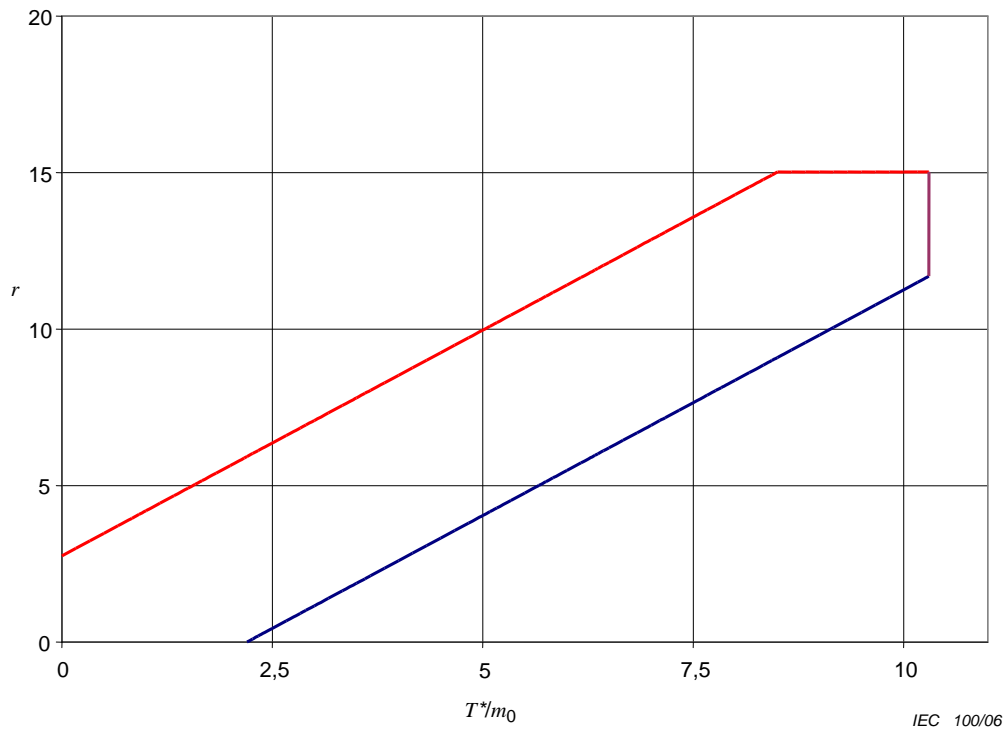


Figure A.4 – Accept and reject lines for test plan A.2

Table A.2 – Accept and reject lines for test plan A.2

r	$T_r^* I m_0$ Reject (equal or less)	$T_a^* I m_0$ Accept (equal or more)
0	–	2,20
1	–	2,89
2	–	3,58
3	0,170	4,28
4	0,863	4,97
5	1,56	5,66
6	2,25	6,36
7	2,94	7,05
8	3,64	7,74
9	4,33	8,44
10	5,02	9,13
11	5,72	9,82
12	6,41	10,30
13	7,10	10,30
14	7,79	10,30
$r_0 = 15$	8,49	10,30
16	10,30	N/A

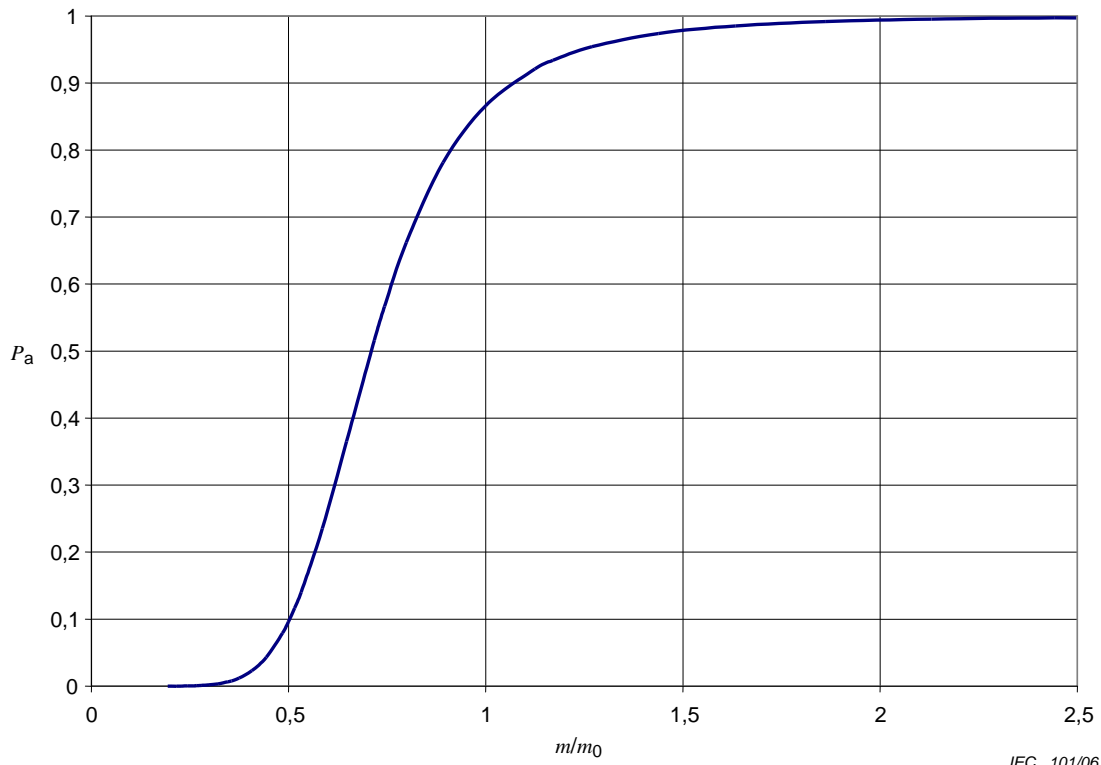


Figure A.5 – Test plan A.2 – Operating characteristic curve

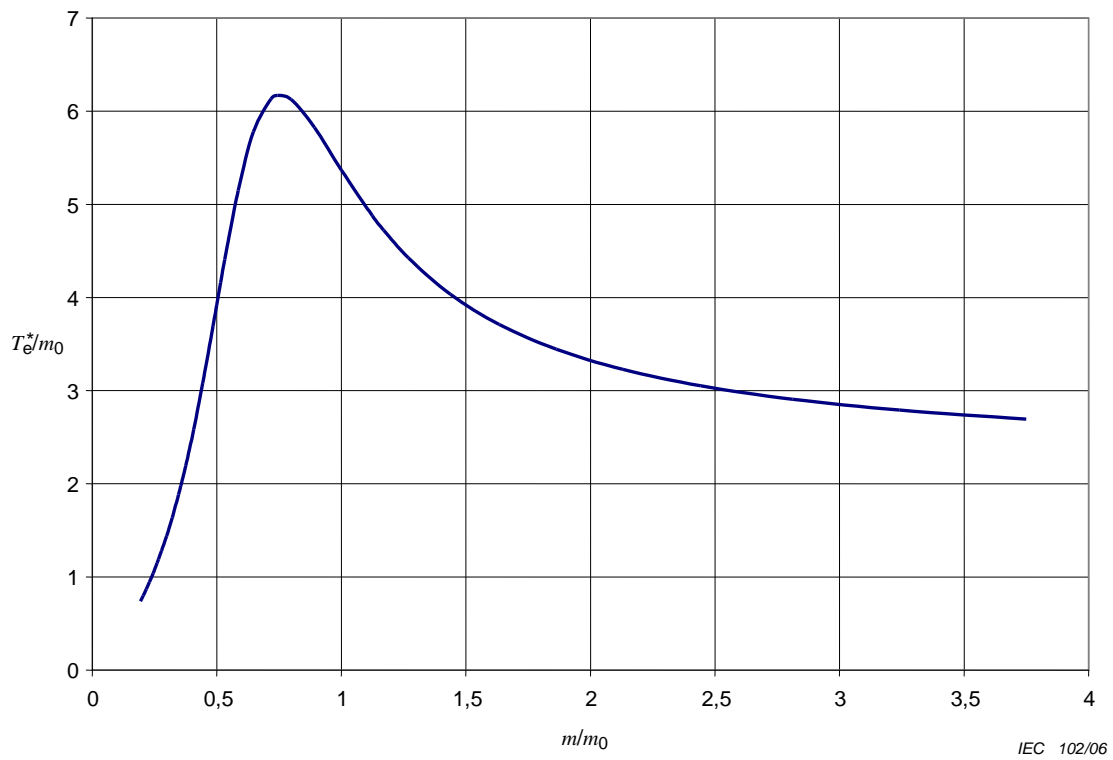


Figure A.6 – Test plan A.2 – Expected accumulated test time to decision

A.3 Test plan A.3 – $\alpha = 0,10$; $\beta = 0,10$; $D = 3,0$

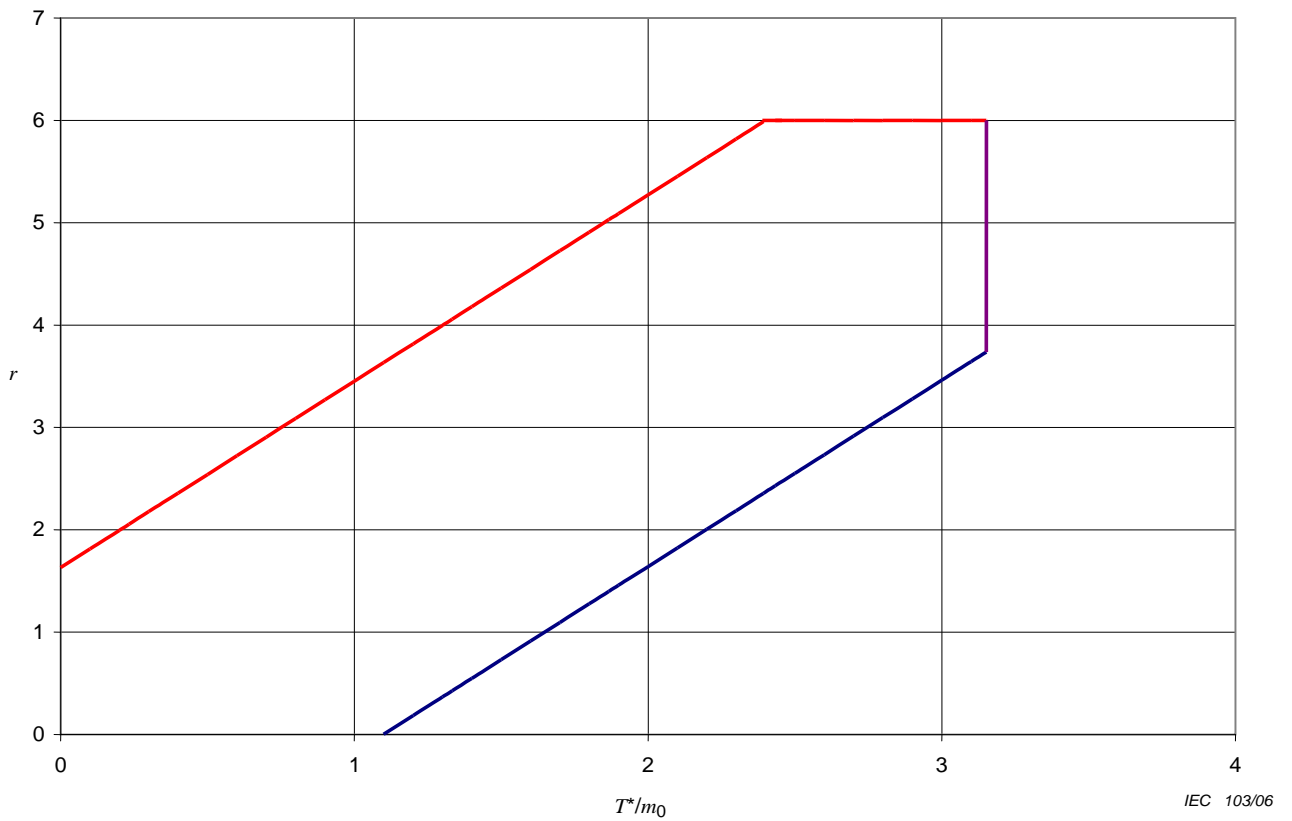


Figure A.7 – Accept and reject lines for test plan A.3

Table A.3 – Accept and reject lines for test plan A.3

r	T_r^* / m_0 Reject (equal or less)	T_a^* / m_0 Accept (equal or more)
0	–	1,098
1	–	1,648
2	0,203	2,197
3	0,752	2,747
4	1,301	3,152
5	1,851	3,152
$r_0 = 6$	2,400	3,152
7	3,152	N/A

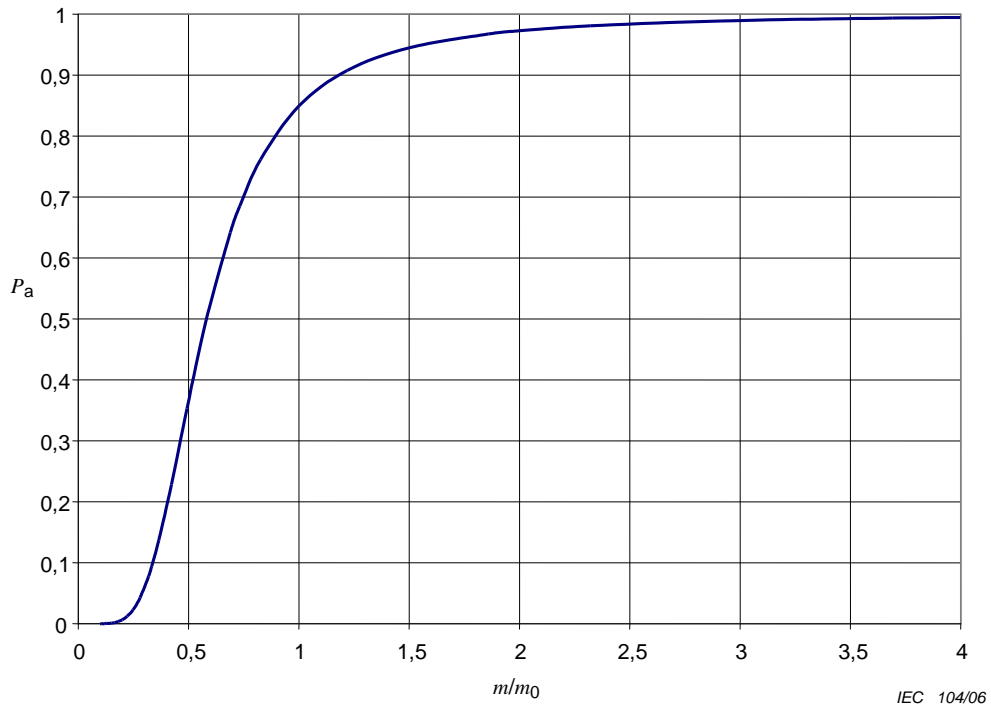


Figure A.8 – Test plan A.3 – Operating characteristic curve

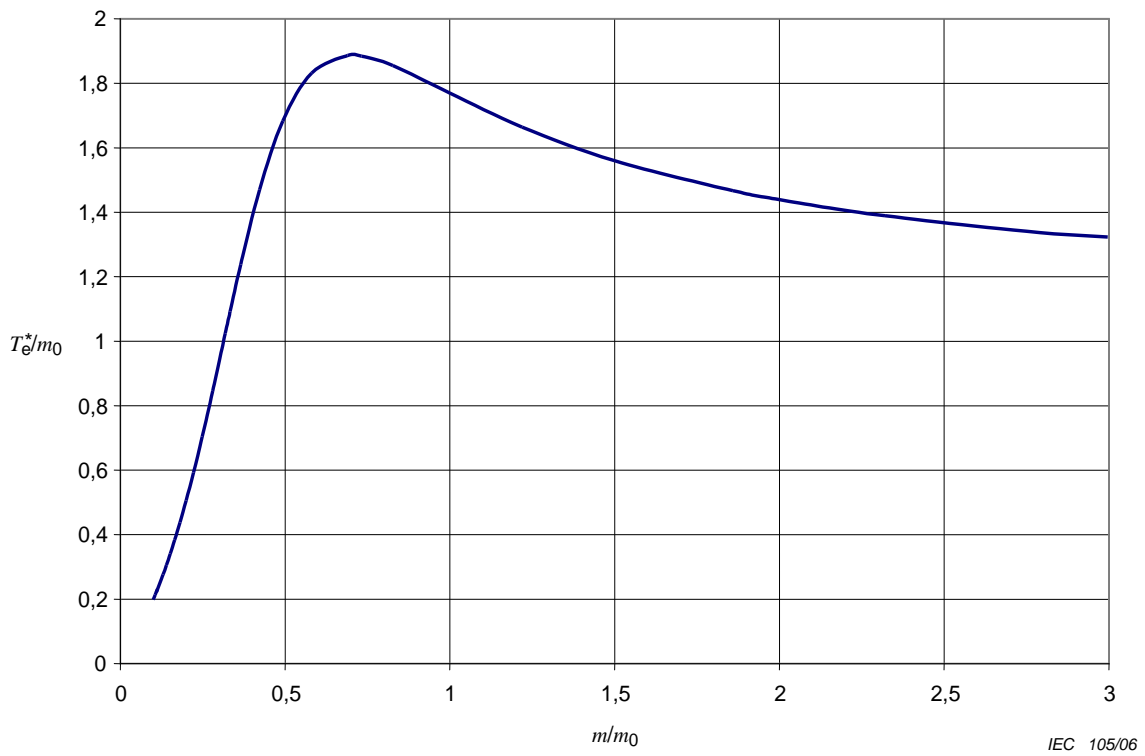


Figure A.9 – Test plan A.3 – Expected accumulated test time to decision

A.4 Test plan A.4 – $\alpha = 0,10$; $\beta = 0,10$; $D = 5,0$

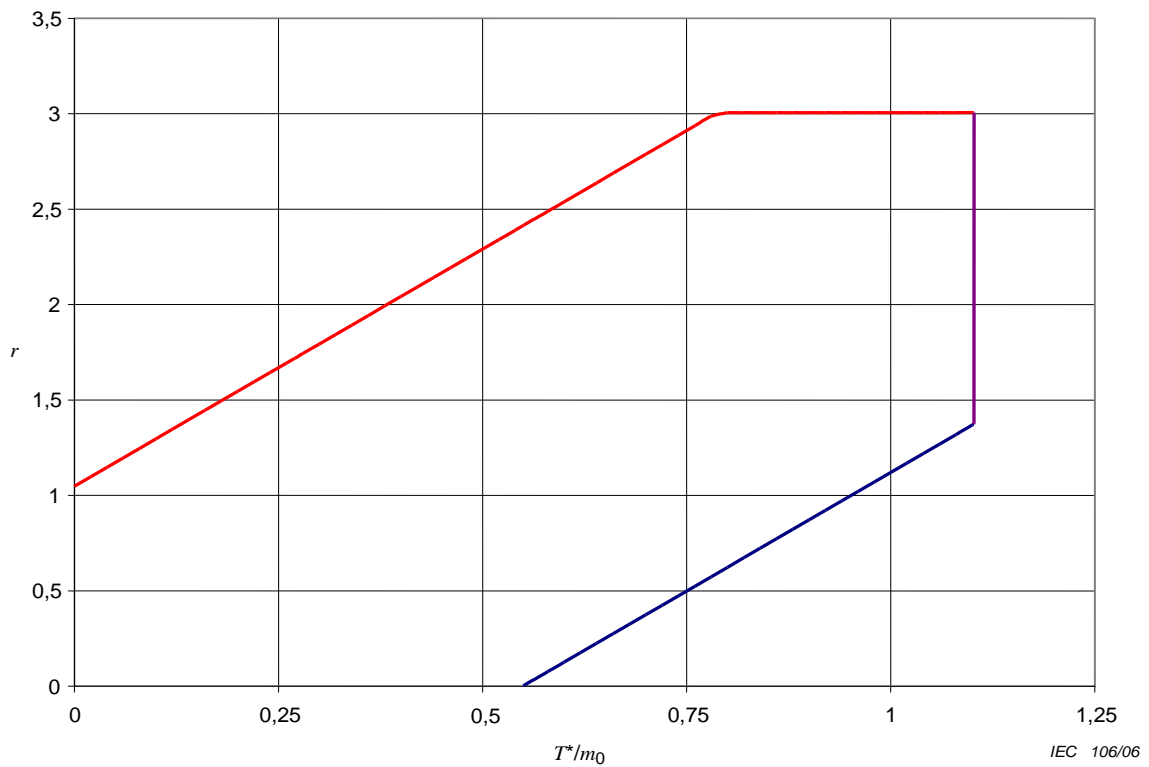


Figure A.10 – Accept and reject lines for test plan A.4

Table A.4 – Accept and reject lines for test plan A.4

r	T_r^* / m_0 Reject (equal or less)	T_a^* / m_0 Accept (equal or more)
0	–	0,549
1	–	0,951
2	0,383	1,102
$r_0 = 3$	0,785	1,102
4	1,102	N/A

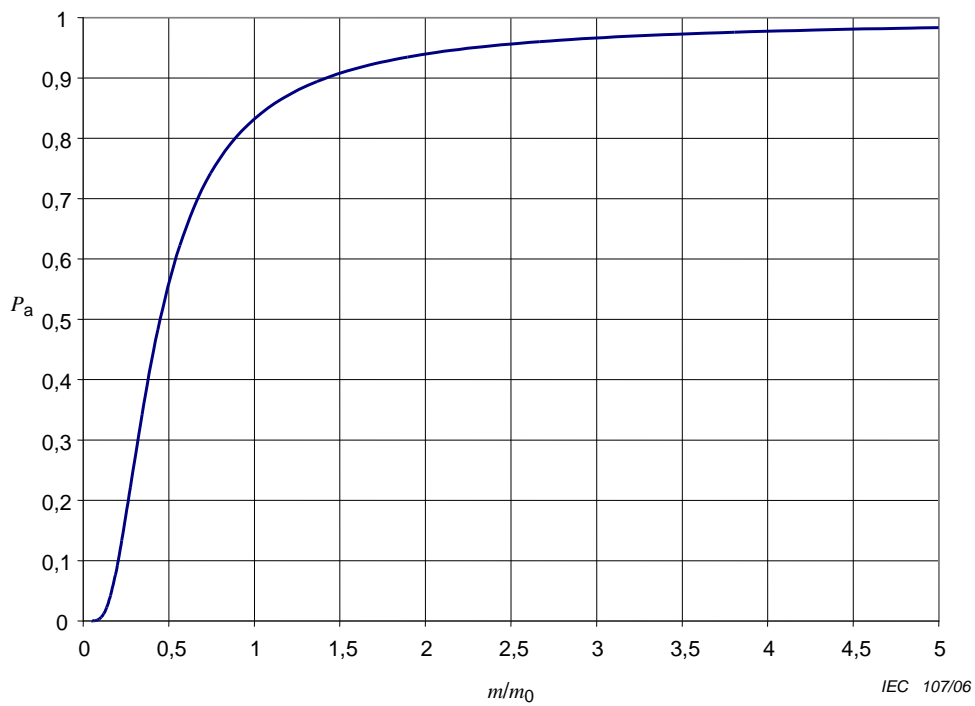


Figure A.11 – Test plan A.4 – Operating characteristic curve

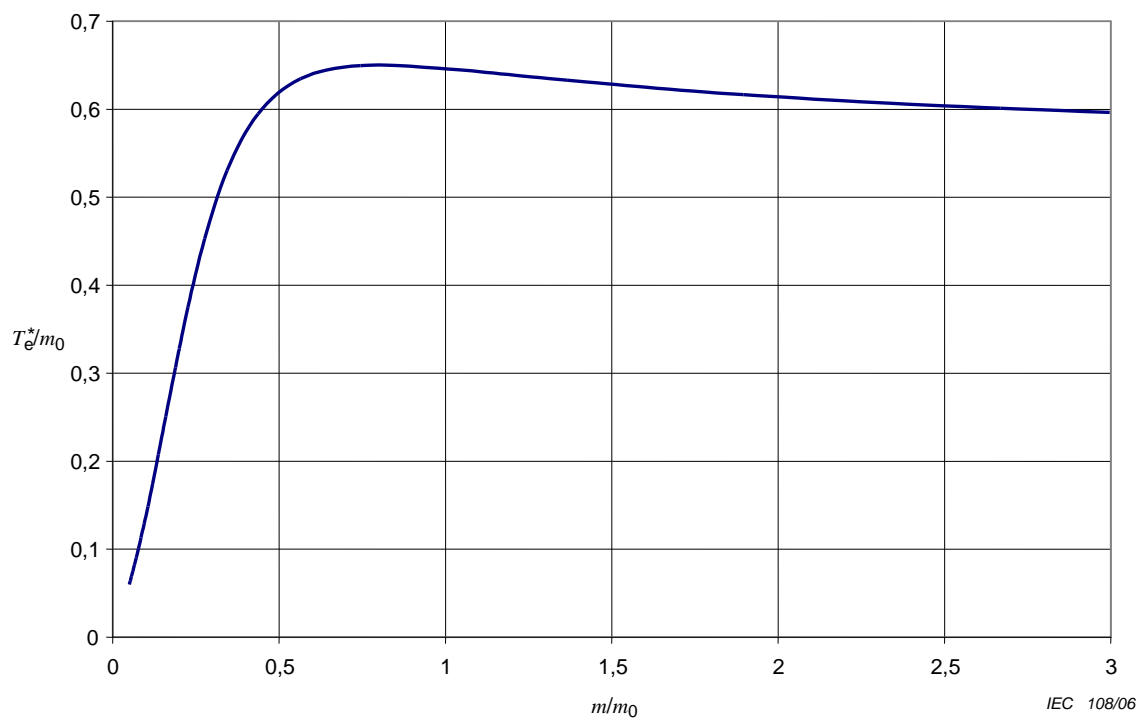


Figure A.12 – Test plan A.4 – Expected accumulated test time to decision

A.5 Test plan A.5 – $\alpha = 0,20$; $\beta = 0,20$; $D = 1,5$

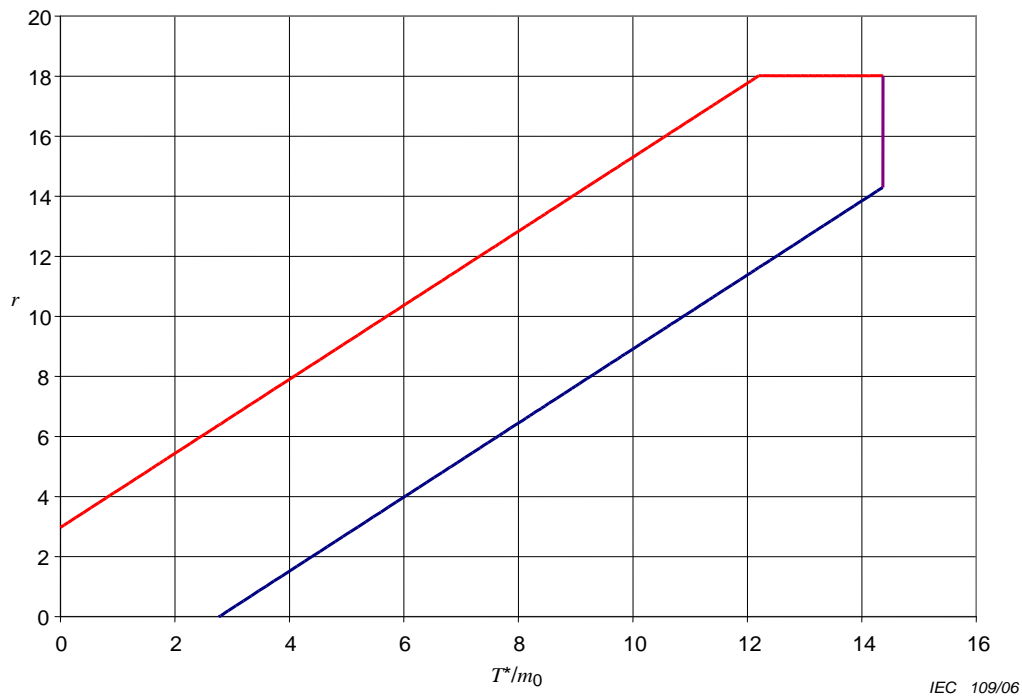


Figure A.13 – Accept and reject lines for test plan A.5

Table A.5 – Accept and reject lines for test plan A.5

r	T_r^* / m_0 Reject (equal or less)	T_a^* / m_0 Accept (equal or more)
0	–	2,77
1	–	3,58
2	–	4,39
3	0,025	5,21
4	0,836	6,02
5	1,65	6,83
6	2,46	7,64
7	3,27	8,45
8	4,08	9,26
9	4,89	10,07
10	5,70	10,88
11	6,51	11,69
12	7,32	12,50
13	8,13	13,31
14	8,95	14,13
15	9,76	14,37
16	10,57	14,37
17	11,38	14,37
$r_0 = 18$	12,19	14,37
19	14,37	N/A

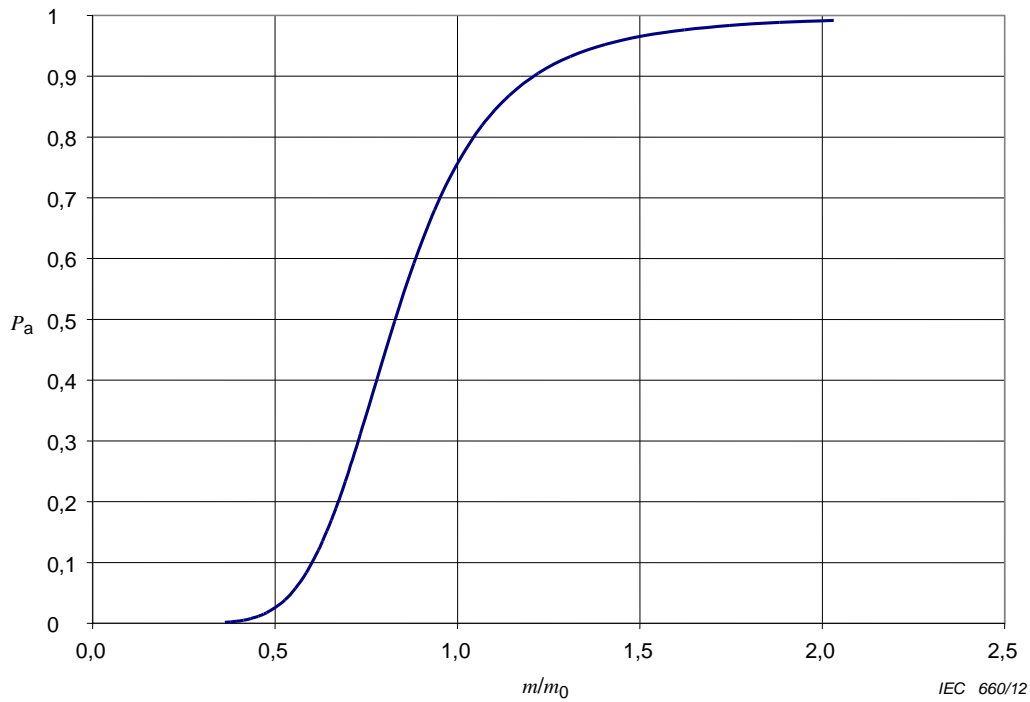


Figure A.14 – Test plan A.5 – Operating characteristic curve

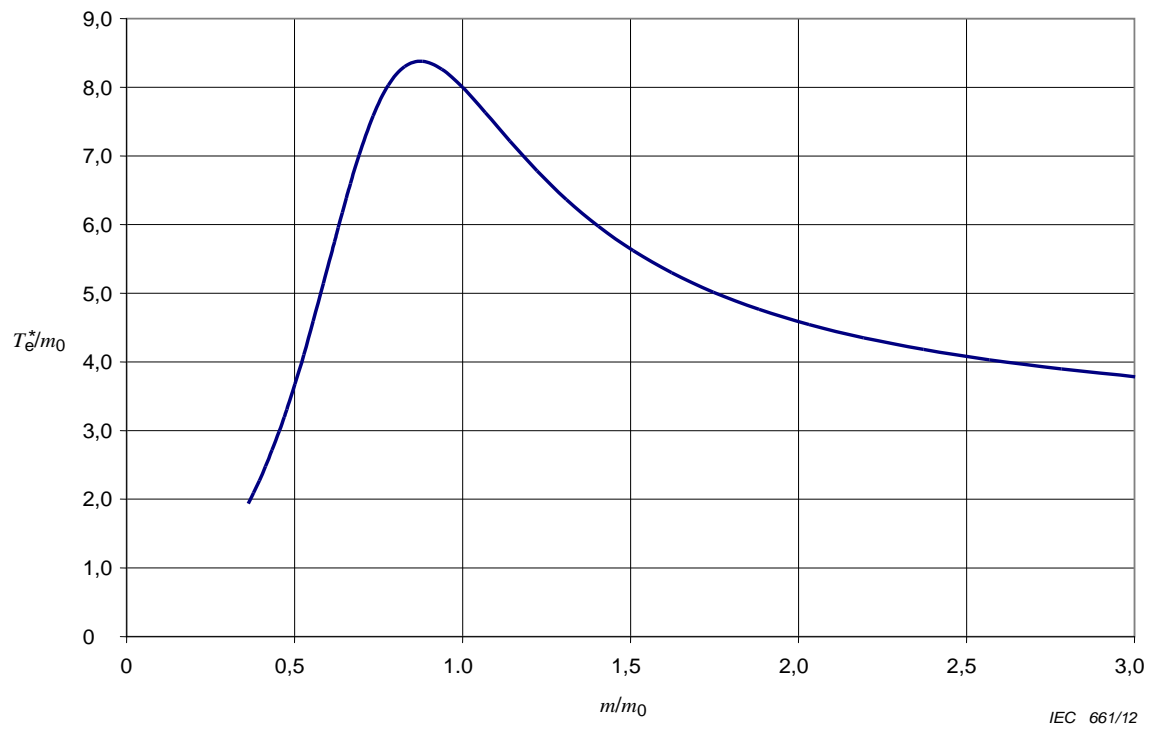


Figure A.15 – Test plan A.5 – Expected accumulated test time to decision

A.6 Test plan A.6 – $\alpha = 0,20$; $\beta = 0,20$; $D = 2,0$

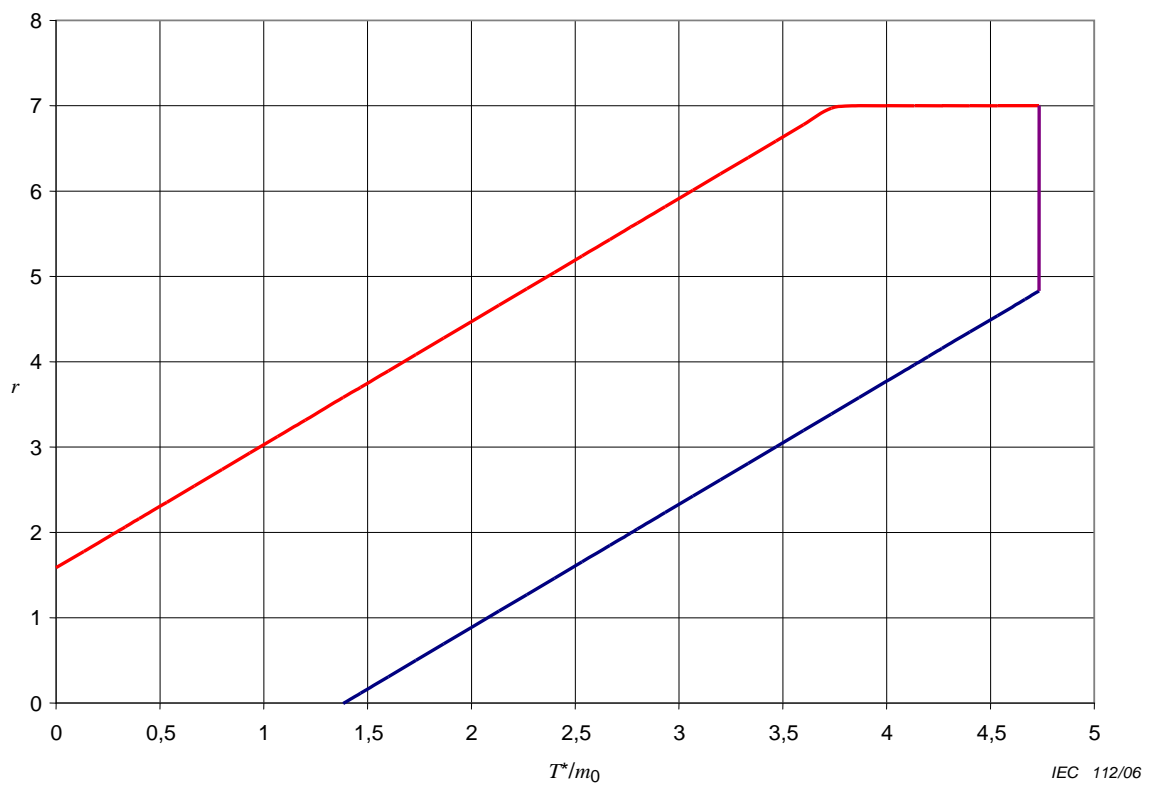


Figure A.16 – Accept and reject lines for test plan A.6

Table A.6 – Accept and reject lines for test plan A.6

r	T_r^* / m_0 Reject (equal or less)	T_a^* / m_0 Accept (equal or more)
0	–	1,39
1	–	2,08
2	0,288	2,77
3	0,981	3,47
4	1,67	4,16
5	2,37	4,73
6	3,06	4,73
$r_0 = 7$	3,75	4,73
8	4,73	N/A

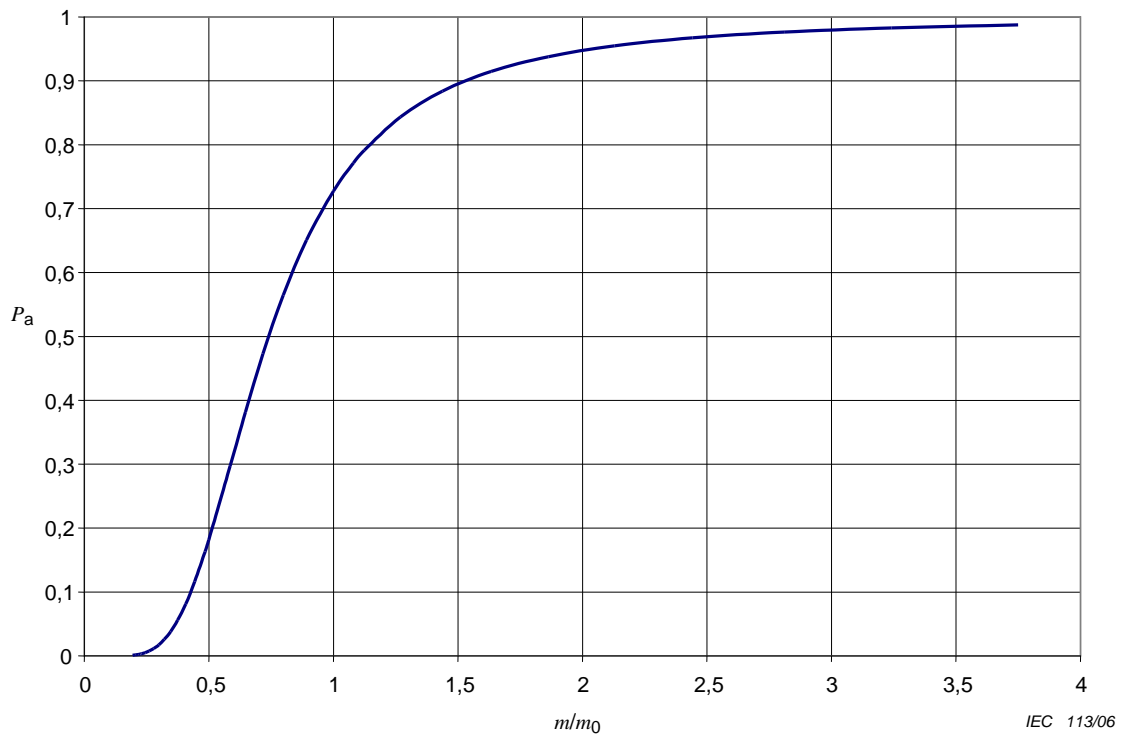


Figure A.17 – Test plan A.6 – Operating characteristic curve

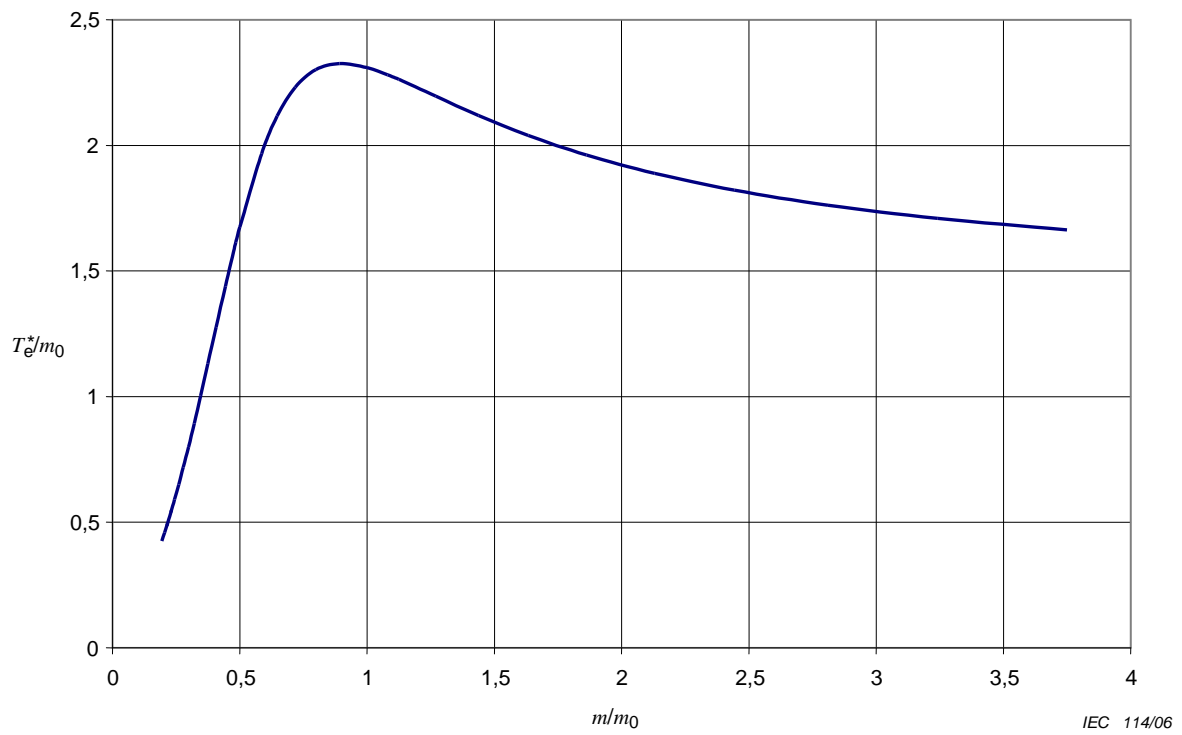


Figure A.18 – Test plan A.6 – Expected accumulated test time to decision

A.7 Test plan A.7 – $\alpha = 0,20$; $\beta = 0,20$; $D = 3,0$

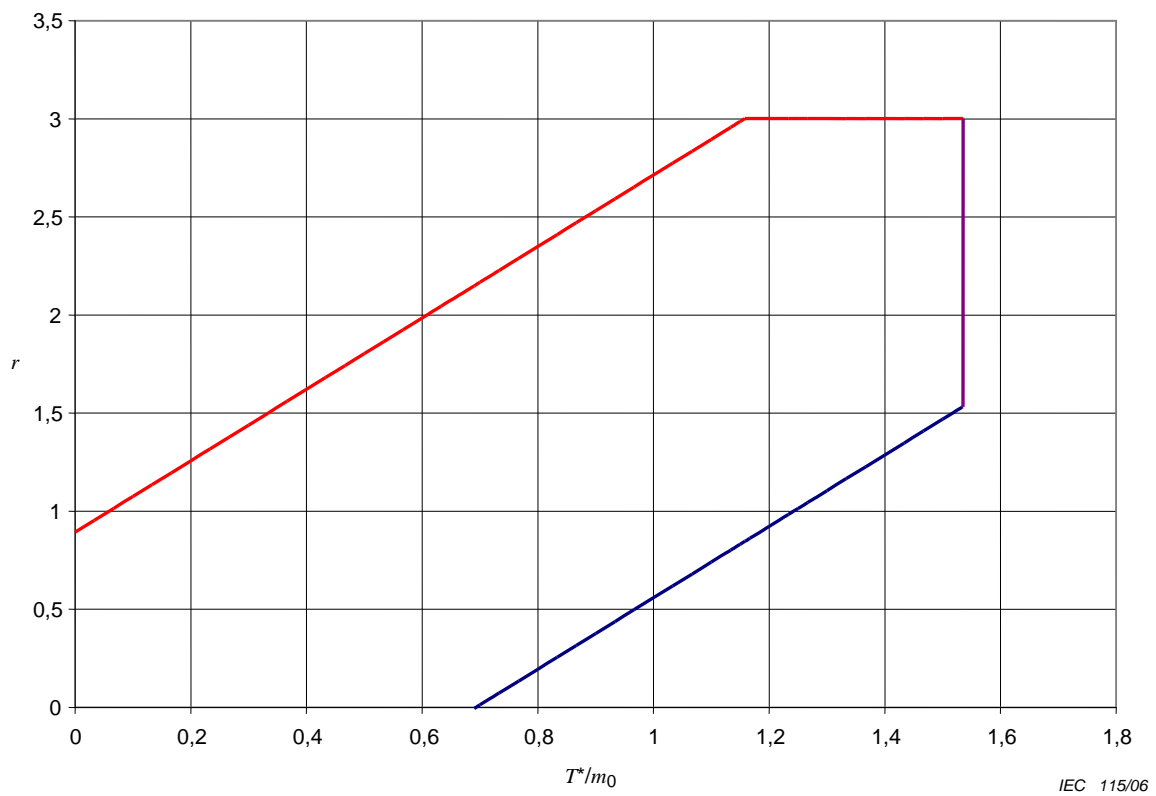


Figure A.19 – Accept and reject lines for test plan A.7

Table A.7 – Accept and reject lines for test plan A.7

r	T_r^* / m_0 Reject (equal or less)	T_a^* / m_0 Accept (equal or more)
0	–	0,693
1	0,059	1,24
2	0,608	1,54
$r_0 = 3$	1,16	1,54
4	1,54	N/A

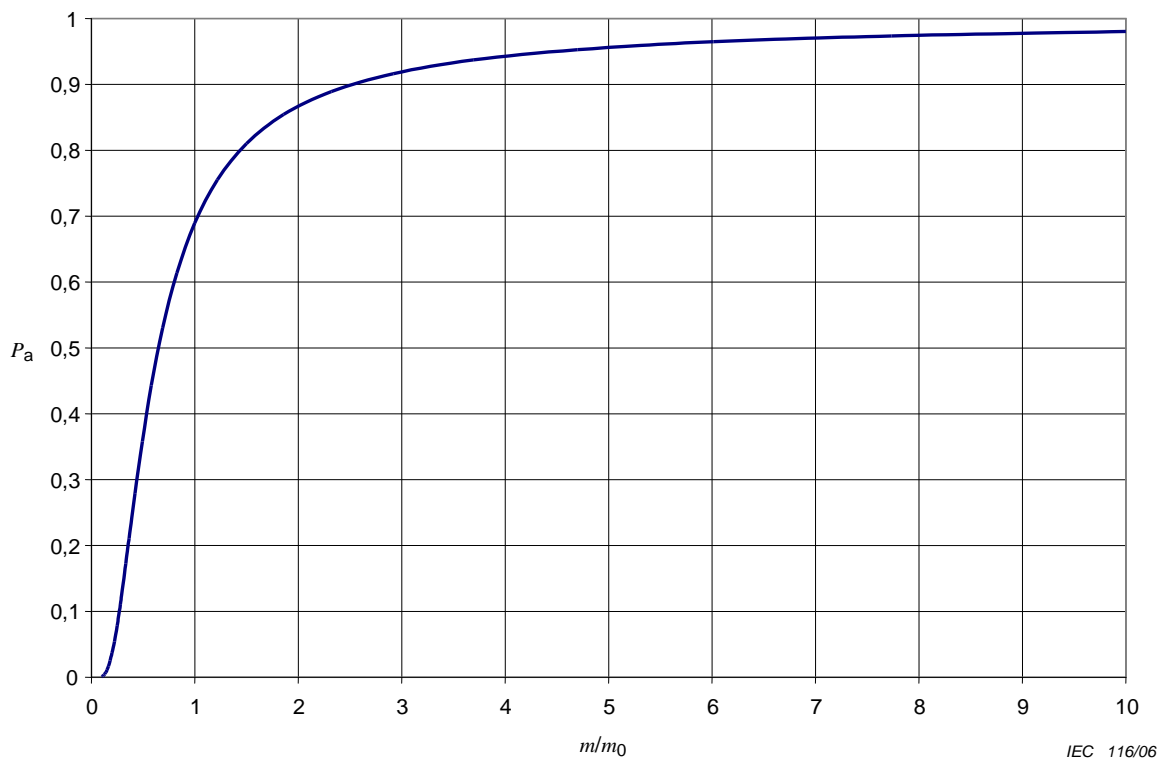


Figure A.20 – Test plan A.7 – Operating characteristic curve

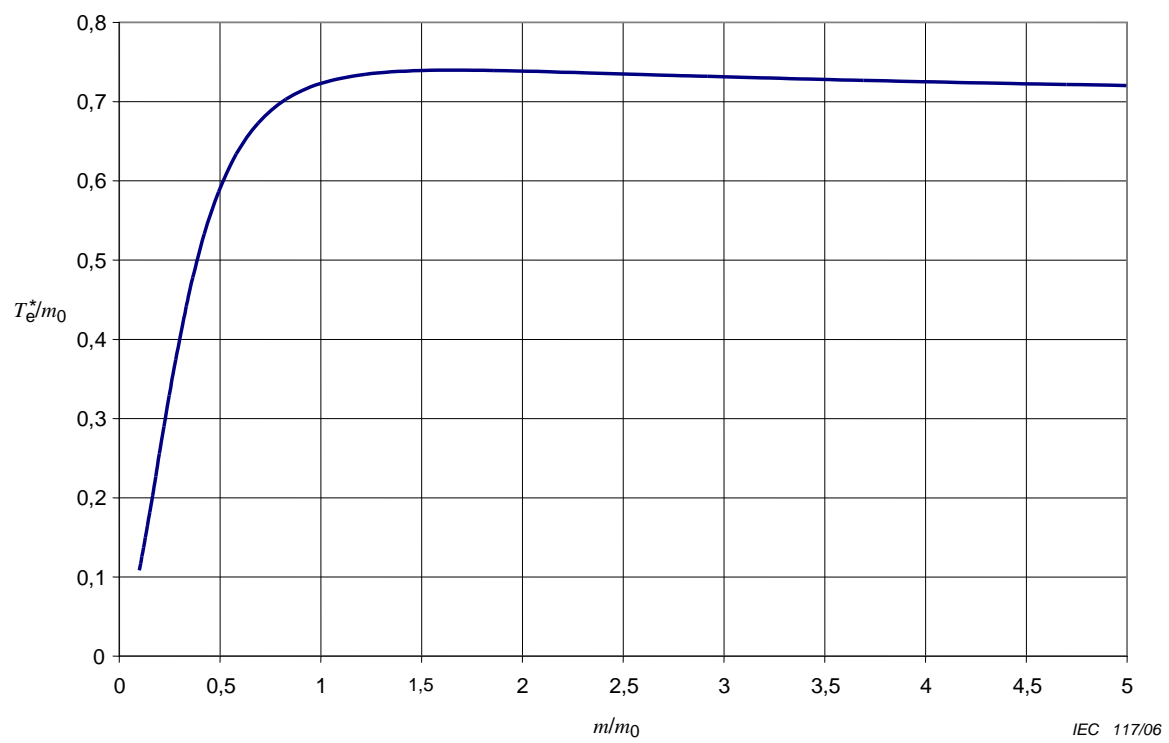


Figure A.21 – Test plan A.7 – Expected accumulated test time to decision

A.8 Test plan A.8 – $\alpha = 0,30$; $\beta = 0,30$; $D = 1,5$

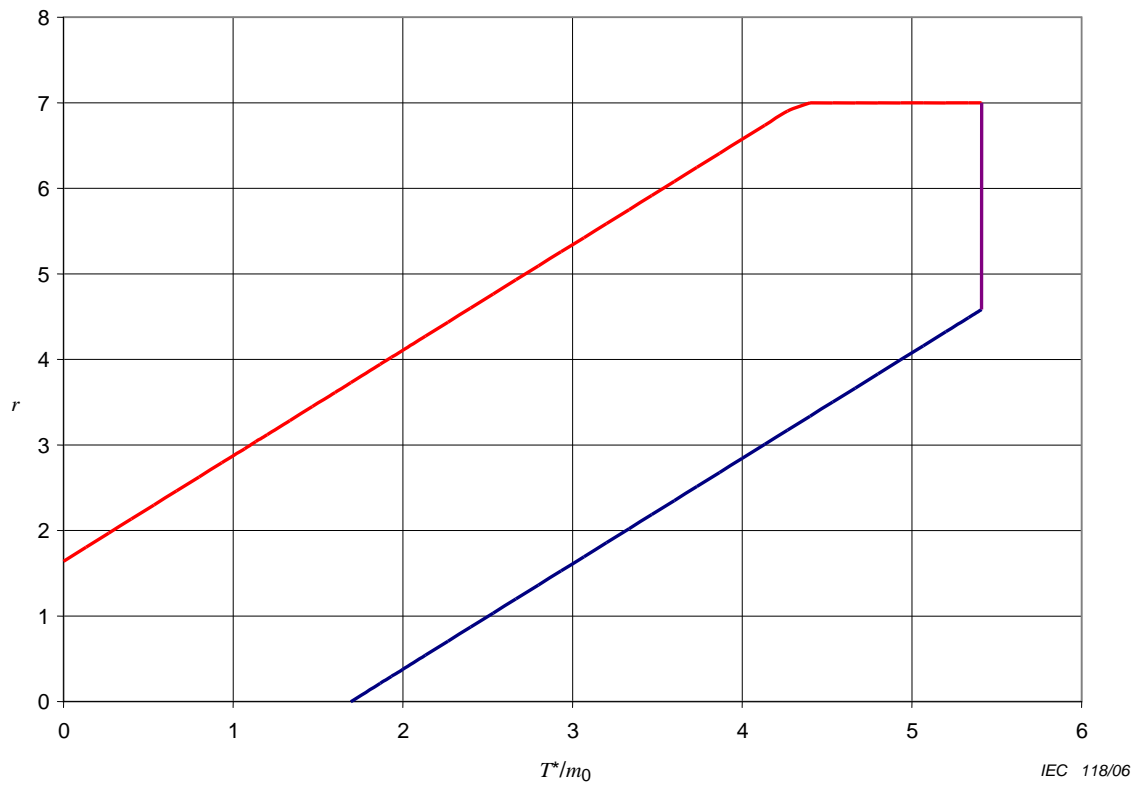


Figure A.22 – Accept and reject lines for test plan A.8

Table A.8 – Accept and reject lines for test plan A.8

r	T_r^* / m_0 Reject (equal or less)	T_a^* / m_0 Accept (equal or more)
0	–	1,69
1	–	2,51
2	0,292	3,32
3	1,10	4,13
4	1,91	4,94
5	2,72	5,41
6	3,54	5,41
$r_0 = 7$	4,35	5,41
8	5,41	N/A

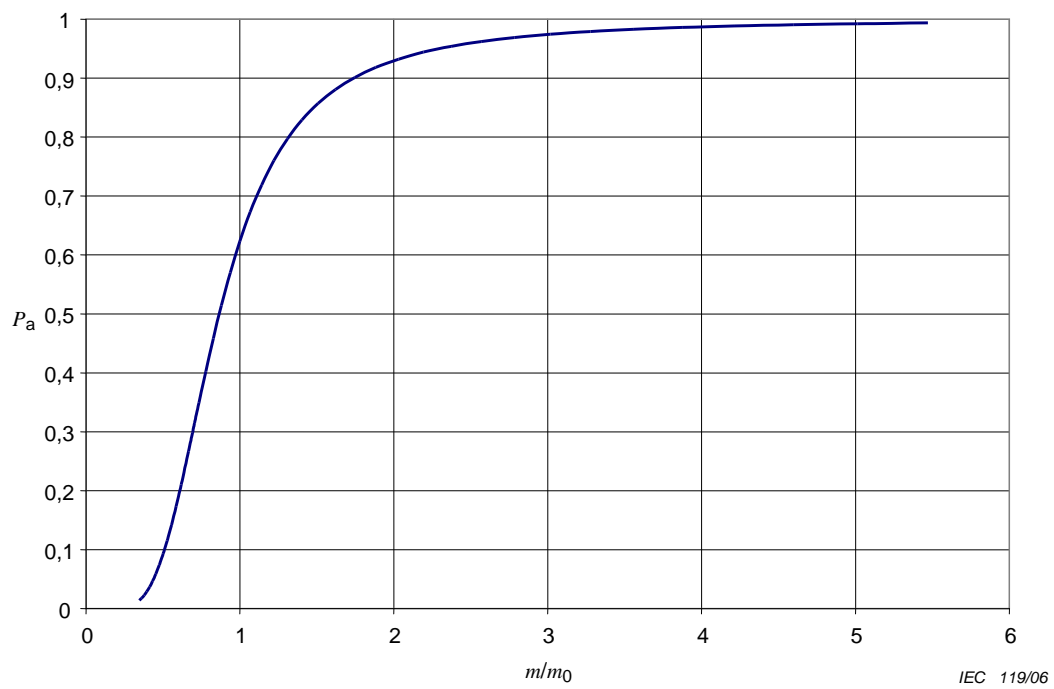


Figure A.23 – Test plan A.8 – Operating characteristic curve

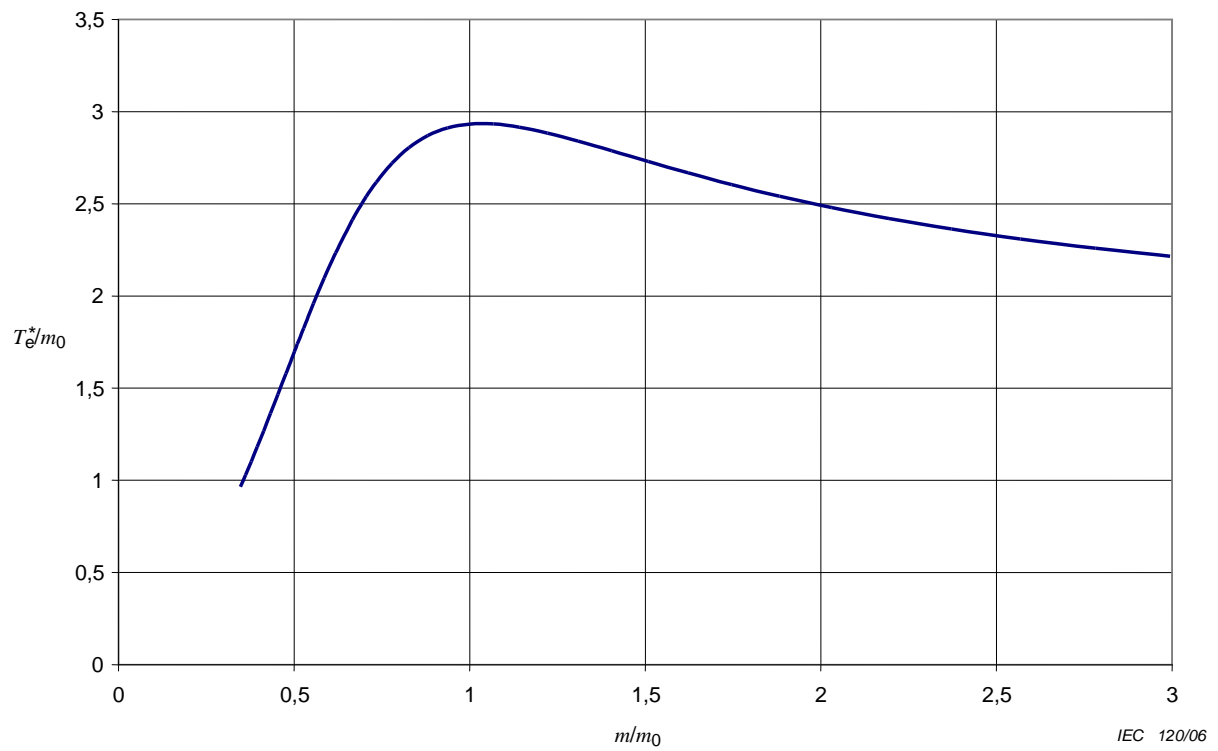


Figure A.24 – Test plan A.8 – Expected accumulated test time to decision

A.9 Test plan A.9 – $\alpha = 0,30$; $\beta = 0,30$; $D = 2,0$

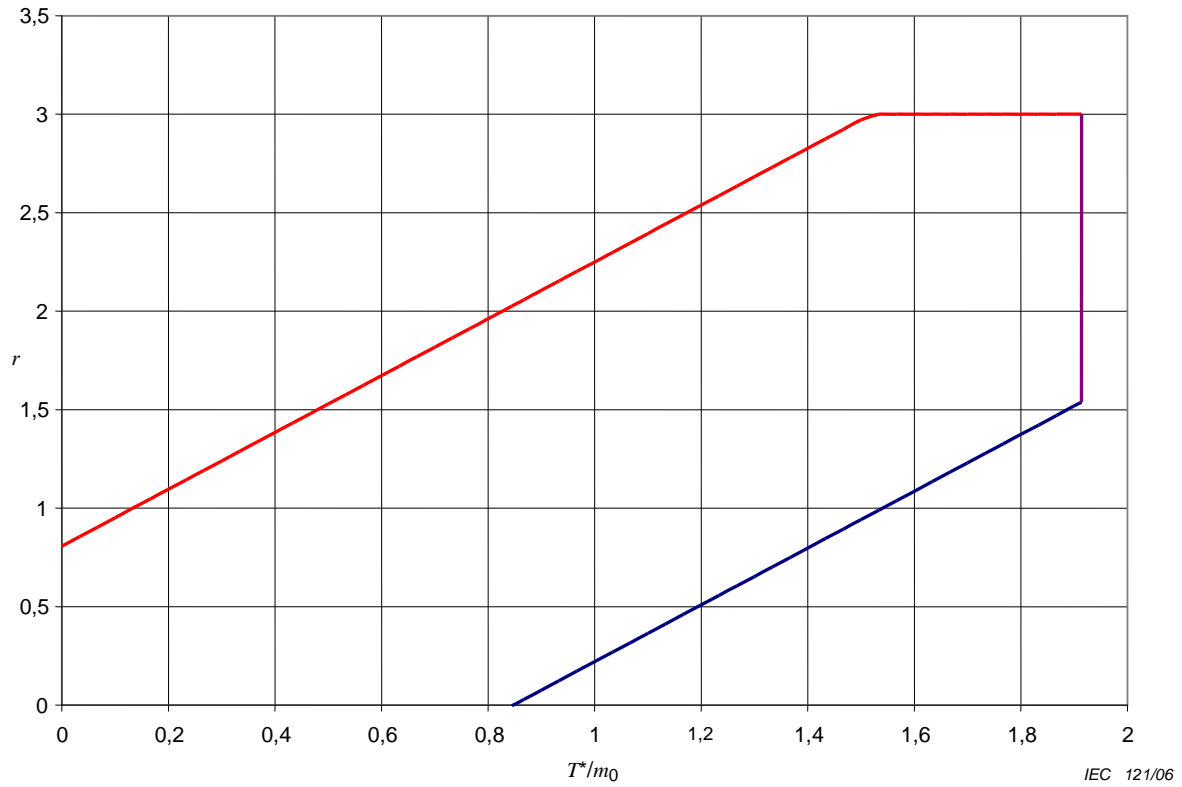


Figure A.25 – Accept and reject lines for test plan A.9

Table A.9 – Accept and reject lines for test plan A.9

r	T_r^* / m_0 Reject (equal or less)	T_a^* / m_0 Accept (equal or more)
0	–	0,847
1	0,134	1,54
2	0,827	1,91
$r_0 = 3$	1,52	1,91
4	1,91	N/A

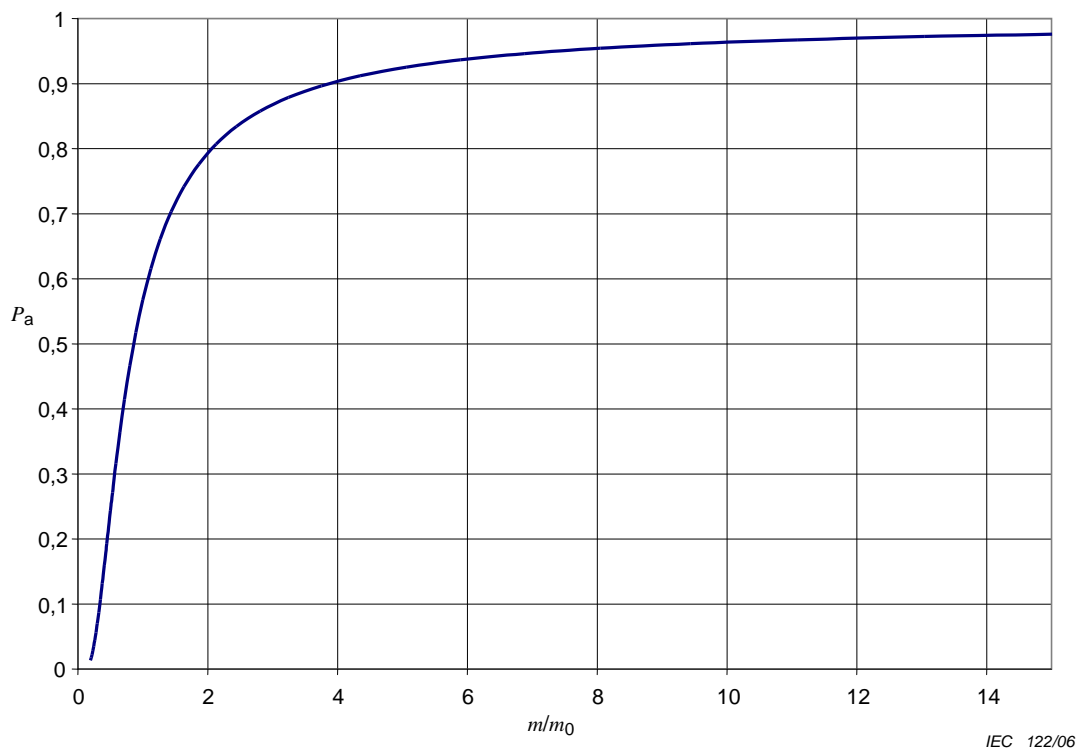


Figure A.26 – Test plan A.9 – Operating characteristic curve

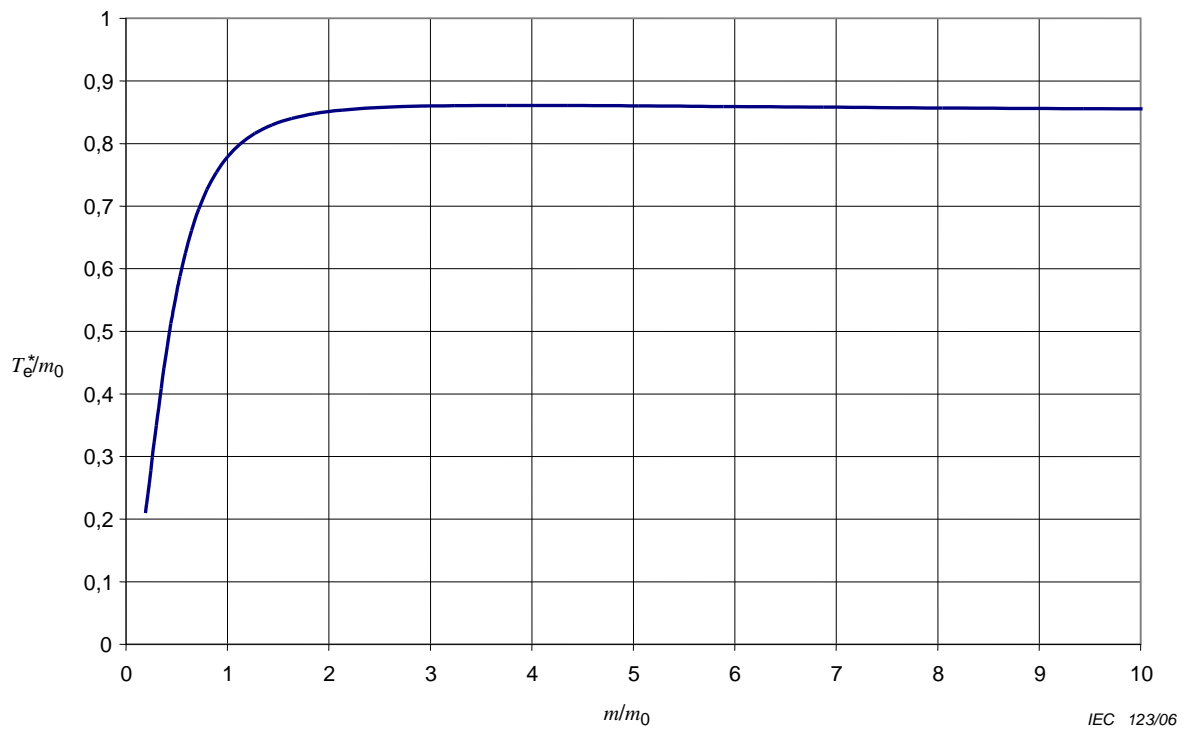


Figure A.27 – Test plan A.9 – Expected accumulated test time to decision

Annex B (normative)

Graphs for fixed time/failure terminated test plans

NOTE 1 See Clause 7.

NOTE 2 This annex uses the symbols listed in 3.2.

NOTE 3 For the figures showing expected time to decision, the straight lines (oblique line starting at (0,0), and horizontal line) are for failure terminated test with replacement. The curved lines that approach both straight lines asymptotically are for time terminated test with replacement.

B.1 Test plans B.1 to B.4

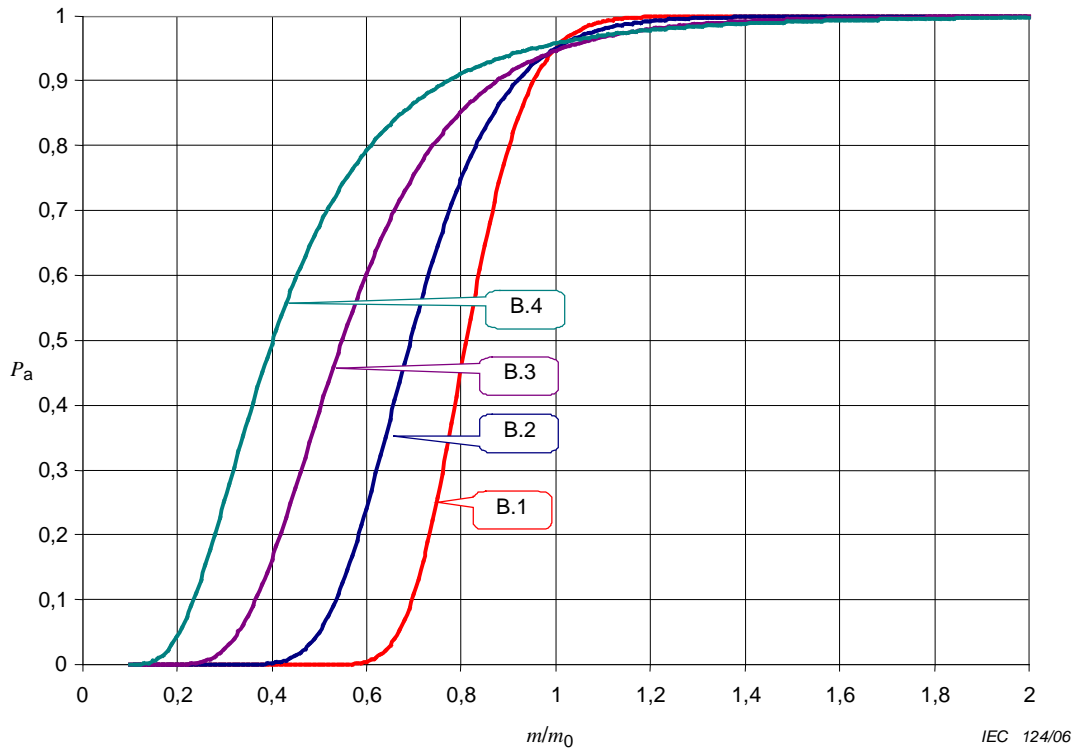


Figure B.1 – Operating characteristic curves for test plans B.1, B.2, B.3 and B.4

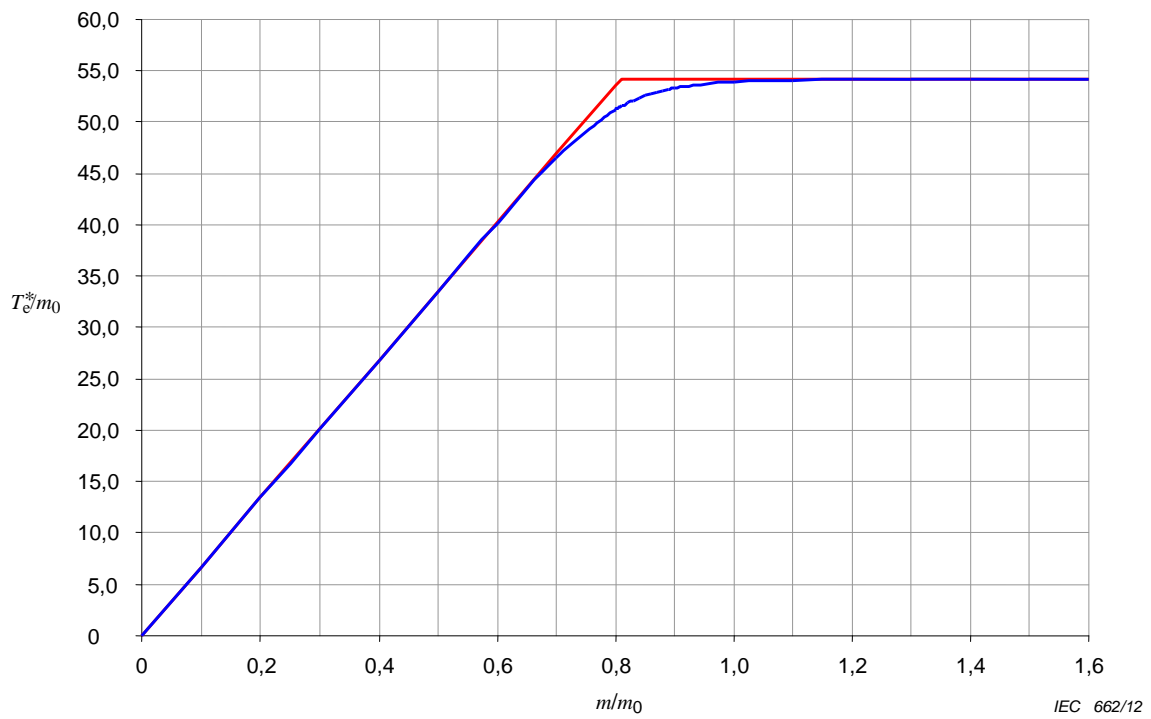


Figure B.2 – Test plan B.1 – Expected test time to decision

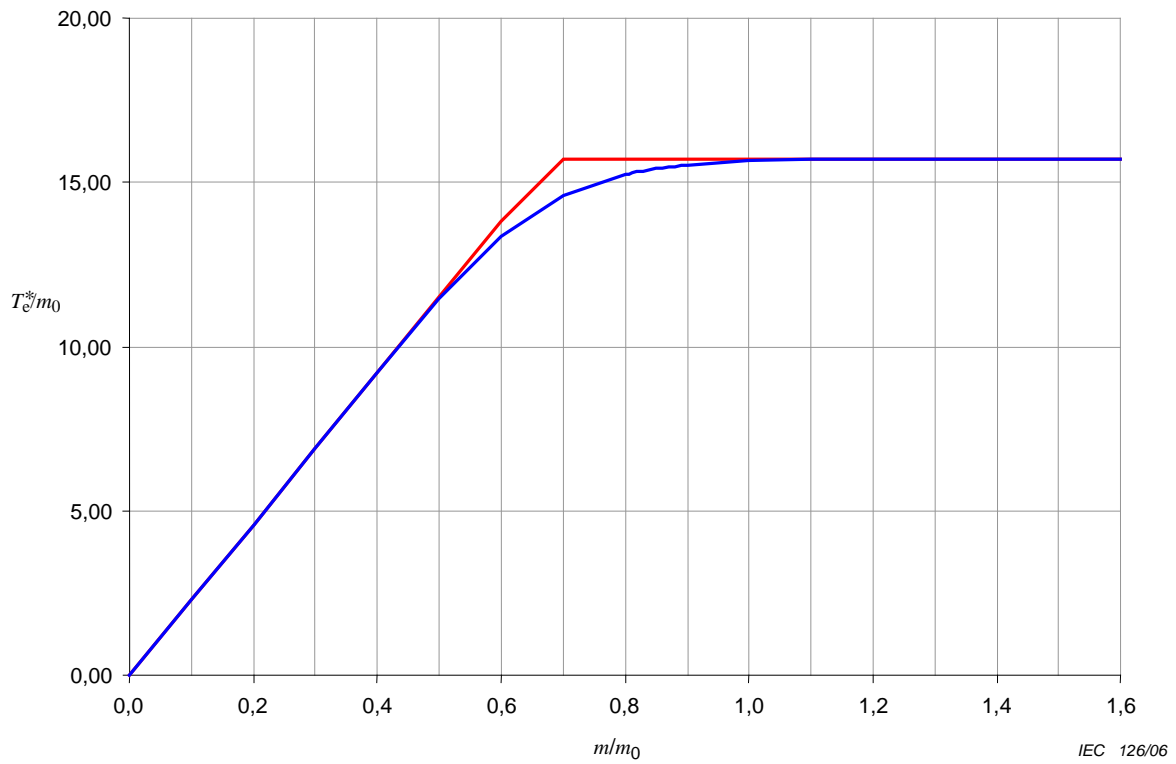


Figure B.3 – Test plan B.2 – Expected test time to decision

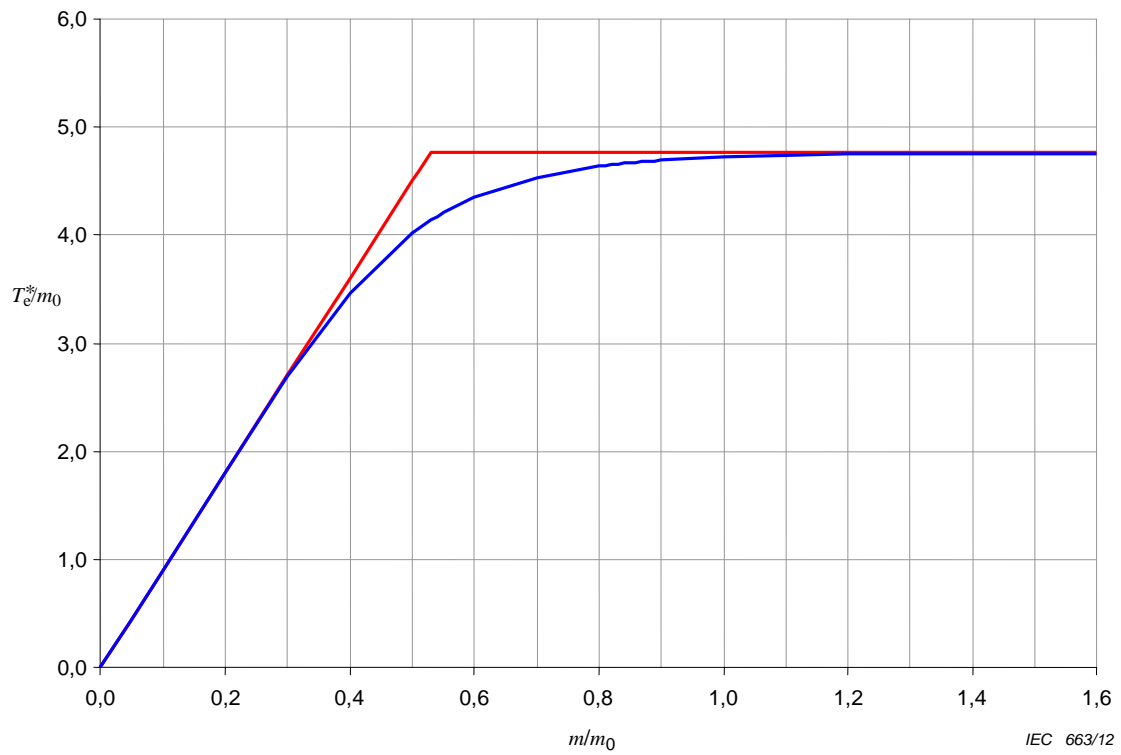


Figure B.4 – Test plan B.3 – Expected test time to decision

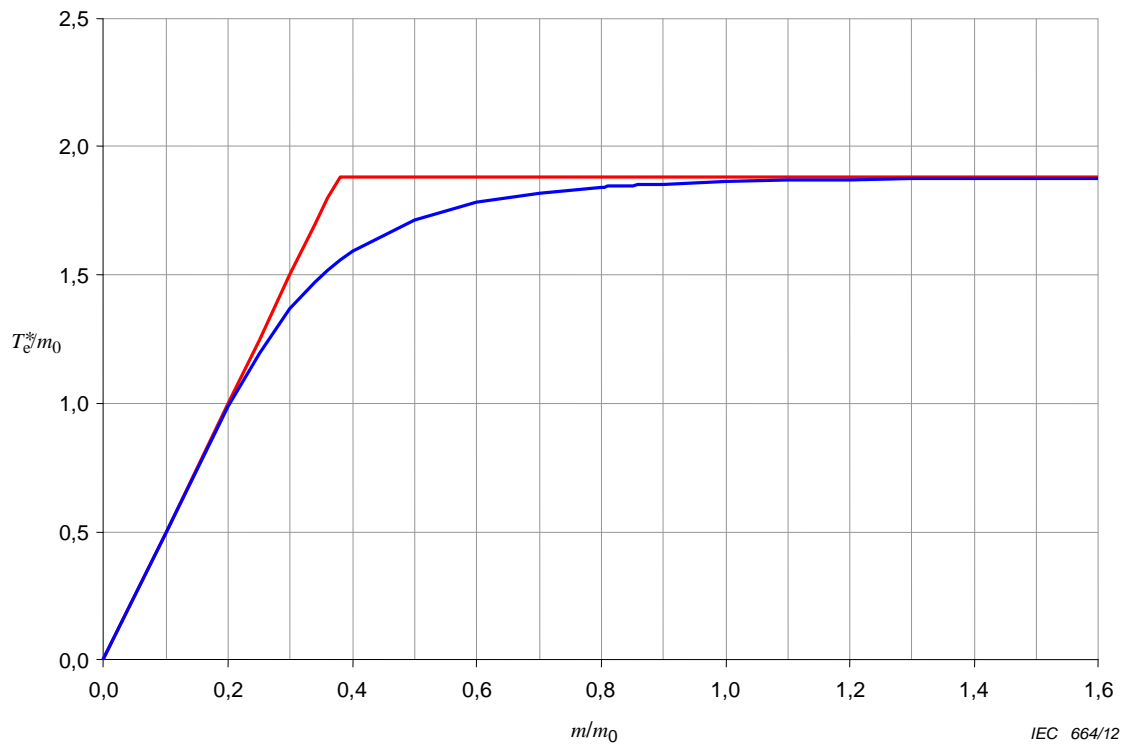


Figure B.5 – Test plan B.4 – Expected test time to decision

B.2 Test plans B.5 to B.8

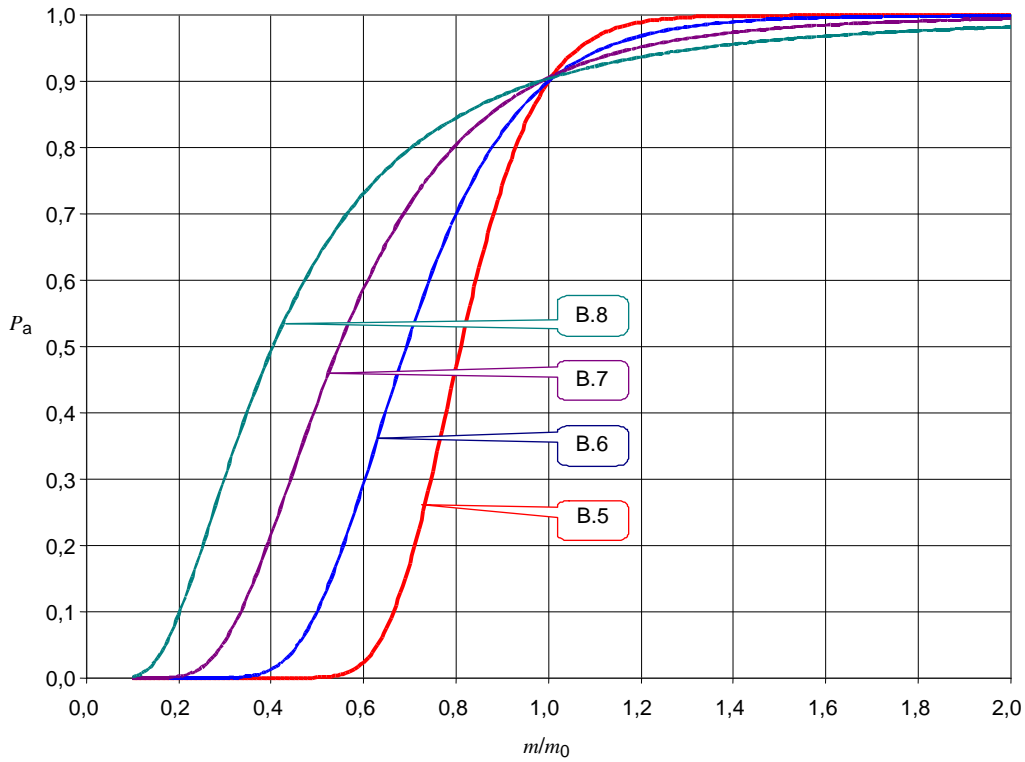


Figure B.6 – Operating characteristic curves for test plans B.5, B.6, B.7 and B.8

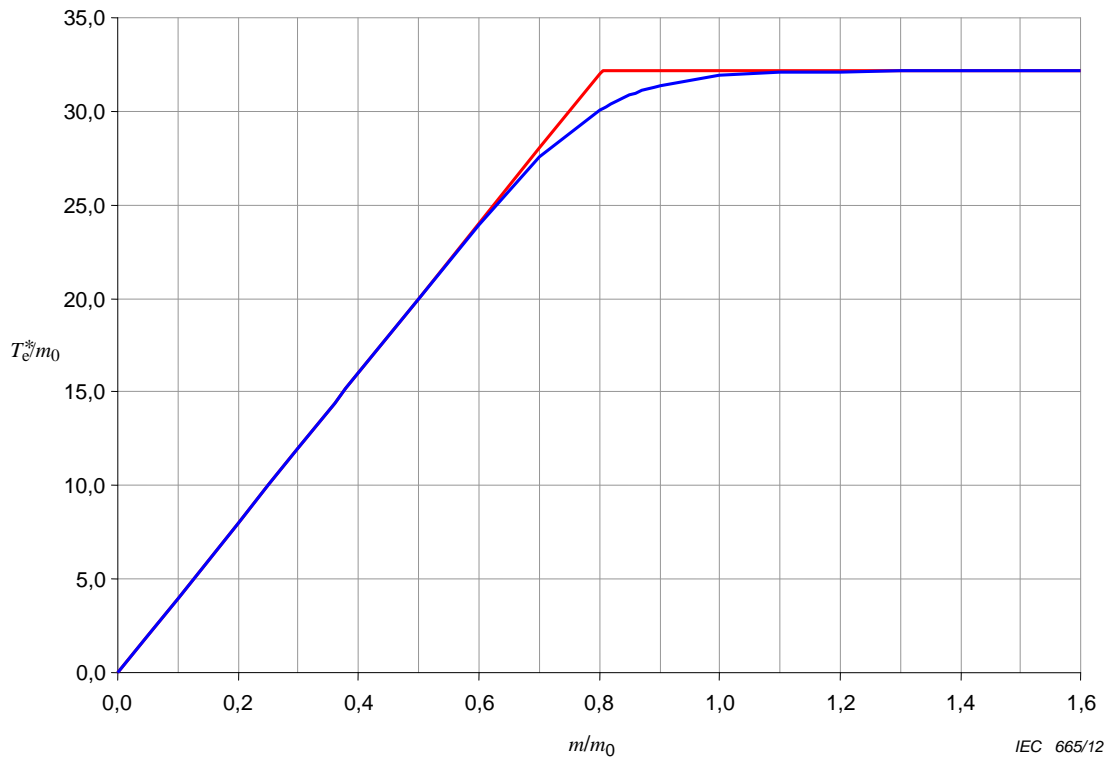


Figure B.7 – Test plan B.5 – Expected test time to decision

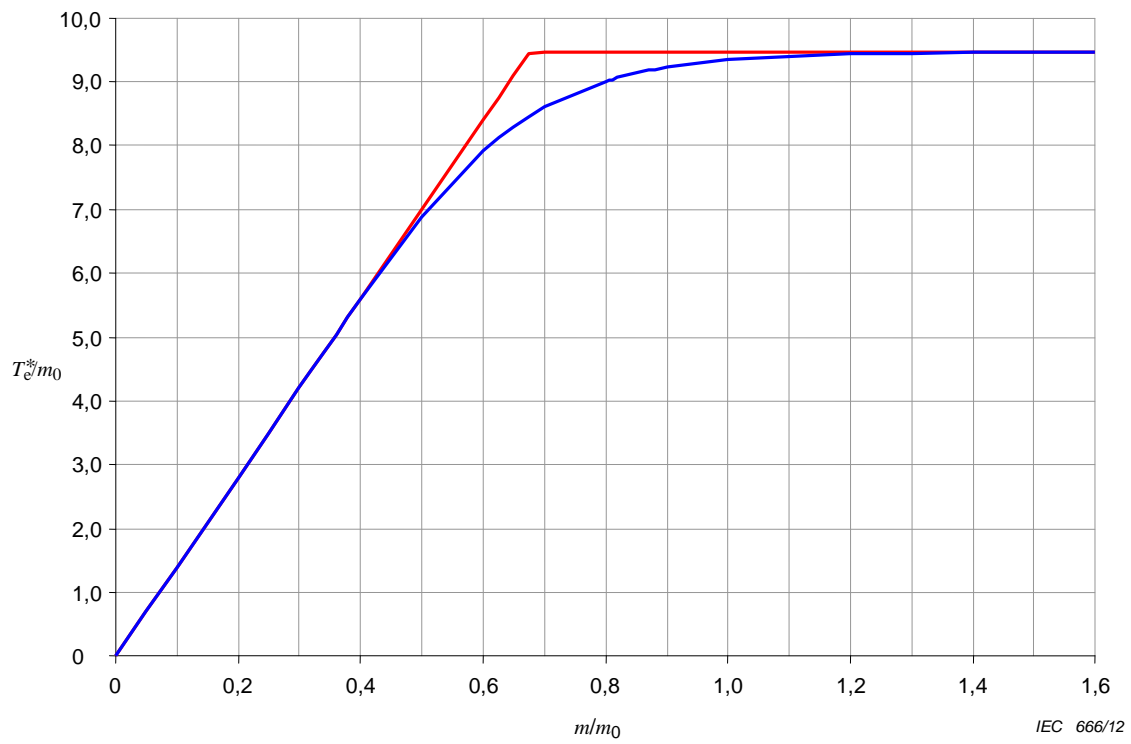


Figure B.8 – Test plan B.6 – Expected test time to decision

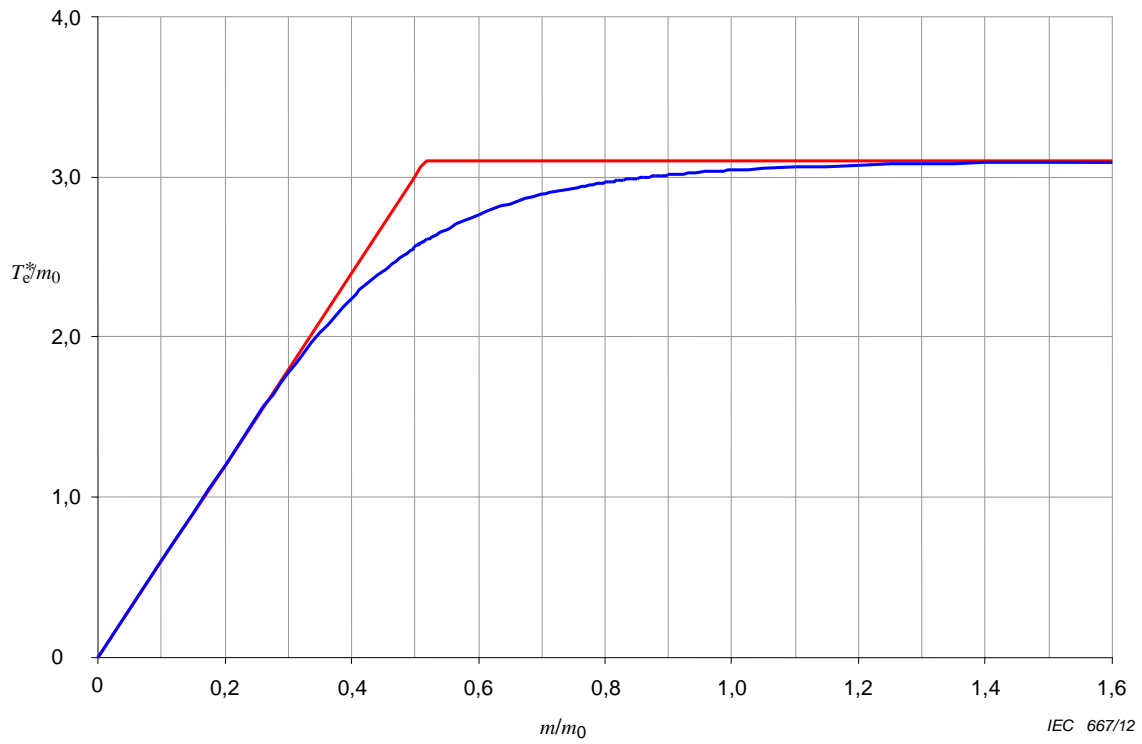


Figure B.9 – Test plan B.7 – Expected test time to decision

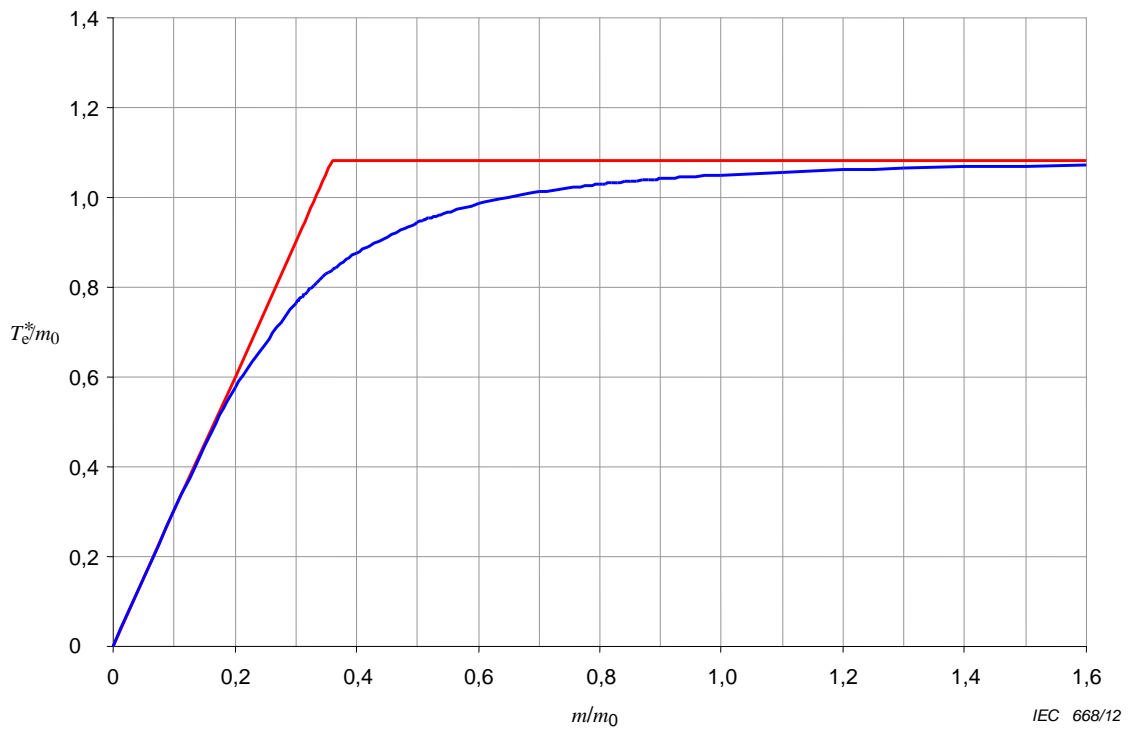


Figure B.10 – Test plan B.8 – Expected test time to decision

B.3 Test plans B.9 to B.11

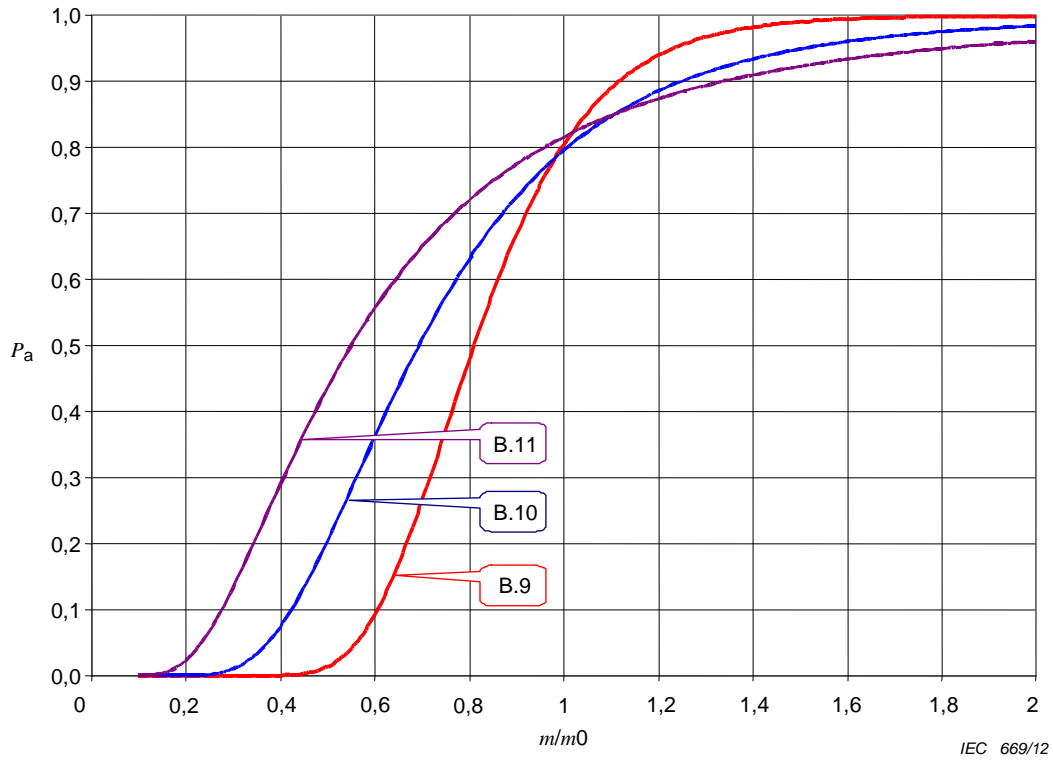


Figure B.11 – Operating characteristic curves for test plans B.9, B.10 and B.11

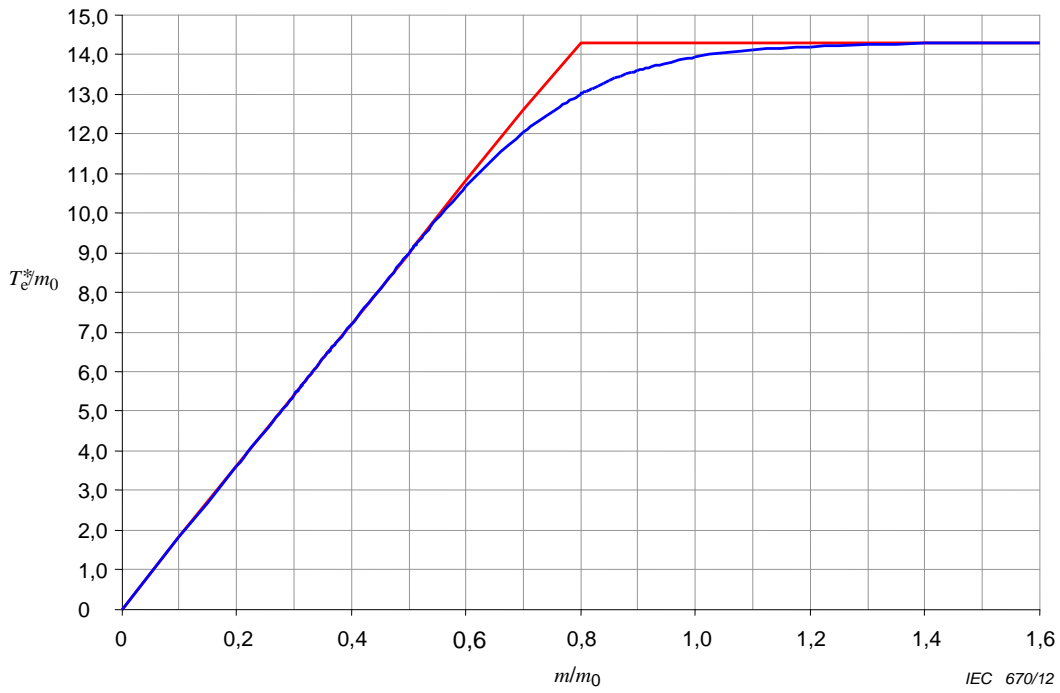


Figure B.12 – Test plan B.9 – Expected test time to decision

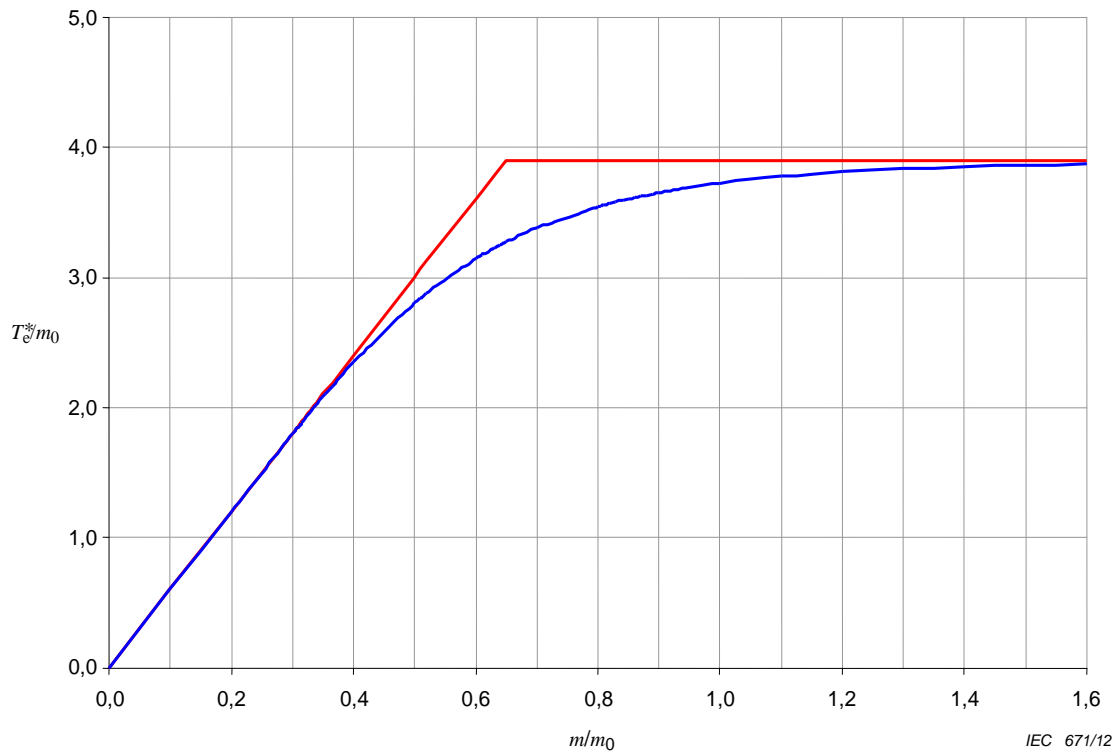


Figure B.13 – Test plan B.10 – Expected test time to decision

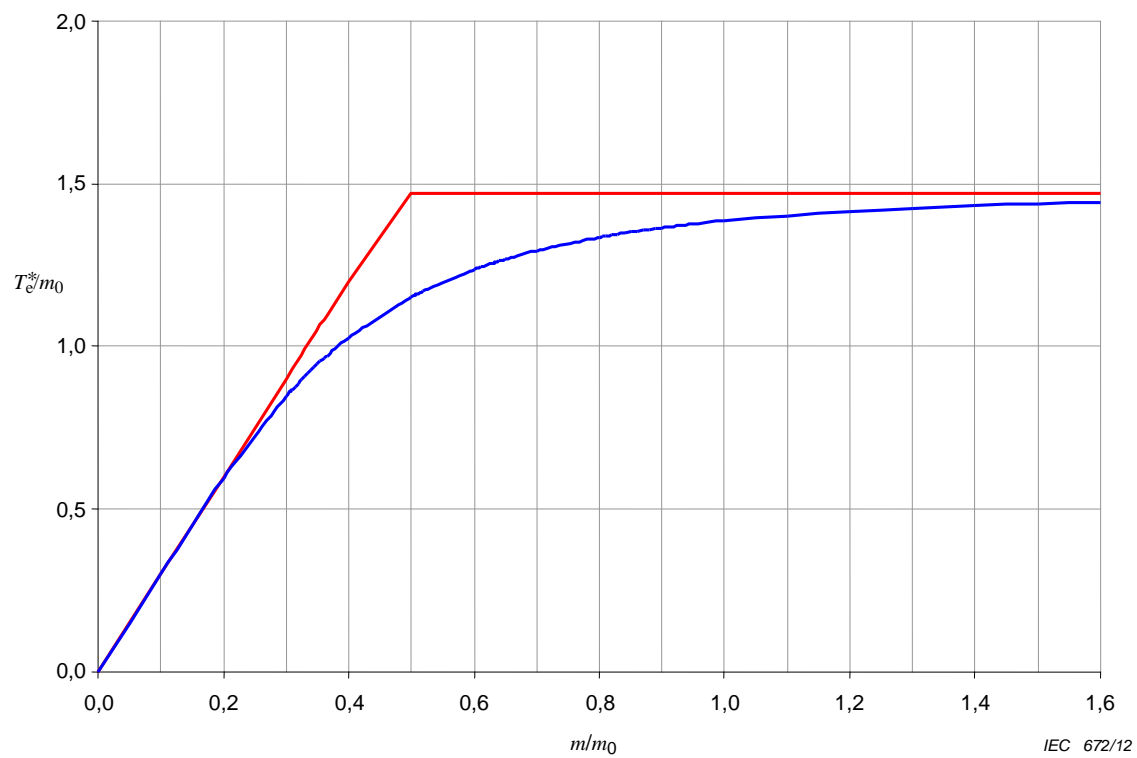


Figure B.14 – Test plan B.11– Expected test time to decision

B.4 Test plans B.12 to B.13

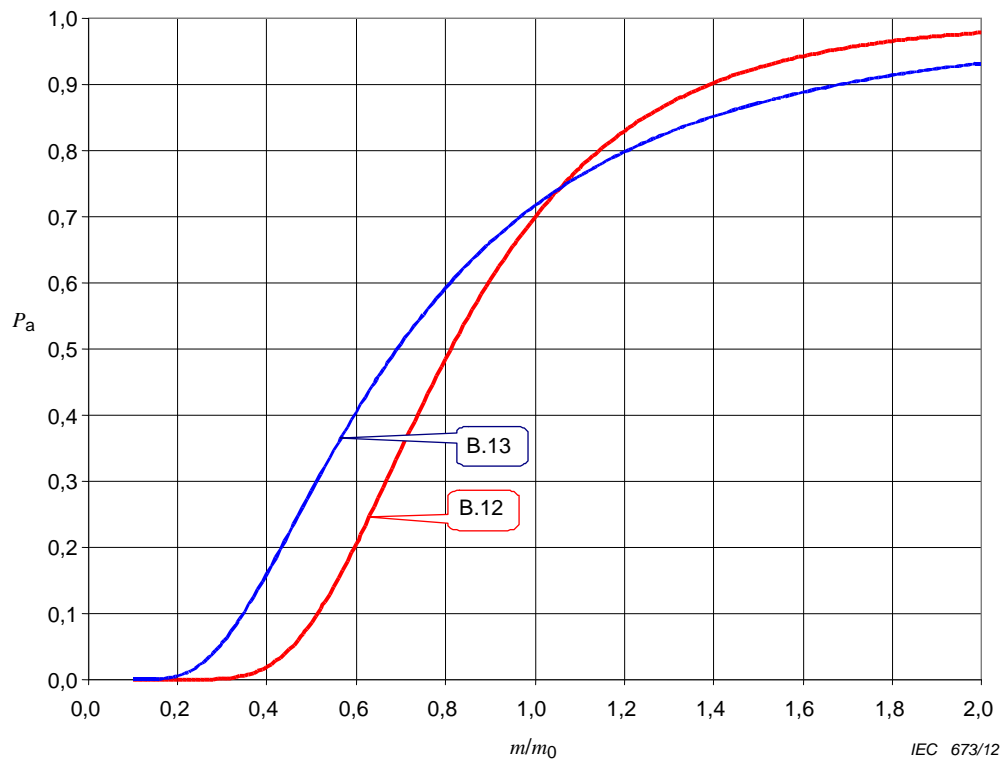


Figure B.15 – Operating characteristic curves for test plans B.12 and B.13

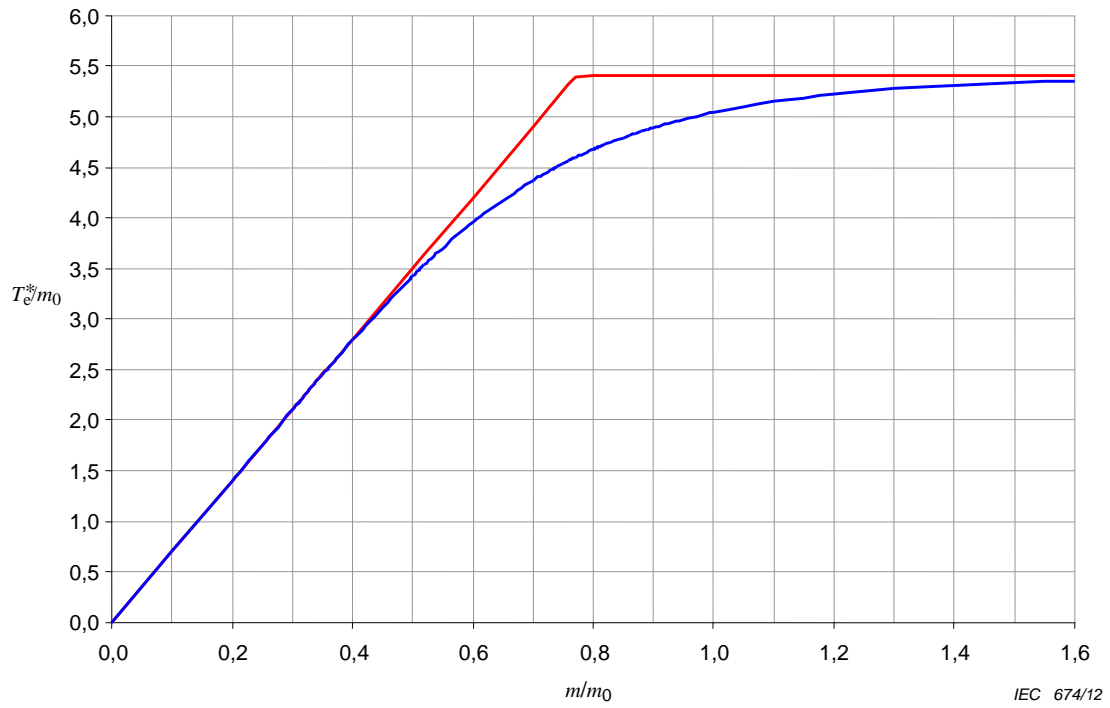


Figure B.16 – Test plan B.12 – Expected test time to decision

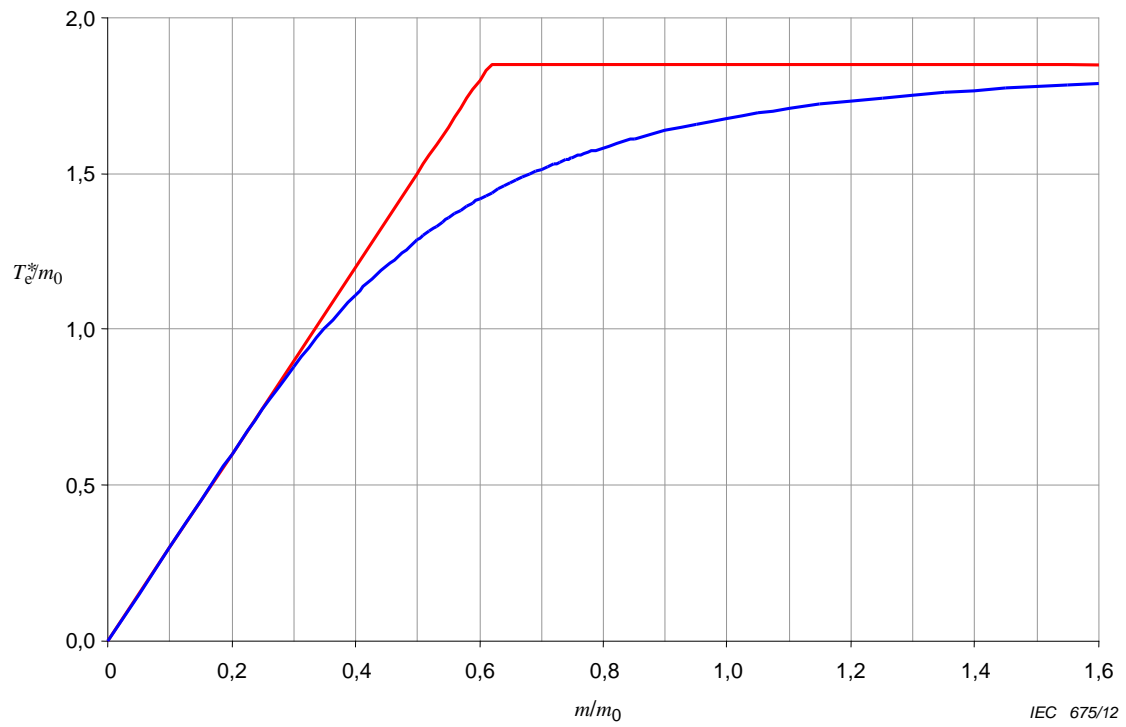


Figure B.17 – Test plan B.13 – Expected test time to decision

Annex C (normative)

Graphs for alternative time/failure terminated test plans

NOTE 1 See Clause 8.

NOTE 2 This annex uses the symbols listed in 3.2.2.

C.1 Common case, deriving c and D

This procedure is particularly suitable for cases where the following test plan parameters are specified:

- test time for each item, here assumed to be the same for all items, stated as termination criterion, t_t^* ;
- number of test items, n ;
- equal nominal producer's and consumer's risks, $\alpha = \beta$;
- maximum value of the discrimination ratio, if required.

On the basis of these parameters, the actual discrimination ratio, D and the acceptable number of failures, c , are derived using the figures in Clause C.4 as stated below.

If the derived actual discrimination ratio, D exceeds the specified maximum value, or is otherwise judged to be unsuitable, the test time shall be exceeded, or other test plan parameters modified. The calculations are then repeated and reappraised until the conditions are fulfilled.

a) General procedure

Calculate $\mu_0 = \lambda_0 \cdot t_t^* \cdot n$

If $\mu_0 < 1$, it is generally recommended to extend either test time t_t^* , or number of items n , in order to achieve suitable test plans.

b) Procedure for μ_0 between 1 and 5

- 1) In Figure C.1, find μ_0 (already calculated) on the dashed curve for the specified $\alpha = \beta$.
- 2) Find the nearest solid c curve to this point in the vertical direction, and thus determine c .
- 3) Read the discrimination ratio D from the c curve at the μ_0 value.
- 4) From this latter point, by interpolation between the dashed curves, the true $\alpha' = \beta'$ risks may be estimated; alternatively, the risks may be read from the corresponding operating characteristic curve in Figure C.2.
- 5) If the values determined for D and $\alpha' = \beta'$ are not acceptable, increase or decrease c by 1.

EXAMPLE

Specified: $\mu_0 = 2,7; \alpha = \beta = 10 \%$

To be derived: c, D, α', β'

From Figure C.1: $c = 4$ with $D = 2,75$, and $\alpha' = \beta' \approx 14 \%$

c) Procedure for μ_0 between 5 and 500

- 1) Read the discrimination ratio D in Figure C.3 for μ_0 (already calculated) on the curve for the specified $\alpha = \beta$.
- 2) Read $\Delta\mu_0$ in Figure C.4 for the μ_0 calculated on the curve for the specified $\alpha = \beta$.
- 3) Calculate c by adding $\Delta\mu_0$ and μ_0 and rounding to the nearest integer, that is $c = (\Delta\mu_0 + \mu_0)$.

EXAMPLE

Specified: $\mu_0 = 40; \alpha = \beta = 10 \%$

To be derived: c, D

From Figure C.3: $D (10 \%) = 1,45$

From Figure C.4: $c (10 \%) = (40 + 7,8)_{\text{rounded}} = 48$

C.2 Deriving risks, $\alpha = \beta$

In addition to λ_0 the following test plan parameters shall be specified:

- test time t_t^* ;
- number of test items n ;
- discrimination ratio D .

For small values of μ_0 true risks are determined; for large values of μ_0 , nominal risks $\alpha = \beta$.

a) General procedure

Calculate $\mu_0 = \lambda_0 t_t^* n$ or $\mu_0 = \lambda_0 T_t^*$.

b) Procedure for μ_0 between 1 and 5

- 1) Find in Figure C.1 the nearest c curve to the point (μ_0, D) , and thus determine c .
- 2) Read in Figure C.2, the true risks α' and β' from the corresponding operating characteristic curve for $\mu = \mu_0$ and $\mu = D\mu_0$, respectively.

EXAMPLE

Specified: $\mu_0 = 1; D = 3$

To be derived: c, α', β'

From Figure C.1: $c = 1$

From Figure C.2: $\alpha' = 26,4 \%, \beta' = 19,9 \%$

c) Procedure for r_0 between 5 and 500

- 1) Identify in Figure C.3 the point (μ_0, D) and interpolate between the $\alpha = \beta$ curves to estimate the nominal risks $\alpha = \beta$.

- 2) Use in Figure C.4 the nominal risks $\alpha = \beta$ to determine $\Delta\mu_0$ and then calculate as above, that is $c = (\Delta\mu_0 + \mu_0)$ rounded.

EXAMPLE

Specified:	$\mu_0 = 40; D = 1,5$
To be derived:	$c, \alpha = \beta$
From Figure C.3:	$\alpha = \beta \approx 8 \%$
From Figure C.4:	$\Delta\mu_0 = 8,7$ and thus $c = (48,7)_{\text{rounded}} = 49$

C.3 Deriving n or t_t^*

In addition to λ_0 , one of the following sets of test plan parameters shall be specified:

- test time t_t^* ;
risks $\alpha = \beta$;
discrimination ratio D .
- number of test items n ;
risks $\alpha = \beta$;
discrimination ratio D .

Common procedure in cases a) and b):

- find D and the μ_0 value corresponding to $\alpha = \beta$ risks, from either Figure C.1, or Figure C.3;
- use the μ_0 value to determine c from either Figure C.1 or Figure C.4;
- calculate $T_t^* = \frac{\mu_0}{\lambda_0}$ from the μ_0 value;
- using the T_t^* , calculate either the number of test items n for specified t_t^* , $n = \frac{T_t^*}{t_t^*}$, or test time t_t^* for specified n , $t_t^* = \frac{T_t^*}{n}$

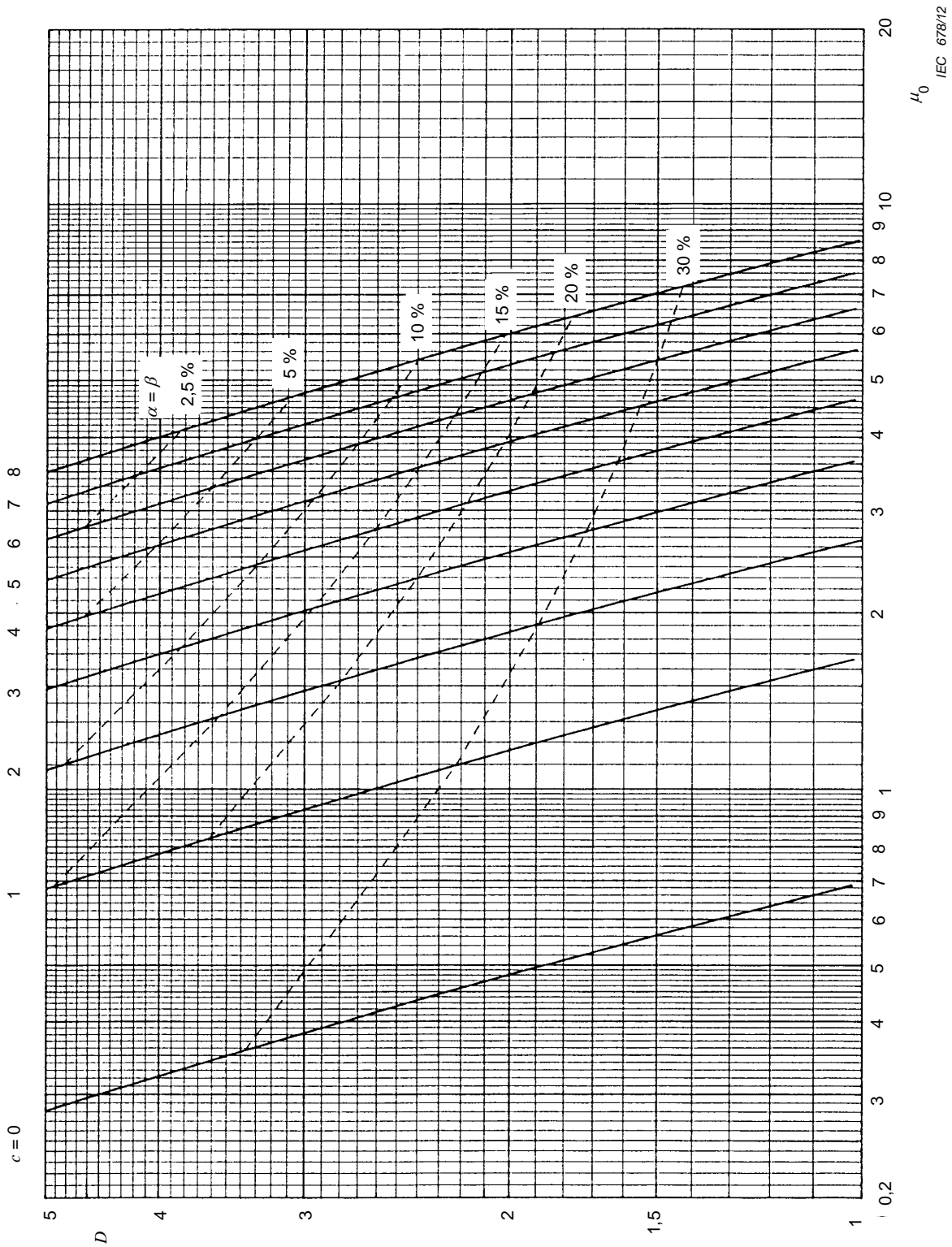


Figure C.1 – Discrimination ratio, D , and the acceptable number of failures, $c = 0$ to 8, as a function of the expected number of failures, μ_0 , for recommended values, 2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, and 30 % of $\alpha = \beta$

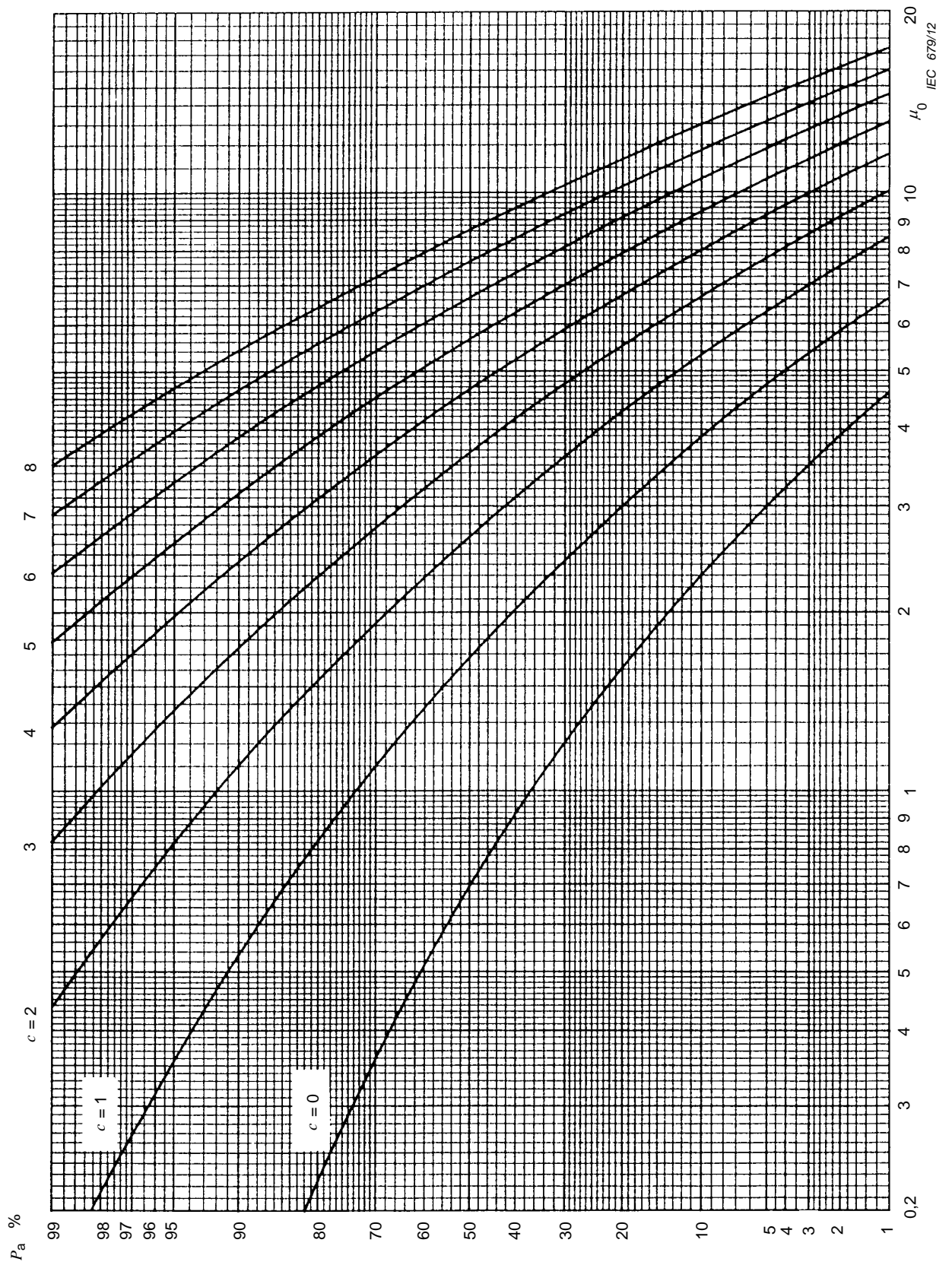


Figure C.2 – Operation characteristic curves for $c = 0$ to 8; probability of acceptance P_a as a function of the (unknown) true expected number of failures, μ_0

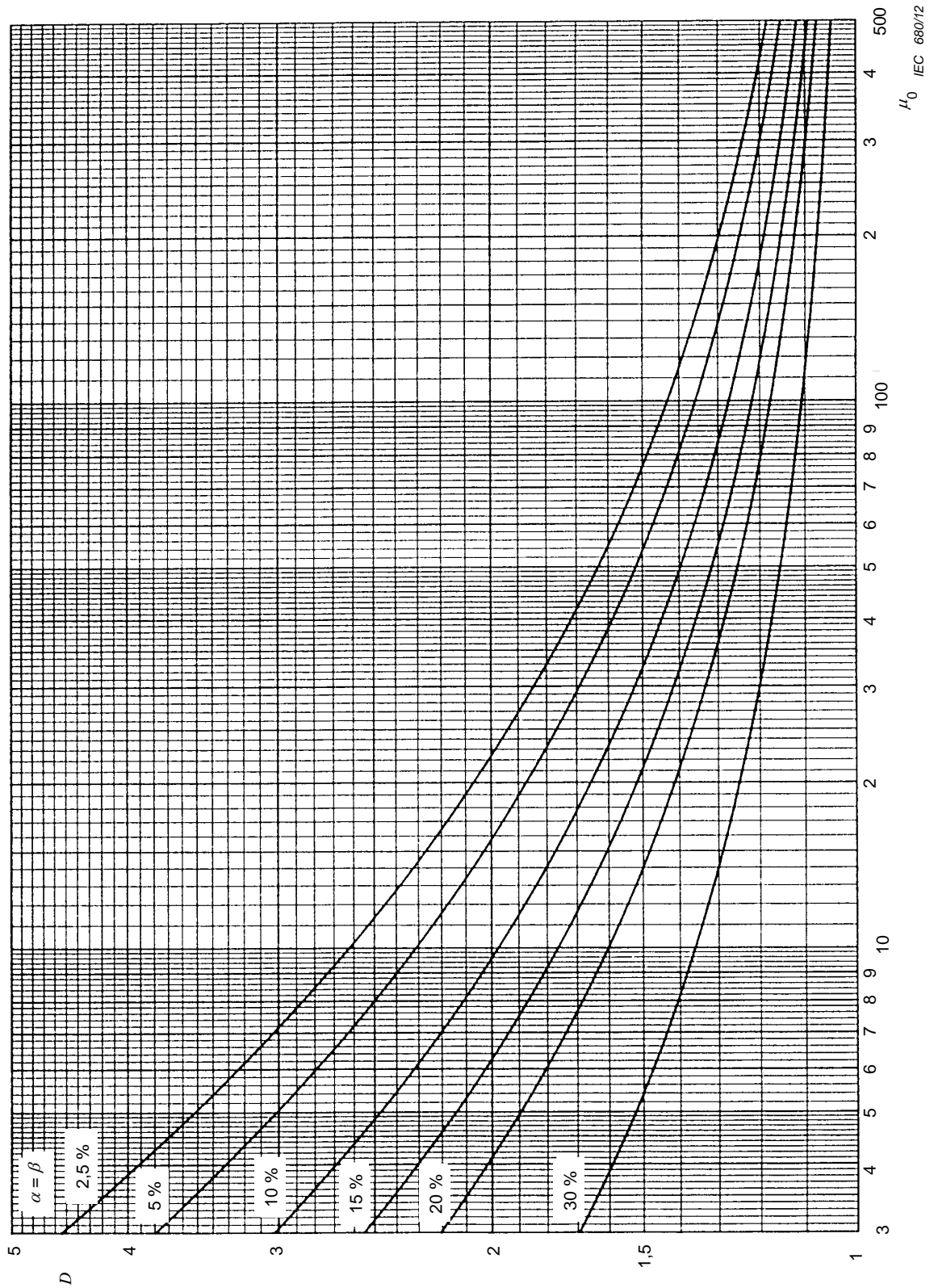


Figure C.3 – Discrimination ratio, D , as a function of the expected number of failures, μ_0 , for recommended values, 2,5 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % and 30 % of $\alpha = \beta$

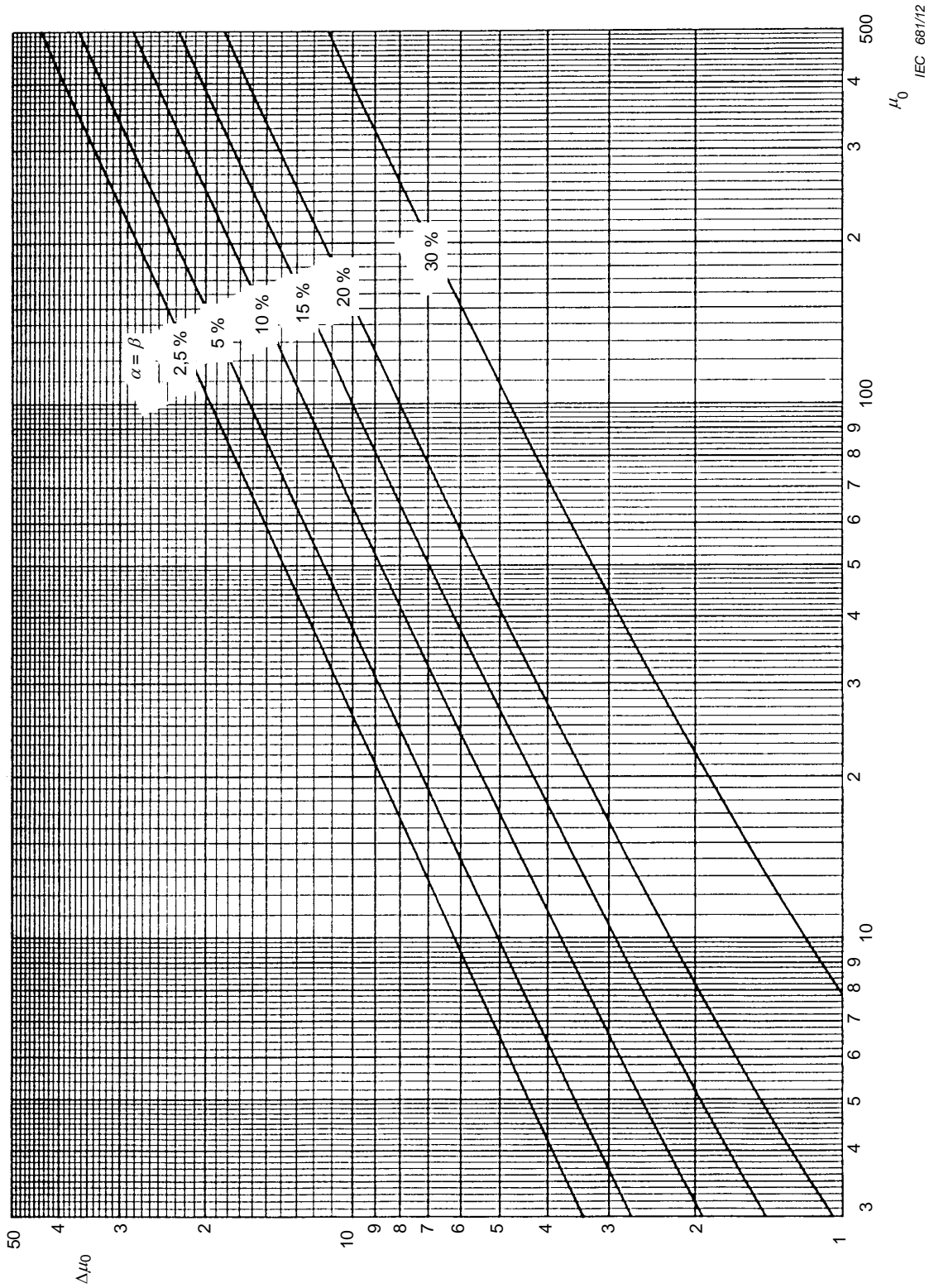


Figure C.4 – Acceptable number of failures, c , minus expected number of failures, μ_0 ($\Delta\mu_0 = c - \mu_0$) as a function of the expected number of failures μ_0 for recommended values 2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, and 30 % of $\alpha = \beta$

Annex D (normative)

Tables and graphs for combined test plans and additional sequential test plans

NOTE 1 This annex uses the symbols listed in 3.2.2.

NOTE 2 This annex contains sequential test plans and combined test plans from GOST R 27.402.

D.1 General

The combined test plans bring together the advantages of time/failure terminated test plans (test plans B, Clause 7) with the advantages of the sequential test plans (see Clause 6). They reduce the test time for highly reliable test items, while they do not reject low reliability items early. They require about the same administrative work as the sequential test plans.

More test plans of these types can be found in GOST R 27.402.

Annex D contains the test plans listed in Table D.1 and D.2.

Table D.1 – Sequential test plans in this annex

Sequential test plans C <i>D = 1,7</i>		α				
		5 %	10 %	15 %	20 %	30 %
β	5 %	C1	C2	C4		
	10 %		C3		C5	
	20 %				C6	C7
	30 %					C8

Table D.2 – Combined test plans in this annex

Combined test plans D <i>D = 1,7</i>		α				
		5 %	10 %	15 %	20 %	30 %
β	5 %	D1	D2	D4		
	10 %		D3		D5	
	20 %				D6	D7
	30 %					D8

For each test plan, the following parameters are listed in tables and plotted:

- the accept and reject lines as the number of failures r as a function of the normalized accumulated test time T^*/m_0 ;
- the expected test time T_e^* as a function of the normalized accumulated test time T^*/m_0 ;
- the expected test time to acceptance T_e^* (+) as a function of normalized accumulated test time T^*/m_0 ;

- the operating characteristic P_a as a function of the normalized accumulated test time T^*/m_0 .

In order to make it easy to compare the test plans of type C and D they are plotted in the same figures.

D.2 Test plans C1 and D1 – $\alpha = 5\%$; $\beta = 5\%$; $D = 1,7$

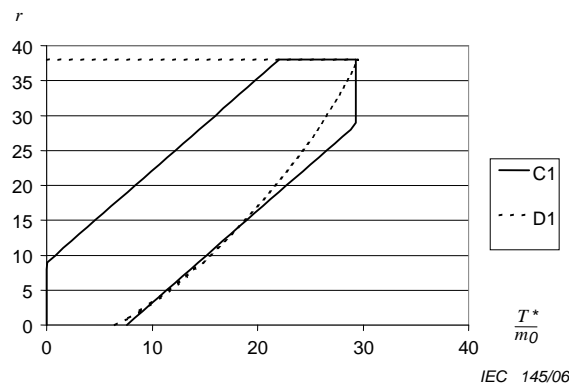


Figure D.1 – Accept and reject lines

Table D.3 – Accept and reject lines

Failures r	Accumulated test time T^* / m_0				Failures r	Accumulated test time T^* / m_0			
	Plan C1		Plan D1			Plan C1		Plan D1	
	Reject	Accept	Reject	Accept		Reject	Accept	Reject	Accept
0	0,000 0	7,584 0	No	6,454 0	21	9,161 7	23,502 8	No	22,187 8
1	0,000 0	8,342 0	No	7,769 1	22	9,919 7	24,260 9	No	22,714 3
2	0,000 0	9,100 1	No	8,877 6	23	10,677 8	25,018 9	No	23,228 6
3	0,000 0	9,858 1	No	9,875 2	24	11,435 8	25,770 0	No	23,730 9
4	0,000 0	10,616 2	No	10,799 0	25	12,193 8	26,535 0	No	24,221 4
5	0,000 0	11,374 2	No	11,668 3	26	12,951 9	27,293 0	No	24,699 9
6	0,000 0	12,132 2	No	12,494 5	27	13,709 9	28,051 1	No	25,166 6
7	0,000 0	12,890 3	No	13,285 2	28	14,468 0	28,809 1	No	25,621 3
8	0,000 0	13,648 3	No	14,045 7	29	15,226 0	29,300 0	No	26,064 0
9	0,065 2	14,406 4	No	14,780 0	30	15,984 0	29,300 0	No	26,494 4
10	0,823 2	15,164 4	No	15,490 8	31	16,742 1	29,300 0	No	26,912 5
11	1,581 3	15,922 4	No	16,180 6	32	17,500 1	29,300 0	No	27,317 9
12	2,339 3	16,680 5	No	16,851 0	33	18,258 2	29,300 0	No	27,710 4
13	3,097 4	17,438 5	No	17,503 6	34	19,016 2	29,300 0	No	28,089 5
14	3,855 4	18,196 6	No	18,139 5	35	19,774 2	29,300 0	No	28,455 0
15	4,613 4	18,954 8	No	18,759 7	36	20,532 3	29,300 0	No	28,806 1
16	5,371 5	19,712 6	No	19,365 0	37	21,290 3	29,300 0	No	29,142 5
17	6,129 5	20,470 7	No	19,956 1	$r_0=38$	22,048 4	29,300 0	No	29,463 2
18	6,887 6	21,228 7	No	20,533 5	39	29,300 0	N/A	Always	N/A
19	7,645 6	21,986 8	No	21,097 7	Always reject at 39 failures or more.				
20	8,403 6	22,744 8	No	21,649 0					

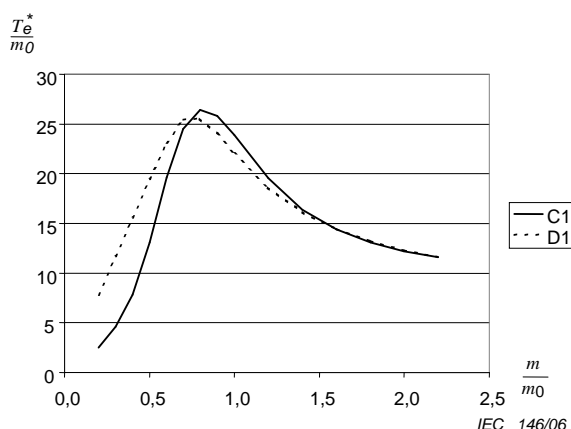


Figure D.2 – Expected test time to decision T_e^*

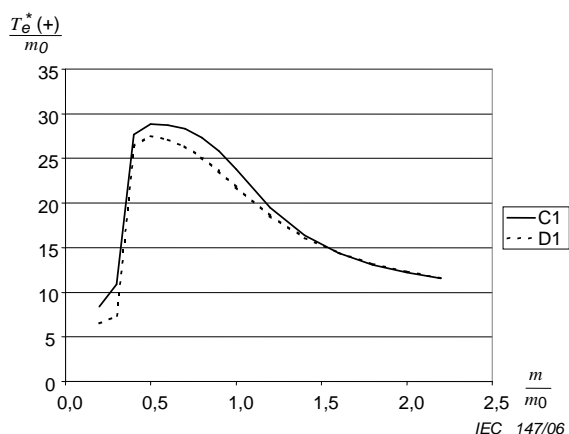


Figure D.3 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$

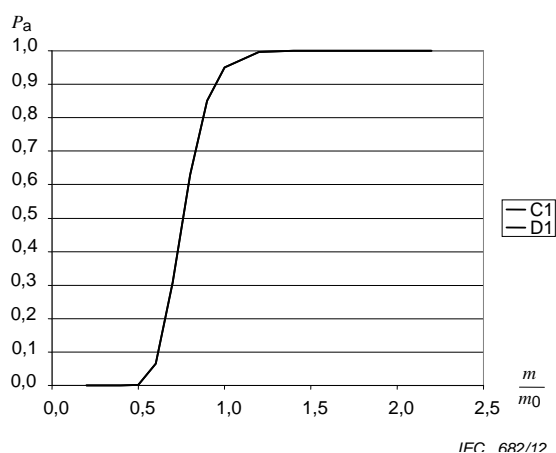


Figure D.4 – Operating characteristic P_a

Table D.4 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a

m/m_0	Plan C1		Plan D1		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C1	Plan D1
0,2	2,532 8	8,371 5	7,800 0	6,521 7	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	4,617 3	10,888 0	11,700 0	7,395 5	0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	7,856 3	27,663 2	15,600 0	26,378 9	0,4	0,000 0	0,000 0
0,5	13,088 4	28,835 8	19,491 9	27,529 9	0,5	0,002 7	0,002 8
0,6	19,581 8	28,750 9	23,130 9	27,132 5	0,6	0,065 4	0,065 3
0,7	24,518 7	28,297 4	25,429 1	26,321 9	0,7	0,308 1	0,307 7
0,8	26,413 6	27,352 6	25,521 9	25,110 6	0,8	0,630 1	0,629 6
0,9	25,803 0	25,803 4	24,045 0	23,544 0	0,9	0,850 2	0,849 9
1,0	23,890 9	23,763 9	22,065 4	21,791 0	1,0	0,950 0	0,950 0
1,2	19,540 9	19,512 2	18,568 9	18,532 2	1,2	0,995 9	0,996 0
1,4	16,383 8	16,381 1	16,132 9	16,129 7	1,4	0,999 7	0,999 7
1,6	14,388 4	14,388 2	14,449 0	14,448 7	1,6	1,000 0	1,000 0
1,8	13,097 7	13,097 7	13,239 0	13,239 0	1,8	1,000 0	1,000 0
2,0	12,212 3	12,212 3	12,335 6	12,335 5	2,0	1,000 0	1,000 0
2,2	11,570 8	11,570 8	11,638 4	11,638 4	2,2	1,000 0	1,000 0

D.3 Test plans C2 and D2 – $\alpha = 10 \%$, $\beta = 5 \%$; $D = 1,7$

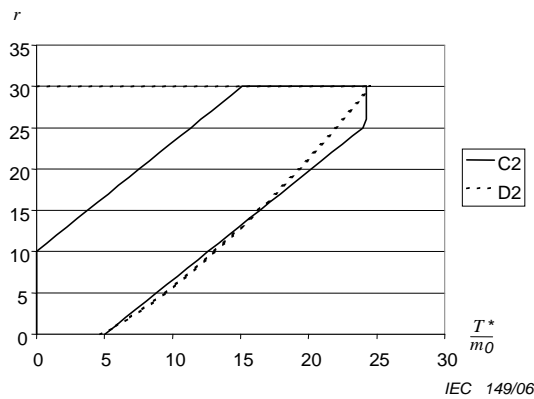


Figure D.5 – Accept and reject lines

Table D.5 – Accept and reject lines

Failures <i>r</i>	Accumulated test time T^*/m_0			
	Plan C2		Plan D2	
	Reject	Accept	Reject	Accept
0	0,000 0	5,032 9	No	4,721 9
1	0,000 0	5,790 9	No	5,895 8
2	0,000 0	6,549 0	No	6,899 3
3	0,000 0	7,307 0	No	7,812 9
4	0,000 0	8,065 1	No	8,667 4
5	0,000 0	8,823 1	No	9,478 7
6	0,000 0	9,581 1	No	10,256 1
7	0,000 0	10,339 2	No	11,005 8
8	0,000 0	11,097 2	No	11,732 2
9	0,000 0	11,855 3	No	12,438 3
10	0,000 0	12,613 3	No	13,126 6
11	0,720 1	13,371 3	No	13,798 8
12	1,478 2	14,129 4	No	14,456 3
13	2,236 2	14,887 4	No	15,100 5
14	2,994 3	15,645 5	No	15,732 1
15	3,752 3	16,403 5	No	16,352 1
16	4,510 3	17,161 5	No	16,961 0
17	5,268 4	17,919 6	No	17,559 4
18	6,026 4	18,677 6	No	18,147 8
19	6,784 5	19,435 7	No	18,726 5
20	7,542 5	20,193 7	No	19,295 9
21	8,300 5	20,951 7	No	19,856 3
22	9,058 6	21,709 8	No	20,407 8
23	9,816 6	22,467 8	No	20,950 6
24	10,574 7	23,225 9	No	21,485 0
25	11,332 7	23,983 9	No	22,011 0
26	12,090 7	24,240 0	No	22,528 7
27	12,848 8	24,240 0	No	23,038 1
28	13,606 8	24,240 0	No	23,539 3
29	14,364 9	24,240 0	No	24,032 3
$r_0=30$	15,122 9	24,240 0	No	24,517 0
31	24,240 0	N/A	Always	N/A
Always reject at 31 failure or more.				

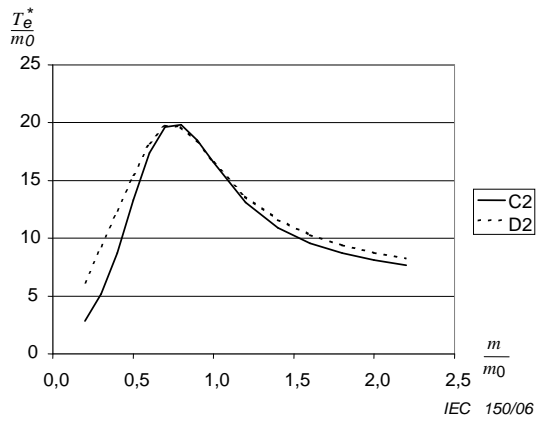


Figure D.6 – Expected test time to decision T_e^*

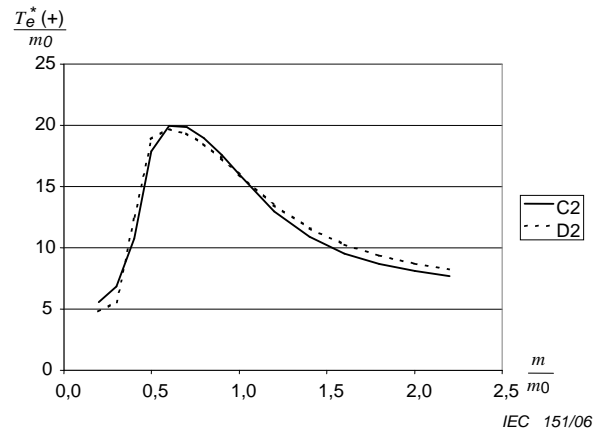


Figure D.7 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$

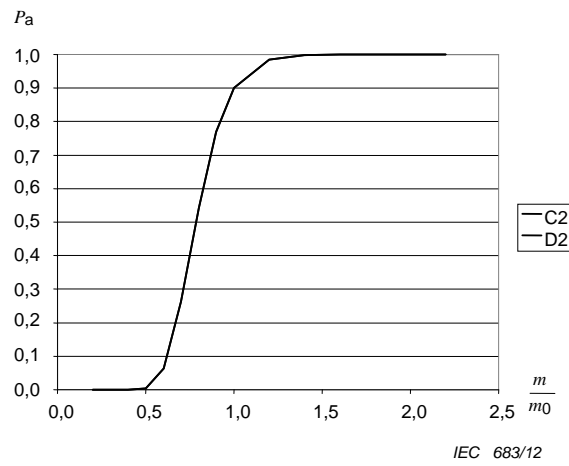


Figure D.8 – Operating characteristic P_a

Table D.6 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a

m/m_0	Plan C2		Plan D2			m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$			Plan C2	Plan D2
0,2	2,841 4	5,555 5	6,200 0	4,815 2		0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	5,181 1	6,828 7	9,300 0	5,559 4		0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	8,722 1	10,738 8	12,399 6	12,548 4		0,4	0,000 1	0,000 0
0,5	13,311 2	17,895 5	15,475 8	18,847 2		0,5	0,004 6	0,004 4
0,6	17,370 8	19,933 3	18,230 3	19,709 2		0,6	0,063 2	0,063 3
0,7	19,643 2	19,857 7	19,790 5	19,350 6		0,7	0,261 5	0,262 5
0,8	19,816 8	18,948 8	19,643 2	18,478 7		0,8	0,541 4	0,542 3
0,9	18,491 3	17,571 7	18,306 8	17,300 3		0,9	0,769 0	0,769 3
1,0	16,576 0	15,975 4	16,586 0	15,977 0		1,0	0,900 0	0,900 0
1,2	13,116 9	12,980 5	13,602 0	13,471 0		1,2	0,985 6	0,985 5
1,4	10,896 7	10,875 5	11,615 2	11,595 0		1,4	0,998 2	0,998 2
1,6	9,551 8	9,548 9	10,307 9	10,305 1		1,6	0,999 8	0,999 8
1,8	8,692 3	8,691 9	9,402 6	9,402 2		1,8	1,000 0	1,000 0
2,0	8,104 4	8,104 3	8,743 7	8,743 6		2,0	1,000 0	1,000 0
2,2	7,678 6	7,678 6	8,244 3	8,244 3		2,2	1,000 0	1,000 0

D.4 Test plans C3 and D3 – $\alpha = 10 \%$; $\beta = 10 \%$; $D = 1,7$

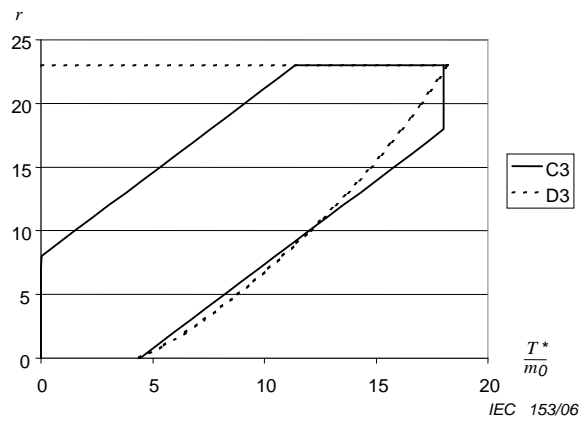


Figure D.9 – Accept and reject lines

Table D.7 – Accept and reject lines

Failures <i>r</i>	Accumulated test time T^*/m_0			
	Plan C3		Plan D3	
	Reject	Accept	Reject	Accept
0	0,000 0	4,429 4	no	4,426 4
1	0,000 0	5,187 4	No	5,531 2
2	0,000 0	5,945 5	No	6,466 4
3	0,000 0	6,703 5	No	7,310 1
4	0,000 0	7,461 6	No	8,092 4
5	0,000 0	8,219 6	No	8,828 6
6	0,000 0	8,977 6	No	9,527 8
7	0,000 0	9,735 7	No	10,196 1
8	0,015 2	10,493 7	No	10,837 4
9	0,773 2	11,251 8	No	11,454 8
10	1,531 2	12,009 8	No	12,050 3
11	2,289 3	12,767 8	No	12,625 7
12	3,047 3	13,525 9	No	13,182 2
13	3,805 4	14,283 9	No	13,720 6
14	4,563 4	15,042 0	No	14,241 7
15	5,321 4	15,800 0	No	14,745 9
16	6,079 5	16,558 0	No	15,233 7
17	6,837 5	17,316 1	No	15,705 1
18	7,595 6	18,030 0	No	16,160 2
19	8,353 6	18,030 0	No	16,599 0
20	9,111 6	18,030 0	No	17,021 1
21	9,869 7	18,030 0	No	17,426 3
22	10,627 7	18,030 0	No	17,814 1
$r_0=23$	11,385 8	18,030 0	No	18,183 9
24	18,030 0	N/A	Always	N/A
Always reject at 24 failures or more.				

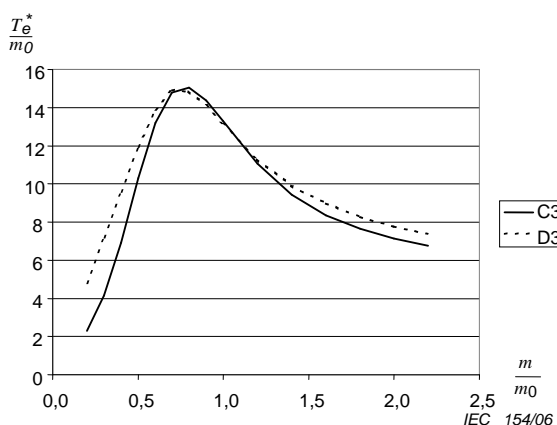


Figure D.10 – Expected test time to decision T_e^*

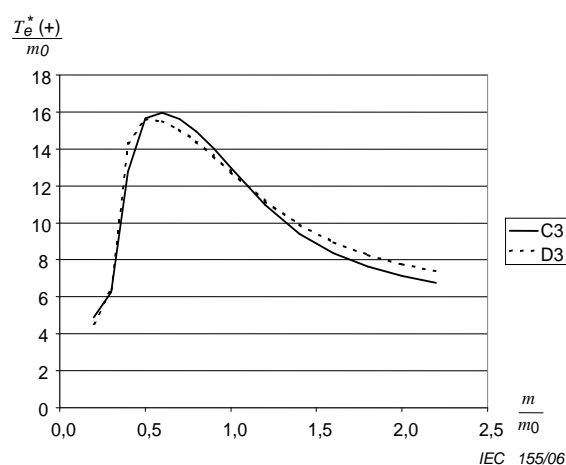
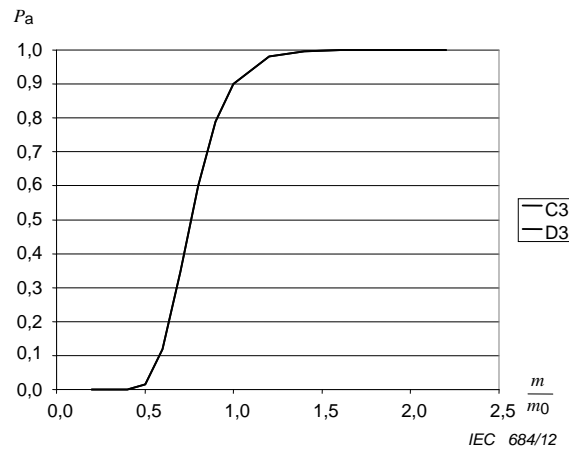


Figure D.11 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$

Figure D.12 – Operating characteristic P_a Table D.8 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a

m/m_0	Plan C3		Plan D3		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C3	Plan D3
0,2	2,279 1	4,889 3	4,800 0	4,551 2	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	4,152 5	6,242 3	7,200 0	6,422 1	0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	6,920 1	12,759 5	9,598 8	14,294 0	0,4	0,000 4	0,000 3
0,5	10,295 5	15,650 0	11,948 4	15,586 3	0,5	0,015 8	0,015 6
0,6	13,183 2	15,972 7	13,908 6	15,505 1	0,6	0,119 3	0,119 4
0,7	14,790 4	15,625 2	14,912 4	15,058 8	0,7	0,346 6	0,346 9
0,8	15,042 6	14,932 3	14,848 0	14,404 8	0,8	0,600 7	0,600 9
0,9	14,369 1	14,011 9	14,104 9	13,618 1	0,9	0,789 8	0,789 9
1,0	13,279 6	12,974 4	13,116 6	12,772 8	1,0	0,900 0	0,900 0
1,2	11,071 8	10,967 5	11,274 0	11,170 4	1,2	0,980 7	0,980 7
1,4	9,446 8	9,422 2	9,926 5	9,902 9	1,4	0,996 5	0,996 5
1,6	8,365 2	8,360 0	8,979 9	8,975 0	1,6	0,999 4	0,999 4
1,8	7,638 1	7,637 0	8,296 6	8,295 6	1,8	0,999 9	0,999 9
2,0	7,129 0	7,128 8	7,785 3	7,785 1	2,0	1,000 0	1,000 0
2,2	6,756 8	6,756 7	7,390 2	7,390 2	2,2	1,000 0	1,000 0

D.5 Test plans C4 and D4 – $\alpha = 15\%$; $\beta = 5\%$; $D = 1,7$

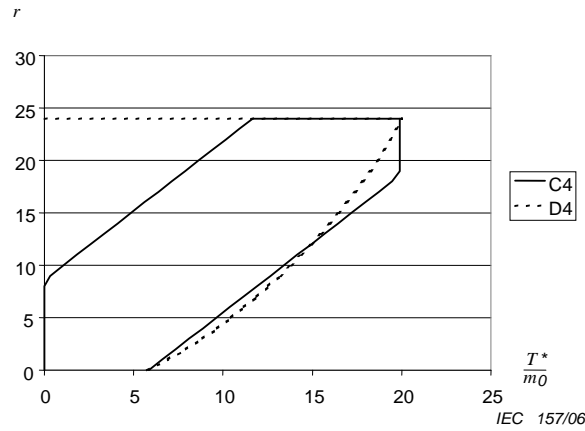


Figure D.13 – Accept and reject lines

Table D.9 – Accept and reject lines

Failures <i>r</i>	Accumulated test time T^*/m_0			
	Plan C4		Plan D4	
	Reject	Accept	Reject	Accept
0	0,000 0	5,836 6	No	5,732 0
1	0,000 0	6,594 6	No	6,946 2
2	0,000 0	7,352 7	No	7,960 5
3	0,000 0	8,110 7	No	8,865 7
4	0,000 0	8,868 8	No	9,697 2
5	0,000 0	9,626 8	No	10,473 0
6	0,000 0	10,384 8	No	11,204 0
7	0,000 0	11,142 9	No	11,897 4
8	0,000 0	11,900 9	No	12,558 0
9	0,303 2	12,659 0	No	13,189 4
10	1,061 3	13,417 0	No	13,794 1
11	1,819 3	14,175 0	No	14,374 2
12	2,577 3	14,933 1	No	14,931 2
13	3,335 4	15,691 1	No	15,466 1
14	4,093 4	16,449 2	No	15,979 8
15	4,851 5	17,207 2	No	16,472 9
16	5,609 5	17,965 2	No	16,945 8
17	6,367 5	18,723 3	No	17,398 7
18	7,125 6	19,481 3	No	17,831 5
19	7,883 6	19,900 0	No	18,244 3
20	8,641 7	19,900 0	No	18,636 7
21	9,399 7	19,900 0	No	19,008 2
22	10,157 7	19,900 0	No	19,358 1
23	10,915 8	19,900 0	No	19,685 7
$r_0=24$	11,673 8	19,900 0	No	19,989 8
25	19,900 0	N/A	Always	N/A
Always reject at 25 failures or more.				

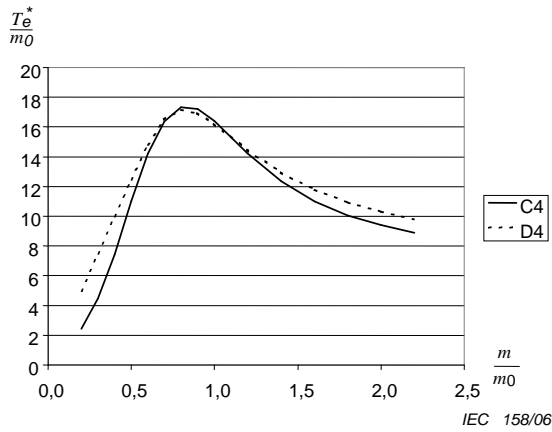


Figure D.14 – Expected test time to decision T_e^*

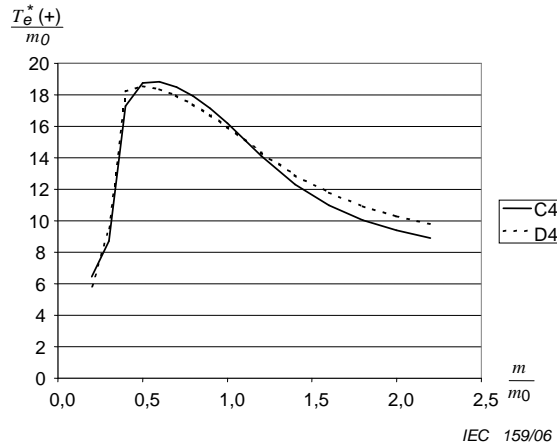


Figure D.15 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$

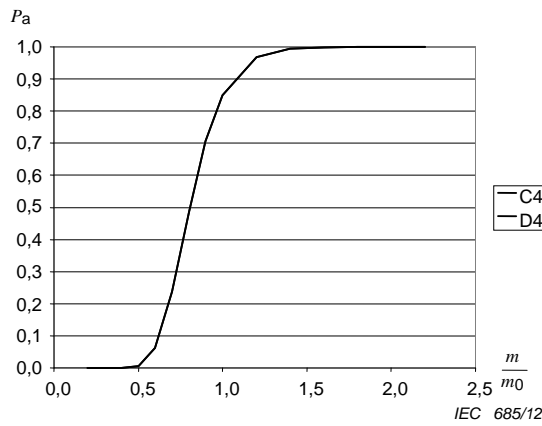


Figure D.16 – Operating characteristic P_a

Table D.10 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a

m/m_0	Plan C4		Plan D4		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C4	Plan D4
0,2	2,447 5	6,442 7	5,000 0	5,830 8	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	4,460 1	8,723 0	7,500 0	9,557 4	0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	7,420 7	17,275 0	9,999 9	18,229 0	0,4	0,000 1	0,000 0
0,5	10,990 5	18,772 1	12,488 0	18,570 3	0,5	0,005 2	0,005 1
0,6	14,178 5	18,817 0	14,806 3	18,360 2	0,6	0,062 3	0,062 3
0,7	16,365 1	18,499 1	16,483 7	17,960 5	0,7	0,237 7	0,237 8
0,8	17,318 9	17,929 2	17,152 6	17,407 7	0,8	0,486 2	0,486 3
0,9	17,199 5	17,136 4	16,938 8	16,723 1	0,9	0,705 5	0,705 6
1,0	16,408 3	16,174 8	16,224 5	15,945 4	1,0	0,850 0	0,850 0
1,2	14,225 3	14,096 5	14,451 9	14,328 7	1,2	0,968 3	0,968 3
1,4	12,338 3	12,302 0	12,945 7	12,912 8	1,4	0,994 0	0,994 0
1,6	10,990 5	10,982 2	11,812 0	11,804 5	1,6	0,998 9	0,998 9
1,8	10,055 0	10,053 2	10,960 9	10,959 3	1,8	0,999 8	0,999 8
2,0	9,390 9	9,390 5	10,307 8	10,307 4	2,0	1,000 0	1,000 0
2,2	8,902 4	8,902 3	9,794 2	9,794 1	2,2	1,000 0	1,000 0

D.6 Test plans C5 and D5 – $\alpha = 20 \%$; $\beta = 10 \%$; $D = 1,7$

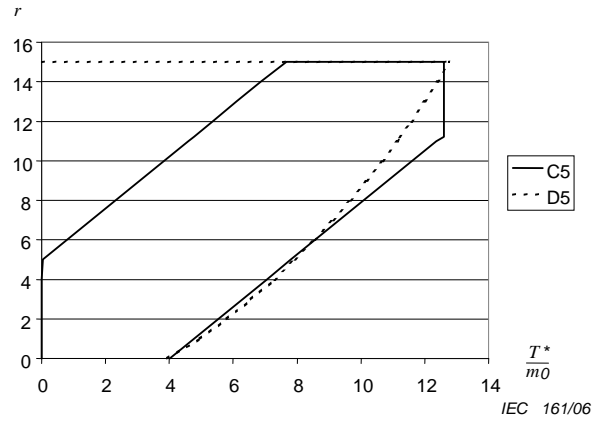


Figure D.17 – Accept and reject lines

Table D.11 – Accept and reject lines

Failures <i>r</i>	Accumulated test time T^*/m_0			
	Plan C5		Plan D5	
	Reject	Accept	Reject	Accept
0	0,000 0	4,023 2	No	3,949 5
1	0,000 0	4,781 2	No	4,965 6
2	0,000 0	5,539 3	No	5,818 1
3	0,000 0	6,297 3	No	6,580 4
4	0,000 0	7,055 4	No	7,280 4
5	0,041 8	7,813 4	No	7,932 4
6	0,799 8	8,571 4	No	8,544 8
7	1,557 8	9,329 5	No	9,122 9
8	2,315 9	10,087 5	No	9,670 3
9	3,073 9	10,845 6	No	10,189 2
10	3,832 0	11,603 6	No	10,681 2
11	4,590 0	12,361 6	No	11,147 4
12	5,348 1	12,600 0	No	11,588 2
13	6,106 1	12,600 0	No	12,003 7
14	6,864 1	12,600 0	No	12,393 7
$r_0=15$	7,662 2	12,600 0	No	12,757 3
16	12,600 0	N/A	Always	N/A
Always reject at 16 failures or more.				

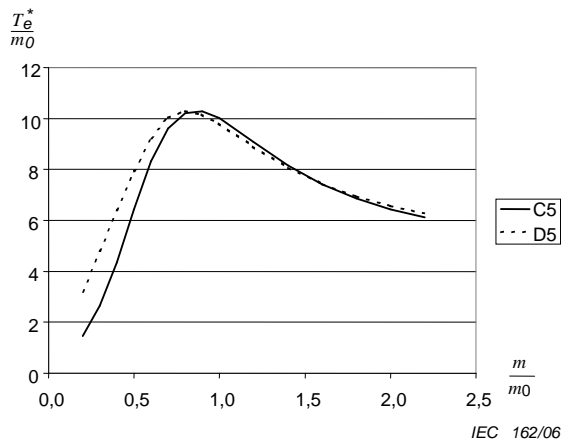


Figure D.18 – Expected test time to decision T_e^*

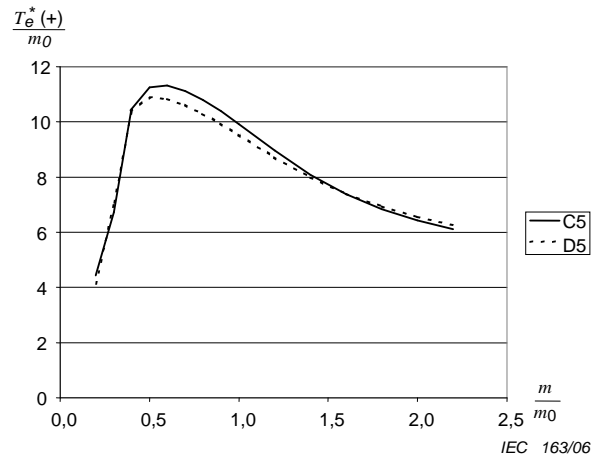


Figure D.19 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$

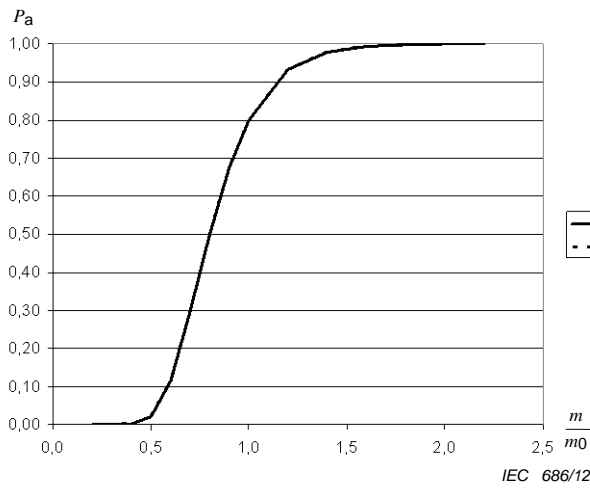


Figure D.20 – Operating characteristic P_a

Table D.12 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a

m/m_0	Plan C5		Plan D5		P_a		
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	m/m_0	Plan C5	Plan D5
0,2	1,453 4	4,442 0	3,200 0	4,132 1	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	2,643 8	6,722 0	4,800 0	7,086 9	0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	4,357 8	10,456 2	6,397 3	10,387 9	0,4	0,001 2	0,001 1
0,5	6,423 9	11,260 5	7,943 0	10,886 2	0,5	0,022 4	0,022 5
0,6	8,313 0	11,309 9	9,238 2	10,842 9	0,6	0,115 9	0,115 9
0,7	9,607 6	11,118 8	10,041 1	10,622 6	0,7	0,292 8	0,292 6
0,8	10,215 9	10,796 8	10,303 6	10,308 1	0,8	0,497 1	0,496 8
0,9	10,279 6	10,388 2	10,162 4	9,935 9	0,9	0,673 1	0,672 9
1,0	10,005 9	9,926 3	9,797 1	9,532 7	1,0	0,800 0	0,800 0
1,2	9,075 5	8,963 3	8,884 5	8,720 7	1,2	0,932 1	0,932 3
1,4	8,151 0	8,092 8	8,070 0	7,997 6	1,4	0,977 9	0,978 1
1,6	7,413 5	7,389 1	7,435 6	7,407 0	1,6	0,992 7	0,992 9
1,8	6,857 1	6,847 7	6,951 6	6,940 7	1,8	0,997 5	0,997 6
2,0	6,439 1	6,435 5	6,577 9	6,573 7	2,0	0,999 1	0,999 2
2,2	6,120 4	6,119 0	6,283 4	6,281 7	2,2	0,999 7	0,999 7

D.7 Test plans C6 and D6 – $\alpha = 20 \%$; $\beta = 20 \%$; $D = 1,7$

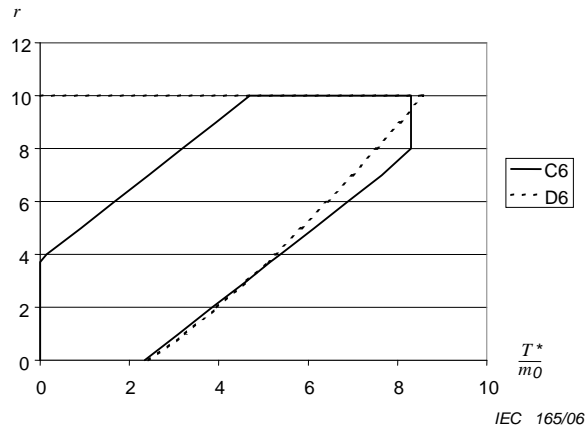


Figure D.21 – Accept and reject lines

Table D.13 – Accept and reject lines

Failures <i>r</i>	Accumulated test time T^*/m_0			
	Plan C6		Plan D6	
	Reject	Accept	Reject	Accept
0	0,000 0	2,342 4	No	2,436 5
1	0,000 0	3,100 4	No	3,257 1
2	0,000 0	3,858 5	No	3,972 8
3	0,000 0	4,616 5	No	4,633 4
4	0,148 9	5,374 6	No	5,257 5
5	0,906 9	6,132 6	No	5,854 5
6	1,665 0	6,890 6	No	6,429 8
7	2,423 0	7,648 7	No	6,986 8
8	3,181 0	8,300 0	No	7,527 9
9	3,939 1	8,300 0	No	8,054 7
$r_0=10$	4,697 1	8,300 0	No	8,568 4
11	8,300 0	N/A	Always	N/A
Always reject at 11 failures or more.				

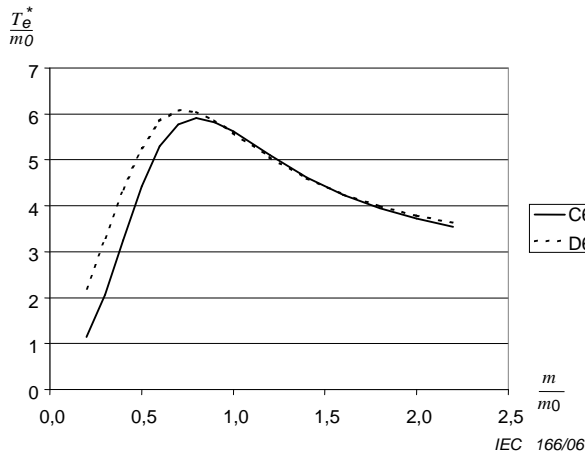


Figure D.22 – Expected test time to decision T_e^*

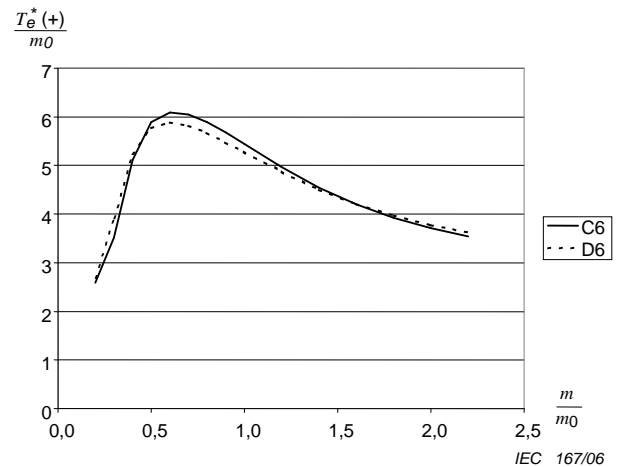


Figure D.23 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$

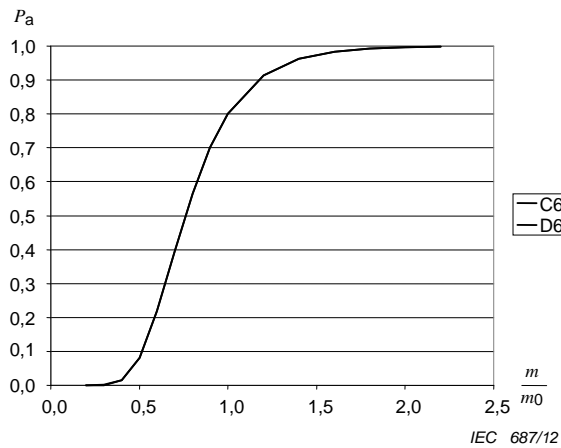


Figure D.24 – Operating characteristic P_a

Table D.14 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a

m/m_0	Plan C6		Plan D6		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C6	Plan D6
0,2	1,145 9	2,587 4	2,200 0	2,700 2	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	2,064 2	3,513 7	3,297 9	3,916 6	0,3	0,001 0	0,000 8
0,4	3,248 2	5,114 3	4,360 6	5,241 1	0,4	0,014 9	0,014 5
0,5	4,427 0	5,888 3	5,261 0	5,768 0	0,5	0,080 8	0,080 7
0,6	5,302 9	6,091 5	5,845 5	5,885 2	0,6	0,219 3	0,219 3
0,7	5,775 5	6,049 7	6,080 7	5,823 6	0,7	0,396 1	0,395 8
0,8	5,909 2	5,893 7	6,048 1	5,676 2	0,8	0,564 9	0,564 5
0,9	5,821 5	5,681 6	5,858 1	5,486 7	0,9	0,700 9	0,700 6
1,0	5,615 3	5,445 1	5,598 0	5,279 9	1,0	0,800 0	0,800 0
1,2	5,097 9	4,969 3	5,057 8	4,869 3	1,2	0,913 6	0,914 0
1,4	4,621 0	4,547 5	4,605 7	4,507 1	1,4	0,962 6	0,963 2
1,6	4,240 2	4,201 9	4,258 6	4,209 2	1,6	0,983 4	0,983 8
1,8	3,947 4	3,927 9	3,995 5	3,970 9	1,8	0,992 3	0,992 7
2,0	3,722 4	3,712 6	3,793 7	3,781 3	2,0	0,996 3	0,996 5
2,2	3,547 6	3,542 5	3,635 8	3,629 4	2,2	0,998 1	0,998 3

D.8 Test plans C7 and D7 – $\alpha = 30\%$; $\beta = 20\%$; $D = 1,7$

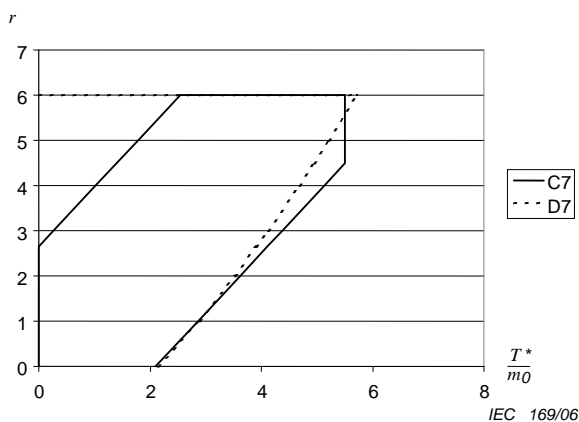


Figure D.25 – Accept and reject lines

Table D.15 – Accept and reject lines

Failures r	Accumulated test time T^*/m_0			
	Plan C7		Plan D7	
	Reject	Accept	Reject	Accept
0	0,000 0	2,102 1	No	2,144 1
1	0,000 0	2,860 2	No	2,887 7
2	0,000 0	3,618 2	No	3,533 4
3	0,266 5	4,376 2	No	4,126 1
4	1,024 5	5,134 3	No	4,682 3
5	1,782 5	5,500 0	No	5,210 3
$r_0=6$	2,540 6	5,500 0	No	5,714 6
7	5,500 0	N/A	Always	N/A
Always reject at 7 failures or more.				

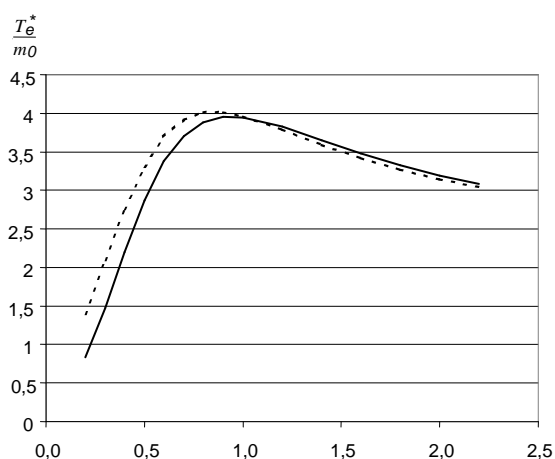


Figure D.26 – Expected test time to decision T_e^*

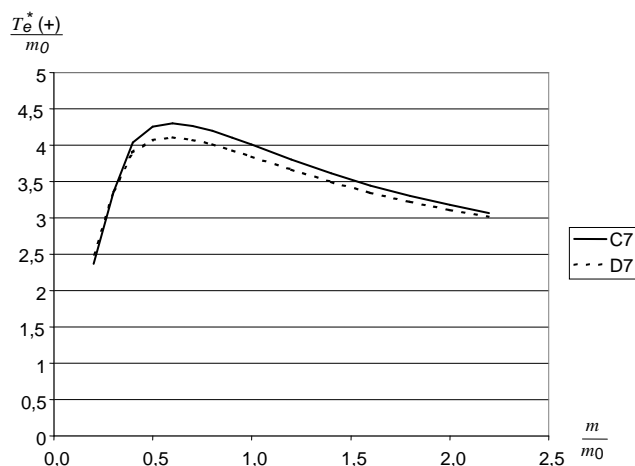


Figure D.27 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$

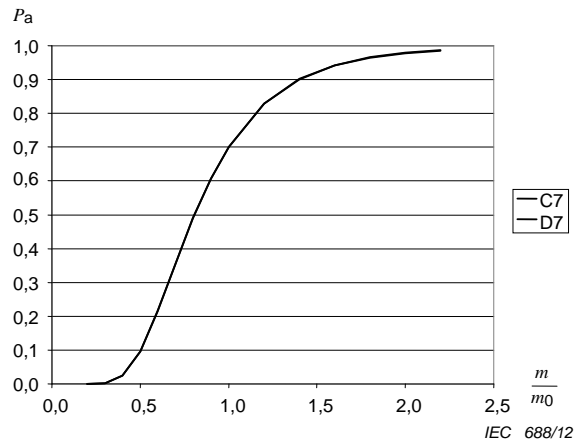


Figure D.28 – Operating characteristic P_a

Table D.16 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a

m/m_0	Plan C7		Plan D7		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C7	Plan D7
0,2	0,832 1	2,370 5	1,400 0	2,497 3	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	1,467 0	3,358 6	2,096 4	3,377 3	0,3	0,002 3	0,002 4
0,4	2,194 3	4,033 2	2,757 2	3,895 9	0,4	0,024 8	0,025 2
0,5	2,864 7	4,257 6	3,309 5	4,076 7	0,5	0,096 3	0,096 7
0,6	3,375 9	4,300 1	3,697 5	4,111 2	0,6	0,215 7	0,215 6
0,7	3,706 6	4,265 7	3,920 4	4,079 7	0,7	0,355 7	0,355 2
0,8	3,885 0	4,194 6	4,012 4	4,015 6	0,8	0,490 6	0,489 9
0,9	3,952 8	4,105 1	4,015 3	3,935 1	0,9	0,606 5	0,606 1
1,0	3,948 1	4,006 9	3,964 0	3,847 3	1,0	0,700 0	0,700 0
1,2	3,826 0	3,805 8	3,789 1	3,668 4	1,2	0,827 7	0,828 4
1,4	3,652 3	3,616 3	3,595 6	3,500 9	1,4	0,900 2	0,901 3
1,6	3,479 9	3,447 5	3,420 4	3,352 6	1,6	0,940 8	0,942 1
1,8	3,326 2	3,301 3	3,271 5	3,224 7	1,8	0,964 0	0,965 2
2,0	3,194 4	3,176 5	3,147 6	3,115 6	2,0	0,977 4	0,978 5
2,2	3,082 8	3,070 3	3,044 8	3,022 9	2,2	0,985 5	0,986 4

D.9 Test plans C8 and D8 – $\alpha = 30 \%$; $\beta = 30 \%$; $D = 1,7$

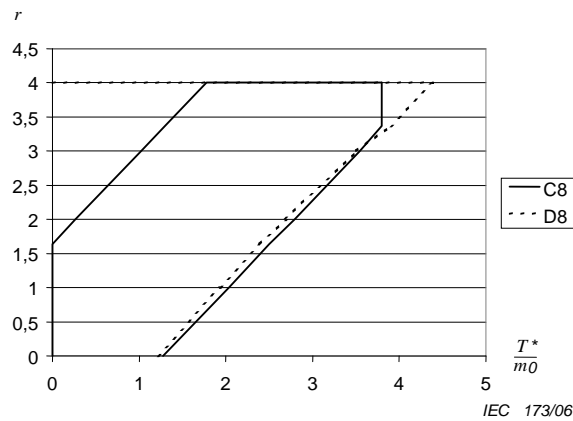


Figure D.29 – Accept and reject lines

Table D.17 – Accept and reject lines

Failures <i>r</i>	Accumulated test time T^*/m_0			
	Plan C8		Plan D8	
	Reject	Accept	Reject	Accept
0	0,000 0	1,275 7	No	1,219 4
1	0,000 0	2,033 8	No	1,930 7
2	0,263 6	2,791 8	No	2,689 1
3	1,021 6	3,549 9	No	3,508 7
$r_0=4$	1,779 6	3,800 0	No	4,388 1
5	3,800 0	N/A	Always	N/A
Always reject at 5 failures or more.				

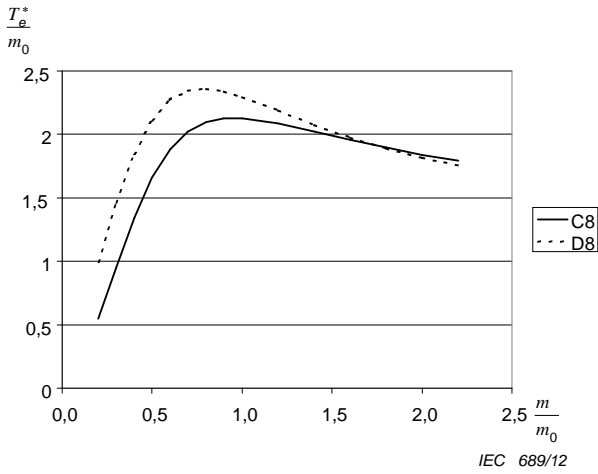


Figure D.30 – Expected test time to decision T_e^+

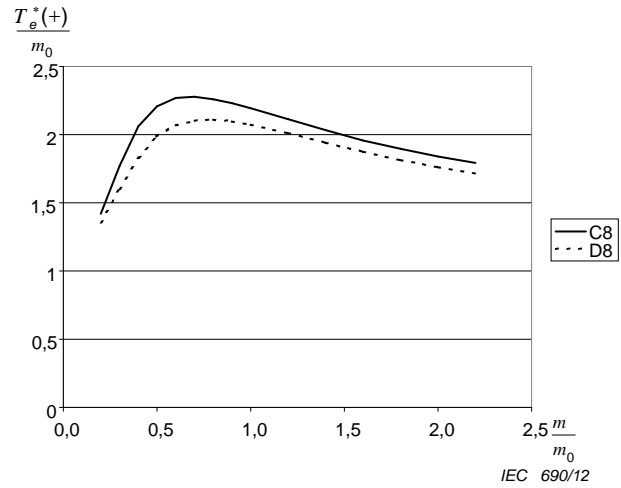


Figure D.31 – Expected test time to decision of acceptance $T_e^*(+)$

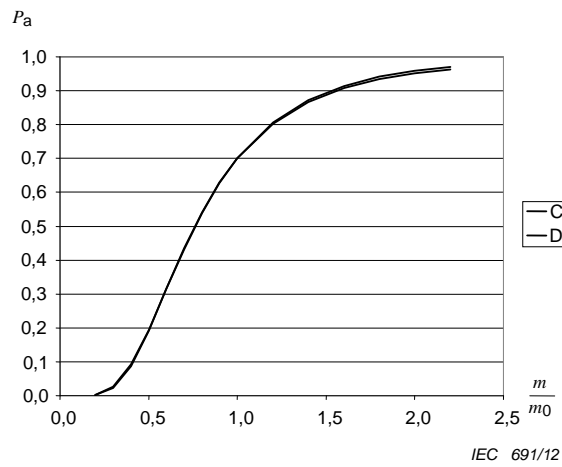


Figure D.32 – Operating characteristic P_a

Table D.18 – Expected test time to decision and operating characteristic P_a

m/m_0	Plan C8		Plan D8		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C8	Plan D8
0,2	0,548 2	1,419 2	0,997 4	1,360 7	0,2	0,002 0	0,002 7
0,3	0,943 6	1,766 6	1,463 9	1,603 3	0,3	0,022 8	0,026 9
0,4	1,339 2	2,059 9	1,845 9	1,831 0	0,4	0,086 5	0,092 3
0,5	1,660 2	2,209 9	2,112 9	1,984 3	0,5	0,191 5	0,194 7
0,6	1,883 5	2,268 2	2,270 8	2,068 7	0,6	0,314 7	0,314 3
0,7	2,021 0	2,277 4	2,344 2	2,105 3	0,7	0,434 7	0,432 2
0,8	2,094 6	2,260 6	2,359 8	2,111 5	0,8	0,540 5	0,537 7
0,9	2,124 7	2,230 1	2,333 0	2,099 1	0,9	0,628 7	0,627 0
1,0	2,126 9	2,192 7	2,298 2	2,075 5	1,0	0,700 0	0,700 0
1,2	2,086 8	2,111 3	2,190 3	2,012 4	1,2	0,802 0	0,805 4
1,4	2,023 6	2,031 9	2,079 0	1,943 3	1,4	0,866 0	0,871 9
1,6	1,957 2	1,959 9	1,978 7	1,877 0	1,6	0,906 8	0,913 9
1,8	1,895 3	1,896 2	1,892 5	1,816 6	1,8	0,933 3	0,940 8
2,0	1,839 9	1,840 7	1,819 8	1,762 9	2,0	0,951 0	0,958 4
2,2	1,791 4	1,792 4	1,758 6	1,715 7	2,2	0,963 1	0,970 2

Annex E (informative)

Examples and mathematical references for sequential test plans

E.1 Symbols

In addition to the symbols given in 3.2.2, the following symbols are used:

A	constant
B	constant
a	the accept line's intersection with the r axis
b	the accept and reject line's slope
b^*	$b^* = b \times m_0$, slope
c	the reject line's intersection with the r axis
E_r	expected number of failures
E_t	expected average time to arrive to a decision for n items under test
h	iteration variable for design of OC-curves
h_0	parameter used for computing E_r
h_1	parameter used for computing E_r
$P(r)$	probability ratio as a function of number of failures
$P_0(r)$	probability of having exactly r failures in the time T^* for true $m = m_0$
$P_1(r)$	probability of having exactly r failures in the time T^* for true $m = m_1$
$P_r(r)$	probability ratio
s	parameter used for computing E_r
t^*	test time for each test item
t_a^*	test time for each test item, stated as acceptance criterion
t_r^*	test time for each test item, stated as reject criterion
$\chi_{\alpha; 2r_0}^2$	α fractile of the χ^2 distribution with $2r_0$ degrees of freedom
$\chi_{1-\beta; 2r_0}^2$	$1 - \beta$ fractile of the χ^2 distribution with $2r_0$ degrees of freedom

E.2 Example of a sequential test

Specified: $n = 500$ components that are placed on test with replacement. Producer and consumer agree on $\lambda_0 = 9 \times 10^{-7} \text{ h}^{-1}$ and $\alpha = \beta = 10 \%$ and $D = 3$.

To be derived: Sequential test plan and simulated examples.

Procedure: $m_0 = \frac{1}{\lambda_0} = 1,11 \times 10^6$ h (= 126,8 years).

Since replacement is used the accumulated test time for 500 components, T^* , is:

$$T^* = nt^* = 500 t^*$$

where t^* is the test time per item.

Test plan A.3 satisfies the specified α , β and D while T_a^* and T_r^* are the accumulated test times for accept and reject, respectively, they are stated as multiples of m_0 that is $\frac{T_a^*}{m_0}$ and $\frac{T_r^*}{m_0}$

Each time a failure occurs, the point $(\frac{T^*}{m_0}, r) = (\frac{nt^*}{m_0}, r)$ should be plotted in the diagram and it should be noted whether it falls:

- on or above the reject border lines, *reject*;
- between the border lines, *continue testing*;
- on or below the accept border lines, *accept*.

The border lines have the following Formulae (see Table E.2):

$$\text{Reject lines: } r = 1,63 + 1,82 \left(\frac{T^*}{m_0} \right), 0 \leq \frac{T^*}{m_0} \leq 2,4 \quad \text{and } r = 6, 2,4 \leq \frac{T^*}{m_0} < 3,15$$

$$\text{Accept lines: } r = -2,0 + 1,82 \left(\frac{T^*}{m_0} \right), 1,10 \leq \frac{T^*}{m_0} \leq 3,74 \quad \text{and } 3,74 < r \leq 6, \frac{T^*}{m_0} = 3,15$$

The abscissa $\frac{T^*}{m_0}$ can be changed to t^* by multiplying by $\frac{m_0}{n} = 1,11 \times 10^6 / 500 = 2\,222$ h.

Instead of plotting in the diagram, Table A.3 can be used possibly by adding two columns showing t_a^* and t_r^* in test hours, that is $t_a^* = \left[\frac{T_a^*}{m_0} \right] \times \frac{m_0}{n}$ and $t_r^* = \left[\frac{T_r^*}{m_0} \right] \times \frac{m_0}{n}$ where the quantities in the square brackets are the stated values.

An easy way to perform a sequential test is to put the table into a spreadsheet program with graphics.

The results from an example with fictive data are shown in Table E.1 and Figure E.1. The spreadsheet program method calculations are shown in Annex F.

Table E.1 – Example for a sequential test using test plan A.3 (with example data)

$\alpha = \beta = 10 \%, D = 3, m_0 = 1,11 \times 10^6 \text{ h}, t^* = 2\,222 \times \frac{T^*}{m_0} \text{ h}$							
Test plan A.3					Test result		
r	$\frac{T_r^*}{m_0}$ Reject (equal or less)	$\frac{T_a^*}{m_0}$ Accept (equal or more)	t_r^* in hours Reject (equal or less)	t_a^* in hours Accept (equal or more)	$\frac{T^*}{m_0}$	T^* in hours	Decision
0	0	1,098	0	2 440	0,000	0	Continue
1	0	1,648	0	3 658	0,739	1 641	Continue
2	0,203	2,197	451	4 878	1,071	2 380	Continue
3	0,752	2,747	1 678	6 098	1,211	2 688	Continue
4	1,301	3,152	2 890	6 998	1,481	3 288	Continue
5	1,851	3,152	4 110	6 998	1,598	3 548	Reject
$r_0 = 6$	2,400	3,152	5 328	6 998			
7	3,152	N/A	6 998	N/A			

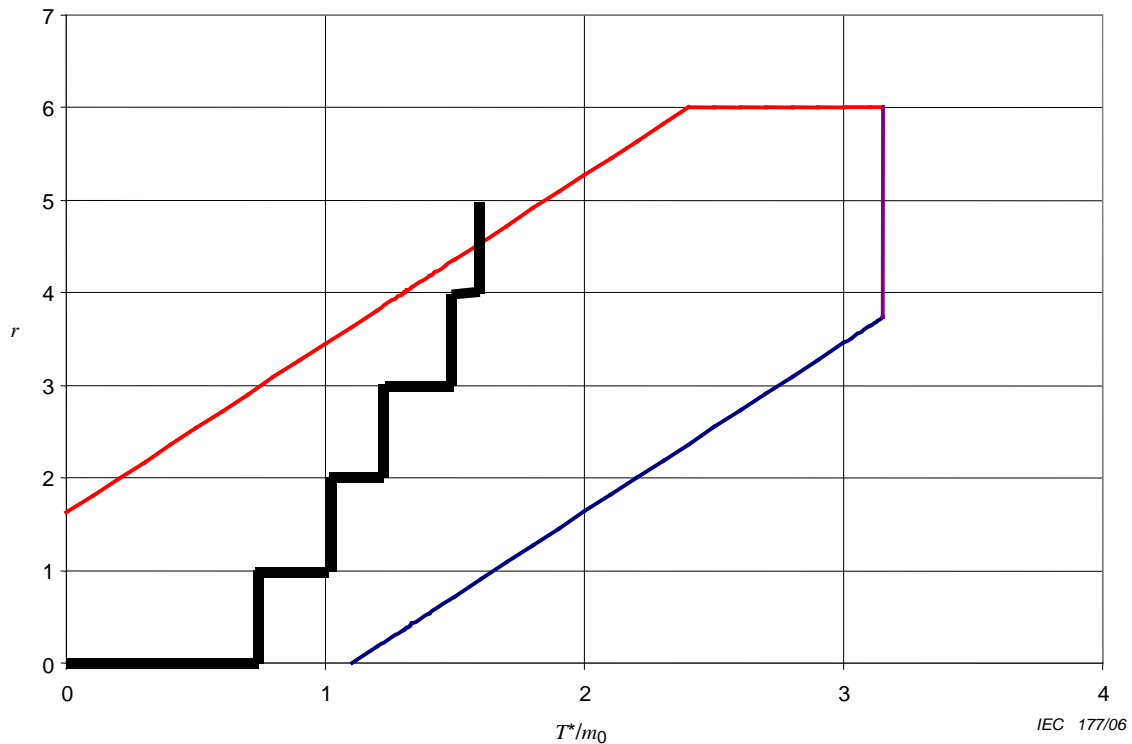


Figure E.1 – Example of a sequential test using test plan A.3 –

$\alpha = \beta = 10 \%, D = 3, m_0 = 1,11 \times 10^6 \text{ h}; r \text{ versus } \frac{T^*}{m_0}$

E.3 Mathematical references for sequential test plans

E.3.1 Determination of the test plan

For a test item with an unknown m , probability of failing r times in an accumulated operating test time T^* is:

$$P(r) = \left(\frac{T^*}{m}\right)^r \frac{\exp(-T^*/m)}{r!} \quad (\text{E.1})$$

The test has to prove that $m \geq m_0$ against $m < m_0$. This can be done by Wald's Sequential Probability Ratio Test (SPRT) [4] by testing the hypothesis $H_0: m = m_0$ against the hypothesis $H_1: m = m_1$.

It is required that

- the probability of accepting $m \leq m_1$ is less than or equal to the consumer's risk β , and
- that probability of rejecting $m \geq m_0$ is less than or equal to the producer's risk α .

During this test, the probability ratio of the two probabilities is (see also Formula (E.5)):

$$P_r(r) = P_1(r)/P_0(r) \quad (\text{E.2})$$

The probability of having r failures in the accumulated test time T^* if the true m is equal to m_1 is:

$$P_1(r) = \left(\frac{T^*}{m_1}\right)^r \frac{\exp(-T^*/m_1)}{r!} \quad (\text{E.3})$$

The probability of having r failures in the accumulated test time T^* if the true m is equal to m_0 is:

$$P_0(r) = \left(\frac{T^*}{m_0}\right)^r \frac{\exp(-T^*/m_0)}{r!} \quad (\text{E.4})$$

The probability ratio between the two probabilities is then:

$$P_r(r) = \frac{P_1(r)}{P_0(r)} = D^r \cdot \exp\left[-\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0}\right) \cdot T^*\right] \quad (\text{E.5})$$

This value is evaluated as being between the two constant values:

$$B \leq P_r(r) \leq A \quad (\text{E.6})$$

Probability ratio in test is computed continuously and is compared to the two predetermined constants, A and B, using the following decision rules:

- if $P_r(r) \leq B$, accept and stop testing;
- if $P_r(r) \geq A$, reject and stop testing;

- if $B < P_r(r) < A$, continue the test.

The constants A and B are

$$A = \frac{1 - \beta}{\alpha} \cdot \frac{D + 1}{2 \cdot D}, \quad (E.7)$$

$$B = \frac{\beta}{1 - \alpha} \quad (E.8)$$

The constant A contains the correction factor $(D + 1)/(2 \cdot D)$. This factor is used to better fulfil the nominal risks (see [4]). In the equation above, D is known as a discrimination ratio:

$$D = \frac{m_0}{m_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_0} \quad (E.9)$$

With Formulae (E.5) and (E.6) follows:

$$B < D^r \cdot \exp\left[-\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0}\right) \cdot T^*\right] < A \quad (E.10)$$

Taking logs (to the base e), it follows that:

$$\ln(B) < r \cdot \ln(D) - \left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0}\right) \cdot T^* < \ln(A) \quad (E.11)$$

Rearranging the above formula by adding $\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0}\right) \cdot T^*$ to each term and by dividing all terms by $\ln(D)$ it follows that:

$$\frac{\ln(B)}{\ln(D)} + \frac{\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0}\right)}{\ln(D)} \cdot T^* < r < \frac{\ln(A)}{\ln(D)} + \frac{\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0}\right)}{\ln(D)} \cdot T^* \quad (E.12)$$

The above Formula (E.12) is re-written as:

$$a + b \cdot T^* < r < c + b \cdot T^* \quad (E.13)$$

where $r = a + b \cdot T^*$ is the accept line and $r = c + b \cdot T^*$ is the reject line.

The constants are:

$$a = \frac{\ln(B)}{\ln(D)} \quad (E.14)$$

$$c = \frac{\ln(A)}{\ln(D)} \quad (E.15)$$

$$b = \frac{\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0} \right)}{\ln(D)} = \frac{D-1}{m_0 \cdot \ln(D)} \quad (\text{E.16})$$

The test truncation time is calculated using the following:

$$T_t^* = \frac{m_0 \chi_{\alpha; 2r_0}^2}{2} \quad (\text{E.17})$$

where the test truncation failure number r_0 is determined from the ratio:

$$\frac{\chi_{\alpha; 2r_0}^2}{\chi_{1-\beta; 2r_0}^2} \geq \frac{m_1}{m_0} = \frac{1}{D} \quad (\text{E.18})$$

The chi-square variables having $2r_0$ degrees of freedom can be found in statistical tables or spreadsheets that have statistical functions. The value of r_0 is determined to obtain the two chi-square functions having a ratio greater or equal to $1/D$.

The minimum test time for acceptance without a test failure is:

$$T_{a, \min}^* = -\frac{a}{b} \quad (\text{E.19})$$

E.3.2 Determination of operating characteristic curve

The operating characteristics curve is determined by the following approximation [4].

$$P_a(h) = \frac{A^h - 1}{A^h - B^h} \quad (\text{E.20})$$

The value h is found from the following formula:

$$m = m_0 \cdot \frac{D^h - 1}{h \cdot (D - 1)} \quad (\text{E.21})$$

E.3.3 Determination of expected test time

a) Tests with replacement of failed items

The expected test time for $n \geq 1$ items under test with replacement is derived as follows:

Expected number of failures in test to reach a decision is:

$$E_r = \frac{h_1 - P_a(h_0 - h_1)}{s - m} \quad (\text{E.22})$$

where

$$h_1 = m_0 \cdot \frac{\ln(A)}{D - 1} \quad (\text{E.23})$$

$$h_0 = m_0 \cdot \frac{\ln(B)}{D-1} \quad (\text{E.24})$$

$$s = m_0 \cdot \frac{\ln(D)}{D-1} = \frac{1}{b} \quad (\text{E.25})$$

When the expressions of Formulae (E.23) to (E.25) are substituted into the Formula (E.22), the expected number of failures is then:

$$E_r = m_0 \cdot \frac{P_a (\ln(A) - \ln(B)) - \ln(A)}{m \cdot (D-1) - m_0 \cdot \ln(D)} \quad (\text{E.26})$$

The average expected test time to reach a decision is:

$$E_t = \frac{m}{n} \cdot E_r \quad (\text{E.27})$$

The expected test time in terms of m_0 for tests with replacement is with $T_e^* = n \cdot E_t = m \cdot E_r$:

$$\frac{T_e^*}{m_0} = \frac{m \cdot E_r}{m_0} = m \cdot \frac{P_a [\ln(A) - \ln(B)] - \ln(A)}{m \cdot (D-1) - m_0 \cdot \ln(D)} \quad (\text{E.28})$$

b) Tests without replacement of failed items

When the test is without replacement, the average test time to arrive at a decision for $n \geq r_0$ items under test is:

$$E_t = m \cdot \ln\left(\frac{n}{n - E_r}\right) \quad (\text{E.29})$$

with E_r from Formula (E.26).

E.4 Border lines and coordinates

The following table shows the extreme coordinates of the border lines and the constants for the border line formulae for acceptance, $r_a = a + b^* \cdot \frac{T^*}{m_0}$ and for rejection, $r_r = c + b^* \cdot \frac{T^*}{m_0}$ with

$$b^* = b \cdot m_0 = \frac{D-1}{\ln(D)}.$$

**Table E.2 – Constants for border line formulae and their coordinates
for sequential test plans A.1 to A.9**

Test plan	$\alpha = \beta$ %	D	Constants for border line formulae			Coordinates for border lines $\{T^*/m_0; r\}$			
			a	b^*	c	Reject line		Accept line	
A.1	10	1,5	-5,42	1,233 4	4,97	0; 4,97	29,22 ; 41	4,39 ; 0	33,09 ; 35,32
A.2	10	2	-3,17	1,442 7	2,755	0; 2,76	8,49; 15	2,20; 0	10,30; 11,69
A.3	10	3	-2,00	1,820 5	1,631	0; 1,63	2,40; 6	1,10; 0	3,15; 3,74
A.4	10	5	-1,37	2,485 3	1,05	0; 1,05	0,79; 3	0,55; 0	1,10; 1,37
A.5	20	1,5	-3,42	1,233 2	2,97	0; 2,97	12,19; 18	2,77; 0	14,37; 14,30
A.6	20	2	-2,00	1,442 7	1,58	0; 1,58	3,75; 7	1,39; 0	4,73; 4,83
A.7	20	3	-1,26	1,820 5	0,89	0; 0,89	1,16; 3	0,69; 0	1,54; 1,53
A.8	30	1,5	-2,09	1,233 2	1,64	0; 1,64	4,35; 7	1,69; 0	5,41; 4,58
A.9	30	2	-1,22	1,442 7	0,81	0; 0,81	1,52; 3	0,85; 0	1,91; 1,54

Annex F (informative)

Design of sequential test plans using a common spreadsheet program

F.1 Symbols

In addition to the symbols given in 3.2.2 and in Clause E.1, the following symbols are used in this annex:

- a the acceptance line's intersection with the r axis;
- b the slope of the accept and the reject lines;
- c the reject line's intersection with the r axis;
- n number of items in test;
- E_t expected average time to arrive to a decision for n items under test;
- E_r expected number of failures.

NOTE In the spreadsheet T^* is replaced by T due to the limitations of the equation editor in the spreadsheet program.

F.2 Construction of sequential plans using software tools

F.2.1 Construction of sequential test plans

The test plans with the decision lines as well as the truncation time can be constructed and optimized using commercial software or any commercially available spreadsheet that allows insertion of functions and formulae.

Given the worldwide use of computers and the development of state-of-the-art standard computer software, the spreadsheet is developed to ease the process of curve development and use, especially in cases where unique parameters are given, those that cannot be readily found in a table or prepared graph.

The spreadsheet is constructed with the advantage of embedded formulae that use parameters given in the spreadsheet such as: producers and consumer's risks (α and β), discrimination ratio (D), and m_0 . By changing the parameter values, and by determination of the test termination time T_t^* the necessary plot is re-drawn from the initial plot.

The sequential test example provided in Clause F.3 provides step-by-step construction of a spreadsheet for a sequential probability ratio test, SPRT.

This methodology may make the use of pre-prepared graphs and tables obsolete unless computer access is not available. Test plans in Annex A of this standard can also be graphed using the embedded graphing methodology for the determined test parameters (test plan number), or they can be used for any value of the test parameters, regardless of the existence of the pre-prepared charts.

Once set up with all embedded formulae, the graphs can be re-drawn for any required parameters.

When calculated and plotted with the spreadsheet, test plans A.1 to A.9 may slightly differ from those shown in the Annex A. The difference is a result of rounding of the chi-square functions, which in turn might result into selection of different numbers of the maximum

allowable number of test failures. The spreadsheet calculations disregard rounding of the numbers; therefore, the resultant calculations and graphs are more precise.

When preparing the test plans in a spreadsheet, as explained in Clause F.3, the last number of failures for rejection might appear slightly greater or less than the closest integer. This is because of the test gradation on the x axis. The gradation or granularity occurs because of the interval assigned to the increase of the test time. The calculated values for the number of failures at that corresponding time may end up being slightly above or below the integer. The solution would be to adjust the increase of the test time in the proximity of the rejection number of failures so that the plotting can stop at the integer, or to replace the end (reject) values by the corresponding integer number of failures.

F.2.2 Construction of the OC curves and the expected test time for the sequential tests using a spreadsheet

The OC curves are based on formulae in Clause F.4. As OC curves represent a plot of probability of acceptance as a function of m , the spreadsheet includes assigning values to the variable h such that the resultant m values would be within the range (and exceeding that range) of the values of m_1 and m_0 . Values of the variable m are then calculated from the values of its variable, h , and the probability of acceptance is calculated from the values of the variable h and then plotted against values of m .

The procedure is explained in Clause F.4.

Determination of the expected test time is also explained in Annex E and use of a spreadsheet to prepare graphs as a function of m is shown in Clauses F.3 and F.4.

F.3 Setting up the spreadsheet for construction of the sequential test plans

To set up a spreadsheet, enter headings for specific parameters and the appropriate formulae as shown in Tables F.1, F.2, F.3 and F.4. The example in Table F.4 is the spreadsheet used for the preparation of test plan A.5 shown in Annex A.

In Table F.1, parameter values are set in cells C3, D3, F3 and G3, while the formula shown in E2 is embedded into cell E3 to calculate discrimination ratio from m_0 and m_1 .

For different values of parameters, all other values in the spreadsheet, once all formulae are embedded, will be recalculated.

Table F.1 – Beginning of the spreadsheet prepared to obtain a sequential test graph

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	r_0	$2r$	β	α	D	m_0	m_1	T_t^*	T_t^*/m_1
2					=F\$3/G\$3				
3			0,2	0,2	1,5	3 000	2 000		
4			=C\$3	=1-D\$3	=1/E\$3				
5			0,2	0,8	0,666667				

NOTE Symbols \$ shown in the embedded formulae of the spreadsheet denote that the value is fixed and that only the value of that specific cell address is used. This symbol may be different for the different spreadsheet programs that might be used.

Formulae shown in C4 to E4 are those that need to be written into C5 to E5. Further into the spreadsheet, the remaining formulae needed for the upper and lower line of the sequential test (SPRT) graph are inserted as shown in Table F.2.

Table F.2 – Continuation of parameters calculation for the lines necessary for the SPRT graph

1	J A	K B	L a	M b	N c
2	$A = \frac{(1-\beta)(D+1)}{2\alpha D}$	$B = \frac{\beta}{(1-\alpha)}$	$a = \frac{\ln(B)}{\ln\left(\frac{m_0}{m_1}\right)}$	$b = \frac{\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0}\right)}{\ln\left(\frac{m_0}{m_1}\right)}$	$c = \frac{\ln(A)}{\ln\left(\frac{m_0}{m_1}\right)}$
3	=((1-\$C\$3)*(\$E\$3+1)/ (2*(\$D\$3)*(\$E\$3)))	=\$C\$3/(1-\$D\$3)	=LN(\$K\$4)/LN(\$E\$3)	=((\$G\$3)- (1/\$F\$3))/LN(\$E\$3)	=LN(\$J\$4)/LN(\$E\$3)
4	3,33	0,25	-3,419023	0,000411	2,969362

Values in J4 to N4 represent formulae given in J3 to N3 respectively.

When parameters *a*, *b*, and *c* are determined, then the lines can be plotted as a function of test time. The data for the accept and reject lines are shown in Table F.3.

Table F.3 – Calculations of accept and reject line for the SPRT graph

	O	P	Q	R
1			$a+bT$	$c+bT$
2		=\$O5/\$F\$3	=\$L\$4+\$M\$4*O5	=\$N\$4+\$M\$4*O5
3	Variable	Variable		
4	<i>T</i> (hours)	T/m_0 (hours/ <i>m</i> ₀)	$a+bT$	$c+bT$
5	0	0	-3,419023	2,969362
6	200	0,133333	-3,254602	3,133783

In Table F.3 values on Q5, Q6, etc. and in R5, R6, etc, are formulae inserted into the spreadsheet and those are shown in Q4 and R4 respectively.

To calculate termination time T_t^* (Formula (E.17)), it is necessary to determine the two chi-square functions shown in Formula (E.18). Those are also embedded into the spreadsheet as shown in Table F.4, Plotted are the chi-square functions necessary for Formula (E18) and their ratio, as a function of number of failures *r*, or double number of failures ($2r$).

Table F.4 – Determination of the test termination time

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	r_0	$2r$	β	α	D	m_0	m_1	T_t^*
2					$=F\$3/G\3			
3			0,2	0,2	1,5	3 000	2 000	
4			$=C\$3$	$=1-D\$3$	$=1/E\$3$			
5			0,2	0,8	0,666667			
6								
7								
8								
9	$=B10/2=r_0$	$2r$	$=CHIINV(\$C\$3,\$B10)$	$=CHIINV(\$D\$5,\$B10)$	$=D10/C10$			$=(F\$3*D10)/2$
10	0,5	1	1,642376	0,064185	0,039			96,28
11	1	2	3,218879	0,446287	0,139			669,43
12	1,5	3	4,641630	1,005173	0,217			1 507,76
13	2	4	5,988616	1,648776	0,275			2 473,16
14	2,5	5	7,289273	2,342532	0,321			3 513,80
15	3	6	8,558058	3,070088	0,359			4 605,13
16	3,5	7	9,803248	3,822320	0,399			5 733,48
17	4	8	11,030090	4,593572	0,417			6 890,36
18	4,5	9	12,242141	5,380055	0,439			8 070,08
19	5	10	13,441963	6,179076	0,460			9 268,61
20	5,5	11	14,631420	6,988672	0,478			10 483,01
21	6	12	15,811990	7,807329	0,494			11 710,99
22	6,5	13	16,984793	8,633863	0,508			12 950,80
23	7	14	18,150767	9,467329	0,522			14 200,99
24	7,5	15	19,310653	10,306960	0,534			15 460,44
25	8	16	20,465074	11,152120	0,545			16 728,18
26	8,5	17	21,614562	12,002260	0,555			18 003,40
27	9	18	22,759549	12,856950	0,565			19 285,43
28	9,5	19	23,900418	13,715790	0,574			20 573,68
29	10	20	25,037501	14,578440	0,582			21 867,66
30	10,5	21	26,171094	15,444610	0,590			23 166,92
31	11	22	27,301455	16,314040	0,598			24 471,06
32	11,5	23	28,428790	17,186500	0,605			25 779,75
33	12	24	29,553320	18,061800	0,611			27 092,70
34	12,5	25	30,675199	18,939750	0,617			28 409,62
35	13	26	31,794609	19,820190	0,623			29 730,28
36	13,5	27	32,911683	20,702980	0,629			31 054,47
37	14	28	34,026569	21,587970	0,634			32 381,95
38	14,5	29	35,139366	22,475050	0,639			33 712,58
39	15	30	36,250182	23,364110	0,645			35 046,17
40	15,5	31	37,359130	24,255060	0,649			36 382,59
41	16	32	38,466305	25,147780	0,654			37 721,67
42	16,5	33	39,571798	26,042210	0,658			39 063,32
43	17	34	40,675641	26,938270	0,662			40 407,4
44	17,5	35	41,777972	27,835880	0,666			41 753,81
45	18	36	42,878793	28,734960	0,670			43 102,44

As shown in Table F.4, termination time is calculated for variation of r and consequently the chi-square functions. Formulae shown in row 9 are embedded in row 10. When the ratio of the two chi-square functions reaches a value greater than or equal to the value in cell E5 (0,67 in this example), the closest integer for the number of failures is the number of failures determined as rejection criteria. This number is used for calculation of the test termination time. In order to facilitate selection of the closest integer the computation is made for values of r with a step of 0,5 causing $2r$ to step through all integers. Column H has an embedded formula for the test termination time corresponding to the chi-square function of column C and D and the value of m_0 in column F. In the example the test termination time is in bold and is equal to 43 102,44 h at $r_0 = 18$.

Further derivations of the spreadsheet to obtain the two lines, accept and reject along with the termination time and maximum allowed test failures is shown in Table F.5.

Table F.5 – Formulae for accept and reject line along with the test termination

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			$a+bT$	$c+bT$		
2					$=O5/5F53$	$=\$L\$4+\$M\$4*O5$	$=\$N\$4+\$M\$4*O5$		
3	$=LN(\$K\$4)/LN(\$E\$3)$	$=((1/5G\$3)-(1/5F\$3))/LN(\$E\$3)$	$=LN(\$J\$4)/LN(\$E\$3)$	Variable	Variable				
4	-3,419023	0,000411	2,969362	T(hours)	T/m ₀ (hours/m ₀)	a+bT	c+bT		
5				0	0	-3,419023	2,969362		
6				400	0,133333	-3,254602	3,133783		
7				800	0,266667	-3,090182	3,298203		
8				1200	0,4	-2,925762	3,462623		
9				1600	0,533333	-2,761342	3,627043		
10				2000	0,666667	-2,596921	3,791463		
11				2400	0,8	-2,432501	3,955884		
12				2800	0,933333	-2,268081	4,120304		
13				3200	1,066667	-2,103661	4,284724		
14				3600	1,2	-1,939241	4,449144		



92				31800	10,6	9,652386	16,040771		
93				32000	10,666667	9,734596	16,122981		
94				32400	10,8	9,899016	16,287401		
95				32800	10,933333	10,063436	16,451821		
96				33200	11,066667	10,227857	16,616241		
97				33600	11,2	10,392277	16,780662		
98				34000	11,333333	10,556697	16,945082		
99				34200	11,4	10,638907	17,027292		
100				34400	11,466667	10,721117	17,109502		
101				34800	11,6	10,885537	17,273922		
102				35200	11,733333	11,049958	17,438343		
103				35600	11,866667	11,214378	17,602763		
104				36000	12	11,378798	17,767183		
105				36200	12,066667	11,461008	17,849393		
106				36400	12,133333	11,543218	17,931603		
107				36600	12,2	11,625429	18,013813	18,013813	
108				36800	12,266667	11,707639		18,013813	
109				37200	12,4	11,872059		18,013813	
110				37600	12,533333	12,036479		18,013813	
111				38000	12,666667	12,200899		18,013813	
112				38400	12,8	12,365320		18,013813	
113				38800	12,933333	12,529740		18,013813	
114				39200	13,066667	12,694160		18,013813	
115				39600	13,2	12,858580		18,013813	
116				40000	13,333333	13,023000		18,013813	
117				40400	13,466667	13,187421		18,013813	
118				40800	13,6	13,351841		18,013813	
119				41200	13,733333	13,516261		18,013813	
120				41600	13,866667	13,680681		18,013813	
121				42000	14	13,845102		18,013813	
122				42400	14,133333	14,009522		18,013813	
123				42800	14,266667	14,173942		18,013813	
124				43102	14,367333	14,298079		18,013813	14,298079
125				43102	14,367333	14,298079		18,013813	18,013813

The upper, reject line is stopped at the time the number of failures reaches the reject number (approximately 18 in this example). This number is pasted in column S all through the reject time (to make the horizontal line in the plot). Column T that contains the number of failures increasing from the accept to reject lines at the test termination time, is completed by using the last number of column Q and the last number of column R for the same termination time to form a vertical test termination line.

Column P of Table F.5 is the test time measured in m_0 plotted as a function of test time. The accept and reject line along with the test termination time and test truncation number are shown in Figure F.1.

Figure F.1 shows the plot that is automatically redrawn every time the test parameters are changed (α , β , m_1 , and m_0). The only intervention needed from the operator is the addition of the test truncation number of failures line, and the test termination line (columns R, S and T in Table F.5).

Value 17,931 6 is the number of failures correctly calculated for the corresponding time $\frac{T^*}{m_0}$ of 12,133 33. This number can be substituted in the spreadsheet by the integer 18, or the corresponding test time may be extended by a very small amount such that the calculated number of failures closely approaches 18 so that the test truncation number of failures appears as an integer.

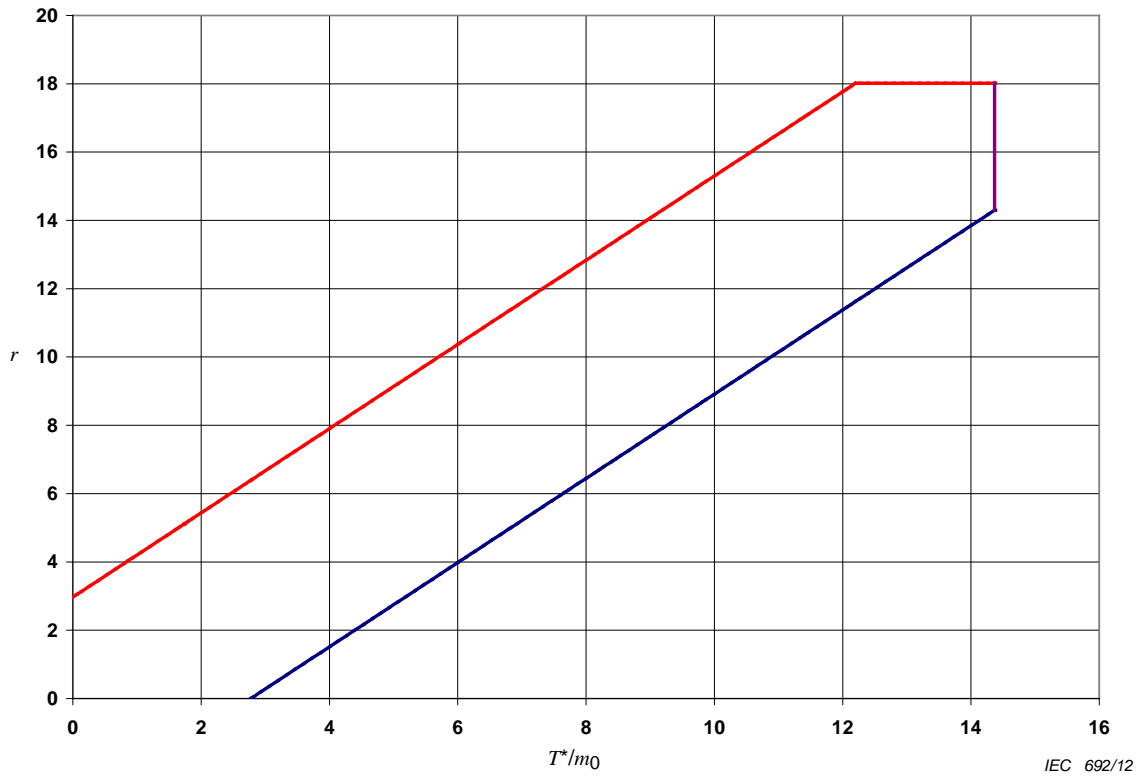


Figure F.1 – SPRT spreadsheet graphing example

The graph in Figure F.1 was drawn by selecting the test times (in m_0) and the values for the accept and reject line along with the reject number of failures and the test termination time. The graph is a scatter graph line.

Once set up with all embedded formulae, the graphs can be re-drawn for any required parameters.

A spreadsheet can be set up to automatically draw the OC curves for the given m_0 and m_1 . The latter may be adjusted once the curves are completed to change the test time necessary for the required risks. Table F.6 shows the spreadsheet for the example given in Figure F.1.

F.4 Construction of the OC curves and the expected test time for decision, T_e^*

A spreadsheet can be set up to automatically draw the OC curves for the given test parameters and m_0 . Probability of acceptance is given in Annex E in Formulae (E.20) and (E.21):

$$P_a(h) = \frac{A^h - 1}{A^h - B^h}$$

Constant h is found in the following formula:

$$m = m_0 \cdot \frac{D^h - 1}{h \cdot (D - 1)}$$

The second formula, Formula (E.21), cannot be explicitly solved for h , for substitution into Formula (E.20) so that the probability of acceptance can be expressed as a function of the true m . For that reason, the values are given to the variable h in the spreadsheet and then the values of m are calculated. The values are assigned to h in such a manner to obtain m in a range from value less than m_1 through values greater than m_0 . At the same time, values of $P_a(h)$ are calculated for the same given values of h , and then the graph is plotted with the abscissa being the calculated values of m/m_0 , and the values of $P_a(h)$ are plotted on the y-axis.

The expected test time T_e^* for decision in multiples of m_0 is calculated from Formula (E.28) in Annex E modified as follows:

$$\frac{T_e^*}{m_0} = \frac{n \cdot E_t}{m_0} = \frac{m}{m_0} \cdot E_r = \frac{m}{m_0} \cdot m_0 \cdot \frac{P_a[\ln(A) - \ln(B)] - \ln(A)}{m \cdot (D - 1) - m_0 \cdot \ln(D)} \quad (\text{F.1})$$

$$\frac{T_e^*}{m_0} = m \cdot \frac{P_a[\ln(A) - \ln(B)] - \ln(A)}{m \cdot (D - 1) - m_0 \cdot \ln(D)}$$

Table F.6 shows the spreadsheet for the example shown in Figures F.1 and F.2 and in Tables F.2 to F.5 with embedded formulae that apply to the parameters below them. Row 3 gives the formulae as they are embedded in row 5.

The corresponding values for m_0 , A, B and D are copied from their place in the spreadsheet. The symbol \$ in this spreadsheet type denotes that the cell value is fixed, and would not change with another row or column.

Table F.6 – Spreadsheet set-up for construction of the OC curves for the SPRT

	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1						<i>n</i>		
2						1		
3	Chosen values	$=((\$E\$3^X-1)/X5*(\$E\$3-1))*\$F\3		$=(\$J\$4^X-1)/(\$J\$4^X-\$K\$4^X)$			$=(Y5/\$AC\$2)*AE5/\$F\3	$=\$F\$3*(AA5*(LN(\$J\$4)-LN(\$K\$4))-LN(\$J\$4))/(Y5*(\$E\$3-1)-\$F\$3*LN(\$E\$3))$
4	<i>h</i>	<i>m</i>	<i>m/m₀</i>	<i>P_a</i>		<i>m/m₀</i>	<i>T_e*/m₀</i>	<i>E_r</i>
5	-5,0	1041,98	0,35	0,0010		0,35	1,80	5,18
6	-4,7	1086,74	0,36	0,0015		0,36	1,94	5,35
7	-4,4	1134,60	0,38	0,0022		0,38	2,09	5,54
8	-4,1	1185,83	0,40	0,0034		0,40	2,27	5,75
9	-3,8	1240,71	0,41	0,0051		0,41	2,48	5,99
10	-3,5	1299,56	0,43	0,0077		0,43	2,72	6,27
11	-3,2	1362,72	0,45	0,0116		0,45	2,99	6,58
12	-2,9	1430,57	0,48	0,0174		0,48	3,31	6,94
13	-2,6	1503,54	0,50	0,0260		0,50	3,68	7,34
14	-2,3	1582,07	0,53	0,0387		0,53	4,10	7,78
15	-2,0	1666,67	0,56	0,0572		0,56	4,59	8,27



31	2,8	4525,96	1,51	0,9663		1,51	5,62	3,72
32	3,1	4867,08	1,62	0,9764		1,62	5,30	3,27
33	3,4	5239,88	1,75	0,9835		1,75	5,02	2,87
34	3,7	5647,59	1,88	0,9884		1,88	4,77	2,53
35	4,0	6093,75	2,03	0,9919		2,03	4,55	2,24
36	4,3	6582,31	2,19	0,9944		2,19	4,35	1,98
37	4,6	7117,61	2,37	0,9961		2,37	4,18	1,76
38	4,9	7704,50	2,57	0,9973		2,57	4,03	1,57
39	5,2	8348,32	2,78	0,9981		2,78	3,90	1,40
40	5,5	9054,99	3,02	0,9987		3,02	3,78	1,25
41	5,8	9831,09	3,28	0,9991		3,28	3,68	1,12
42	6,1	10683,90	3,56	0,9994		3,56	3,59	1,01
43	6,4	11621,51	3,87	0,9995		3,87	3,50	0,90
44	6,7	12652,87	4,22	0,9997		4,22	3,43	0,81
45	7,0	13787,95	4,60	0,9998		4,60	3,37	0,73
46	7,3	15037,77	5,01	0,9998		5,01	3,31	0,66
47	7,6	16414,60	5,47	0,9999		5,47	3,25	0,59
48	7,9	17932,05	5,98	0,9999		5,98	3,21	0,54
49	8,2	19605,24	6,54	0,9999		6,54	3,17	0,48
50	8,5	21450,97	7,15	1,0000		7,15	3,13	0,44

NOTE An increment of 0,3 was used in order to avoid *h* = 0 in column X.

Selecting Z5:AA50, and plotting a scatter line, OC curve for the probability of acceptance *P_a* is plotted (shown in Figure F.2).

The data source, cell range AC5:AD50 produces a graph for the expected test duration for reaching a decision, measured in multiples of *m₀* (shown in Figure F.3).

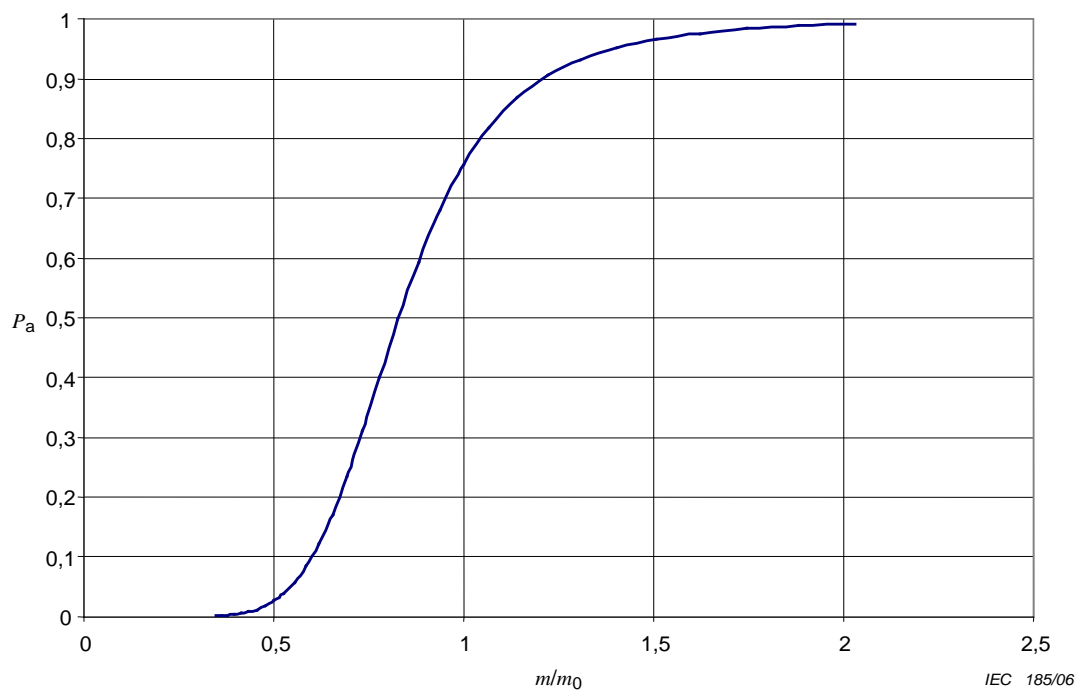


Figure F.2 – OC curve for probability of acceptance, P_a

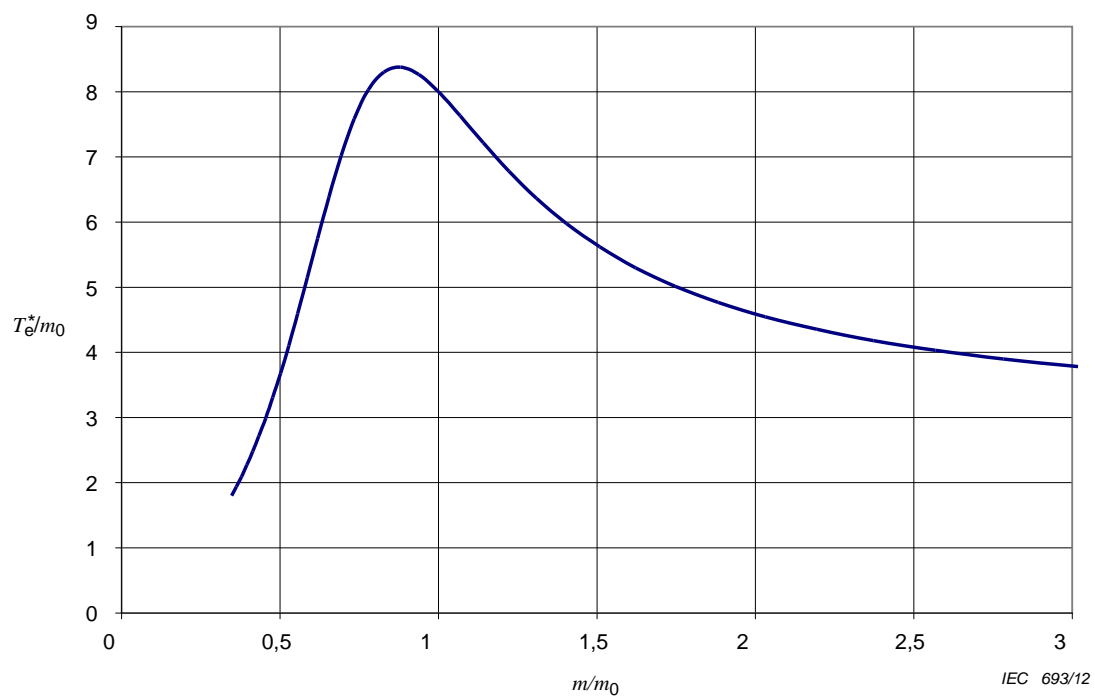


Figure F.3 – Expected test time for making a decision

F.5 Step-by-step procedure

To calculate a test plan follow the following steps:

Step 1: Key in $\alpha, \beta, D, m_0, m_1$ as specified.

Step 2: Find in column E the first value larger than or equal to value in E5. Read in same line T_t^* in column H and r_0 in column A.

Step 3: Find value closest to T_t^* in column O and type in the value found in step 2.

Step 4: Copy T_t^* into the rest of column O to the bottom of the sheet.

Step 5: Find value closest to r_0 in column R. Copy that value to column S from the same line to the bottom of the sheet. Delete values in column R below this line.

Step 6: For the line with the T_t^* found in step 3 in column O, copy value in same line from column Q to the same line in column T. If there are values from a previous calculation in column S and T they have to be deleted.

Step 7: Graphs are automatically updated.

Annex G (informative)

Examples and mathematical references for fixed time/failure terminated test plans – Fixed duration test plans

NOTE This annex uses the symbols listed in 3.2.2.

G.1 Mathematical references

G.1.1 General

NOTE See Clause 7.

There are four possible considerations that are applicable to the fixed duration tests:

- a) time terminated tests with replacement;
- b) time terminated tests without replacement;
- c) failure terminated tests with replacement;
- d) failure terminated tests without replacement.

Failure rate and/or MTBF calculations are done as shown in 3.2.2.

When fixed duration, time terminated tests are conducted with replacement, the test termination time, T_t^* and the acceptable number of failures, c , is determined based on the following two formulae:

$$\beta = \frac{\sum_{k=0}^c \left(\frac{T_t^*}{m_1}\right)^k \cdot e^{-\frac{T_t^*}{m_1}}}{k!} \quad (G.1)$$

$$1 - \alpha = \frac{\sum_{k=0}^c \left(\frac{T_t^*}{m_0}\right)^k \cdot e^{-\frac{T_t^*}{m_0}}}{k!}$$

The Formulae (G.1) can be entered into a spreadsheet to determine time as well as the number of acceptable failures based on the required m_0 discrimination ratio, and producer's and customer's risk, α and β . An example is shown in Annex H.

The OC curve is given by plotting the probability of acceptance, P_a (in a test of predetermined test duration T_t^*) against the quantity m , where:

$$P_a = e^{-\frac{T_t^*}{m}} \sum_{k=0}^c \frac{\left(\frac{T_t^*}{m}\right)^k}{k!} \quad (G.2)$$

G.2 Examples on design of fixed duration failure terminated test plans

G.2.1 Example 1

Specified: One repairable piece of equipment with a target MTBF = $m_0 \geq 1\ 500$ h has been field tested. The producer accepts $\alpha = 5\ %$ risk to be rejected compliance, even if the target has been reached. The consumer accepts $\beta = 5\ %$ risk to accept compliance, even if the true $m = 750$ h, thus $D = 1\ 500/750 = 2$.

To be derived: Time/failure terminated test plan with accumulated test time for termination, T_t^* , and the acceptable number of failures during the test, c .

Procedure: Test plan B.2 states that $\frac{T_t^*}{m_0} = 15,71$ and $c = 22$. The test time is thus

$$T_t^* = 15,71 m_0 = 15,71 \times 1\ 500 \approx 23\ 550 \text{ h} = 2,7 \text{ years}$$

during which 22 or less failures are acceptable for compliance.

If the test time is considered too long, due to time scheduling, etc., the number of items under test may be increased, or D and/or the risks increased, A suitable and balanced test plan may also be designed according to 8.2, where the test time can be chosen independently of m_0 . Combined test plans (see Annex D) should also be considered.

G.2.2 Example 2

Specified: The same data as in Clause E.2: $n = 500$, $\lambda_0 = 900 \times 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ and $\alpha = \beta = 10\ %$ and $D = 3$.

To be derived: Time/failure terminated test plan with accumulated test time for termination, T_t^* , and the acceptable number of failures during the test, c .

Procedure: Test plan B.7 states that $T_t^* = 3,1$ and $c = 5$. According to 3.2.2, $m_0 = \frac{1}{\lambda_0}$ and the

test time is thus $T_t^* = \frac{3,1}{\lambda_0} = \frac{3,1}{900 \times 10^{-9}} = 3\ 444 \times 10^3 \text{ h}$, and $t^* = \frac{T_t^*}{n} = 6\ 889 \text{ h} = 0,8 \text{ years}$,

during which five or less failures are acceptable for compliance.

NOTE Compared with the example in Clause E.2 using the sequential test plan A.3, it is seen that the test time for the time/failure terminated test plan is slightly shorter than the maximum test time for the sequential test plan. For very good and very bad items, the test time for the sequential test plan may be significantly shorter; however, it is more complicated to schedule and administrate.

Annex H (informative)

Design of fixed duration time/failure terminated test plans using a spreadsheet program

NOTE 1 See Clause 7.

NOTE 2 This annex uses the symbols listed in 3.2.2 with the exception that T^* is called T due to limitation of the equation editor in the spreadsheet program.

The Formulae (G.1) can be entered into a spreadsheet to determine time as well as the number of acceptable failures based on m_0 , m_1 , discrimination ratio, D and producer's and customer's risk, α and β as shown in Tables H.1 to H.3 and Figure H.1.

In Table H.1, row 7, columns B to L contain the formula above this part of the spreadsheet (β from Formula (G.1)), while columns M to W contain embedded formula shown above those cells (formula for $1 - \alpha$ from Formula (G.1)).

Row 4 shows the numbers entered in row 5, but not visible, and is related to the embedded formulae shown in Table H.2. Each of those formulae is entered into the appropriate cell of the row 7, and then this row is copied and pasted down the spreadsheet for the length of time estimated for the test (shown in column Y).

Columns Z and AA contain times divided by m_1 and m_0 to express the time in terms of m and those are used in the embedded formulae.

The example in Table H.1 shows the maximum acceptable number of failures up to 10. This number, if needed, can be extended and the embedded formulae have to be adjusted accordingly.

The formulae embedded in the spreadsheet are shown with quotation marks to make them visible in the spreadsheet (without those marks, they are embedded and cannot be seen for instructions). When entered into the respective cells, the quotation marks have to be omitted.

Table H.1 – Set-up of the spreadsheet with embedded formulae – Example

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	
1																												
2		0.2	0.8	0.2	0.500	1000																						
3																												
4																												
5																												
6																												
7	0.368	0.736	0.920	0.981	0.996	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.986	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.368	500	1.000	0.500	0.607
8	0.333	0.669	0.900	0.974	0.995	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.982	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	550	1.100	0.550	0.577
9	0.301	0.663	0.879	0.966	0.992	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.977	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.301	600	1.200	0.600	0.549
10	0.273	0.627	0.857	0.957	0.989	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.972	0.996	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.273	650	1.300	0.650	0.522
11	0.247	0.592	0.833	0.946	0.986	0.997	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.966	0.994	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.247	700	1.400	0.700	0.497
12	0.223	0.558	0.809	0.934	0.981	0.996	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.959	0.993	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.223	750	1.500	0.750	0.472
13	0.202	0.525	0.783	0.921	0.976	0.994	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.953	0.991	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.202	800	1.600	0.800	0.449
14	0.183	0.493	0.757	0.907	0.970	0.992	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.945	0.989	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.183	850	1.700	0.850	0.427
15	0.165	0.463	0.731	0.891	0.964	0.990	0.997	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.937	0.987	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.165	900	1.800	0.900	0.407
16	0.150	0.434	0.704	0.875	0.956	0.987	0.997	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.929	0.984	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.150	950	1.900	0.950	0.387
17	0.135	0.406	0.677	0.857	0.947	0.983	0.995	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.920	0.981	0.996	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.135	1000	2.000	1.000	0.368
18	0.122	0.380	0.650	0.839	0.938	0.980	0.994	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.910	0.978	0.996	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.122	1050	2.100	1.050	0.350
19	0.111	0.355	0.623	0.819	0.928	0.975	0.993	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900	0.974	0.995	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.111	1100	2.200	1.100	0.333
20	0.100	0.331	0.596	0.799	0.916	0.970	0.991	0.997	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	0.890	0.970	0.993	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	1150	2.300	1.150	0.317
21																												
22																												
23																												
24																												
25																												
26																												
27																												
28																												
29																												
30																												
31																												
32																												
33																												
34																												
35																												
36																												
37																												
38																												
39																												
40																												
41																												
42																												
43																												
44																												
45																												
46																												
47																												
48																												
49																												
50																												

NOTE Time T in the formulae shown in the spreadsheet has the symbol T instead of T*. This is because of the limitation of the equation editor, T denotes T* in the spreadsheet.

Table H.2 – Formulae embedded into the spreadsheet shown in Table H.1

B7	=((Z7^\$B\$5)/1)*X7
C7	=(((Z7^\$C\$5)/\$C\$5)+B7/X7)*X7
D7	=((Z7^\$D\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$D\$5))+C7/X7)*X7
E7	=((Z7^\$E\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$E\$5))+D7/X7)*X7
F7	=(((Z7^\$F\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$F\$5))+E7/X7)*X7
G7	=(((Z7^\$G\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$G\$5))+F7/X7)*X7
H7	=(((Z7^\$H\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$H\$5))+G7/X7)*X7
I7	=(((Z7^\$I\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$I\$5))+H7/X7)*X7
J7	=(((Z7^\$J\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$J\$5))+I7/X7)*X7
K7	=(((Z7^\$K\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$K\$5))+J7/X7)*X7
L7	=(((Z7^\$L\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$L\$5))+K7/X7)*X7
M7	=((AA7^\$M\$5)/1)*AB7
N7	=(((AA7^\$N\$5)/\$N\$5)+M7/AB7)*AB7
O7	=((AA7^\$O\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$O\$5))+N7/AB7)*AB7
P7	=(((AA7^\$P\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$P\$5))+O7/AB7)*AB7
Q7	=(((AA7^\$Q\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$Q\$5))+P7/AB7)*AB7
R7	=(((AA7^\$R\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$R\$5))+Q7/AB7)*AB7
S7	=(((AA7^\$S\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$S\$5))+R7/AB7)*AB7
T7	=(((AA7^\$T\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$T\$5))+S7/AB7)*AB7
U7	=(((AA7^\$U\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$U\$5))+T7/AB7)*AB7
V7	=(((AA7^\$V\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$V\$5))+U7/AB7)*AB7
W7	=(((AA7^\$W\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$W\$5))+V7/AB7)*AB7

IEC 188/06

To achieve the goal of this process, determine the test duration and the acceptable number of failures, the spreadsheet is examined to find the test termination time T_t^* . In this way, requirements for producer and consumer's risk are satisfied at the same time. Table H.3 shows how this is accomplished, using the same example as for Tables H.1 and H.2. The formula is a repeat of (G.1):

$$\beta = \sum_{k=0}^c \frac{\left(\frac{T_t^*}{m_1}\right)^k \cdot e^{-\frac{T_t^*}{m_1}}}{k!}$$

$$1 - \alpha = \sum_{k=0}^c \frac{\left(\frac{T_t^*}{m_0}\right)^k \cdot e^{-\frac{T_t^*}{m_0}}}{k!}$$

In the spreadsheet of Table H.1 the number of acceptable failures is found by looking for the closest value that satisfies both formulae above, Formula (G.1) re-copied. It is important to be conservative with the choice of value for consumer's risk; this value should be equal to or less than that given by the test plan. The value of producer's risk α should be close to the value given in the test plan. Both selected values shall produce the same acceptable number of failures. The time that corresponds to those two numbers is the test termination time T_t^* .

In Table H.1, the numbers closest to the producer's and customer's risk that correspond to the same number of failures is 0,201 (for β), being the required consumer's risk, and 0,793 ($1 - \alpha$), allowing for a somewhat larger producer's risk (the test plan for both risks should be 0,2). The test time corresponding to these values is $T = 3\,950$ h. In the example of Table H.1, it can be seen that the time corresponding coincidentally to both the requirement for α and the requirement for β is 3 950 h or 7,9 times m_1 and 3,95 times m_0 .

Step by step procedure:

Step 1: Type in α, β, m_0, m_1 and D as specified as shown in Table H.1.

Step 2: Type in the formulae from Table H.2.

Step 3: Update data in step 1 if required to design a new test plan.

Step 4: For number of failures c find, in columns B through L, the row where the value is close to β .

Step 5: For number of failures c find, in columns M through W, the row where the value is close to $1 - \alpha$.

Step 6: Check if the row number found in step 4 is the same as the row number found in step 5 for the same c .

If yes: then c is the acceptable number of failures for the test plan.

Find, in column AA, in the same row, the termination test time T_t^* / m_0 .

If no: go to step 7.

Step 7: Repeat steps 4 through 6 with a new value of c until a suitable test plan is found.

Step 8: Once a test plan has been found, go to step 3 to design another test plan, if required.

The spreadsheet for plotting of the OC curve is shown in Table H.3. In this table, symbol T^* is represented by the symbol T only because of the particularity of the spreadsheet where the symbol * represents a multiplication. If this symbol was entered, the program would consider the formula incomplete and would not allow continuation.

Table H.3 – OC curve for the time/failure terminated fixed duration test

	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
4							$\sum_{k=0}^5 \frac{\left(\frac{T}{m}\right)^k}{k!}$
5	T*	3950	m	m/m ₀	P(m)	exp(-T/m)	
6			1	0,001	0	0	8,02332E+15
7			100	0,1	6,40087E-12	7,00435E-18	913841,544
8			200	0,2	8,70204E-05	2,64657E-09	32880,41747
9			300	0,3	0,009626203	1,91333E-06	5031,131547
10			400	0,4	0,071965387	5,14449E-05	1398,883901
11			500	0,5	0,200569118	0,000370744	540,9915374
12			600	0,6	0,357043975	0,001383231	258,1232042
13			700	0,7	0,504604639	0,003542732	142,4337663
14			800	0,8	0,626925929	0,007172507	87,40680312
15			900	0,9	0,721784843	0,012414515	58,1403958
16			1000	1	0,792895407	0,019254702	41,1793138
17			1100	1,1	0,845367954	0,027573252	30,65898579
18			1200	1,2	0,883877046	0,037191811	23,765367
19			1300	1,3	0,912154808	0,047908538	19,03950404
20			1400	1,4	0,933005094	0,059520852	15,67526438
21			1500	1,5	0,948473775	0,071838601	13,20284312
22			1600	1,6	0,960033944	0,084690656	11,3357717
23			1700	1,7	0,968741487	0,097927349	9,892450849
24			1800	1,8	0,975353686	0,111420445	8,753812547
25			1900	1,9	0,980415627	0,125061787	7,839450014
26			2000	2	0,984321804	0,138761312	7,093632861
27			2100	2,1	0,987359585	0,152444851	6,476831318
28			2200	2,2	0,989739798	0,166051957	5,960422361
29			2300	2,3	0,991618264	0,179533887	5,523293018
30			2400	2,4	0,993111017	0,192851786	5,149607571
31			2500	2,5	0,994305111	0,205975098	4,827307377
32			2600	2,6	0,995266335	0,218880192	4,547082713
33			2700	2,7	0,996044769	0,231549186	4,301655243
34			2800	2,8	0,996678794	0,243968957	4,085268902
35			2900	2,9	0,997198033	0,256130304	3,89332312
36			3000	3	0,997625488	0,268027239	3,72210486

In Table H.3 the formula to be written in row 6 of the columns AK, AJ, AI, and AH of the spreadsheet are as follows:

AK6: $=1+(\$AF\$5/AG6)+(1/2)*(\$AF\$5/AG6)^2+(1/6)*(\$AF\$5/AG6)^3+(1/24)*(\$AF\$5/AG6)^4+(1/120)*(\$AF\$5/AG6)^5$

AJ6: $=\exp(-\$AF\$5/AG6)$

AI6: $=AJ6*AK6$

AH6: $=AG6/\$G\2

All the entries described above shall be made without the quotation marks. Figure H.1 shows the OC curve plotted for the example in Tables H.1 to H.3. AI is plotted as a function of AH.

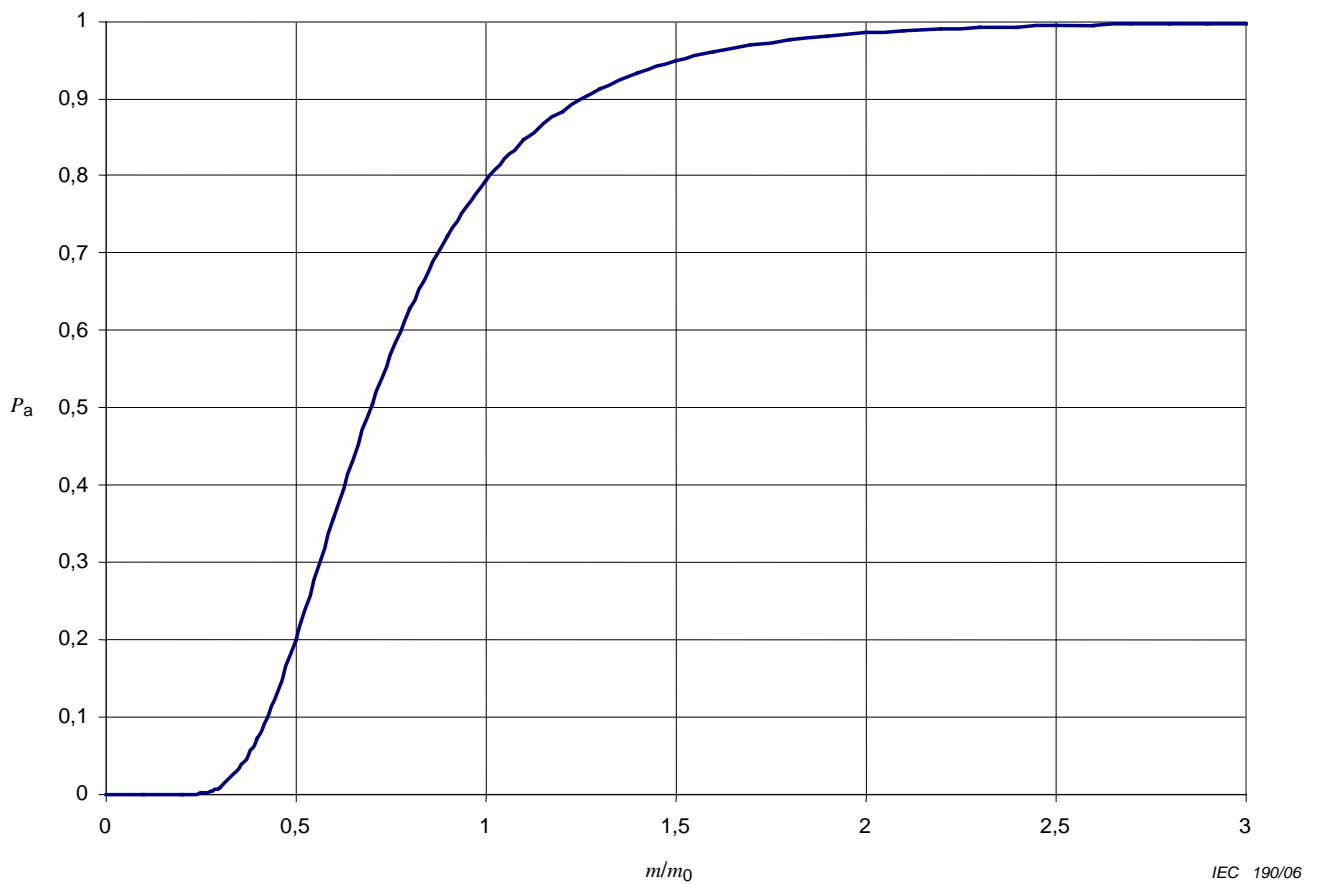


Figure H.1 – OC curve plotted from the spreadsheet calculations

Annex I (informative)

Examples and mathematical references for the design of alternative time/failure terminated test plans

NOTE 1 See Clause 8.

NOTE 2 This annex shows detailed examples referring to the procedures in Clause 8.

I.1 Symbols

In addition to the symbols given in 3.2.2 the following symbols are used in this annex:

C_t	tentative value for rounding c to the nearest integer
D'	true discrimination ratio
$f(P_a, c)$	function of P_a and c
$P(c)$	cumulative Poisson distribution
$p(c)$	probability density function of the Poisson distribution
t^*	calendar time
u_γ	γ – fractile of the cumulative normal distribution $\gamma = \Phi(u)$
$\Phi(u)$	cumulative normal distribution
γ	fractile of the distribution
μ_{0t}	tentative value for rounding μ to the nearest integer
μ_1	value of μ used to determine D'

I.2 Examples of testing of components

I.2.1 Example 1

Specified: $\lambda_0 = 0,025$ failures per year, $\alpha = \beta = 5 \%$, $D = 2$.

To be derived: c , T_t^*

Procedure: $\mu_0 = 15,8$ for $D = 2$ is found from the $\alpha = \beta = 5 \%$ curve in Figure C.3.

$\Delta\mu_0 = 6,3$ for $\mu_0 = 15,8$ is found from the $\alpha = \beta = 5 \%$ curve in Figure C.4.

Thus $c = (15,8 + 6,3)$ rounded to 22. Then $T_t^* = \frac{\mu_0}{\lambda_0} = \frac{15,8}{0,025} = 632$ component years.

For a specified test time $t^* = 1$ year, $n = 632$ components.

For a specified number of components, $n = 1\ 000$ follows $t^* = \frac{T_t^*}{n} = \frac{632}{1\ 000}$ years $\approx 5\ 500$ h.

I.2.2 Example 2

Specified: $\lambda_0 = 900$ failures per 10^9 h, $\alpha = \beta = 10\ \%$, $D \approx 3$

To be derived: c , T_t^* , D'

Procedure: Identify the point on the dashed $\alpha = \beta = 10\ \%$ curve in Figure C.1 for which $D = 3$. Follow the dashed curve to the intersection with the nearest c curve.

Thus $c = 5$ is determined, giving $\mu_0 = 3,15$ and $D' = 2,95$.

Then $T_t^* = \frac{\mu_0}{\lambda_0} = \frac{3,15}{900 \times 10^{-9}} = 3,50 \times 10^6$ component hours.

For a specified test time $t^* = 0,5$ year = 4 380 h follows $n = \frac{T_t^*}{t^*} = \frac{3,50 \times 10^6}{4\ 380} = 799$ components.

For a specified number of components $n = 500$ follows $t^* = \frac{T_t^*}{n} = \frac{3,50 \times 10^6}{500} = 7\ 000$ h.

In this example, Figure C.1 should be used because the indicated point would appear just on the lower limit of Figures C.3 and C.4. In the overlapping range of the figures, Figure C.1 is the most accurate. In this example, Figure C.3 gives $\mu_0 = 3,05$ whereas Figure C.1 gives $\mu_0 = 3,15$. Both Figures C.1 and C.4 give $c = 5$.

I.3 Mathematical procedure

I.3.1 General

The procedures and formulae in this annex may be used to compute the test plan parameters instead of reading the values from the figures.

$$p(c) = \frac{\mu^c e^{-\mu}}{c!} \tag{I.1}$$

$$P(c) = \sum_{i=0}^c p(i) = e^{-\mu} \sum_{i=0}^c \frac{\mu^i}{i!} \tag{I.2}$$

NOTE In this annex, probabilities are not given as percentages.

I.3.2 Computations

I.3.2.1 Determination of c and D for $\mu_0 \leq 5$

This case relates to Figure C.1.

Specified: μ_0 , $\alpha = \beta$

To be derived: D, c

Procedure:

Step 1

Compute a tentative value, c_t for c rounding to the nearest integer:

$$c_t = \left[0 + u_{1-\alpha} \times \sqrt{0 - 0,5 + \frac{u_{1-\alpha}^2}{8}} \right] \text{arrondi (rounded)} \quad (1.3)$$

where $u_{1-\alpha} = u_\gamma$ may be taken from Table I.2.

Step 2

Compute the α' value from $\alpha' = 1 - P(c)$ according to Formula (G.1) for $\mu = \mu_0$ utilizing the recursive relationship:

$$p(i+1) = p(i) \frac{\mu}{i+1} \quad (1.4)$$

where $p(0) = e^{-\mu}$

Step 3

Compare α' with α ; if they are not reasonably equal, then increase or decrease c_t by 1 and repeat step 2.

Step 4

Let $\beta' = \alpha'$, and compute μ_1 by iteration using Formulae (I.1) and (I.2) in such a manner that $P(c)$ converges to α' and μ to μ_1 .

Step 5

Find the D' value from $D' = \frac{\mu_1}{\mu_0}$.

I.3.2.2 Determination of OC curves

This case relates to Figure C.2 (and Figure C.1).

Specified: c

To be derived: Probability of acceptance $P_a = P_a(\mu, c)$ as a function of μ for fixed c .

Procedure:

Step 1a)

Compute $P_a(\mu, c) = P(c)$ for a suitable range of values of μ using Formulae (I.1) and (I.2).

Step 1b)

If $c \geq 3$, P_a may be computed from

$$P_a = \gamma = \Phi(u_\gamma)$$

using the approximation

$$u_\gamma \approx \sqrt{9(c+1)} \times \left[\sqrt[3]{\frac{\mu}{c+1}} - 1 + \frac{1}{9(c+1)} \right] \tag{I.5}$$

Step 1c)

If $c \geq 9$, P_a may be computed from

$$P_a = \gamma = \Phi(u_\gamma)$$

using the simpler approximation:

$$u_\gamma \approx 2 \left[2\sqrt{\mu} - \sqrt{2(\mu + c + 0,5)} \right] \tag{I.6}$$

NOTE Formulae (I.5) and (I.6) may be used to find α' and β' , considering that for $\gamma > 0,5$: $\alpha' = 1 - \gamma$, and for $\gamma < 0,5$: $\beta' = \gamma$

I.3.2.3 Determination of μ from OC curves

This case relates to Figure C.2.

In some cases, it can be useful to determine values from the OC-curve to obtain for example:

- a starting value for iteration (see I.3.2.1, step 4);
- the first and last μ values for an exact OC curve (see I.3.2.2 step 1);
- the (approximate) μ_1 value for determination of D for fixed γ values.

Specified: c

To be derived: Expected number of failures $\mu = f(P_a, c)$, as a function of P_a for fixed c .

Procedure:

Step 1a)

Compute μ for a desired value of $P_a = P(c)$ by iteration, using Formulae (I.1) and observing that $\gamma = P_a = \Phi(u_\gamma)$.

Step 1b)

If $c \geq 3$, μ may be computed using the approximation:

$$\rho \approx (c+1) \times \left[1 - \frac{1}{9(c+1) + u_\gamma \sqrt{9(c+1)}} \right]^3 \quad (1.7)$$

Step 1c)

If $c \geq 9$, μ may be computed using the simpler approximation:

$$\rho \approx c + 0,5 + 3 \frac{u_\gamma^2}{8} + u_\gamma \sqrt{c + 0,5 + \frac{u_\gamma^2}{8}} \quad (1.8)$$

I.3.2.4 Determination of D and c for $\mu_0 > 5$

This case relates to Figure C.1 and Figures C.3 and C.4.

Specified: μ_0 , $\alpha = \beta$

To be derived: D , c

Procedure:

Step 1

Compute the c value using the approximate Formula (I.3).

Step 2

Compute the D value from the approximate formula:

$$D \approx \left[1 + \frac{u_{1-\alpha}}{\sqrt{\mu_0}} \right]^2 \quad (1.9)$$

Step 3 (optional)

Compute $\alpha' = \beta'$, for $\mu = \mu_0$ using one of the following alternatives:

- Formulae (I.1) and (I.4); or
- Formula (I.5); or
- Formula (I.6).

Step 4 (optional)

Compute the D' value, either according to I.3.2.1, steps 4 and 5, or using the approximate Formulae (I.7) or (I.8).

I.3.2.5 Determination of c and $\alpha = \beta$ or $\alpha' = \beta'$

This case relates to Clause C.2.

Specified: μ_0, D

To be derived: c, α, β

Procedure:

Step 1

Compute a tentative $\gamma_t = \alpha = \beta$ from:

$$\gamma_t = \Phi(u_{\gamma_t})$$

where

$$u_{\gamma_t} = \sqrt{\mu_0} \times (\sqrt{D} - 1) \tag{I.10}$$

Step 2

Compute a tentative c value, c_t , from Formula (I.3).

Step 3

If $\mu_0 \leq 5$, check c_t, D', α' and β' using Formula (I.1). If necessary, increase or decrease c accordingly.

Formulae (I.5) and (I.6) may also be used for determination of α' and β' within their valid range.

I.3.2.6 Determination of c and n or t_t^*

This case relates to Clause C.3.

Specified: $\lambda_0, D, \alpha = \beta$, and t_t^* , or n

To be derived: $c, \mu_0 = \lambda_0 n t_t^*, n$ or t_t^*

Procedure:

Step 1

Compute a tentative μ_0 value μ_{0t} from:

$$\mu_{0t} \approx \left[\frac{u_{1-\alpha}}{\sqrt{D} - 1} \right]^2 \tag{I.11}$$

where $u_{1-\alpha} = u_\gamma$ may be taken from Table I.2.

Step 2

Compute a tentative c value, c_t , from Formula (I.3).

Step 3

If $\mu_{0t} \leq 5$, check c_t , D' , α' and β' using Formula (I.1). If necessary, change μ_{0t} continuously to achieve reasonable agreement with the specified values.

Step 4

Compute n or t_t^* using $n = \frac{\mu_{0t}}{\lambda_0 \cdot t_t^*}$ or $t_t^* = \frac{\mu_{0t}}{\lambda_0 \cdot n}$ respectively.

I.3.2.7 Determination of D and c for $\alpha \neq \beta$

Specified: μ_0 , α and β , ($\alpha \neq \beta$)

To be derived: D , c

Procedure:

Step 1

Find the average risk, γ , from $\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}$

Step 2

Proceed according to I.3.2.1 or I.3.2.4.

Step 3

Using the OC curves, by the procedures of I.3.2.2 or I.3.2.3 check whether the derived c value gives α' and β' values in reasonable agreement with the specified α and β values, otherwise, increase or decrease c by 1.

I.3.3 Tables of the cumulative normal distribution and its inverse

Table I.1 – Cumulative normal distribution for fixed u_γ values

u_γ	2,5	2,0	1,5	1,25	1,0	0,5	0,0
$\Phi(u_\gamma) = \gamma$	0,993 8	0,977 3	0,933 2	0,894 4	0,841 3	0,691 5	0,500 0
$1-\gamma$	0,006 2	0,022 7	0,066 8	0,105 6	0,158 7	0,308 5	0,500 0
NOTE Notice that $u_\gamma = -u_{1-\gamma}$.							

Table I.2 – Inverse cumulative normal distribution for fixed $1-\gamma$ values

$1-\gamma$	0,01	0,025	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30
$\Phi(u_\gamma) = \gamma$	0,99	0,975	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70
u_γ	2,326	1,960	1,645	1,282	1,036 4	0,841 6	0,524 4

Annex J (informative)

Examples and mathematical references for the calendar time terminated test plans

NOTE 1 See Clause 9.

NOTE 2 This annex uses the symbols listed in 3.2.2.

J.1 Examples

J.1.1 Example 1

Specified: A non-repaired item has a mean time to failure $m_0 = 2\,000$ h, corresponding to a failure rate $\lambda_0 = \frac{1}{m_0} = 500 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1} = 4,4$ failures per year.

A number of items, n , is placed on a fixed calendar time test for $t_{\text{cal,t}}^*$ about 500 h (3 weeks). The producer and the customer accept $\alpha = \beta = 5\%$ and $D = 2$.

To be derived: p_0 , n , c and final test time $t_{\text{cal,t}}^*$.

Procedure: According to 9.4, $p_0 = 1 - \exp\left(\frac{-t_{\text{cal,t}}^*}{m_0}\right) = 1 - \exp\left(\frac{-500}{2\,000}\right) = 0,221$. This value is not indicated in IEC 61123, so $t_{\text{cal,t}}^*$ needs to be adjusted. This is done using Formula (2) given in 9.4.1 with $p_0 = 0,20$: $t_{\text{cal,t}}^* = -m_0 \ln(1 - p_0) = 446$ h.

In Table 2 of IEC 61123:1991, the following test plan is found for $q_0 = 0,80$ or $p_0 = 0,2$; $\alpha = \beta = 5\%$; $D = 2$:

$$n = 60 \text{ with } c = 17$$

The final fixed calendar test time $t_{\text{cal,t}}^* = 446$ h is close to the specified 500 h.

J.1.2 Example 2

Specified: The same data as in example 1, except that the maximum available number of items is $n = 210$, and the test time is to be determined.

To be derived: p_0 , final n , c and $t_{\text{cal,t}}^*$

Procedure: In Table 2 of IEC 61123:1991, the following test plan is found for $\alpha = \beta = 5\%$; $D = 2$ and n less than and close to the specified 210:

$$n = 203 \text{ with } c = 20 \text{ and } q_0 = 0,93 \text{ corresponding to } p_0 = 1 - q_0 = 0,07.$$

Using Formula (2) given in 9.4.1, the fixed calendar test time is determined as follows:

$$t_{\text{cal,t}}^* = -m_0 \ln(1 - p_0) = -2\,000 \ln(0,93) = 145 \text{ h.}$$

J.2 Mathematical background

Formula (1) given in 9.4.1 corresponds to the reliability $R(t) = 1 - p_0 = \exp\left(\frac{-t}{m_0}\right)$ for exponentially distributed time to failure and the distribution mean equal to m_0 . Where $t = t_{\text{cal},t}$ is the calendar time, then $R(t_{\text{cal},t}) = 1 - p_0 = \exp\left(\frac{-t_{\text{cal},t}}{m_0}\right)$. In cases where the number of failing items is small compared to the number of items under test, such as $\frac{r}{n} < 0,1$, the procedure in Clause 8 may be used.

Annex K
(informative)

**Derivation and mathematical reference for the optimized test plans
of GOST R 27 402**

K.1 Symbols

NOTE The terminology in Annex K is different from the terminology listed in 3.2.2.

A	operating parameter
a_k	number of the minimal interior point in the k -section
B	operating parameter
b_k	number of the maximal interior point in the k -section
i	summation index in the k -section
j	number of the horizontal section (for the acceptable boundary points), $j = 0, 1, \dots, R-1$
k	number of the vertical section, $k = 1, 2, \dots, s$
l or l	number of the horizontal section (for the interior points)
m	summation index in the $(k+1)$ -section
P_a	probability of acceptance (OC-curve)
p_j	probability of passing through point on the acceptable boundary
$Q_i^{(k)}$	probability of an output of F-lines among the rejection boundary from all interior points of the plan
q_i	probability of passing through inner point
$q_l^{(k)}$	probabilities of F-lines passage through all acceptable boundary points
R	maximum (reject) number of failures (operating parameter)
s	summation variable
T	the unknown MTTF or MTBF
T_i	abscissa for vertical lines passing cross points of acceptable boundaries with horizontal lines
T_{\max}	maximum test time (operating parameter)
T_β	the specified unacceptable (reject) value of T
T_α	the specified acceptable value of T
T_e^*	mean (expected) test time to acceptance or reject decision
$T_e^*(+)$	mean (expected) test time to acceptance decision
t_k	test time to the k -section
$t_1 \ t_k \ t_s$	abscissa for vertical lines passing cross points of acceptable and reject boundaries with horizontal lines

- α nominal producer's risk (type 1 risk)
- α_1 true producer's risk
- β nominal consumer's risk (type 2 risk)
- β_1 true consumer's risk
- λ the unknown failure rate
- $\tilde{\Delta}_{k+1,i}$ mean (expected) test time from i horizontal line of k -section to reject boundary during test time interval Δ_{k+1}
- Δ_k k -th test time interval, $\Delta_k = t_k - t_{k-1}$
- $\tau_1 \tau_j$ abscissa for vertical lines passing cross points of acceptable and horizontal lines (test time to acceptance decision with j failures)
- τ_{R-1}

K.2 Test plan types and terminology

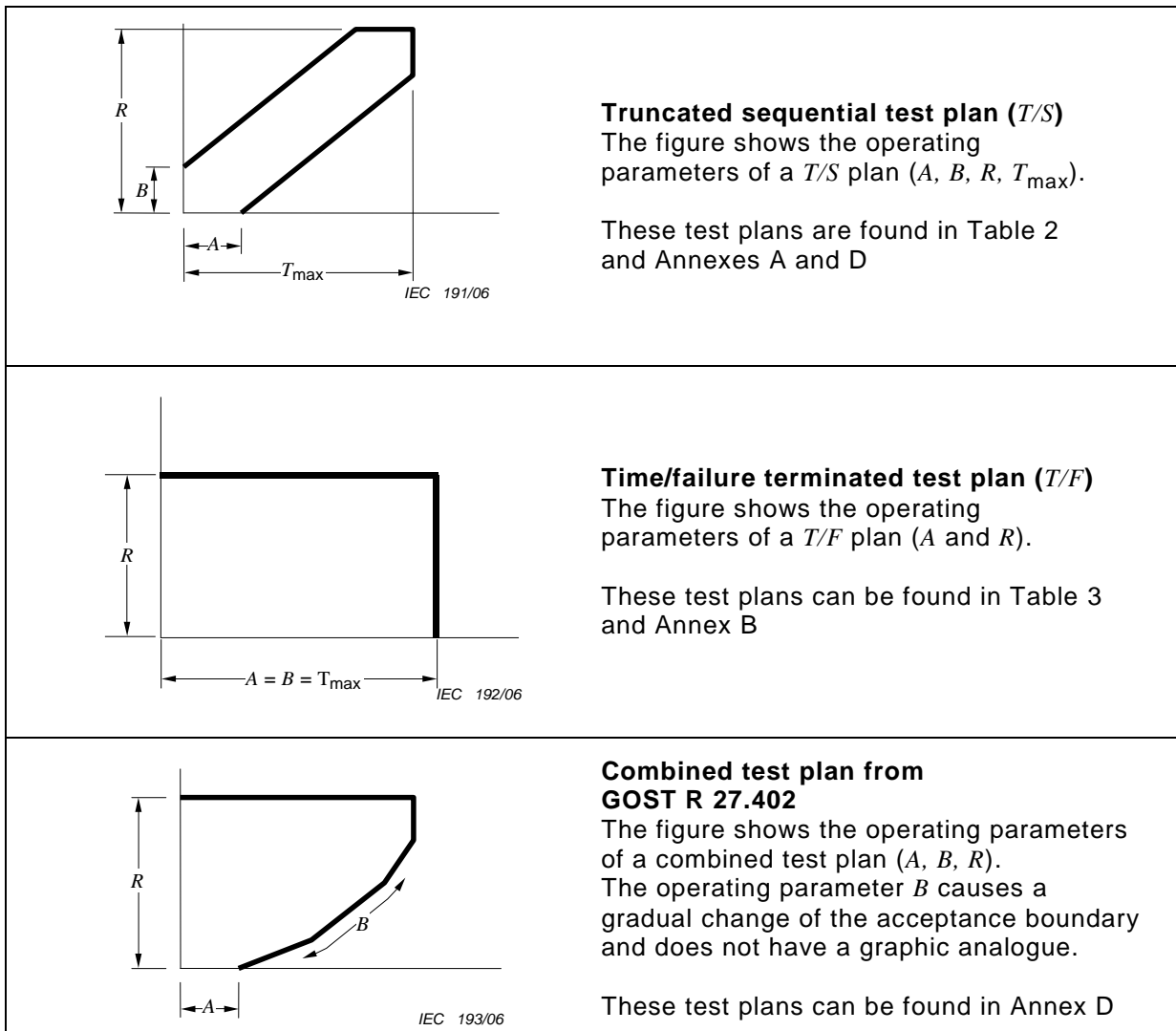


Figure K.1 – Test plan types and terminology

K.3 General introduction

In these plans, the operating characteristic is:

$$P_a = \sum_{j=0}^{R-1} p_j \tag{K.1}$$

and the risks are:

$$\alpha = 1 - P_a(T_\alpha) = 1 - \sum_{j=0}^{R-1} p_j(T_\alpha) \tag{K.2}$$

and

$$\beta = P_a(T_\beta) = \sum_{j=0}^{R-1} p_j(T_\beta) \tag{K.3}$$

Values of the mean test time to acceptance decision $T_e^*(+)$ in the points T (for example $T = T_\alpha$ and $T = T_\beta$) are computed using the following:

$$T_e^*(+) = \frac{\sum_{j=0}^{R-1} \tau_j p_j}{\sum_{j=1}^{R-1} p_j} \tag{K.4}$$

Values of mean test time T_e^* in the points T (for example $T = T_\alpha$ and $T = T_\beta$) are computed using the following formula:

$$T_e^* = \sum_{j=0}^{R-1} p_j \tau_j + \sum_{k=1}^{s-1} \sum_{i=a_k}^{b_k} q_i^{(k)} Q_i^{(k)} \left\{ t_k + \underbrace{\frac{b_{k+1}-i+1}{\lambda Q_i^{(k)}} \left[1 - e^{-\lambda \Delta_{k+1}} \sum_{m=0}^{b_{k+1}-i+1} (\lambda \Delta_{k+1})^m / m! \right]}_{\tilde{\Delta}_{k+1,i}} \right\} \tag{K.5}$$

where

$$Q_i^{(k)} = 1 - e^{-\lambda \Delta_{k+1}} \sum_{m=0}^{b_{k+1}-i} \frac{(\lambda \Delta_{k+1})^m}{m!}$$

K.4 Procedure used for developing the optimized test plans

The test plans in Annex D are copied from GOST R 27.402 where more of these test plan types can be found.

The test plans were developed using the following iterative procedure.

Step 1 (Preamble and preparation)

The characteristics of a common form of the plan with the free arbitrary accept and reject boundaries, maximum reject failures R and maximum test time T_{\max} shall be calculated.

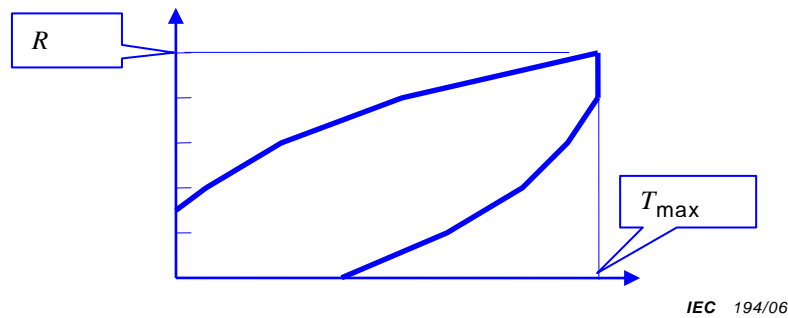


Figure K.2 – Principle of test plans

- a) Vertical lines passing through cross points of acceptable and reject boundaries with horizontal lines are t . Vertical lines passing through cross points of acceptable boundaries with horizontal lines are τ .

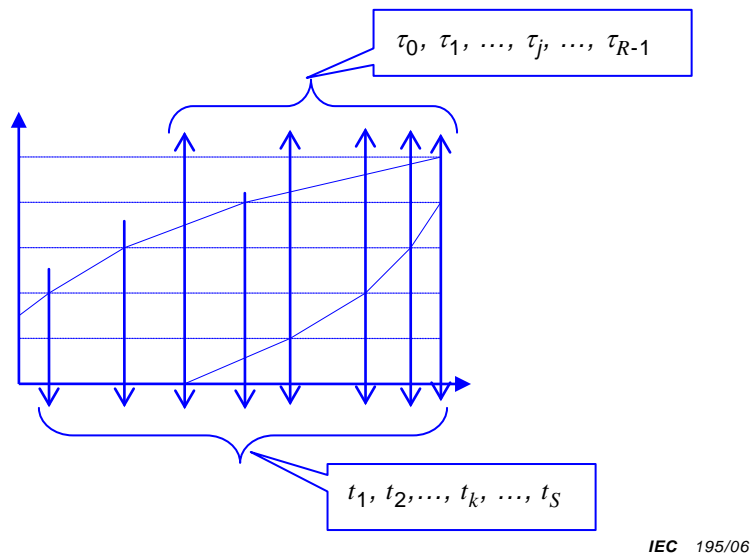


Figure K.3 – Partitioning of the test plan graph

- b) Vertical and horizontal lines intersect at white points in the continue testing region. The points where accept boundary and horizontal lines intersect are black. To calculate test plan characteristics it is sufficient to examine only the black points. All the possible failure realization lines (F-lines) between two points of adjacent sections are shown by one arrow as illustrated in Figure K.5:

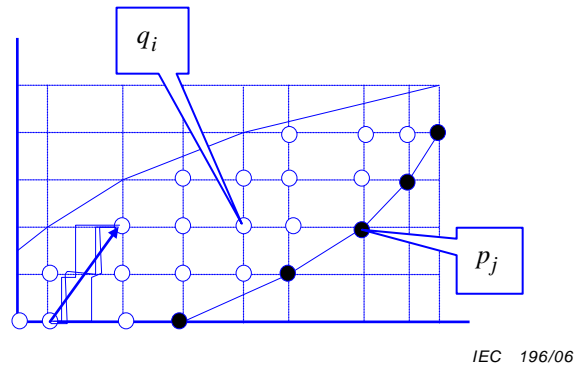


Figure K.4 – Interior nodes and border nodes

- c) Arrows show all the possible transitions of F-lines at interior points to the accept boundary (see Figure K.5):

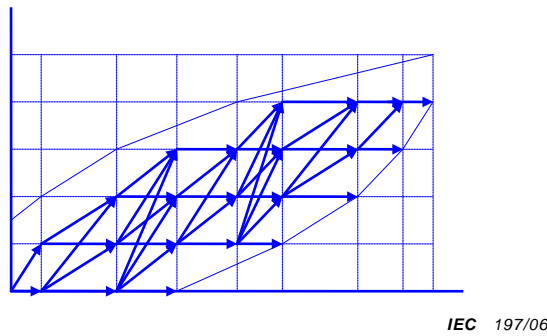


Figure K.5 – Paths to the accept line

- d) Arrows show all the possible transitions of F-lines at interior points to the reject boundary (see Figure K.6).

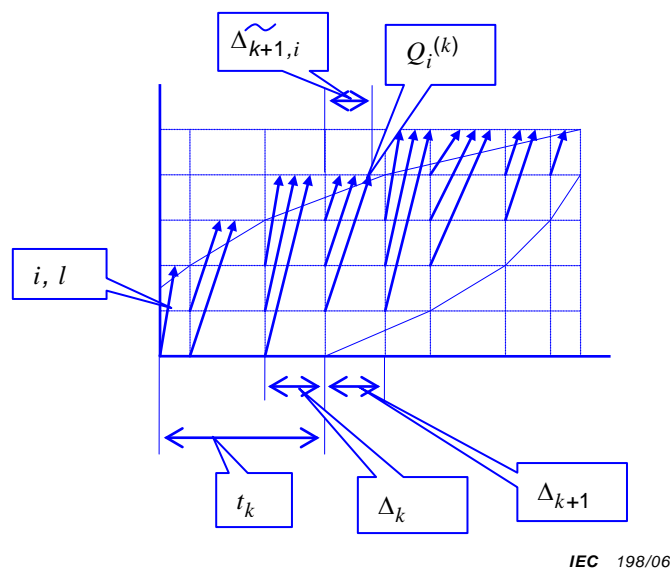


Figure K.6 – Paths to the reject line

Step 2

Choose the necessary values of the initial data: D , α and β .

Step 3

Choose the type of plan, for example truncated sequential test plan (see Figure K.1).

Step 4

Determine the starting values of operating parameters A , B , R , T_{max} for the first plan. The starting values A and B are calculated with the help of the Abraham Wald Formulae (E.7) and (E.8). The starting values R and T_{max} are calculated the same way as for T/F plan. Thus, boundaries of the plan coincide with boundaries of truncated sequential test plans (see Annex A). This is used as a starting point for developing the test plans of Annex D.

Step 5

Calculate:

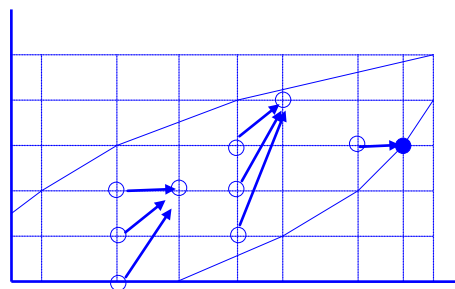
- a) probabilities of F-lines passage through all internal (q) points of the plan using Formula (K.6):

$$q_l^{(k)} = e^{-\lambda\Delta_k} \sum_{i=a_{k-1}}^{\min(l, b_{k-1})} q_i^{(k-1)} \frac{(\lambda\Delta_k)^{l-i}}{(l-i)!} \quad (\text{K.6})$$

and probabilities of F-lines passage through all acceptable boundary (p) points of the plan using Formula (K.7):

$$p_j \equiv q_{l=a_{k-1}}^{(k)} = q_{a_{k-1}}^{(k-1)} e^{-\lambda\Delta_k} \quad (\text{K.7})$$

Formula (K.7) is a special case of Formula (K.6) at $i = l$.



IEC 199/06

Figure K.7 – Probabilities of paths transfer between nodes

The probabilities q , p and $Q_i^{(k)}$; $\tilde{\Delta}_{k+1,i}$, T_{θ}^* , $T_e^*(+)$ are the functions of the unknown value T .

Formulae (K.6) and (K.7) are recurrent (identical to all points of the plan). Calculations under this formula are carried out for each point consistently on vertical sections and from below upward (it is possible from the top downward, but it is less convenient).

- b) values of the operating characteristic P_a including true risks alpha and beta are computed using Formula (K.8):

$$P_a = \sum_{j=0}^{R-1} p_j \tag{K.8}$$

Particularly

$$\alpha = 1 - P_a(T_\alpha) = 1 - \sum_{j=0}^{R-1} p_j(T_\alpha) \tag{K.9}$$

$$\beta = P_a(T_\beta) = \sum_{j=0}^{R-1} p_j(T_\beta) \tag{K.10}$$

c) values of the mean test time to acceptance decision $T_e^*(+)$ in the points T (for example $T = T_\alpha$ and $T = T_\beta$) are computed using Formula (K.11):

$$T_e^*(+) = \frac{\sum_{j=0}^{R-1} \tau_j p_j}{\sum_{j=1}^{R-1} p_j} \tag{K.11}$$

d) values of mean test time T_e^* in the points T (for example $T = T_\alpha$ and $T = T_\beta$) are computed using Formula (K.12):

$$T_e^* = \sum_{j=0}^{R-1} p_j \tau_j + \sum_{k=1}^{s-1} \sum_{i=\alpha_k}^{b_k} q_i^{(k)} Q_i^{(k)} \left\{ t_k + \frac{b_{k+1} - i + 1}{\lambda Q_i^{(k)}} \left[1 - e^{-\lambda \Delta_{k+1}} \sum_{m=0}^{b_{k+1} - i + 1} (\lambda \Delta_{k+1})^m / m! \right] \right\} \tag{K.12}$$

where

$$Q_i^{(k)} = 1 - e^{-\lambda \Delta_{k+1}} \sum_{m=0}^{b_{k+1} - i} \frac{(\lambda \Delta_{k+1})^m}{m!}$$

The starting parameter values under $k = 0$: $t_0 = 0$, $q_0^{(0)} = 1$, $q_i^{(0)} = 0$

The probabilities $Q_i^{(k)}$ of an output of F-lines along the rejection boundary from all internal points of the plan and corresponding mean test times $\tilde{\Delta}_{k+1,i}$ in interval Δ_{k+1} are shown in Figure K.6.

In Annex D, values of these characteristics are calculated in 15 points including $T = T_\alpha$.

The result of calculation is a plan for which values α_1 and β_1 do not coincide with nominal values α and β , and the value T_e^* and/or $T_e^*(+)$ is not the minimal possible one.

Step 6

Select new values of operating parameters A and B for inclined boundaries of the plan and compute another plan with other α_1 and β_1 values.

Step 7

Repeat the procedure of step 6 until true values of risks will coincide with nominal values $\alpha_1 = \alpha$ and $\beta_1 = \beta$ with the necessary accuracy.

NOTE Risks of plans are given in Annex D to 4 decimal places, and calculated with the help of a computer to 6 decimal places.

The result is an accurate plan. However, it is still not the optimum plan.

Step 8

Change the value of the operating parameter T_{\max} and, if it is necessary, R , and repeat the procedure of steps 6 to 7 and compute another accurate plan with another value of T_e^* .

NOTE The number of accurate test plans with various values T_e^* is infinite.

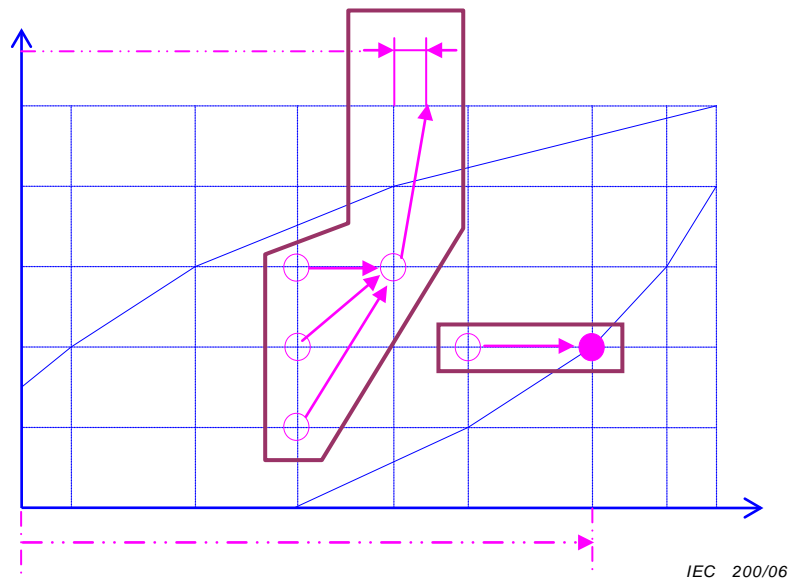
Step 9

Repeat steps 6 to 8 until the plan with the minimal T_e^* or $T_e^*(+)$ is found within the limits of allowable values and with the necessary accuracy.

NOTE 1 Values of the T_e^* and $T_e^*(+)$ plans characteristics are given in Annex D to 4 decimal places, and calculated with the help of a computer to 6 decimal places.

Such a plan is accurate and optimum.

NOTE 2 Recursive formulae in a full form (for example Formula (K.12)), are frequently unwieldy. They have an illustrative character and are not user-friendly. If the user wants to carry out manual calculations, he should take the formula to pieces, identify a recursive element and use it for calculating in all points of the plan. The computer program also uses a recursion. See Figure K.8.



NOTE See NOTE 2 in step 9 above.

Figure K.8 – The recurrent element – Two cases

Bibliography

- [1] GOST R 27.402, *Dependability techniques – Compliance test plans for mean operating time to failure or between failures – Part 1: Exponential case*
 - [2] MIL-HDBK-781 *Handbook for Reliability Test Methods, Plans and Environments for Engineering development, Qualification and Production*
 - [3] IEC 60605-7:1978, *Equipment reliability testing – Part 7: Compliance test plans for failure rate and mean time between failures assuming constant failure rate* (withdrawn)
 - [4] WALD, A. *Sequential Analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1947
 - [5] EPSTEIN, B. and SOBEL, M. *Sequential life tests in the Exponential case*, *Annals of Mathematical Statistics*, Volume 26, 1955, pp. 82-93
 - [6] KAPUR, K.C. and LAMBERTSON, L.R., *Reliability in Engineering Design*, John Wiley & Sons, New York, Santa Barbara, London, Sydney, Toronto, 1977
 - [7] KECECIOGLU, D., *Reliability and Life Testing Handbook*, PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
 - [8] GHOSH, B.K. and SEN, P.K., *Handbook of Sequential Analysis*, Marcel Dekker, Inc, New York
 - [9] ABRAMOVITZ, M. and STEGUN, I.A., *Handbook of Mathematical Functions*, National Bureau of Standards, 1964. Dover Publications Inc. New York 1974
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	130
1 Domaine d'application	132
2 Références normatives.....	132
3 Termes, définitions, abréviations et symboles.....	133
3.1 Termes et définitions.....	133
3.2 Abréviations et symboles.....	133
3.2.1 Abréviations	133
3.2.2 Symboles	133
4 Exigences générales et domaine d'applicabilité	135
4.1 Exigences	135
4.2 Applicabilité aux entités réparées et remplacées	135
4.3 Types de plans d'essais	136
4.3.1 Généralités.....	136
4.3.2 Avantages et inconvénients des différents types de plans d'essais	136
5 Méthode générale d'essai.....	137
5.1 Conditions d'essai	137
5.2 Caractéristiques générales des plans d'essais	138
5.3 Données à enregistrer	138
5.4 Calcul du temps d'essai accumulé, T^*	139
5.5 Nombre de défaillances	139
6 Plans d'essais progressifs	140
6.1 Généralités.....	140
6.2 Méthode d'essai commune	140
6.3 Critères de décision	140
6.4 Vue d'ensemble des plans d'essais	141
7 Plans d'essais terminé par le temps ou les défaillances – Plans d'essais à durée fixe.....	141
7.1 Généralités.....	141
7.2 Méthode d'essai commune	142
7.3 Critères de décision	142
7.4 Plans d'essais	142
8 Etude de plans d'essais tronqués/censurés alternatifs.....	143
8.1 Généralités.....	143
8.2 Procédures de conception	144
8.3 Méthode d'essai commune	144
8.4 Critères de décision	144
9 Plans d'essais à durée calendaire censurés pour entités non réparées.....	145
9.1 Généralités.....	145
9.2 Méthode d'essai commune	145
9.3 Critères de décision	145
9.4 Utilisation du Tableau 2 de la CEI 61123:1991 pour les essais à durée calendaire	146
9.4.1 Généralités.....	146
9.4.2 Méthode relative à un temps d'essai déterminé	146

9.4.3	Méthode relative à un nombre d'entités déterminé	146
10	Plans d'essais combinés	147
10.1	Généralités.....	147
10.2	Méthode d'essai commune	147
10.3	Critères de décision	147
10.4	Plans d'essais	148
11	Réalisation de l'essai.....	148
12	Présentation des résultats	148
Annexe A (normative)	Tableaux et graphiques relatifs aux plans d'essais progressifs	149
Annexe B (normative)	Graphiques relatifs aux plans d'essais terminés par le temps ou les défaillances	168
Annexe C (normative)	Graphiques relatifs aux plans d'essais censurés alternatifs	177
Annexe D (normative)	Tableaux et graphiques pour plan d'essais combinés et plans d'essais progressifs supplémentaires.....	184
Annexe E (informative)	Exemple et référence mathématique pour les plans d'essais progressifs.....	203
Annexe F (informative)	Conception des plans d'essais progressifs en utilisant un tableur électronique courant	211
Annexe G (informative)	Exemples et références mathématiques relatifs aux plans d'essais fixé par le temps ou les défauts – Plans d'essai de durée fixe	222
Annexe H (informative)	Conception des plans d'essais censurés à durée fixe en utilisant un tableur électronique	224
Annexe I (informative)	Exemples et référence mathématique relatifs à l'étude de plans d'essais censurés alternatifs.....	230
Annexe J (informative)	Exemples et références mathématiques relatifs aux plans d'essais à durée calendaire censurés	238
Annexe K (informative)	Déduction et référence mathématique pour les plans d'essais optimisés de GOST R 27 402.....	240
	Bibliographie.....	248
Figure A.1	– Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.1	149
Figure A.2	– Plan d'essais A.1 – Courbe caractéristique d'exploitation	150
Figure A.3	– Plan d'essais A.1 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision	151
Figure A.4	– Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.2	151
Figure A.5	– Plan d'essais A.2 – Courbe caractéristique d'exploitation	152
Figure A.6	– Plan d'essais A.2 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision	153
Figure A.7	– Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.3	153
Figure A.8	– Plan d'essais A.3 – Courbe caractéristique d'exploitation	154
Figure A.9	– Plan d'essais A.3 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision	155
Figure A.10	– Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.4	156
Figure A.11	– Plan d'essais A.4 – Courbe caractéristique d'exploitation.....	157
Figure A.12	– Plan d'essais A.4 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision	157
Figure A.13	– Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.5	158

Figure A.14 – Plan d’essais A.5 – Courbe caractéristique d’exploitation.....	159
Figure A.15 – Plan d’essais A.5 – Valeur moyenne du temps d’essai cumulé au moment de la décision	159
Figure A.16 – Lignes d’acceptation et de rejet pour le plan d’essais A.6	160
Figure A.17 – Plan d’essais A.6 – Courbe caractéristique d’exploitation.....	161
Figure A.18 – Plan d’essais A.6 – Valeur moyenne du temps d’essai cumulé au moment de la décision	161
Figure A.19 – Lignes d’acceptation et de rejet pour le plan d’essais A.7	162
Figure A.20 – Plan d’essais A.7 – Courbe d’efficacité	163
Figure A.21 – Plan d’essais A.7 – Valeur moyenne du temps d’essai cumulé au moment de la décision	163
Figure A.22 – Lignes d’acceptation et de rejet pour le plan d’essais A.8	164
Figure A.23 – Plan d’essais A.8 – Courbe caractéristique d’exploitation.....	165
Figure A.24 – Plan d’essais A.8 – Valeur moyenne du temps d’essai cumulé au moment de la décision	165
Figure A.25 – Lignes d’acceptation et de rejet pour le plan d’essais A.9	166
Figure A.26 – Plan d’essais A.9 – Courbe caractéristique d’exploitation.....	167
Figure A.27 – Plan d’essais A.9 – Valeur moyenne du temps d’essai cumulé au moment de la décision	167
Figure B.1 – Courbe caractéristique d’exploitation pour les plans d’essais B.1, B.2, B.3 et B.4.....	168
Figure B.2 – Plan d’essais B.1 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	169
Figure B.3 – Plan d’essais B.2 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	169
Figure B.4 – Plan d’essais B.3 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	170
Figure B.5 – Plan d’essais B.4 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	170
Figure B.6 – Courbe caractéristique d’exploitation pour les plans d’essais B.5, B.6, B.7 et B.8.....	171
Figure B.7 – Plan d’essais B.5 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	171
Figure B.8 – Plan d’essais B.6 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	172
Figure B.9 – Plan d’essais B.7 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	172
Figure B.10 – Plan d’essais B.8 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	173
Figure B.11 – Courbe caractéristique d’exploitation pour les plans d’essais B.9, B.10 et B.11.....	173
Figure B.12 – Plan d’essais B.9 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	174
Figure B.13 – Plan d’essais B.10 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	174
Figure B.14 – Plan d’essais B.11 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	175
Figure B.15 – Courbe caractéristique d’exploitation pour les plans d’essais B.12 et B.13.....	175
Figure B.16 – Plan d’essais B.12 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	176
Figure B.17 – Plan d’essais B.13 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision	176
Figure C.1 – Rapport de discrimination, D , et nombre acceptable de défaillances $c = 0$ à 8, en fonction de l’espérance mathématique du nombre de défaillances, μ_0 , pour les valeurs recommandées de 2,5 %, 5 %, 10 %, 20 % et 30 % de $\alpha = \beta$	180
Figure C.2 – Courbe caractéristique d’exploitation pour $c = 0$ à 8; probabilité d’acceptation, P_a en fonction de l’espérance mathématique du nombre (inconnu) vrai de défaillances, μ_0	181

Figure C.3 – Rapport de discrimination, D , en fonction de l'espérance mathématique du nombre de défaillances, μ_0 , pour les valeurs recommandées de 2,5 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % et 30 % de $\alpha = \beta$	182
Figure C.4 – Nombre acceptable de défaillance, c , moins l'espérance mathématique du nombre de défaillances, μ_0 ($\Delta\mu_0 = c - \mu_0$) comme une fonction de l'espérance mathématique du nombre de défaillances μ_0 pour les valeurs recommandées 2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, et 30 % de $\alpha = \beta$	183
Figure D.1 – Lignes d'acceptation et de rejet	185
Figure D.2 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*	186
Figure D.3 – Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$	186
Figure D.4 – Caractéristique d'exploitation P_a	186
Figure D.5 – Lignes d'acceptation et de rejet	187
Figure D.6 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*	189
Figure D.7 – Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$	189
Figure D.8 – Caractéristique d'exploitation P_a	189
Figure D.9 – Lignes d'acceptation et de rejet	190
Figure D.10 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*	191
Figure D.11 – Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$	191
Figure D.12 – Caractéristique d'exploitation P_a	192
Figure D.13 – Lignes d'acceptation et de rejet	193
Figure D.14 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*	194
Figure D.15 – Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$	194
Figure D.16 – Caractéristique d'exploitation P_a	194
Figure D.17 – Lignes d'acceptation et de rejet	195
Figure D.18 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*	196
Figure D.19– Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$	196
Figure D.20 – Caractéristique d'exploitation P_a	196
Figure D.21 – Lignes d'acceptation et de rejet	197
Figure D.22 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*	198
Figure D.23 – Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$	198
Figure D.24 – Caractéristique d'exploitation P_a	198
Figure D.25 – Lignes d'acceptation et de rejet	199
Figure D.26 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*	199
Figure D.27 – Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$	199
Figure D.28 – Caractéristique d'exploitation P_a	200
Figure D.29 – Lignes d'acceptation et de rejet	200
Figure D.30 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*	201
Figure D.31– Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$	201

Figure D.32 – Caractéristique d'exploitation P_a 201

Figure E.1 – Exemple d'essai progressif utilisant le plan d'essais A.3 – $\alpha = \beta = 10 \%$,
 $D = 3$, $m_0 = 1,11 \times 10^6$ h; r en fonction de $\frac{T^*}{m_0}$ 206

Figure F.1 – Exemple de graphique de tableur SPRT 217

Figure F.2 – Caractéristique d'exploitation pour probabilité d'acceptation, P_a 220

Figure F.3 – Valeur moyenne du temps d'essai pour prendre une décision 220

Figure H.1 – Caractéristique d'exploitation tracée à partir des calculs du tableur 229

Figure K.1 – Types de plan d'essais et terminologie 241

Figure K.2 – Principe des plans d'essais 243

Figure K.3 – Découpage du graphique correspondant au plan d'essais 243

Figure K.4 – Nœuds intérieurs et nœuds limites 244

Figure K.5 – Chemins vers la ligne d'acceptation 244

Figure K.6 – Chemins vers la ligne de rejet 244

Figure K.7 – Probabilités de transfert de chemins entre les nœuds 245

Figure K.8 – L'élément récurrent – Deux cas 247

Tableau 1 – Avantages et inconvénients des différents types de plan d'essais 137

Tableau 2 – Récapitulatif des plans d'essais progressifs indiqués à l'Annexe A et D 141

Tableau 3 – Plans d'essais terminés fixés par le temps ou la défaillance 143

Tableau 4 – Plans d'essais combinés dans l'Annexe D 148

Tableau A.1 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.1 150

Tableau A.2 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.2 152

Tableau A.3 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.3 154

Tableau A.4 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.4 156

Tableau A.5 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.5 158

Tableau A.6 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.6 160

Tableau A.7 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.7 162

Tableau A.8 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.8 164

Tableau A.9 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.9 166

Tableau D.1 – Plans d'essais progressifs dans la présente annexe 184

Tableau D.2 – Plans d'essais combinés dans la présente annexe 184

Tableau D.3 – Lignes d'acceptation et de rejet 185

Tableau D.4 – Valeur moyenne du temps d'essai au moment de la décision et caractéristique d'exploitation P_a 187

Tableau D.5 – Lignes d'acceptation et de rejet 188

Tableau D.6 – Valeur moyenne du temps d'essai au moment de la décision et caractéristique d'exploitation P_a 190

Tableau D.7 – Lignes d'acceptation et de rejet 191

Tableau D.8 – Valeur moyenne du temps d'essai au moment de la décision et caractéristique d'exploitation P_a 192

Tableau D.9 – Lignes d'acceptation et de rejet 193

Tableau D.10 – Valeur moyenne du temps d'essai au moment de la décision et caractéristique d'exploitation P_a 194

Tableau D.11 – Lignes d'acceptation et de rejet.....	195
Tableau D.12 – Valeur moyenne du temps d'essai au moment de la décision et courbe d'efficacité P_a	196
Tableau D.13 – Lignes d'acceptation et de rejet.....	197
Tableau D.14 – Valeur moyenne du temps d'essai au moment de la décision et courbe d'efficacité P_a	198
Tableau D.15 – Lignes d'acceptation et de rejet.....	199
Tableau D.16 – Valeur moyenne du temps d'essai au moment de la décision et caractéristique d'exploitation P_a	200
Tableau D.17 – Lignes d'acceptation et de rejet.....	201
Tableau D.18 – Valeur moyenne du temps d'essai au moment de la décision et caractéristique d'exploitation P_a	202
Tableau E.1 – Exemple d'essai progressif utilisant le plan d'essais A.3 (avec donnée d'exemple).....	205
Tableau E.2 – Constantes pour formules des limites et leurs coordonnées pour les plans d'essais progressifs A.1 à A.9	210
Tableau F.1 – Début du tableur préparé pour obtenir un essai progressif graphique	212
Tableau F.2 – Poursuite du calcul des paramètres pour les lignes nécessaires au graphique PRST	213
Tableau F.3 – Calcul de la ligne d'acceptation et de rejet pour le graphique PRST	213
Tableau F.4 – Détermination du temps de fin de l'essai	214
Tableau F.5 – Formules pour la ligne d'acceptation et de rejet avec la fin de l'essai	216
Tableau F.6 – Elaboration du tableur pour la réalisation des courbes OC pour le SPRT.....	219
Tableau H.1 – Elaboration du tableur avec formules intégrées – Exemple	225
Tableau H.2 – Formulae intégrées dans le tableur indiqué dans le Tableau H.1.....	226
Tableau H.3 – Caractéristique d'exploitation pour essai censuré à durée fixe	228
Tableau I.1 – Fonction de distribution normale pour des valeurs de u_γ déterminées	237
Tableau I.2 – Inverse de la fonction de distribution normale pour des valeurs de $1-\gamma$ déterminées.....	237

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS DE FIABILITÉ – PLAN D'ESSAIS DE CONFORMITÉ D'UN TAUX DE DÉFAILLANCE CONSTANT ET D'UNE INTENSITÉ DE DÉFAILLANCE CONSTANTE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 61124 a été établie par le comité d'études 56: Sûreté de fonctionnement.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2006. Cette édition constitue une révision technique.

Les modifications techniques majeures par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- De nouveaux plans d'essais sont ajoutés, basés sur la Norme russe GOST R 27.402 [1]¹, et son objectif est d'être cohérent avec la nouvelle édition de MIL-HDBK-781 [2]. Elle comprend les algorithmes pour l'optimisation des plans d'essais en utilisant un tableur

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

électronique, ainsi qu'une liste de plan d'essais. En outre l'accent est mis sur le fait qu'il convient de réitérer l'essai à la suite des modifications de conception.

- Les écarts dans les plans d'essais A, B et les Annexes A et B qui provenaient de la CEI 60605-7 [3], (retirée) ont été corrigés et ces plans sont donc différents de ceux donnés dans les précédentes éditions de la CEI 61124. Comme demandé par les Comités nationaux, les informations concernant la base mathématique et le tableur électronique ont été déplacées aux annexes informatives. De plus, les listes de symboles ont été divisées, pour obtenir des listes de symboles séparées dans certaines annexes.
- Des lignes directrices sur la manière de choisir les plans d'essais ont été ajoutées de même que sur la manière d'utiliser les tableurs électroniques pour les créer. Les plans d'essais A.1 à A.9 et B.1 à B.13 ont été corrigés.
- Les paragraphes 8.1, 8.2, 8.3, l'Article 9 et l'Annexe C, les Articles G.2, I.2, I.3 et l'Annexe J ne changent pas, sauf pour la terminologie et les références mises à jour.
- Corrections à la deuxième édition proposée par les comités nationaux ont été mises en place.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/1461/FDIS	56/1468/RVD

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

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

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 la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

ESSAIS DE FIABILITÉ – PLAN D'ESSAIS DE CONFORMITÉ D'UN TAUX DE DÉFAILLANCE CONSTANT ET D'UNE INTENSITÉ DE DÉFAILLANCE CONSTANTE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit un certain nombre de plans d'essais optimisés, les courbes OC associées et les valeurs moyennes des temps d'essais. De plus, les algorithmes pour la conception de plans d'essais à l'aide d'un tableur électronique sont également fournis avec des lignes directrices sur la manière de choisir les plans d'essais.

La présente norme spécifie les méthodes utilisées pour vérifier qu'une valeur observée

- d'un taux de défaillance,
- d'une intensité de défaillance,
- d'une durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTTF),
- moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF),

est conforme à une exigence donnée.

Il est supposé, sauf spécification contraire, que pendant le temps d'essai cumulé, les durées de fonctionnement avant défaillance ou les durées de fonctionnement entre défaillances sont indépendantes et réparties de façon identique et exponentielle. Cette hypothèse implique que le taux de défaillance ou l'intensité de défaillance est constant.

Les quatre types de plans d'essais suivants sont décrits:

- essais progressifs tronqués;
- plans d'essais censurés (par la durée ou la défaillance);
- essais censurés à durée calendaire déterminée sans remplacement;
- plans d'essais combinés.

La présente norme ne couvre pas les lignes directrices sur la manière de planifier, réaliser, analyser et faire un rapport sur un essai. Ces informations sont données dans la CEI 60300-3-5.

La présente norme ne couvre pas les conditions d'essais. Ces informations sont données dans la CEI 60605-2 et dans la CEI 60300-3-5.

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).

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

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

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

CEI 60605-4:2001, *Essai de fiabilité des équipements – Partie 4: Méthodes statistiques de distribution exponentielle – Estimateurs ponctuels, intervalles de confiance, intervalles de prédiction et intervalles de tolérance*

CEI 60605-6, *Essais de fiabilité des équipements – Partie 6: Tests pour la validité et l'estimation du taux de défaillance constant et de l'intensité de défaillance constante*

CEI 61123:1991, *Essais de fiabilité – Plans d'essai de conformité pour une proportion de succès*

3 Termes, définitions, abréviations et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050(191) s'appliquent.

Les termes «taux de défaillance» et «intensité de défaillance» sont utilisés avec la signification de taux de défaillance constant et intensité de défaillance constante.

3.2 Abréviations et symboles

3.2.1 Abréviations

Abréviation	Terme en français	Terme en anglais
MTBF	moyenne des temps de bon fonctionnement	mean operating time between failures
MTTF	durée moyenne de fonctionnement avant défaillance	mean time to failure
OC	caractéristique de fonctionnement	operating characteristic
SPRT PRST	essai progressif à taux de probabilité, également appelé PRST	sequential probability ratio test probability ratio sequential test
TAAF	programme d'essai, d'analyse, et mise en place	Test, analyse and fix program

3.2.2 Symboles

Le symbole générique λ est utilisé dans ce qui suit pour le taux de défaillance et l'intensité de défaillance.

Le symbole m est utilisé pour désigner les deux mesures de fiabilité suivantes:

- temps moyen de fonctionnement entre défaillances, MTBF;
- temps moyen de fonctionnement avant défaillance, MTTF,

La relation entre les quantités ci-dessus, lorsqu'elle est utilisée selon les hypothèses données, est:

$$\lambda = \frac{1}{m}$$

Pour les plans d'essais progressifs (voir Article 6) et les plans d'essais terminés par le temps ou la défaillance (voir l'Article 7), m est une mesure de fiabilité; par conséquent, dans ces cas:

$$m = \frac{1}{\lambda}$$

c	nombre acceptable de défaillances pendant l'essai
D	rapport de discrimination; $D = m_0/m_1$ or $D = \lambda_1/\lambda_0$
k	variable de sommation pour défaillances
MTBF	moyenne des temps de bon fonctionnement
MTTF	durée moyenne de fonctionnement avant défaillance
m	vrai MTBF ou MTTF
m_0	MTTF spécifié ou MTBF $m_0 = 1/\lambda_0$ (objectif de conception)
m_1	limite inférieure pour MTTF ou MTBF $m_1 = 1/\lambda_1$
n	nombre d'entités soumises à l'essai au début de l'essai
P_a	probabilité d'acceptation
p_0	taux de défaillance acceptable
q_0	proportion de succès acceptable, $q_0 = 1 - p_0$
$R(t)$	fiabilité à l'instant t
r	nombre acceptable de défaillances pendant l'essai
r_0	nombre de défaillance de troncature d'essai pour les essais progressifs (SPRT)
T^*	temps d'essai cumulé
T_a^*	temps d'essai cumulé à prendre en compte, établi comme critère d'acceptation
$T_{a, \min}^*$	temps d'essai minimum pour $r = 0$ établi comme critère d'acceptation
T_e^*	valeur moyenne du temps d'essai cumulé à prendre en compte au moment de la décision
$T_e^*(+)$	valeur moyenne du temps d'essai cumulé à prendre en compte avant acceptation
T_r^*	temps d'essai cumulé à prendre en compte, établi comme critère d'acceptation
T_t^*	temps d'essai cumulé à prendre en compte, établi comme critère de fin
t	temps d'essai
t^*	temps de troncature d'essai
t_t^*	temps d'essai pour chaque entité d'essai (supposé être le même pour toutes les

	entités d'essai)
t_i	durée de vie d'une entité défaillance i
$t_{cal, t}^*$	temps d'essai écoulé, établi comme critère de fin
$P(r)$	probabilité de r défaillances
$\Delta\mu_0$	quantité annexe pour la détermination de c , $\Delta\mu_0 = c - \mu_0$
α	risque fournisseur nominal (risque de type I)
α'	risque fournisseur vrai (risque de type I)
β	risque client nominal (risque de type II)
β'	risque de client vrai (risque de type II)
λ	taux de défaillance vrai par entité
λ_0	taux de défaillance attendu par entité (objectif de conception)
λ_1	limite supérieure pour taux de défaillance constant par entité
μ	espérance mathématique du nombre de défaillances pendant l'essai au vrai taux de λ
	NOTE μ n'est pas nécessairement un entier.
μ_0	nombre prévu de défaillances pendant l'essai pour un taux spécifié de λ_0 comme paramètre de la distribution de Poisson $\mu_0 = \lambda_0 T_t^*$

4 Exigences générales et domaine d'applicabilité

4.1 Exigences

Il est supposé, sauf spécification contraire, que pendant le temps d'essai cumulé, les durées de fonctionnement avant défaillance ou les durées de fonctionnement entre défaillances sont indépendantes, et réparties de façon identique et exponentielle. Cette hypothèse implique que le taux de défaillance ou l'intensité de défaillance est constant. Sous cette hypothèse, il n'y a pas de différence entre le taux de défaillance et l'intensité de défaillance. Par conséquent, les deux sont indiqués par λ et appelés taux de défaillance dans ce qui suit.

On suppose que l'exigence est spécifiée dans un des termes: taux de défaillance acceptable constant λ_0 , ou de nombre moyen acceptable de défaillance par unité de temps, λ_0 ou le temps moyen acceptable de défaillance ou de temps moyen de fonctionnement entre les défaillances, m_0 .

S'il est nécessaire de tester l'hypothèse du taux de défaillance/de l'intensité de défaillance constant(e), il convient d'utiliser les méthodes de la CEI 60605-6.

4.2 Applicabilité aux entités réparées et remplacées

Les plans d'essais progressifs (voir Article 6), les plans d'essais censurés (voir Article 7) et les plans d'essais combinés (voir Article 10) s'appliquent:

- avec remplacement des entités défaillantes;
- sans remplacement des entités défaillantes;

si l'on suppose que

- une entité peut être remplacée par une réparation de l'entité elle-même;

- le temps d'essai cumulé à prendre en compte est calculé comme le temps de fonctionnement de l'entité, conformément à 5.4;
- les entités remplacées appartiennent à la même population que les entités originales;
- l'intensité de défaillance des entités réparées après la réparation peut être considérée identique à celle avant réparation.

Cependant, les plans d'essais à durée calendaire tronqués-censurés décrits à l'Article 9 sont applicables dans le cas d'entités défaillantes non remplacées lorsqu'un nombre déterminé d'entités est soumis à l'essai pendant une durée déterminée. Cela signifie que l'essai se poursuit même si le nombre d'entités soumises à l'essai ne demeure pas constant, certaines entités étant susceptibles de ne pas survivre.

4.3 Types de plans d'essais

4.3.1 Généralités

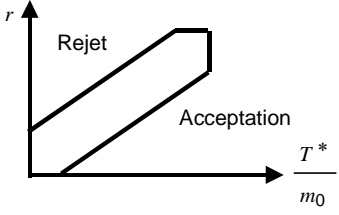
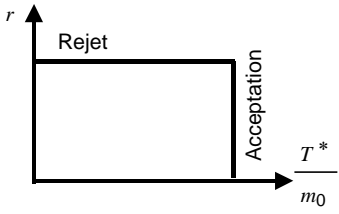
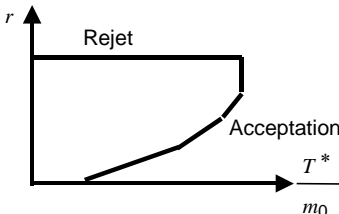
Des plans sont donnés pour quatre types d'essais:

- essais progressifs tronqués (voir l'Article 6);
- essais d'essais terminés par le temps ou la défaillance (pour les essais terminés par le temps ou la défaillance, voir l'Article 7, et pour les essais alternatifs terminés par le temps ou la défaillance, voir l'Article 8);
- essais à durée calendaire tronqués/censurés pour des entités non remplacées (voir l'Article 9);
- plans d'essais combinés (voir l'Article 10).

4.3.2 Avantages et inconvénients des différents types de plans d'essais

Les différents types de plans d'essais sont illustrés dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Avantages et inconvénients des différents types de plan d'essais

Type de plan d'essais	Avantages	Inconvénients
<p>Progressif tronqué</p> <p>Plans d'essais de l'Article 6 (Tableau 2), l'Annexe A et l'Annexe D</p> 	<p>Assure la plus grande efficacité d'essai (temps d'essai le plus court). Pour les plans d'essais A l'utilisateur peut développer de nouveaux plans d'essais en utilisant un tableur électronique.</p> <p>Les plans d'essais C ont de vrais risques alpha et bêta qui sont plus proches des risques nominaux que les plans d'essais A</p>	<p>Complicés à gérer.</p> <p>Pour une fiabilité marginale le temps d'essai est plus long que les plans d'essais censurés et combinés.</p> <p>Les plans d'essais de l'Annexe D sont créés en utilisant un processus itératif. Ils ne peuvent pas être calculés en utilisant les tableurs décrits à l'Annexe F</p>
<p>Censuré</p> <p>Plans d'essais de l'Article 7 (Tableau 3) et de l'Annexe B</p> 	<p>Simple à comprendre et à gérer.</p> <p>Pour une fiabilité marginale le temps d'essai est souvent plus court que pour les plans d'essais progressifs. L'utilisateur peut développer de nouveaux plans d'essais en utilisant un tableur électronique.</p> <p>On récolte plus d'informations sur les défaillances pour un programme « d'essai, d'analyse, et mise en place » (TAAF) en utilisant ces plans d'essais</p>	<p>Pour des entités très fiables ou très peu fiables, le temps d'essai est très largement supérieur à celui des plans d'essais progressifs ou des plans d'essais combinés (en cas de grande fiabilité)</p>
<p>Combiné</p> <p>Plans d'essais de l'Article 10 (Tableau 4) et de l'Annexe D</p> 	<p>Combine les avantages des plans d'essais censurés et des plans d'essais progressifs. Les entités très fiables soumises à l'essai seront vite acceptées alors que des entités présentant des défaillances tôt dans l'essai ne seront pas rapidement rejetées.</p> <p>On récolte plus d'informations sur les défaillances pour un programme « d'essai, d'analyse, et mise en place » (TAAF) en utilisant ces plans d'essais</p>	<p>Plus compliqué à gérer.</p> <p>Pour les entités soumises à l'essai présentant une fiabilité marginale, le test peut durer plus longtemps qu'un plan d'essais progressif.</p> <p>Les plans d'essais de l'Annexe D sont créés en utilisant un processus itératif. Ils ne peuvent pas être calculés en utilisant les tableurs décrits à l'Annexe F et H</p>

5 Méthode générale d'essai

5.1 Conditions d'essai

Un guide sur la manière de planifier, réaliser, analyser et rendre compte d'un essai se trouve dans la CEI 60300-3-5. Les conditions d'essai se trouvent dans la CEI 60605-2 et la CEI 60300-3-5.

Tous ces types d'essai peuvent être accélérés pour répondre à des exigences fortes de fiabilité haute et permettre un temps plus court pour la mise sur le marché. Les conditions d'essai et profils environnementaux de mission et de cycle de vie sont les suivants:

- Il convient d'utiliser les profils de mission pour déterminer les spécifications environnementales et de les obtenir à partir du profil de vie opérationnel défini par l'équipement ou les exigences du système. Si cette information n'est pas fournie dans la documentation contractuelle d'origine, il convient d'émettre des hypothèses pour définir

les profils de la mission et les spécifications environnementales de l'équipement. Ici, le terme « équipement » est utilisé en place du terme « entité » plus approprié pour correspondre à la terminologie des normes référencées;

- Il convient que cette déduction utilise des données historiques sur des applications d'équipement similaire ou des plateformes de montage, et il convient que l'effet de l'emplacement de l'équipement dans la plate-forme soit pris en compte. Chaque événement significatif du cycle de vie doit être considéré en incluant le transport, la manipulation, l'installation et les essais de même que la catégorie de plate-forme et les conditions de fonctionnement.
- Il convient de reproduire les conditions environnementales d'essai (pour la croissance de fiabilité, qualification, essais d'acceptation). Tous les types d'essais doivent être effectués sous combinaisons d'influences et autres conditions d'essai appropriées que l'on s'attend à être combinés dans les environnements d'utilisation.
- Il convient de déterminer le niveau de ces conditions d'essai à partir de la mission des équipements et des profils de l'environnement:
 - lorsque l'équipement est conçu pour une application à mission unique ou pour un type de mission répétitif, il y a une relation simple entre le profil de l'essai, le profil de la mission et le profil environnemental du cycle de vie. Il convient que les conditions d'essai simulent le niveau de contraintes pendant la mission;
 - si l'équipement est conçu pour de multiples missions et conditions environnementales, il convient que le profil d'essai représente une combinaison de ces missions, avec les niveaux d'essai et les durées établis d'après le pourcentage de chaque type de mission attendu pendant le cycle de vie de l'équipement. Pour obtenir des conditions et niveaux d'essai réalistes, il convient de mesurer les conditions environnementales réelles (plus particulièrement la température et les vibrations) à l'endroit où l'équipement doit être fixé pendant son fonctionnement ;
 - si des modifications de conception sont apportées pendant l'essai, le temps d'essai cumulé doit commencer à 0 après que les modifications ont été incorporées aux entités soumises à l'essai, à moins qu'il n'en soit convenu spécifiquement entre les parties et qu'une justification figure dans le rapport d'essai (voir CEI 60300-3-5).

5.2 Caractéristiques générales des plans d'essais

Tous les plans d'essais et tous les critères de décision sont fondés sur l'une ou l'autre des caractéristiques suivantes:

- un nombre acceptable de défaillances à prendre en compte durant un temps d'essai à prendre en compte spécifié;
- un temps d'essai acceptable pour un nombre spécifié de défaillances à prendre en compte.

Les critères détaillés relatifs aux plans d'essais, avec leurs variantes, sont indiqués en 6.3, 7.3, 8.4 et 9.3.

5.3 Données à enregistrer

Les données suivantes doivent être enregistrées pour la mise en application des méthodes données dans la présente norme:

- le nombre observé de défaillances à prendre en compte;
- le temps d'essai cumulé.

S'il est nécessaire de vérifier l'hypothèse exposée en 4.1, la donnée suivante doit également être enregistrée:

- l'instant où se produit chaque défaillance.

5.4 Calcul du temps d'essai accumulé, T^*

Chaque fois que le terme «temps» est utilisé dans cette norme, il peut être remplacé par d'autres mesures similaires de durée du fonctionnement pour l'entité soumise à l'essai, par exemple distance, cycles d'exploitation, cycle de démarrage et d'arrêt (voir CEI 60605-2).

Le temps d'essai accumulé T^* est calculé comme la somme des temps d'essai accumulés par chaque entité dans l'essai. Lorsqu'au moins deux entités soumises à l'essai sont réparées, le temps d'essai accumulé est égal à la somme des temps de fonctionnement (à l'exclusion des temps de réparation et autres temps d'indisponibilité).

Lorsque n entités sont mises à l'essai en même temps, le temps d'essai accumulé peut être déterminé en utilisant la formule suivante:

$$T^* = n \times t^* \quad \text{pour les essais avec remplacement des entités défectueuses}$$

$$T^* = (n - r)t^* + \sum_{i=1}^r t_i \quad \text{pour les essais sans remplacement des entités défectueuses}$$

où

n est le nombre d'entités soumises à l'essai au début de l'essai;

t^* est le temps de troncature d'essai;

t_i est la durée de vie des entités défectueuses;

r est le nombre d'entités défectueuses.

Il est nécessaire de contrôler les entités soumises à l'essai pendant celui-ci de façon à remplacer les entités défectueuses, enregistrer les temps d'essai accumulés, et lorsque cela est exigé, enregistrer les temps avant défaillances (voir 5.3).

Plusieurs entités peuvent être soumises à l'essai simultanément ou en séquence. La taille de l'échantillon est $n \geq 1$ avec remplacement et $n \geq r_0 + 1$ (Articles 6 et 10) respectivement $n > c + 1$ (Articles 7,8 et9) sans remplacement.

La durée calendaire est utilisée pour établir le temps d'essai quand plus d'une entité est soumise à l'essai simultanément (voir l'Article 9).

Pour obtenir des lignes directrices sur la manière de calculer le temps d'essai accumulé lorsqu'une entité est soumise à un essai une fois celui-ci commencé, ou retirée de l'essai avant qu'il ne se termine (censure) voir CEI 60300-3-5 et CEI 60605-4:2001 (Annexe C).

Le temps d'essai accumulé est normalement compté comme temps de fonctionnement. Si on souhaite inclure dans les parties de l'essai d'autres modes opérationnels tels que, «inactifs» ou «passifs» dans le temps de l'essai, par exemple dans un cycle d'essai, ceci doit être spécifié et agréé avant que l'essai ne démarre (voir CEI 60605-2).

5.5 Nombre de défaillances

Dans cette norme le résultat de l'essai est déterminé par le temps d'essai et le nombre de défaillances. Mais dans la pratique les défaillances peuvent avoir des conséquences très différentes. Il convient, par conséquent, que l'utilisateur considère la possibilité que certaines défaillances soient tellement critiques que l'essai échoue bien que le nombre total de défaillances ne soit pas dépassé. Alternativement, certaines défaillances peuvent avoir des conséquences si insignifiantes qu'il convient de ne pas les considérer comme des défaillances pertinentes. Toutes les défaillances sont comptées sauf lorsqu'elles sont

classées comme non appropriées, par exemple si elles sont provoquées par des facteurs non pertinents dans pour la fiabilité de l'entité dans son contexte d'utilisation. Il convient que les parties s'accordent sur de telles règles de classification avant le début de l'essai (voir la CEI 60300-3-5). La reclassification des défaillances exige un accord entre les parties et doit être justifiée dans le rapport d'essai.

6 Plans d'essais progressifs

6.1 Généralités

Les plans d'essais progressifs sont caractérisés par des règles de décision relatives à l'acceptation ou au rejet de la conformité, ou à la poursuite de l'essai à n'importe quel moment de l'essai. Ces règles sont déterminées par des valeurs sélectives de risques et par un rapport de discrimination. Une valeur m_0 a besoin d'être spécifiée pour exécuter un plan d'essais. Une vue d'ensemble des plans d'essais est donnée en 6.4. Les plans d'essais et les courbes OC associée et les valeurs moyennes des temps d'essai sont spécifiés dans les Annexes A et D. L'Annexe E comporte des exemples et des références mathématiques. Les plans d'essais progressifs dérivés en utilisant une méthodologie différente basée sur GOST R 27.402 sont numérotés C1 à C8 et sont inclus dans l'Annexe D. Pour faciliter la comparaison entre les plans d'essais C et les plans d'essais combinés ils ont été tracés ensemble dans l'Annexe D. On peut trouver les descriptions des procédures itératives pour la création de ces plans d'essais à l'Annexe K.

6.2 Méthode d'essai commune

Il convient que la méthode d'essai comprenne les étapes suivantes:

- décider des conditions d'environnement combinées à appliquer pendant l'essai en se basant sur l'analyse pour déterminer les conditions d'essai appropriées (voir 5.1 et CEI 60300-3-5:2001);
- spécifier m_0 , d'après les exigences ou les accords;
- choisir les risques, α et β , et le rapport de discrimination, D , en tenant compte du fait que les valeurs basses de α , β et D améliorent la performance de l'essai mais augmentent le temps d'essai et/ou le nombre d'entités;
- sélectionner α et β . Ils sont généralement choisis pour être égaux (partage du risque) afin de faciliter les calculs et les accords;
- sélectionner un plan d'essais approprié à partir du Tableau 2 et de l'Annexe A ou l'Annexe D;
- noter les temps d'essai, T_a^* pour l'acceptation, et T_r^* pour le rejet;
- réaliser l'essai et appliquer les critères de décision conformément à 6.3.

6.3 Critères de décision

Le temps d'essai cumulé à prendre en compte et le nombre de défaillances à prendre en compte doivent être comparés aux critères d'acceptation et de rejet de manière continue pendant l'essai ou à des intervalles de temps n'excédant pas la durée du cycle d'essai et l'intervalle adopté pour les contrôles (voir 5.1 et 7.1.3 de la CEI 60300-3-5:2001). Les critères suivants doivent être appliqués:

- | | |
|-------------------|--|
| Accepter l'essai | si le temps écoulé $T^* \geq T_a^*$ pour la valeur observée $r \leq r_0$.
L'exigence spécifiée est considérée comme étant satisfaite. |
| Continuer l'essai | si le temps écoulé T^* se trouve entre les limites $T_r^* < T^* < T_a^*$ pour la valeur observée $r \leq r_0$.
Aucune décision ne peut être prise. |

Rejeter l'essai si le temps écoulé $T^* \leq T_r^*$ pour la valeur observée $r \leq r_0$, ou bien si $r \geq r_0 + 1$.

L'exigence spécifiée est considérée comme non satisfaite.

6.4 Vue d'ensemble des plans d'essais

Le Tableau 2 récapitule les plans d'essais progressifs indiqués à l'Annexe A et D. Ces annexes fournissent pour chaque plan d'essais un graphique et un tableau de décision ainsi que des graphiques de la courbe OC et du temps moyen à prendre en compte au moment de la décision.

Tableau 2 – Récapitulatif des plans d'essais progressifs indiqués à l'Annexe A et D

Plan d'essai No.	Caractéristiques du plan		Temps d'essai minimum (Acceptation de 0 défaillances)	Temps prévu avant décision en multiples de m_0 pour $m = m_0$	Temps de troncature d'essai en multiple de m_0	Vrais risque pour		
	Risques nominaux	Rapport de discrimination				$m = m_0$	$m = m_1$	
	α %	β %	D	$\frac{T_{a,min}^*}{m_0}$	$\frac{T_e^*}{m_0}$	$\frac{T_t^*}{m_0}$	α' %	β' %
A.1	10	10	1,5	4,39	17,88	33,04	12,03	9,77
A.2	10	10	2	2,20	5,37	10,30	13,39	9,62
A.3	10	10	3	1,098	1,77	3,152	15,09	9,43
A.4	10	10	5	0,549	0,65	1,102	16,81	9,24
A.5	20	20	1,5	2,77	8,00	14,37	24,32	18,92
A.6	20	20	2	1,39	2,31	4,73	27,27	18,18
A.7	20	20	3	0,693	0,72	1,54	31,03	17,24
A.8	30	30	1,5	1,69	2,93	5,41	37,70	26,70
A.9	30	30	2	0,847	0,79	1,91	43,24	24,32
C.1	5	5	1,7	7,584 0	23,89	29,300 0	5,00	5,00
C.2	10	5	1,7	5,032 9	16,57	24,240 0	9,998	5,00
C.3	10	10	1,7	4,429 4	13,28	18,030 0	10,00	9,999
C.4	15	5	1,7	5,836 6	16,40	19,900 0	14,999	5,001
C.5	20	10	1,7	4,023 2	10,00	12,600 0	19,998	10,002
C.6	20	20	1,7	2,342 4	5,62	8,300 0	19,992	20,016
C.7	30	20	1,7	2,102 1	3,95	5,500 0	29,990	20,014
C.8	30	30	1,7	1,275 7	2,13	3,800 0	30,056	29,912

7 Plans d'essais terminés par le temps ou les défaillances – Plans d'essais à durée fixe

7.1 Généralités

Les plans d'essais terminés par le temps ou les défaillances sont caractérisés par des règles de décision relatives à l'acceptation ou au rejet de la conformité, lorsque la totalité du temps d'essai est écoulée ou lorsque le nombre acceptable de défaillances à prendre en compte est dépassé. Ces règles sont déterminées par des valeurs sélectives de risques et par un rapport de discrimination. Une valeur m_0 à besoin d'être spécifiée (ou déduite) pour exécuter un plan d'essais.

Il existe quatre types d'essai à durée fixe:

- essais tronqués avec remplacement;

- b) essais tronqués sans remplacement;
- c) essais censurés avec remplacement;
- d) essais censurés sans remplacement.

Les plans d'essais sont donnés en 7.4. Les caractéristiques et les valeurs moyennes des temps d'essai sont données à l'Annexe B, des exemples et références mathématiques sont donnés à l'Annexe G.

7.2 Méthode d'essai commune

Il convient que la méthode d'essai comprenne les étapes suivantes:

- décider des conditions d'environnement combinées à appliquer pendant l'essai en se basant sur l'analyse pour déterminer les conditions d'essai appropriées (voir 5.1 et CEI 60300-3-5:2001);
- spécifier m_0 d'après les exigences ou les accords;
- choisir les risques, $\alpha = \beta$, (risque partagé) avec α non égal à β , et le rapport de discrimination, D , en tenant compte du fait que les valeurs basses de α , β et D améliorent la performance de l'essai mais augmentent le temps d'essai et/ou le nombre d'entités. Il est important que α , β et D soient sélectionnés ensemble en prenant en compte le risque pour le fournisseur, le risque pour le client de même que m_1 déterminé par D ;
- sélectionner un plan d'essais approprié à partir du Tableau 3, en consultant l'Annexe B;
- noter les temps d'essai établis comme critère de fin, T_t^* , et le nombre acceptable de défaillances, c ;
- réaliser l'essai et appliquer les critères de décision suivant 7.3.

7.3 Critères de décision

Les critères de décision suivants doivent être appliqués:

Accepter l'essai si $r \leq c$ à T_t^* .

L'exigence spécifiée est considérée comme satisfaisante.

Rejeter l'essai si $r > c$ à ou avant T_t^* .

L'exigence spécifiée est considérée comme non satisfaisante.

7.4 Plans d'essais

Le Tableau 3 récapitule les plans d'essais recommandés pour les essais tronqués/censurés. Le temps d'essai à prendre en compte est cumulé soit jusqu'à ce qu'un temps d'essai à prendre en compte prédéterminé soit écoulé (acceptation), soit jusqu'à ce qu'un nombre prédéterminé de défaillances à prendre en compte ait été dépassé (rejet). Les graphiques relatifs aux courbes OC et à la valeur moyenne de la durée d'essai à prendre en compte au moment de la décision sont donnés à l'Annexe B.

Tableau 3 – Plans d'essais terminés fixés par le temps ou la défaillance

Plan d'essais N°	Caractéristiques du plan			Temps d'essai pour arrêt	Nombre acceptable de défaillances	Valeurs vraies des risques pour	
	Risques nominaux		Rapport de discrimination			$m = m_0$	$m = m_1$
	α %	β %	D	T_t^*/m_0	c	α' %	β' %
B.1	5	5	1,5	54,10	66	4,96	4,84
B.2	5	5	2	15,71	22	4,97	4,99
B.3	5	5	3	4,76	8	5,35	5,40
B.4	5	5	5	1,88	4	4,25	4,29
B.5	10	10	1,5	32,14	39	10,00	10,20
B.6	10	10	2	9,47	13	10,00	10,07
B.7	10	10	3	3,10	5	9,40	9,90
B.8	10	10	5	1,08	2	9,96	9,48
B.9	20	20	1,5	14,30	17	19,49	19,94
B.10	20	20	2	3,93	5	20,40	20,44
B.11	20	20	3	1,47	2	18,37	18,40
B.12	30	30	1,5	5,41	6	29,99	29,95
B.13	30	30	2	1,85	2	28,28	28,54

NOTE Le temps d'essai jusqu'à l'arrêt (en multiples de m_0) est égal à l'espérance mathématique du nombre de défaillances pendant l'essai à la valeur spécifiée de λ_0 qui est $T_t^*/m_0 = T_t^* \times \lambda_0 = \mu_0$.

8 Etude de plans d'essais tronqués/censurés alternatifs

8.1 Généralités

Les plans d'essais terminés par le temps ou les défauts alternatifs sont caractérisés par des règles de décision relatives à l'acceptation ou au rejet de la conformité, lorsque la totalité du temps d'essai est écoulée ou lorsque le nombre acceptable de défaillances à prendre en compte est dépassé. Les plans d'essais sont déterminés par des valeurs de risques sélectionnées et par un temps d'essai. Le temps d'essai est déterminé indépendamment de λ_0 ce qui permet de concevoir des plans d'essais «sur mesure» afin de répondre à certains besoins particuliers, par exemple en matière d'économie, de moyen d'exploitation ou de calendrier.

Le rapport de discrimination est utilisé pour évaluer le plan d'essais. Une valeur λ_0 à besoin d'être spécifiée (ou déduite) pour exécuter un plan d'essais. La transformation du taux de défaillances entre le temps moyen de fonctionnement avant/entre défaillance(s) par rapport à λ_0 est indiquée en 3.2.2.

Il existe également d'autres possibilités permettant de choisir différents paramètres pour le plan d'essais et de déterminer les paramètres manquants, comme cela est indiqué à l'Annexe C et l'Annexe I.

Des graphiques pour déterminer les paramètres de plans d'essais sont représentés dans l'Annexe C, y compris les courbes OC associées. L'Annexe I comporte des exemples et des références mathématiques.

8.2 Procédures de conception

Les méthodes définies à l'Annexe C peuvent être appliquées aux essais pour lesquels

- apparaît un remplacement et les temps de remplacement/de réparation sont négligeables,
- aucun remplacement n'intervient, et $\lambda_0 t_t^* < 0,1$ est valide.

Dans de tels cas, $T_t^* = n t_t^*$.

Toutefois, les méthodes peuvent également être appliquées à des essais pour lesquels

- apparaît un remplacement, et les temps de remplacement sont longs (par exemple, par réparation),
- aucun remplacement n'intervient, et $\lambda_0 t_t^* > 0,1$.

Dans de tels cas, les formules comportant le temps d'essai cumulé T_t^* (voir 5.4) doivent être utilisées, et $n t_t^*$ doit être remplacé par T_t^* dans la formule. Ceci implique que n et t^* ne peuvent pas être séparés, comme à l'Article C.2.

Dans chaque cas, les valeurs de α et β , telles qu'elles sont données au Tableau 3, doivent être, s'il y a lieu, considérées comme des valeurs préférentielles.

L'Annexe C décrit comment dériver les plans d'essais et des exemples sont inclus.

8.3 Méthode d'essai commune

Il convient que la méthode d'essai comprenne les étapes suivantes:

- décider des conditions d'environnement combinées à appliquer pendant l'essai en se basant sur l'analyse pour déterminer les conditions d'essai appropriées (voir 5.1 et CEI 60300-3-5);
- spécifier la valeur acceptable de λ_0 , selon exigence ou convention;
- choisir les risques, α et β , le temps d'essai pour chaque entité, t_t^* , et le nombre d'entités soumises à l'essai, n , selon les ressources;
- concevoir le plan d'essais suivant l'Annexe C et l'Annexe I en utilisant les figures de l'Annexe C;
- évaluer le plan d'essais en tenant compte en particulier du rapport de discrimination déduit D , et modifier éventuellement les paramètres si besoin est;
- réaliser l'essai pendant le temps d'essai établi, $T_t^* = n t_t^*$, et le nombre de défaillances acceptable déduit, c , et appliquer les critères de décision suivant 8.4.

8.4 Critères de décision

Les critères de décision suivants doivent être appliqués:

Accepter l'essai	si $r \leq c$ à la fin du temps d'essai T_t^* ; L'exigence spécifiée est considérée comme satisfaite.
Rejeter l'essai	si $r > c$ au temps d'essai T_t^* ou avant; L'exigence spécifiée est considérée comme non satisfaite.

9 Plans d'essais à durée calendaire censurés pour entités non réparées

9.1 Généralités

Les plans d'essais à durée calendaire censurés pour entités non réparées sont caractérisés par des règles de décision relatives à l'acceptation ou au rejet de la conformité, lorsque la totalité du temps d'essai est écoulée ou lorsque le nombre acceptable de défaillances à prendre en compte est dépassé. Ces règles sont déterminées par des valeurs sélectives de risques et par un rapport de discrimination. Une valeur λ_0 à besoin d'être spécifiée (ou déduite) pour exécuter un plan d'essais. La transformation de m_0 par rapport à λ_0 est indiquée en 3.2.2.

Etant donné qu'aucun(e) remplacement n'intervient, le nombre d'entités soumises à l'essai ne reste généralement pas constant et la durée cumulée de fonctionnement n'est pas à prendre en compte. Par conséquent, il convient d'utiliser les plans d'essais de conformité pour une proportion de succès décrits dans le Tableau 2 de la CEI 61123:1991.

Toutefois, si le nombre d'entités est important en comparaison du nombre de défaillances, les plans d'essais censurés (Article 7) peuvent être utilisés.

L'Annexe J comporte des exemples et des références mathématiques.

9.2 Méthode d'essai commune

Il convient que la méthode d'essai comprenne les étapes suivantes:

- décider des conditions d'environnement combinées à appliquer pendant l'essai en se basant sur l'analyse pour déterminer les conditions d'essai appropriées (voir 5.1 et CEI 60300-3-5:2001).
- spécifier λ_0 , d'après les exigences ou les conventions,
- choisir les risques, $\alpha = \beta$, et le rapport de discrimination, D , en tenant compte du fait que des valeurs basses de α , β et D rendent l'essai plus performant, mais nécessitent un temps plus long et davantage d'entités;
- choisir le temps de fin de l'essai, $t_{\text{cal},t}^*$, ou le nombre d'entités, n , et procéder au calcul suivant 9.4.2 ou 9.4.3 respectivement;
- sélectionner le plan d'essais approprié à partir du Tableau 2 de la CEI 61123:1991, en utilisant la valeur de q_0 déduite et la valeur de n calculée, pour obtenir le nombre de défaillances acceptable c ,
- réaliser l'essai et appliquer les critères de décision suivant 9.3.

9.3 Critères de décision

Les critères de décision comprennent les éléments suivants:

Accepter l'essai	si $r \leq c$ à la fin du temps d'essai $t_{\text{cal},t}^*$; L'exigence spécifiée est considérée comme satisfaite;
Rejeter l'essai	si $r > c$ au temps d'essai $t_{\text{cal},t}^*$, ou avant; L'exigence spécifiée est considérée comme non satisfaite.

9.4 Utilisation du Tableau 2 de la CEI 61123:1991 pour les essais à durée calendaire

9.4.1 Généralités

Deux méthodes peuvent être utilisées. La première, décrite en 9.4.2, est utilisée lorsque le temps d'essai (maximum disponible) est indiqué. La seconde, décrite en 9.4.3, est utilisée lorsque le nombre d'entités (maximum disponible) est spécifié.

Les formules suivantes sont applicables:

$$p_0 = 1 - q_0 = 1 - e^{-t/m_0} = 1 - e^{-\lambda_0 t} \quad (1)$$

où $t = t_{\text{cal},t}^*$

et la valeur dérivée

$$t_{\text{cal},t}^* = -m_0 \cdot \ln(1 - p_0) = -m_0 \cdot \ln(q_0) \quad (2)$$

où

p_0 est le taux de défaillance acceptable;

q_0 est le taux de réussite acceptable, $q_0 = 1 - p_0$.

NOTE 1 Selon l'utilisation normale de la CEI 61123, p_0 ou q_0 est spécifié, mais dans ce cas, p_0 est déduit des valeurs spécifiées m_0 ou λ_0 , selon la Formule (1). Pour plus d'information sur p_0 et q_0 , voir la CEI 61123.

NOTE 2 Dans ce cas, p_0 exprime la probabilité de défaillance $1 - R(t)$ pour $t = t_{\text{cal},t}^*$.

NOTE 3 Les méthodes permettent uniquement de déterminer le produit nt^* .

9.4.2 Méthode relative à un temps d'essai déterminé

Il convient que la méthode d'essai comprenne les étapes qui suivent:

- Choisir $t_{\text{cal},t}^* \leq 0,223 m_0 = \frac{0,223}{\lambda_0}$ (dans la plage des valeurs spécifiées au Tableau 2 de la CEI 61123:1991);
- calculer p_0 en utilisant la Formule (1);
- à l'aide de la Formule (2), ajuster $t_{\text{cal},t}^*$ si nécessaire afin d'obtenir une valeur $q_0 = 1 - p_0$, comme défini au Tableau 2 de la CEI 61123:1991;
- à partir du Tableau 2 de la CEI 61123:1991, sélectionner un plan d'essais correspondant qui réponde aux conditions des valeurs D et $\alpha = \beta$ et à partir de là, déterminer les valeurs n et c .

9.4.3 Méthode relative à un nombre d'entités déterminé

Il convient que la méthode d'essai comprenne les étapes qui suivent:

- à partir du Tableau 2 de la CEI 61123:1991, sélectionner un plan d'essais correspondant qui réponde aux conditions des valeurs D et $\alpha = \beta$, prescrites et avec une valeur n proche de la valeur n indiquée, et déterminer, à partir de là, les valeurs $q_0 = 1 - p_0$, n et c ;
- à l'aide de la Formule (2), calculer $t_{\text{cal},t}^*$.

10 Plans d'essais combinés

10.1 Généralités

Les plans d'essais combinés utilisent une ligne de rejet avec un nombre de défaillances constant, alors que la ligne d'acceptation est une courbe (voir Tableau 1). Par conséquent, les entités soumises à l'essai avec une fiabilité haute seront vite acceptées alors que des entités avec de nombreuses défaillances précoces ne seront pas rejetées immédiatement. Les plans d'essais sont également adaptés à un essai, une analyse ou un programme fixe (TAAF) étant donné qu'on relève plus d'information sur les modes de défaillance que pour un essai progressif. Les plans d'essais sont déduits en utilisant une méthode itérative qui est décrite à l'Annexe K.

10.2 Méthode d'essai commune

Il convient d'inclure les étapes suivantes dans la procédure d'essai:

- décider des conditions d'environnement combinées à appliquer pendant l'essai en se basant sur l'analyse pour déterminer les conditions d'essai appropriées (voir 5.1 et CEI 60300-3-5:2001);
- spécifier m_0 , selon exigence ou accord,
- choisir les risques, α et β , et le rapport de discrimination, D , en tenant compte du fait que les valeurs basses de α , β et D améliorent la performance de l'essai mais augmentent le temps d'essai et/ou le nombre d'entités;
- sélectionner un plan d'essais approprié à partir du Tableau 4 et de l'Annexe D;
- noter les temps d'essai, T_a^* pour l'acceptation;
- réaliser l'essai et appliquer les critères de décision conformément à 10.3.

10.3 Critères de décision

Le temps d'essai cumulé à prendre en compte et le nombre de défaillances à prendre en compte doivent être comparés aux critères d'acceptation et de rejet de manière continue pendant l'essai ou à des intervalles de temps n'excédant pas la durée du cycle d'essai et l'intervalle adopté pour les contrôles (voir 5.1 et 7.1.3 de la CEI 60300-3-5:2001).

Les critères suivants doivent être appliqués:

- | | |
|-------------------|---|
| Accepter l'essai | si le temps écoulé $T^* \geq T_a^*$ pour la valeur observée $r \leq r_0$.
L'exigence spécifiée est considérée comme conforme. |
| Continuer l'essai | si $T^* < T_a^*$ pour la valeur observée $r \leq r_0$. Aucune décision ne peut être prise. |
| Rejeter l'essai | si le nombre de défaillances est $r_0 > r_0 + 1$ pendant l'essai.
L'exigence spécifiée est considérée comme non satisfaisante. |

10.4 Plans d'essais

Tableau 4 – Plans d'essais combinés dans l'Annexe D

Plan d'essais	Caractéristiques du plan		Rapport de discrimination D	Temps d'essai minimum (Acceptation de 0 défaillances) $T_{a,min}^*/m_0$	Temps prévu avant décision en multiples de m_0 pour $m = m_0$ T_e^*/m_0	Temps de troncature d'essai en multiple de m_0 T_t^*/m_0	Nombre acceptable de défaillances r_0
	Risques nominaux α %	β %					
D.1	5	5	1,7	6,454 0	22,07	29,463 2	38
D.2	10	5	1,7	4,721 9	16,59	24,517 0	30
D.3	10	10	1,7	4,426 4	13,12	18,183 9	23
D.4	15	5	1,7	5,732 0	16,22	19,989 8	24
D.5	20	10	1,7	3,949 5	9,80	12,757 3	15
D.6	20	20	1,7	2,436 5	5,60	8,568 4	10
D.7	30	20	1,7	2,144 1	3,96	5,714 6	6
D.8	30	30	1,7	1,219 4	2,30	4,388 1	4

11 Réalisation de l'essai

Un guide relatif aux conditions d'essai et à la gestion pratique est fourni en 5.1 de la présente norme, dans la CEI 60300-3-5 et dans la CEI 60605-2.

12 Présentation des résultats

Les informations suivantes doivent être données lors de la présentation des résultats d'un essai:

- les conditions d'essai (voir 5.1 de la présente norme et CEI 60300-3-5);
- l'identification des entités soumises à l'essai, nombre d'entités soumises à l'essai et de remplacements possibles pendant l'essai;
- le plan d'essai utilisé;
- la valeur spécifiée acceptable de λ_0 ou m_0 ;
- les paramètres nominaux déterminés ou déduits pour le plan d'essais, par exemple, les niveaux de risque, le rapport de discrimination, la totalité du temps d'essai cumulé à prendre en compte, le nombre de défaillances acceptable;
- les paramètres vrais du plan d'essais, si nécessaire;
- le nombre de défaillances observé et la justification pour toute défaillance classée comme non prise en compte;
- la définition du temps d'essai cumulé plus particulièrement si les cycles d'essai de plusieurs modes de mission sont utilisés;
- le temps d'essai cumulé à prendre en compte lorsque l'essai est interrompu;
- le ou les résultats d'autres analyses, si nécessaire;
- les conclusions.

Annexe A (normative)

Tableaux et graphiques relatifs aux plans d'essais progressifs

NOTE 1 Voir l'Article 6.

NOTE 2 Cette annexe utilise les symboles listés en 3.2.

A.1 Plan d'essais A.1 – $\alpha = 0,10$; $\beta = 0,10$; $D = 1,5$

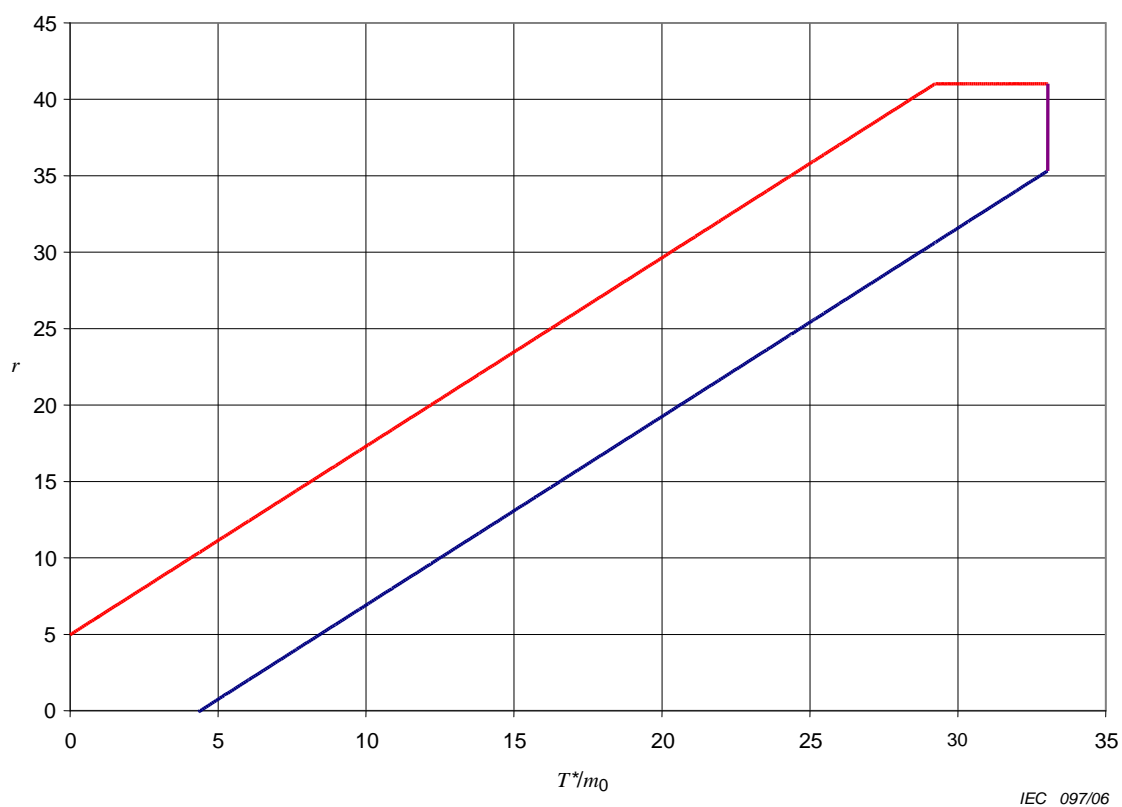


Figure A.1 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.1

Tableau A.1 – Lignes d’acceptation et de rejet pour le plan d’essais A.1

r	$T_r^* l m_0$ Rejet (inférieur ou égal)	$T_a^* l m_0$ Acceptation (supérieur ou égal)	r	$T_r^* l m_0$ Rejet (inférieur ou égal)	$T_a^* l m_0$ Acceptation (supérieur ou égal)
0	–	4,39	21	13,00	21,42
1	–	5,21	22	13,81	22,23
2	–	6,02	23	14,62	23,05
3	–	6,83	24	15,43	23,86
4	–	7,64	25	16,24	24,67
5	0,025	8,45	26	17,05	25,48
6	0,836	9,26	27	17,87	26,29
7	1,65	10,07	28	18,73	27,10
8	2,46	10,88	29	19,49	27,91
9	3,27	11,69	30	20,30	28,72
10	4,08	12,50	31	21,11	29,53
11	4,89	13,31	32	21,92	30,34
12	5,70	14,13	33	22,73	31,16
13	6,51	14,94	34	23,54	31,97
14	7,32	15,75	35	24,35	32,78
15	8,13	16,56	36	25,16	33,04
16	8,94	17,37	37	25,97	33,04
17	9,76	18,18	38	26,79	33,04
18	10,57	19,00	39	27,60	33,04
19	11,40	19,80	40	28,41	33,04
20	12,19	20,61	$r_0 = 41$	29,22	33,04
			42	33,04	N/A

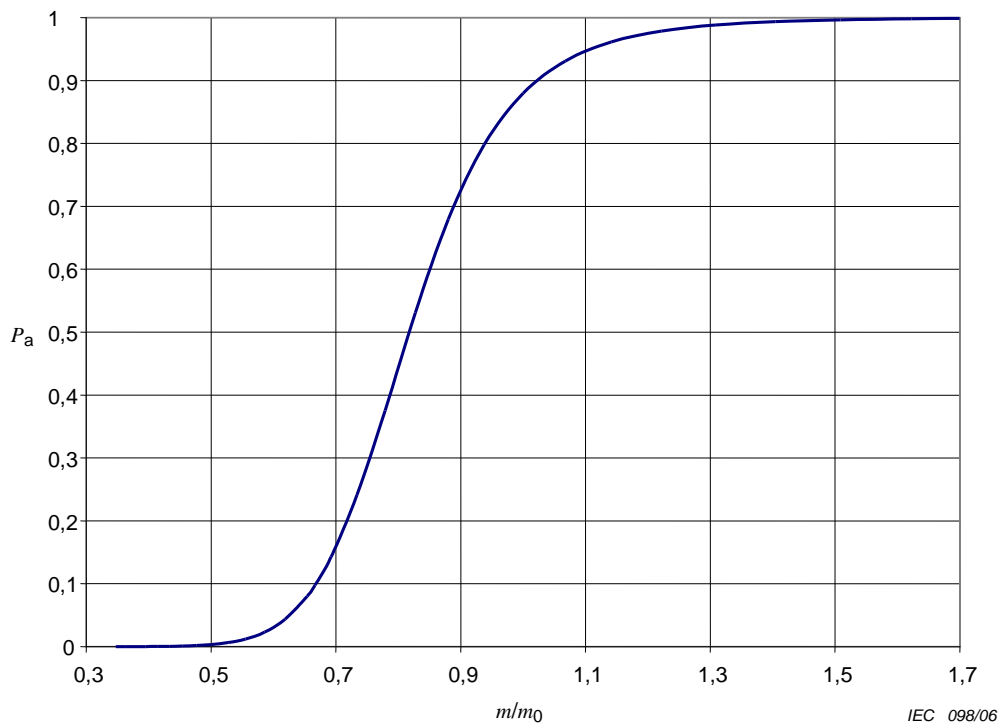


Figure A.2 – Plan d’essais A.1 – Courbe caractéristique d’exploitation

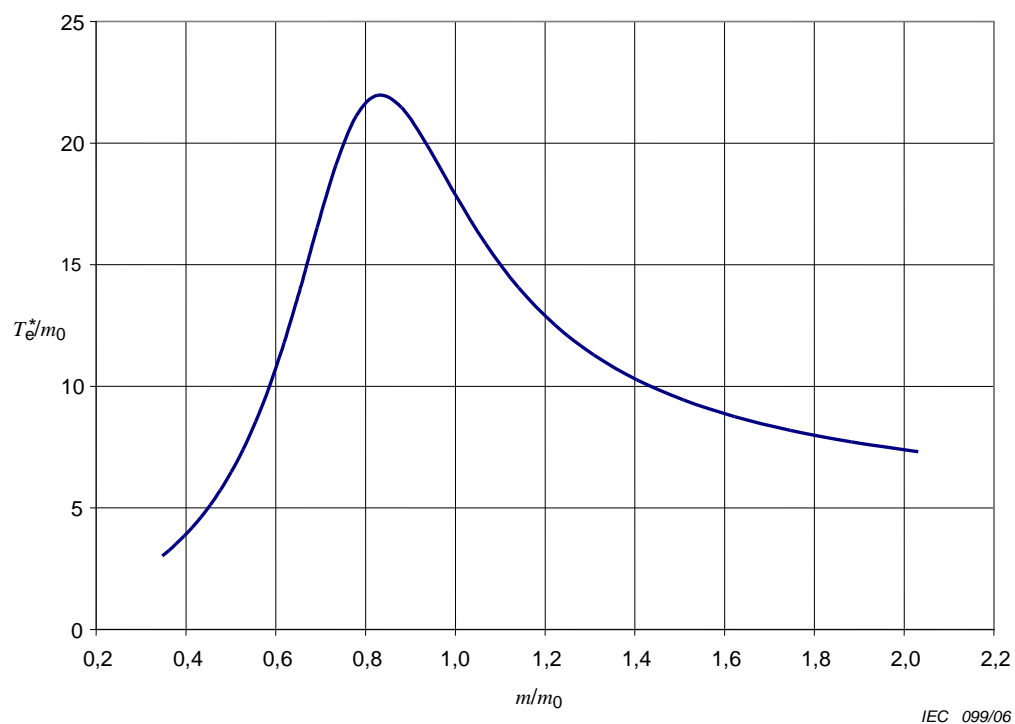


Figure A.3 – Plan d'essais A.1 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision

A.2 Plan d'essais A.2 $-\alpha = 0,10 \beta = 0,10 D = 2,0$

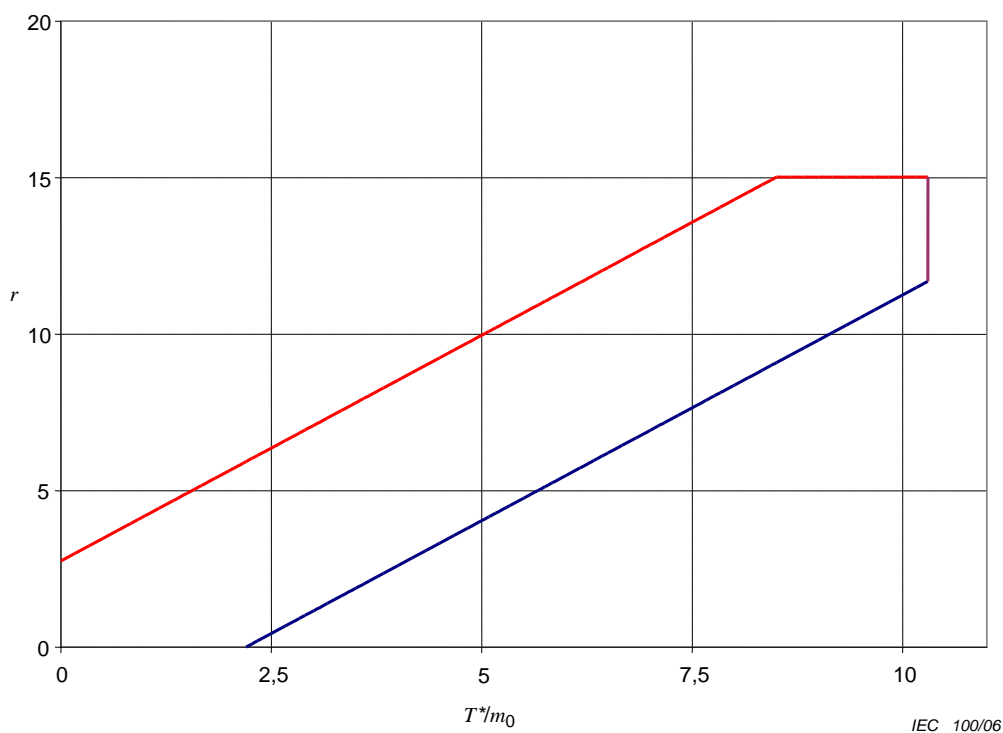


Figure A.4 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.2

Tableau A.2 – Lignes d’acceptation et de rejet pour le plan d’essais A.2

r	T_r^* / m_0 Rejet (inférieur ou égal)	T_a^* / m_0 Acceptation (supérieur ou égal)
0	–	2,20
1	–	2,89
2	–	3,58
3	0,170	4,28
4	0,863	4,97
5	1,56	5,66
6	2,25	6,36
7	2,94	7,05
8	3,64	7,74
9	4,33	8,44
10	5,02	9,13
11	5,72	9,82
12	6,41	10,30
13	7,10	10,30
14	7,79	10,30
$r_0 = 15$	8,49	10,30
16	10,30	N/A

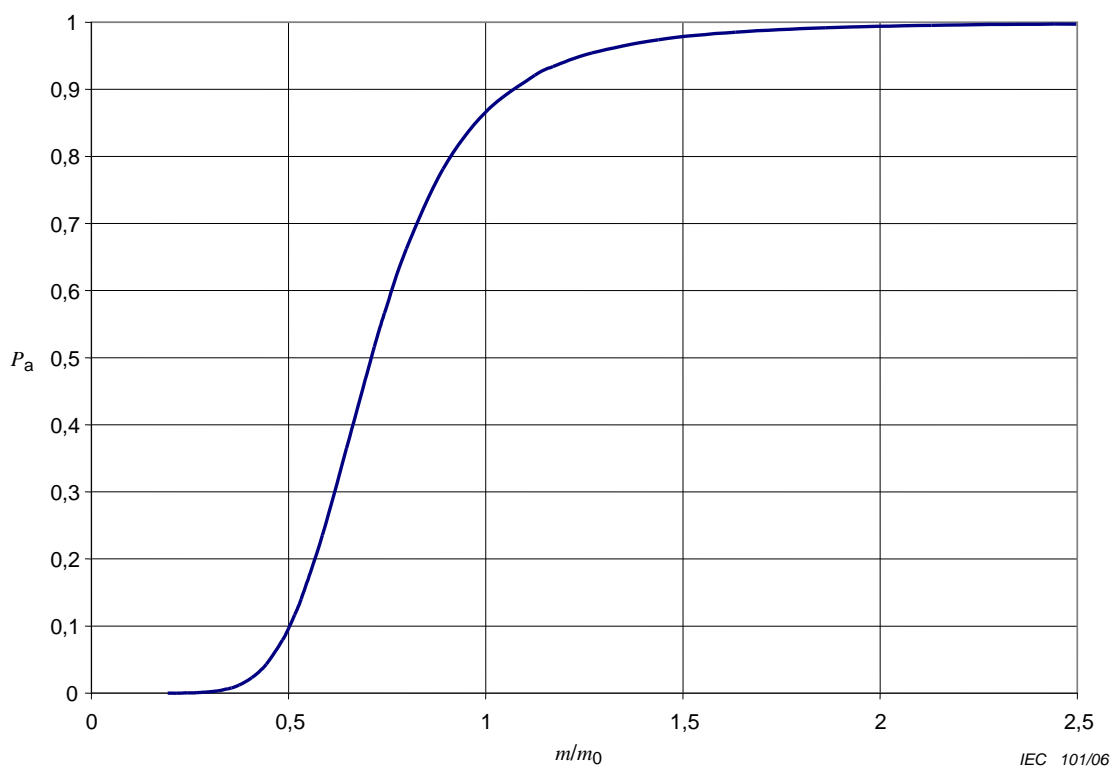


Figure A.5 – Plan d’essais A.2 – Courbe caractéristique d’exploitation

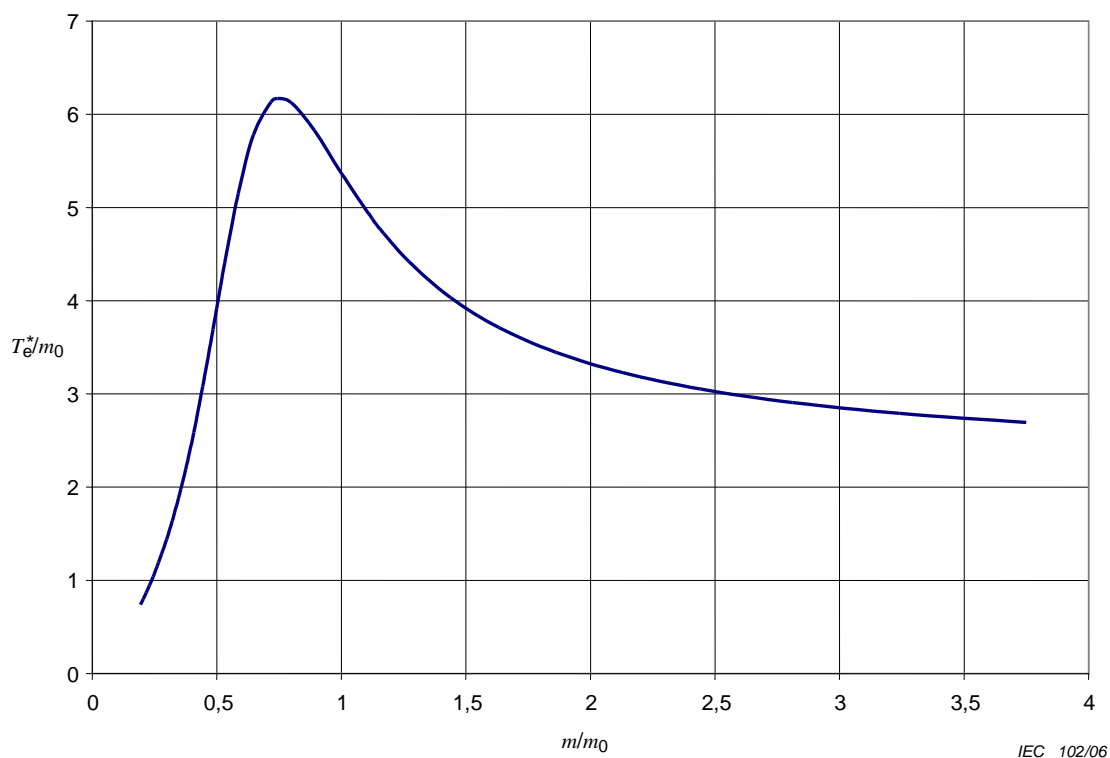


Figure A.6 – Plan d'essais A.2 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision

A.3 Plan d'essais A.3 – $\alpha = 0,10$; $\beta = 0,10$; $D = 3,0$

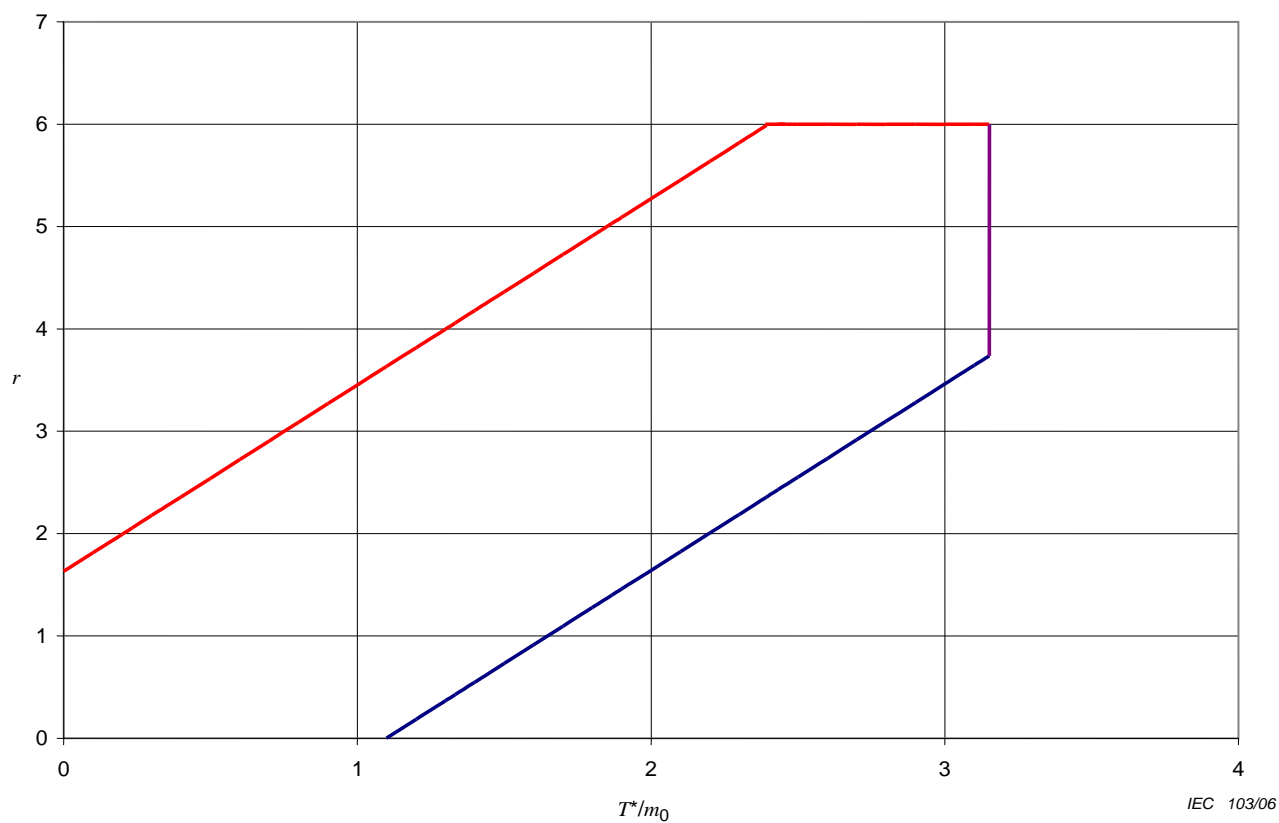


Figure A.7 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.3

Tableau A.3 – Lignes d’acceptation et de rejet pour le plan d’essais A.3

r	$T_r^* I m_0$ Rejet (inférieur ou égal)	$T_a^* I m_0$ Acceptation (supérieur ou égal)
0	–	1,098
1	–	1,648
2	0,203	2,197
3	0,752	2,747
4	1,301	3,152
5	1,851	3,152
$r_0 = 6$	2,400	3,152
7	3.152	N/A

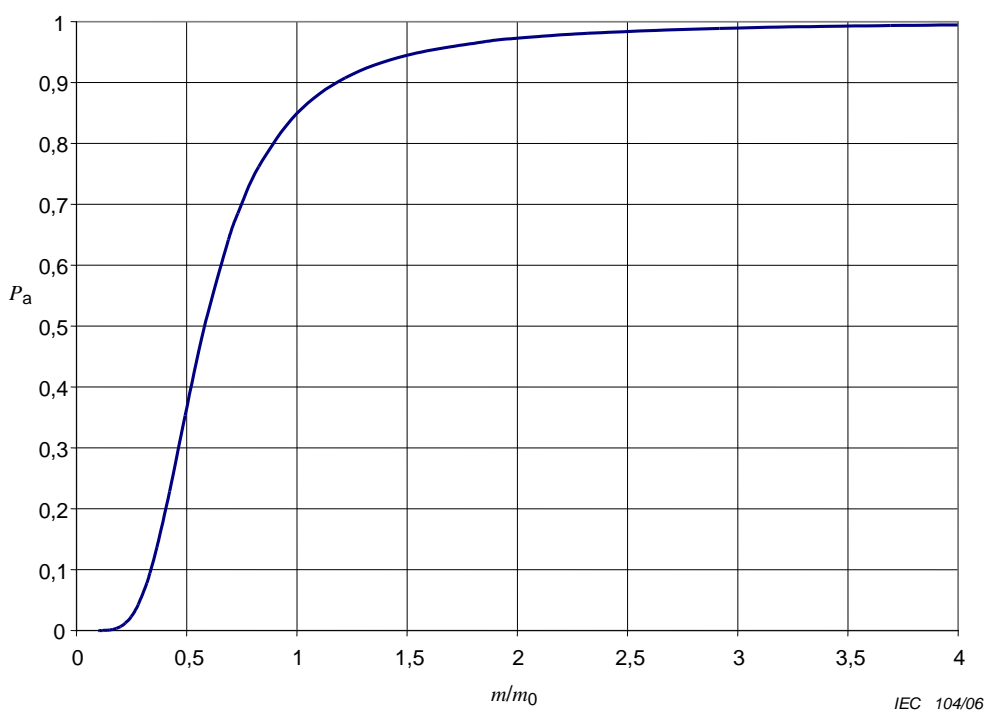


Figure A.8 – Plan d’essais A.3 – Courbe caractéristique d’exploitation

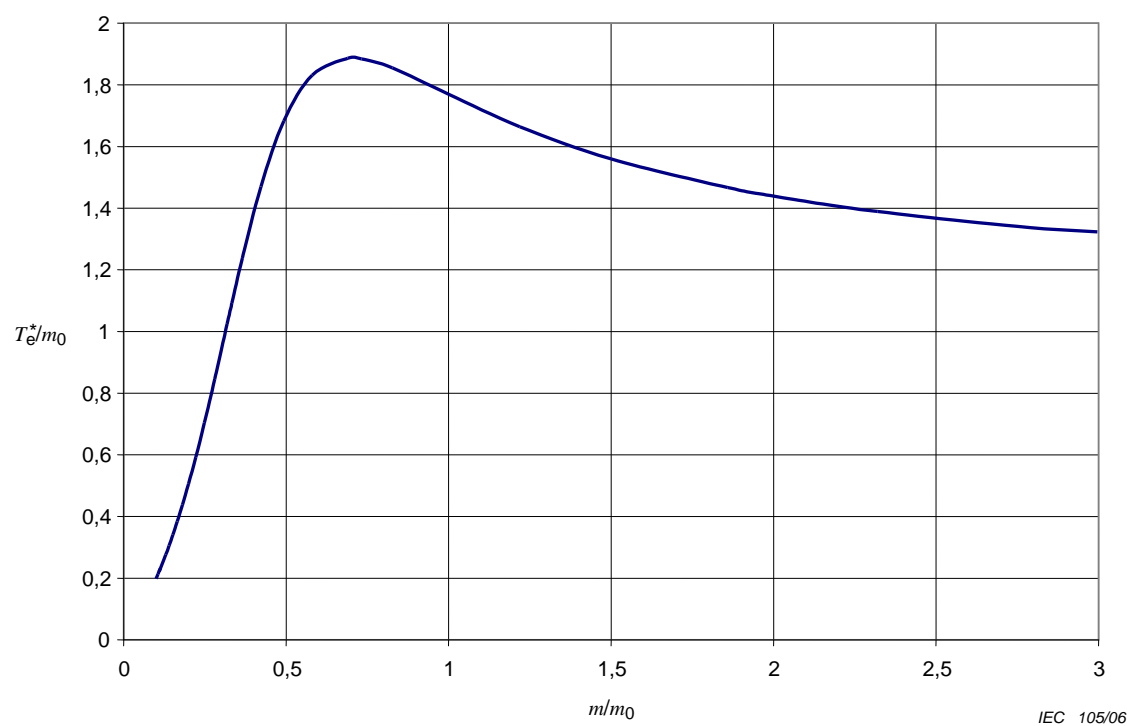


Figure A.9 – Plan d'essais A.3 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision

A.4 Plan d'essais A.4 $-\alpha = 0,10; \beta = 0,10; D = 5,0$

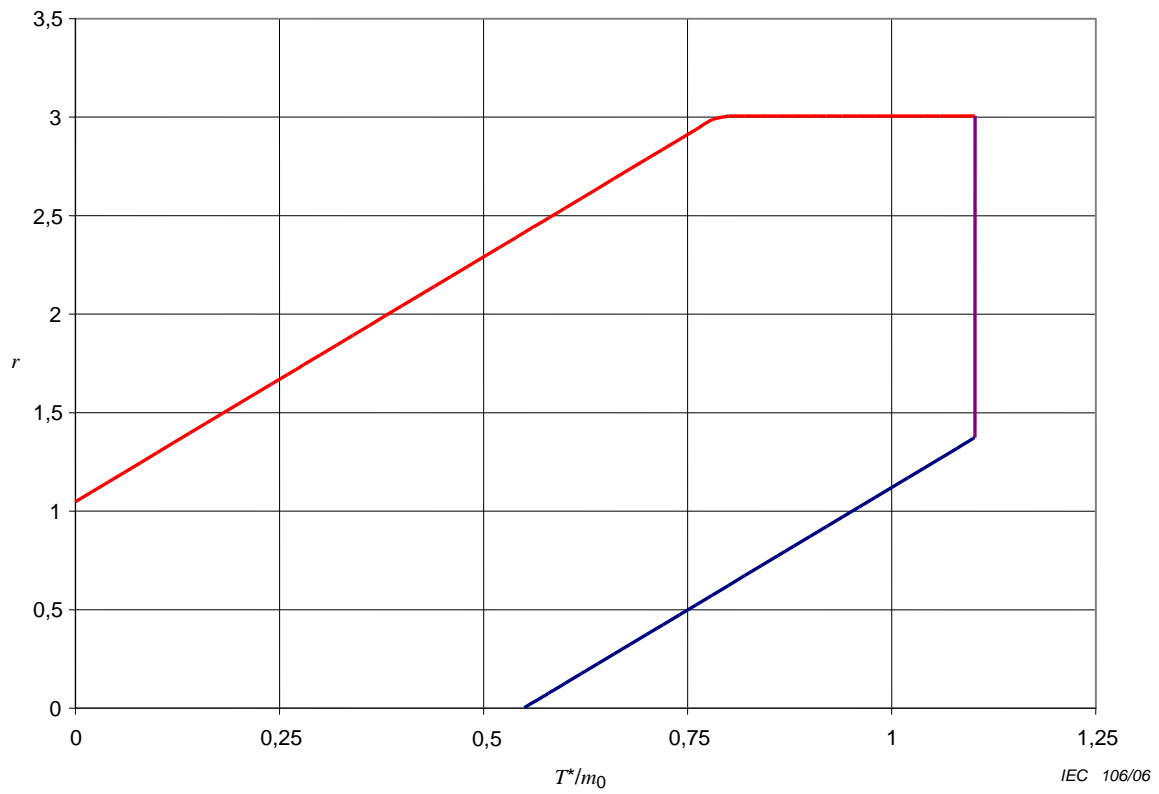


Figure A.10 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.4

Tableau A.4 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.4

r	T_r^* / m_0 Rejet (inférieur ou égal)	T_a^* / m_0 Acceptation (supérieur ou égal)
0	–	0,549
1	–	0,951
2	0,383	1,102
$r_0 = 3$	0,785	1,102
4	1,102	N/A

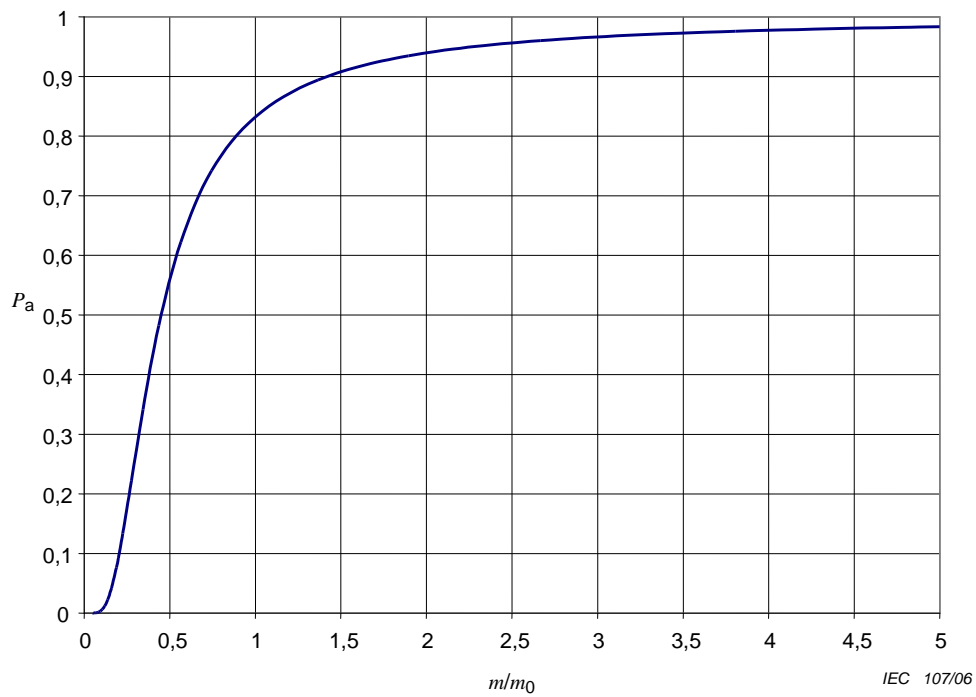


Figure A.11 – Plan d’essais A.4 – Courbe caractéristique d’exploitation

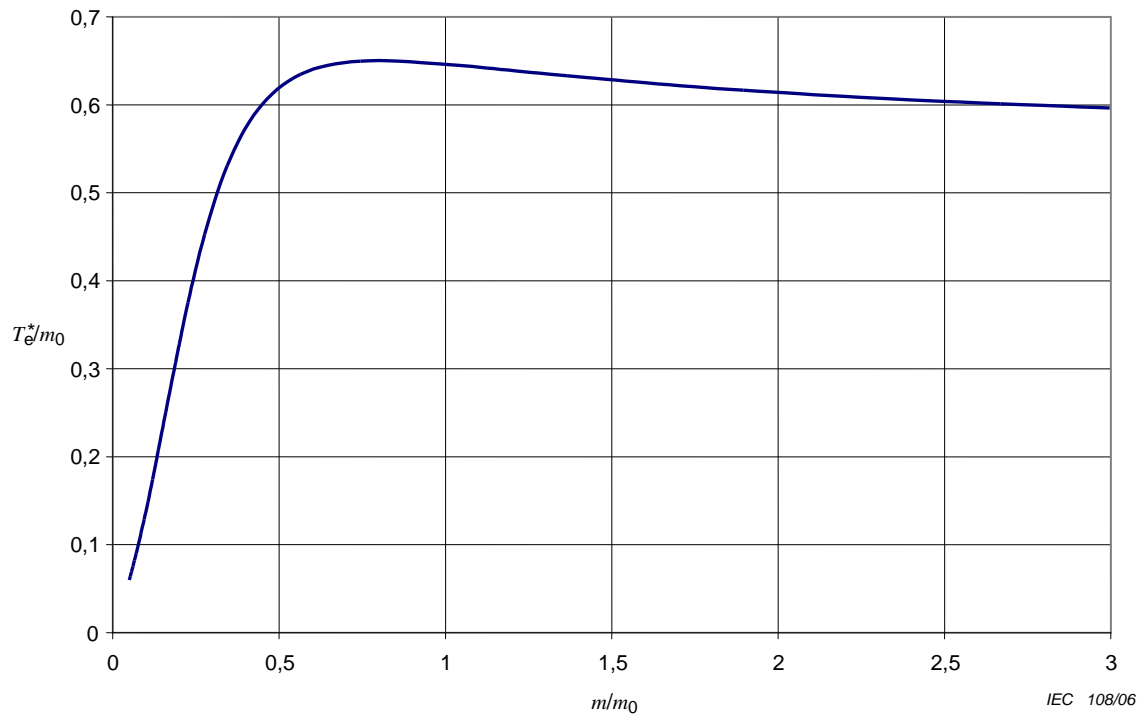


Figure A.12 – Plan d’essais A.4 – Valeur moyenne du temps d’essai cumulé au moment de la décision

A.5 Plan d'essais A.5 – $\alpha = 0,20$; $\beta = 0,20$; $D = 1,5$

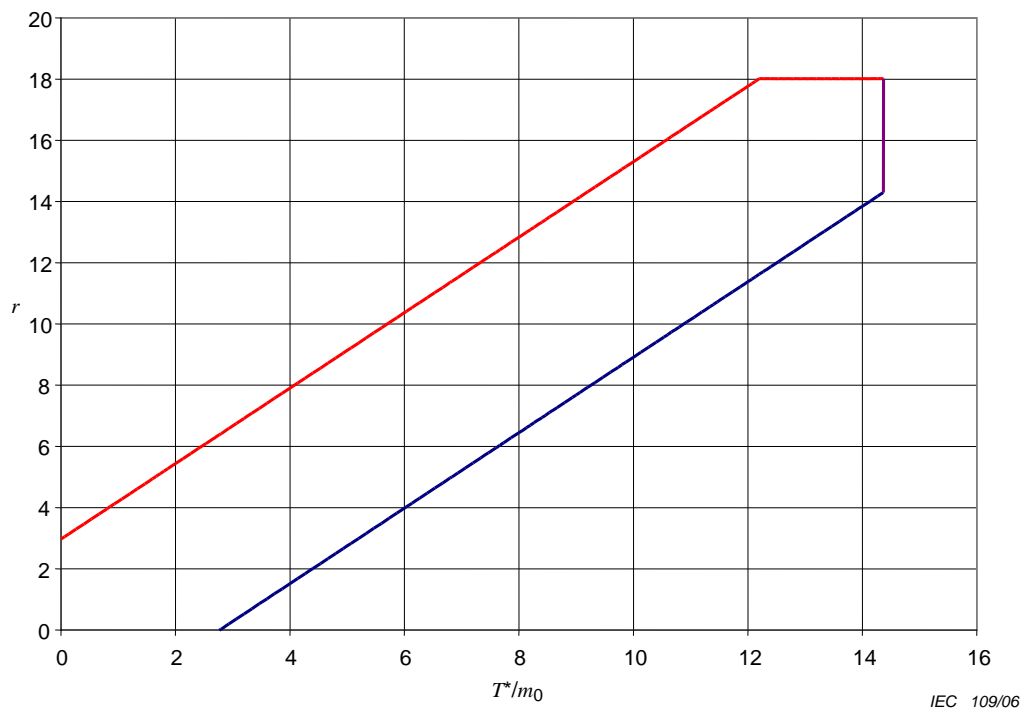


Figure A.13 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.5

Tableau A.5 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.5

r	T_r^* / m_0 Rejet (inférieur ou égal)	T_a^* / m_0 Acceptation (supérieur ou égal)
0	–	2,77
1	–	3,58
2	–	4,39
3	0,025	5,21
4	0,836	6,02
5	1,65	6,83
6	2,46	7,64
7	3,27	8,45
8	4,08	9,26
9	4,89	10,07
10	5,70	10,88
11	6,51	11,69
12	7,32	12,50
13	8,13	13,31
14	8,95	14,13
15	9,76	14,37
16	10,57	14,37
17	11,38	14,37
$r_0 = 18$	12,19	14,37
19	14,37	N/A

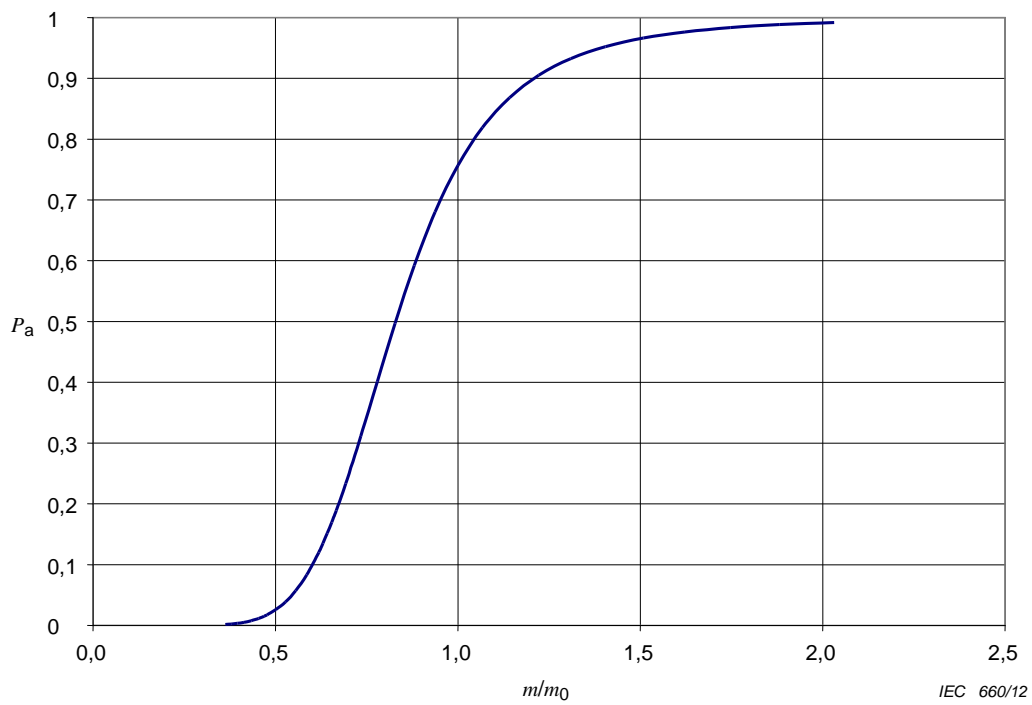


Figure A.14 – Plan d'essais A.5 – Courbe caractéristique d'exploitation

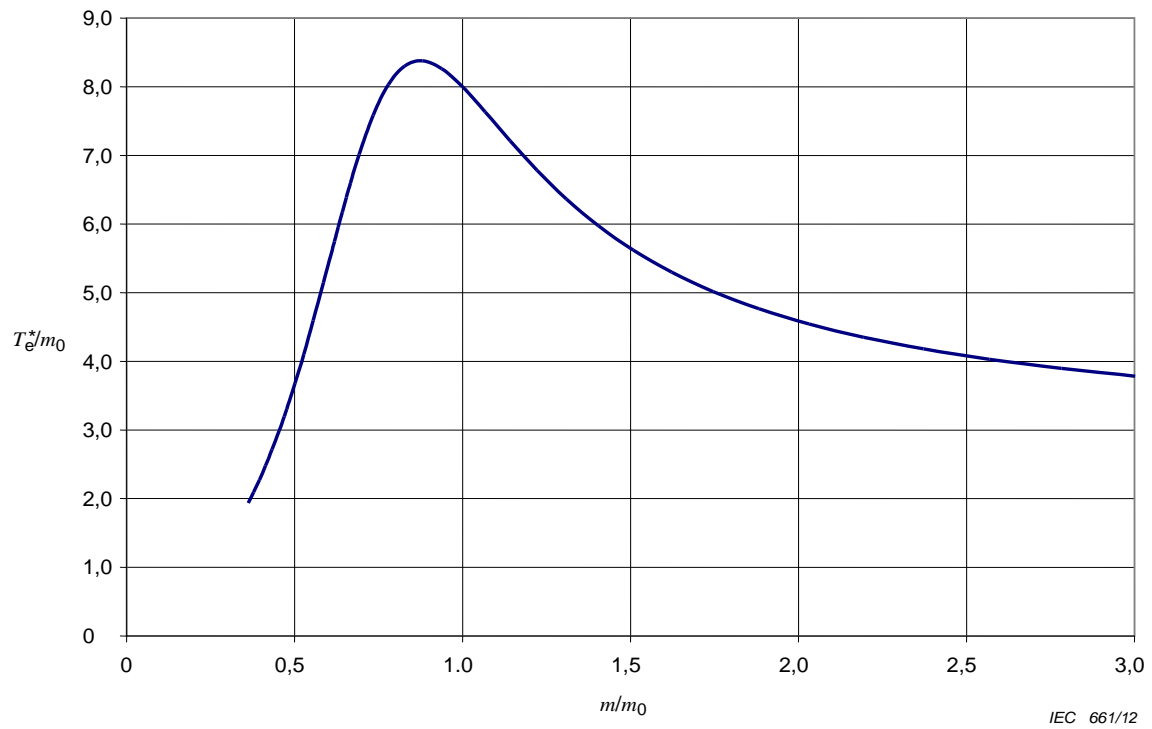


Figure A.15 – Plan d'essais A.5 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision

A.6 Plan d'essais A.6 – $\alpha = 0,20$; $\beta = 0,20$; $D = 2,0$

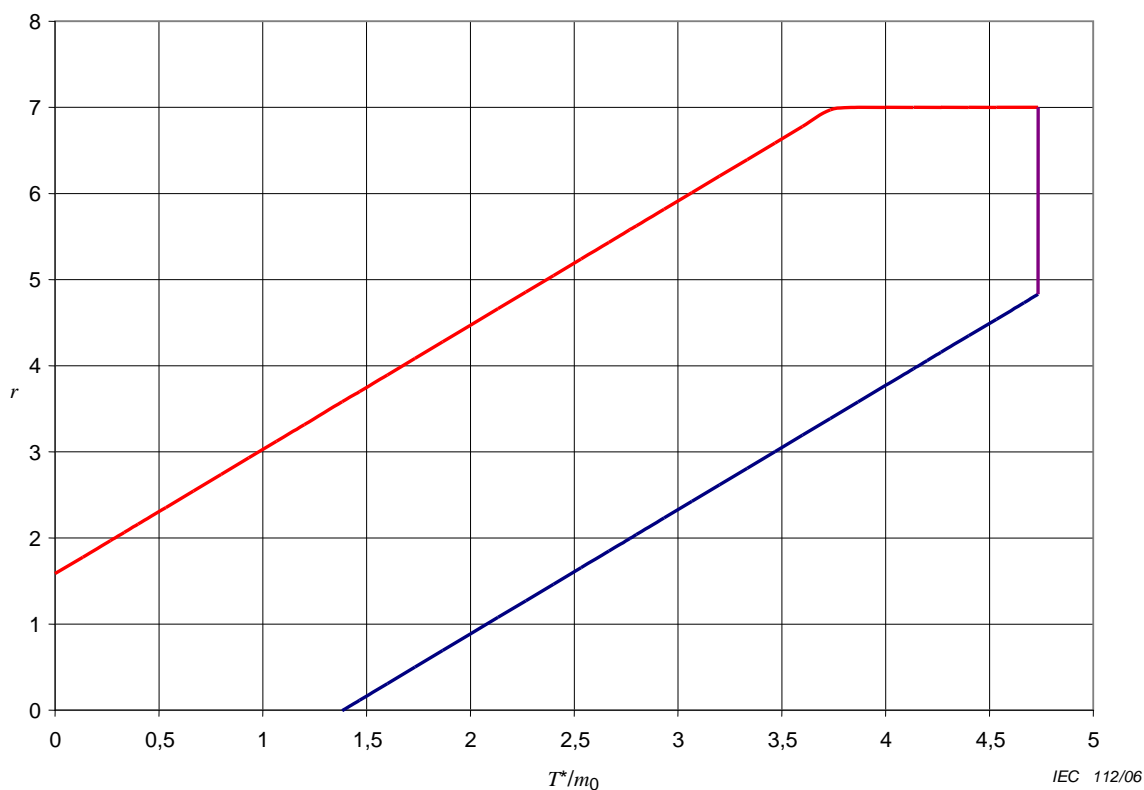


Figure A.16 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.6

Tableau A.6 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.6

r	T_r^* / m_0 Rejet (inférieur ou égal)	T_a^* / m_0 Acceptation (supérieur ou égal)
0	–	1,39
1	–	2,08
2	0,288	2,77
3	0,981	3,47
4	1,67	4,16
5	2,37	4,73
6	3,06	4,73
$r_0 = 7$	3,75	4,73
8	4,73	N/A

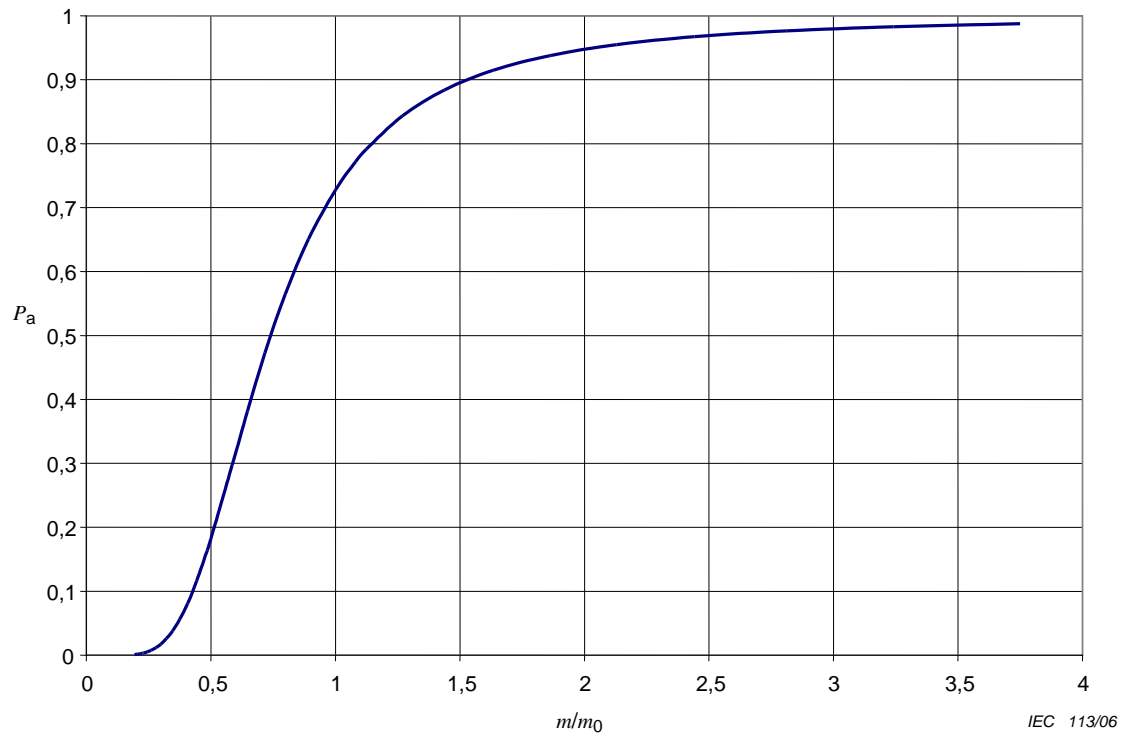


Figure A.17 – Plan d'essais A.6 – Courbe caractéristique d'exploitation

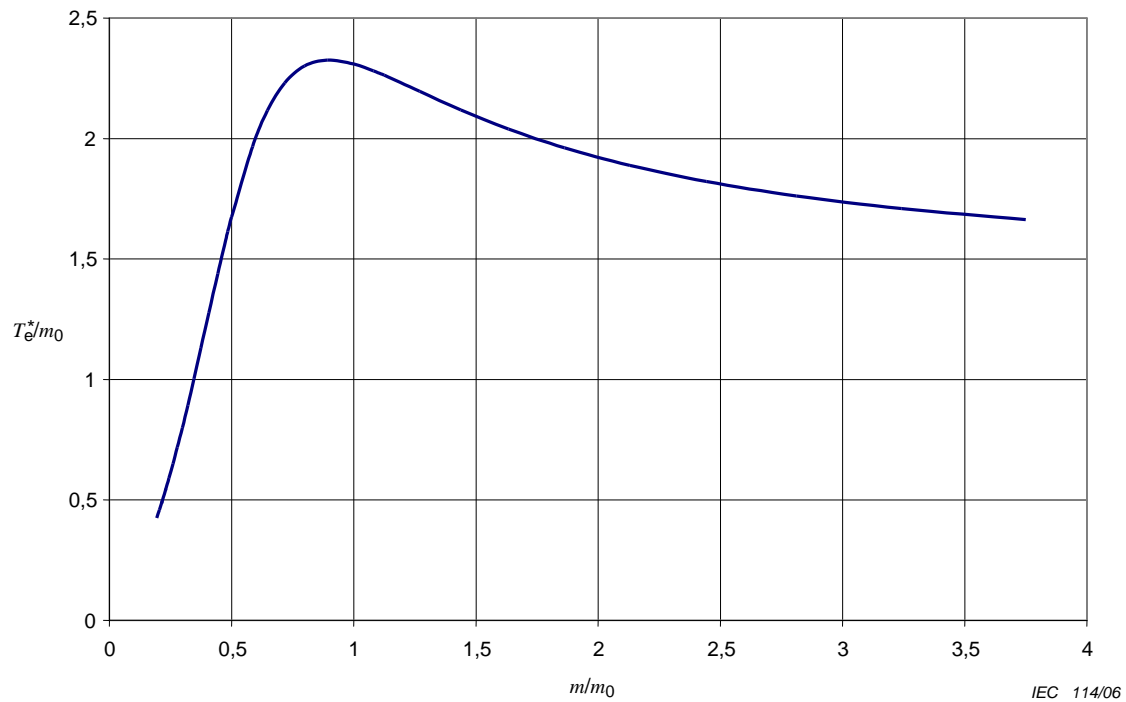


Figure A.18 – Plan d'essais A.6 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision

A.7 Plan d'essais A.7 – $\alpha = 0,20$; $\beta = 0,20$; $D = 3,0$

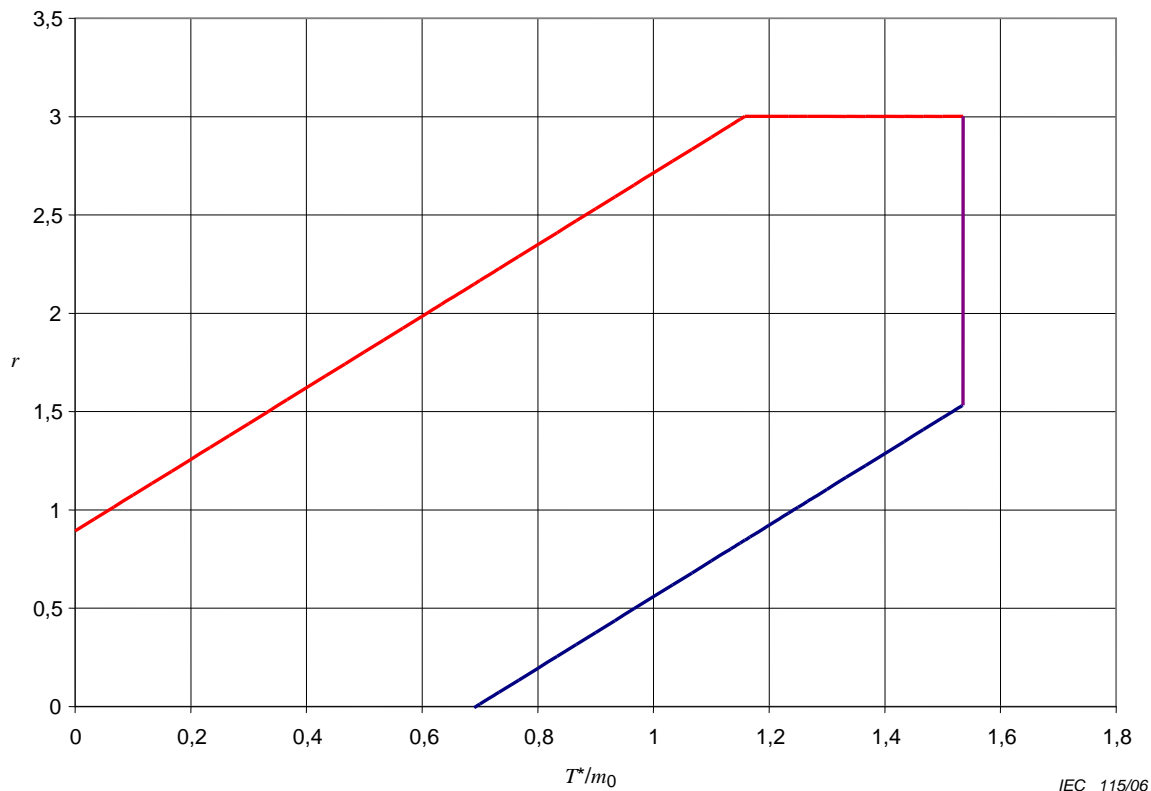


Figure A.19 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.7

Tableau A.7 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.7

r	T_r^* / m_0 Rejet (inférieur ou égal)	T_a^* / m_0 Acceptation (supérieur ou égal)
0	–	0,693
1	0,059	1,24
2	0,608	1,54
$r_0 = 3$	1,16	1,54
4	1,54	N/A

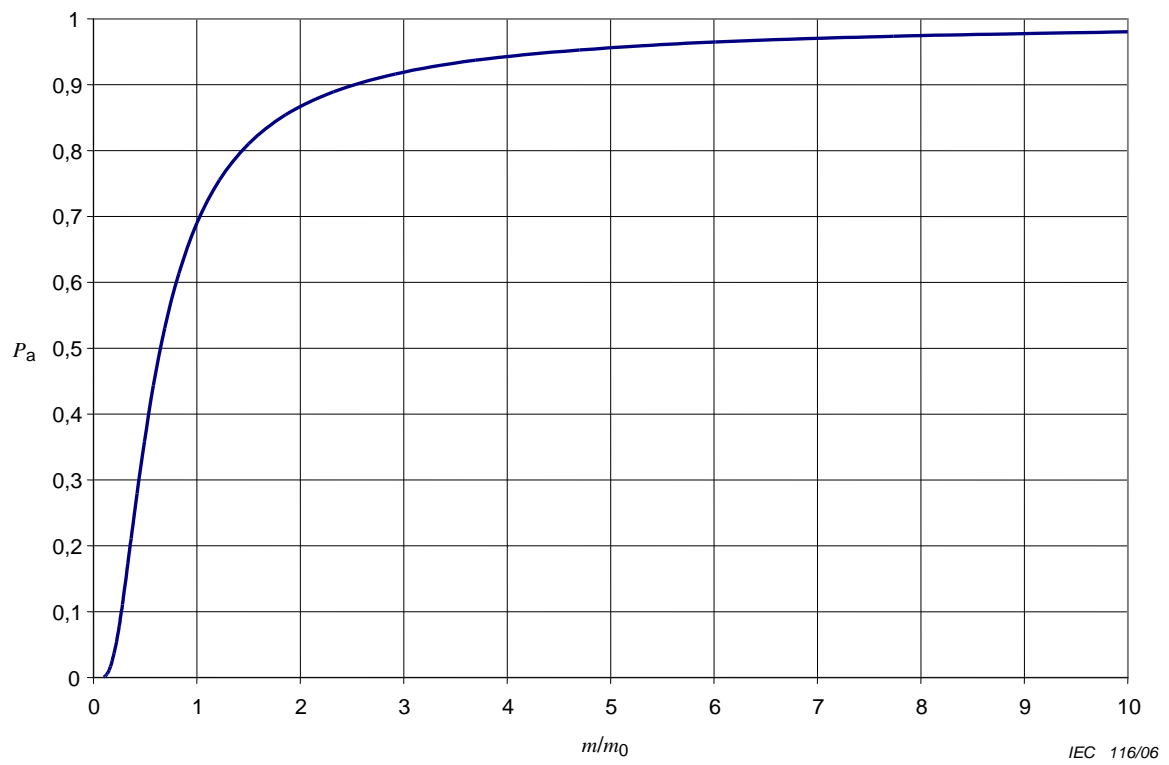


Figure A.20 – Plan d'essais A.7 – Courbe d'efficacité

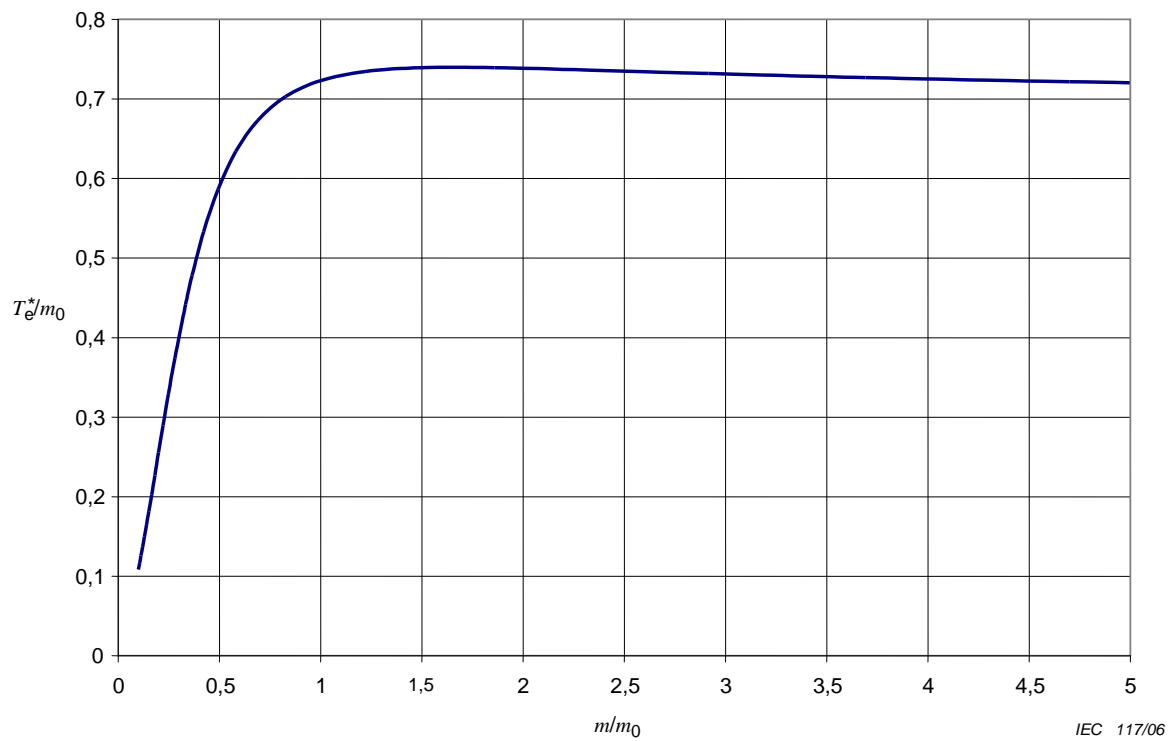


Figure A.21 – Plan d'essais A.7 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision

A.8 Plan d'essais A.8 – $\alpha = 0,30$; $\beta = 0,30$; $D = 1,5$

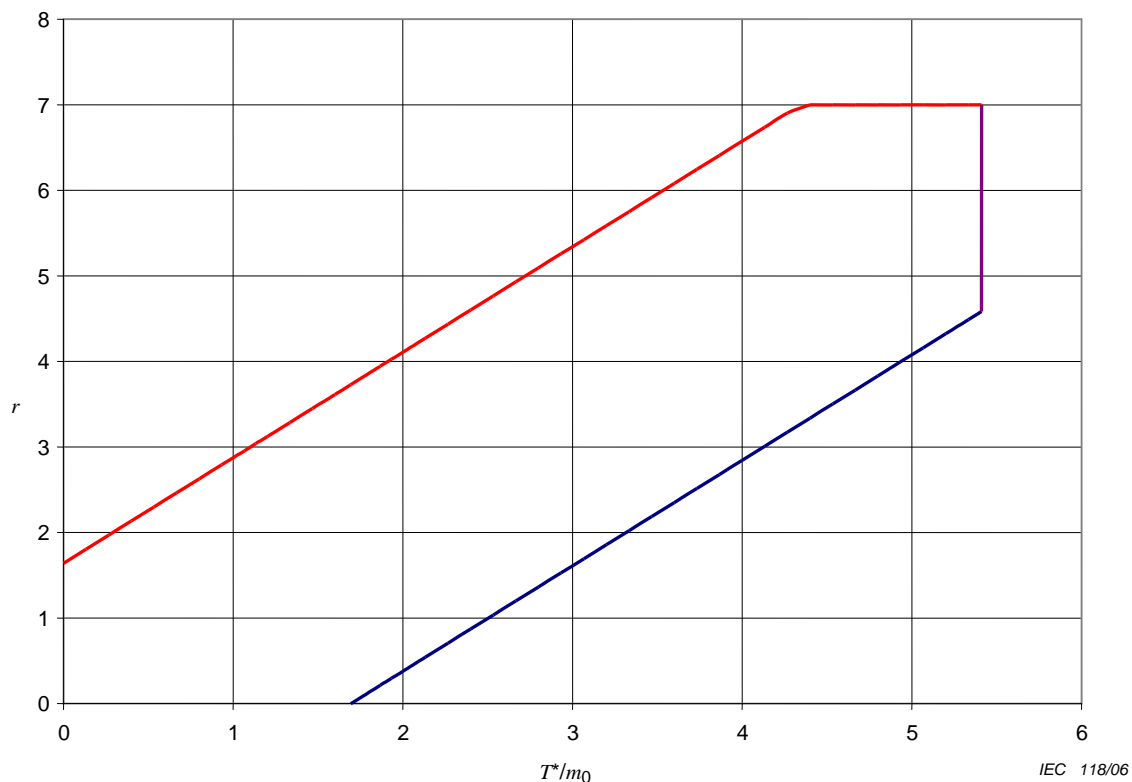


Figure A.22 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.8

Tableau A.8 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.8

r	T_r^* / m_0 Rejet (inférieur ou égal)	T_a^* / m_0 Acceptation (supérieur ou égal)
0	–	1,69
1	–	2,51
2	0,292	3,32
3	1,10	4,13
4	1,91	4,94
5	2,72	5,41
6	3,54	5,41
$r_0 = 7$	4,35	5,41
8	5,41	N/A

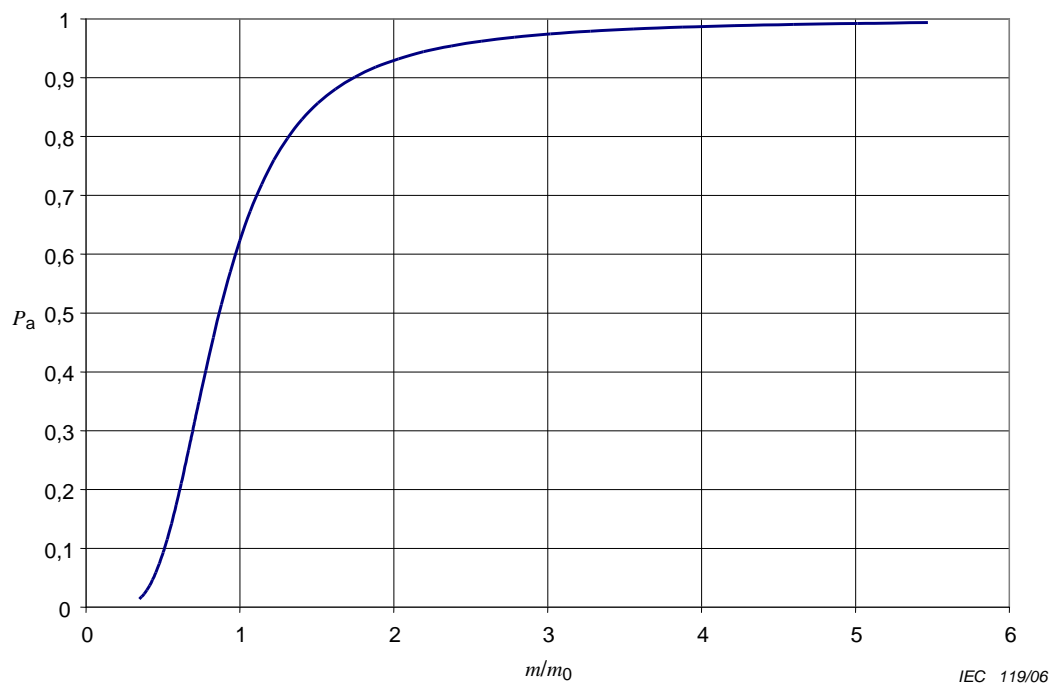


Figure A.23 – Plan d'essais A.8 – Courbe caractéristique d'exploitation

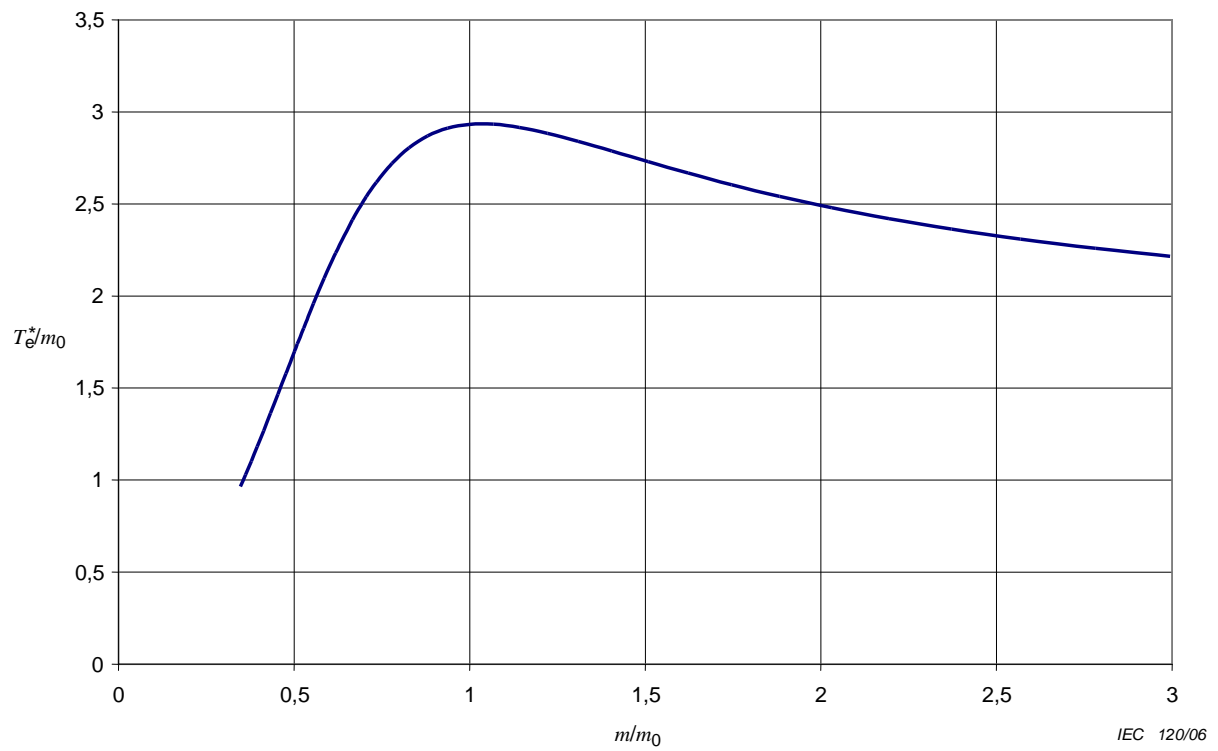


Figure A.24 – Plan d'essais A.8 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision

A.9 Plan d'essais A.9 – $\alpha = 0,30$; $\beta = 0,30$; $D = 2,0$

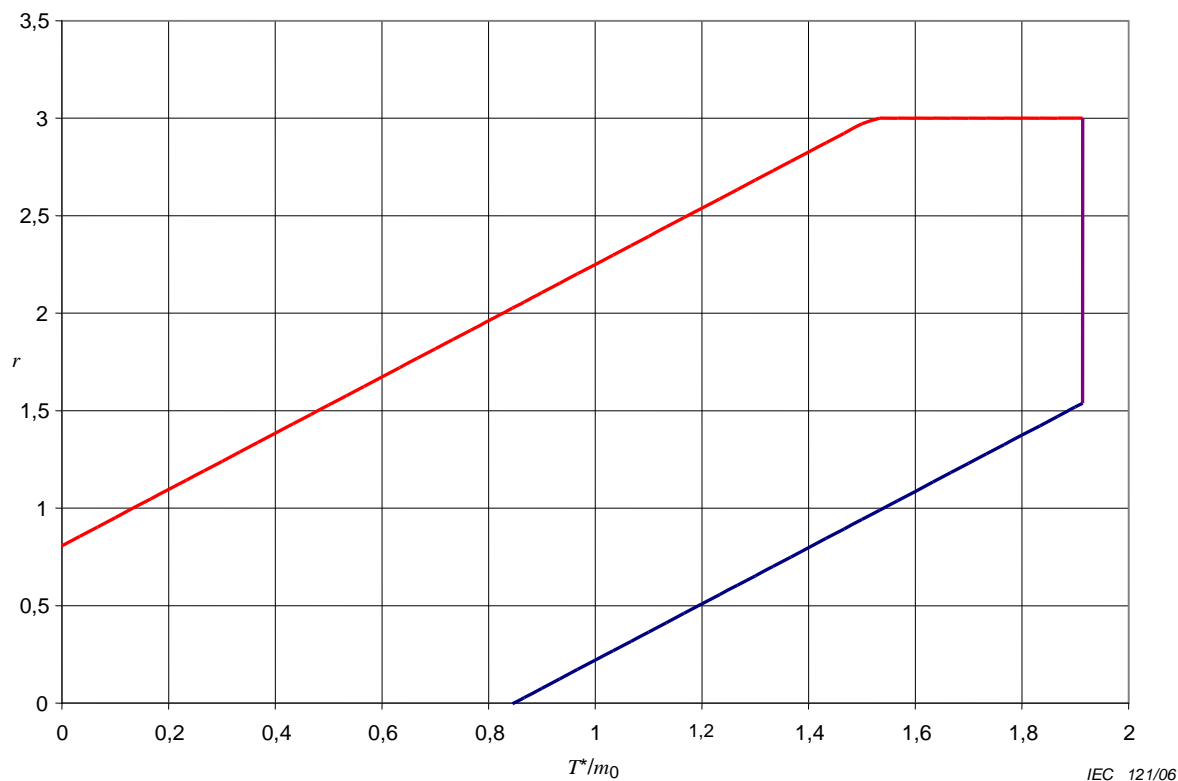


Figure A.25 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.9

Tableau A.9 – Lignes d'acceptation et de rejet pour le plan d'essais A.9

r	T_r^* / m_0 Rejet (inférieur ou égal)	T_a^* / m_0 Acceptation (supérieur ou égal)
0	–	0,847
1	0,134	1,54
2	0,827	1,91
$r_0 = 3$	1,52	1,91
4	1,91	N/A

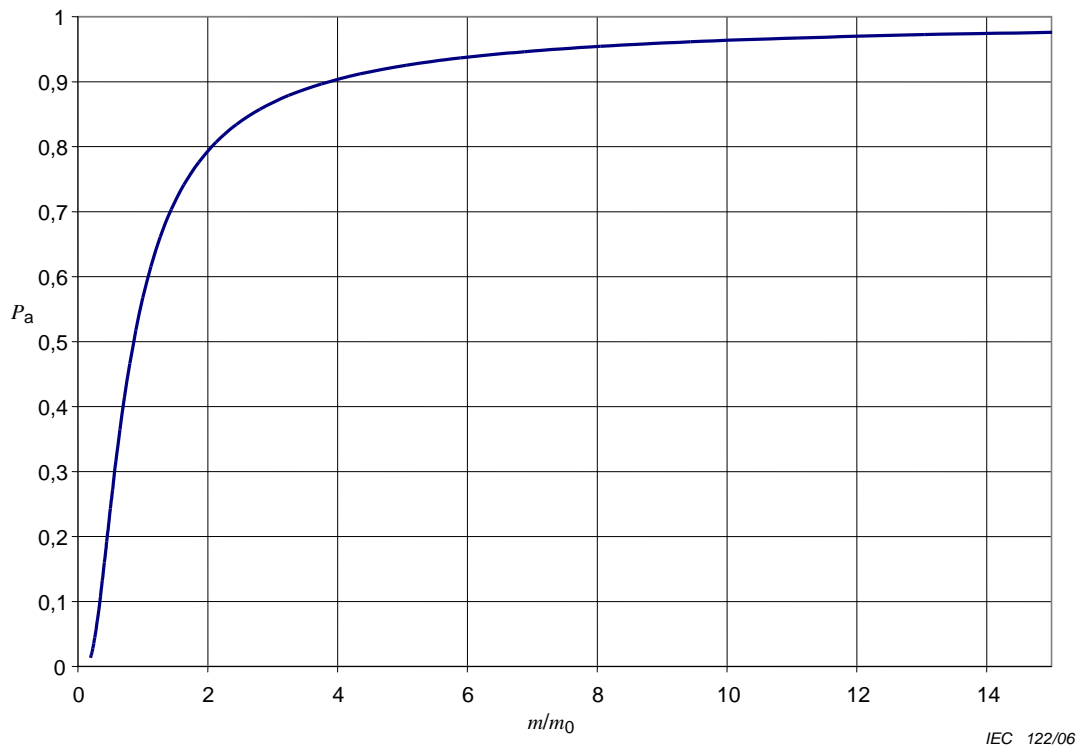


Figure A.26 – Plan d'essais A.9 – Courbe caractéristique d'exploitation

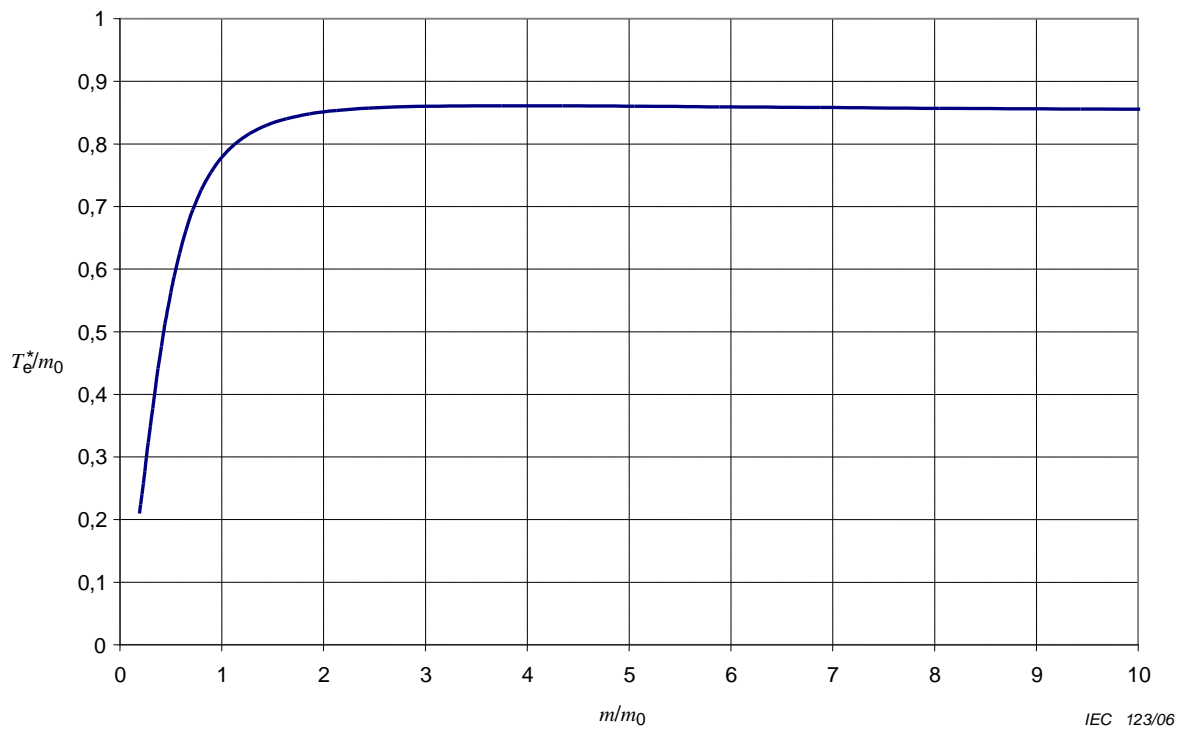


Figure A.27 – Plan d'essais A.9 – Valeur moyenne du temps d'essai cumulé au moment de la décision

Annexe B (normative)

Graphiques relatifs aux plans d'essais terminés par le temps ou les défaillances

NOTE 1 Voir l'Article 7.

NOTE 2 Cette annexe utilise les symboles listés en 3.2.

NOTE 3 Pour les figures montrant la valeur moyenne du temps avant décision, les lignes droites (ligne oblique commençant à (0,0), et ligne horizontale) représentent l'essai de défaillance censuré avec remplacement. Les courbes qui approchent les lignes droites de façon asymptotique représentent l'essai de temps censuré avec remplacement.

B.1 Plans d'essais B.1 à B.4

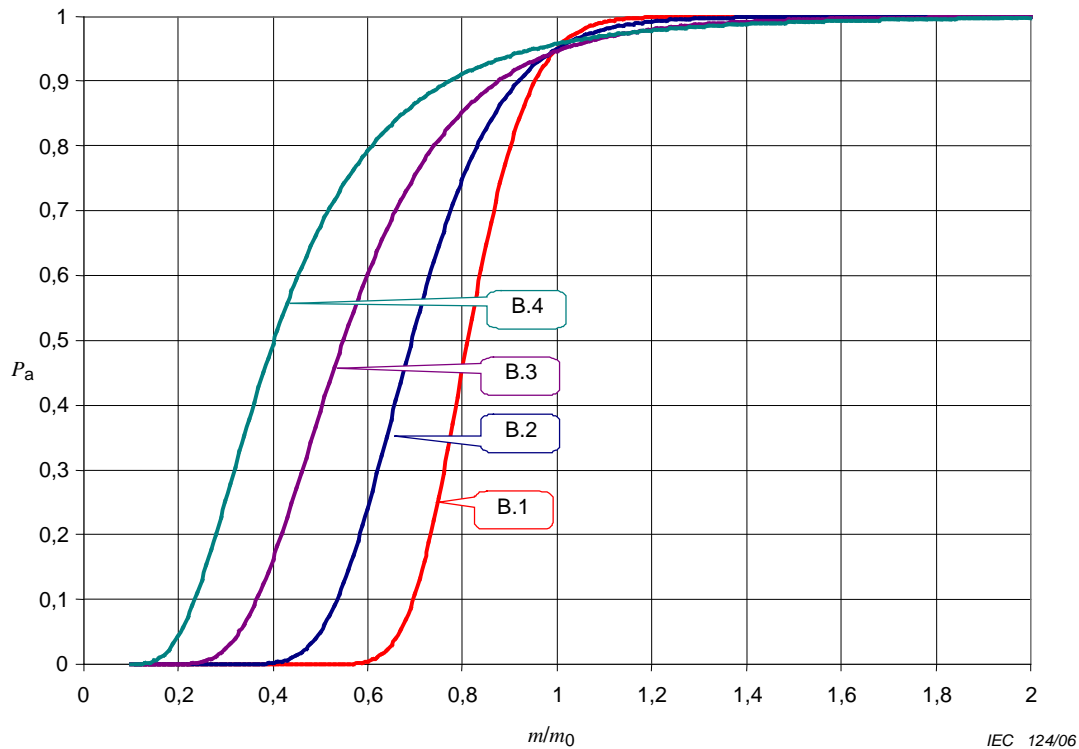


Figure B.1 – Courbe caractéristique d'exploitation
pour les plans d'essais B.1, B.2, B.3 et B.4

IEC 124/06

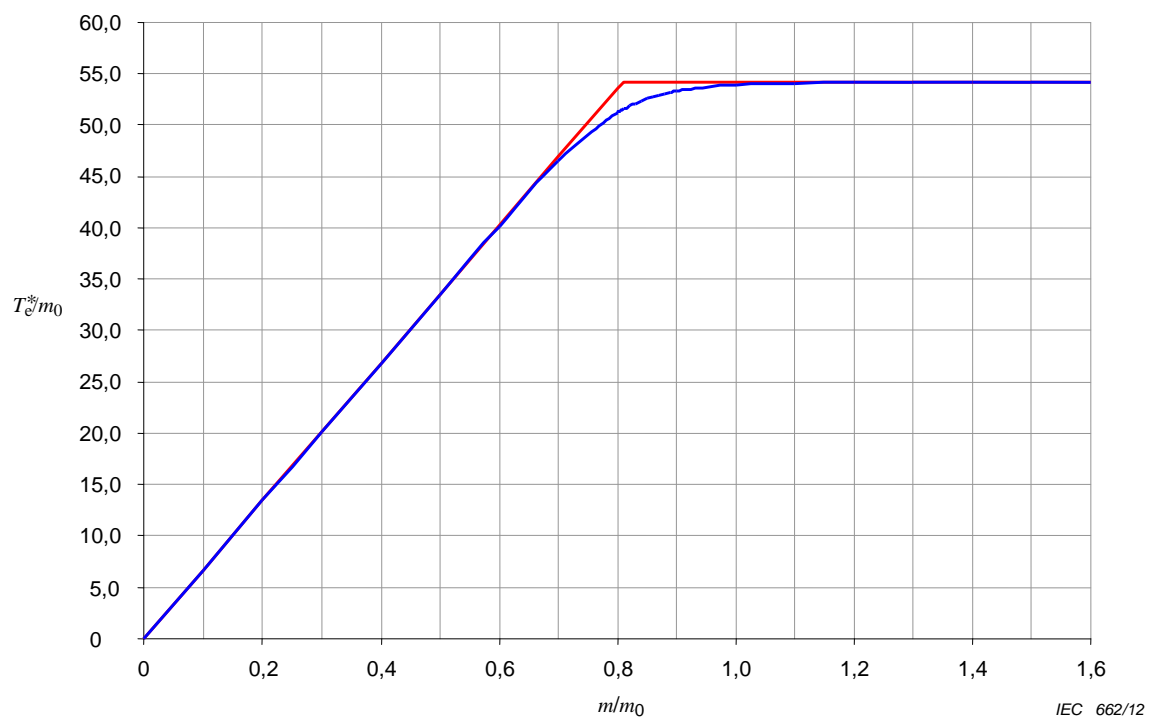


Figure B.2 – Plan d’essais B.1 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision

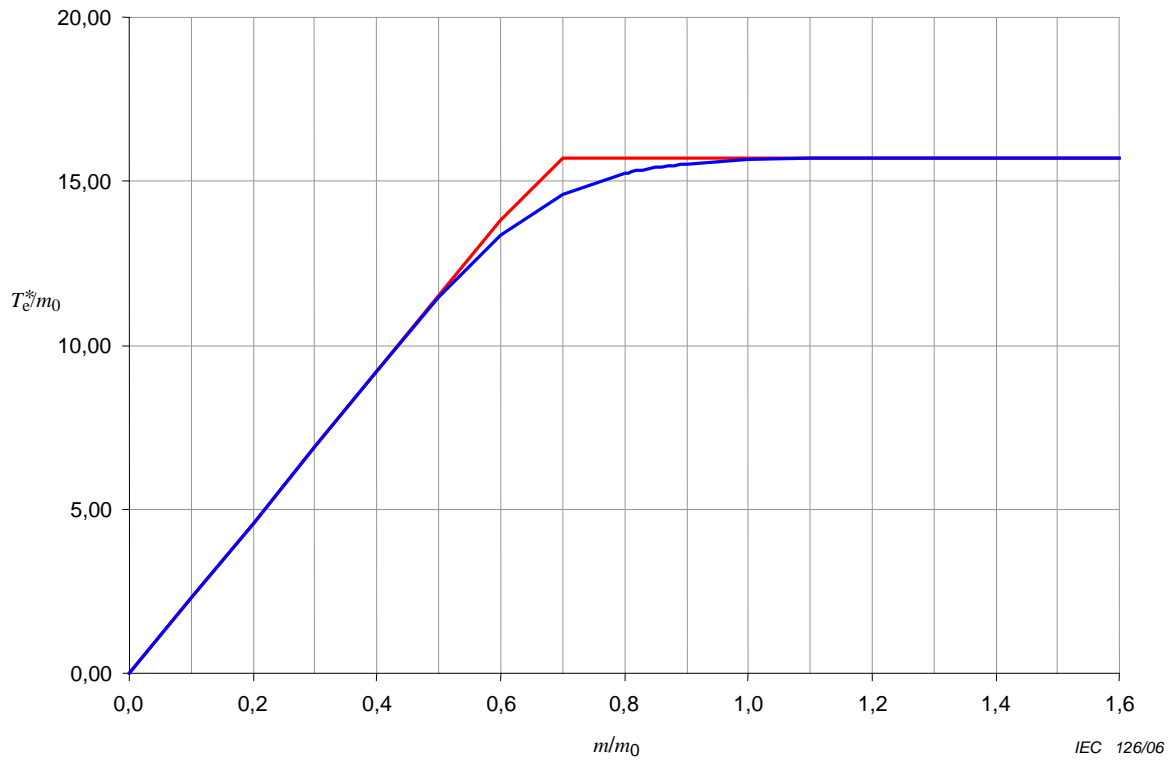


Figure B.3 – Plan d’essais B.2 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision

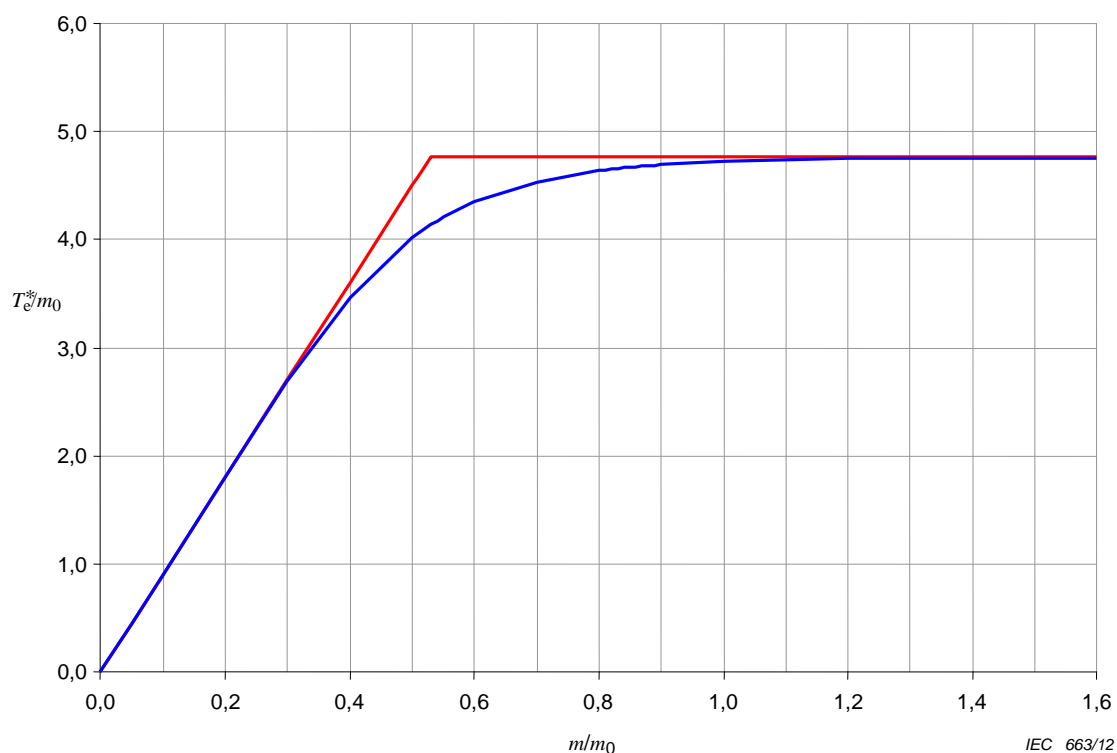


Figure B.4 – Plan d'essais B.3 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision

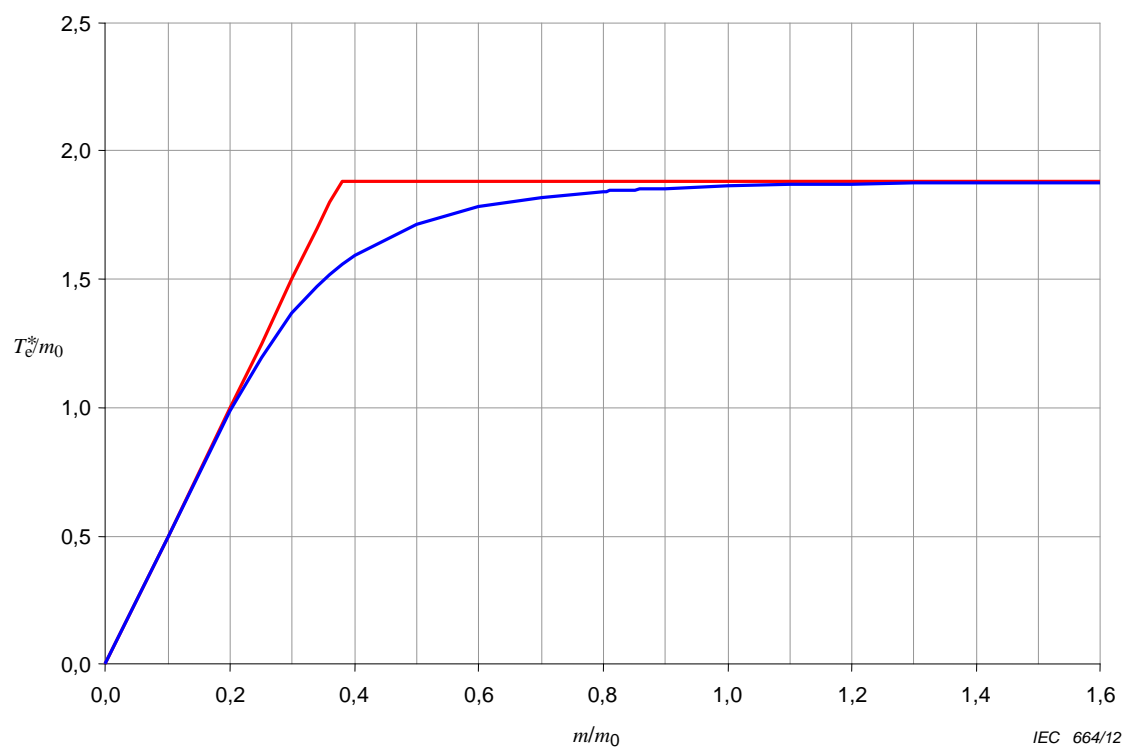


Figure B.5 – Plan d'essais B.4 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision

B.2 Plans d'essais B.5 à B.8

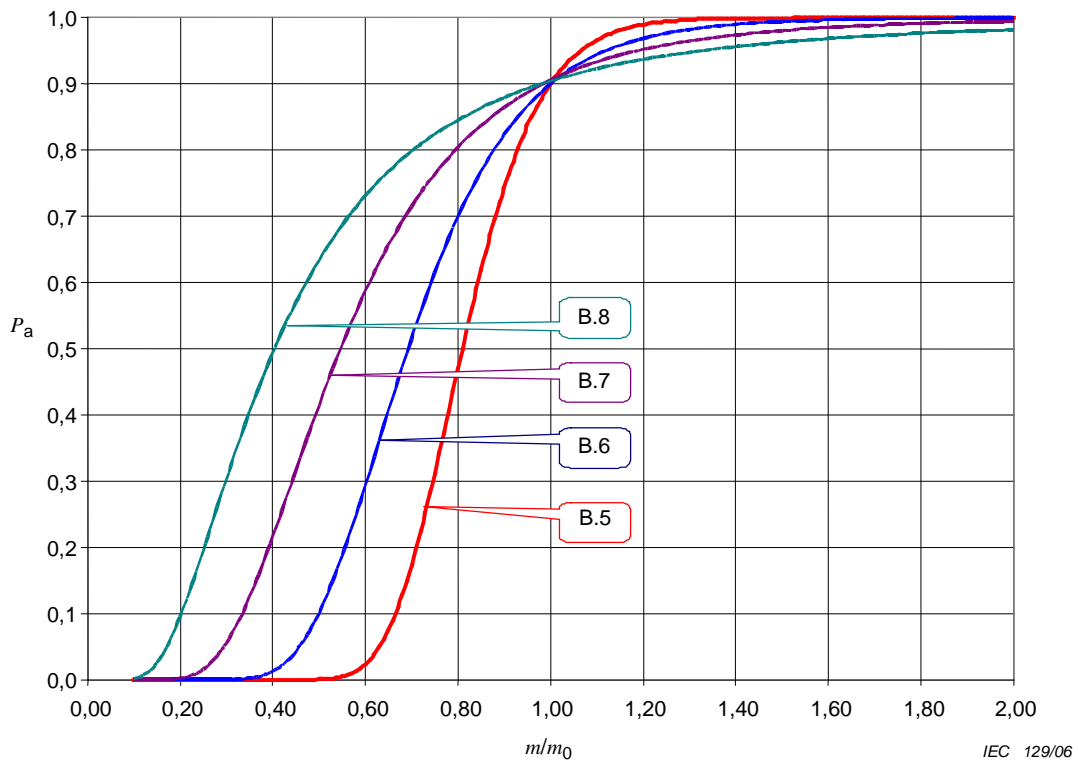


Figure B.6 – Courbe caractéristique d'exploitation pour les plans d'essais B.5, B.6, B.7 et B.8

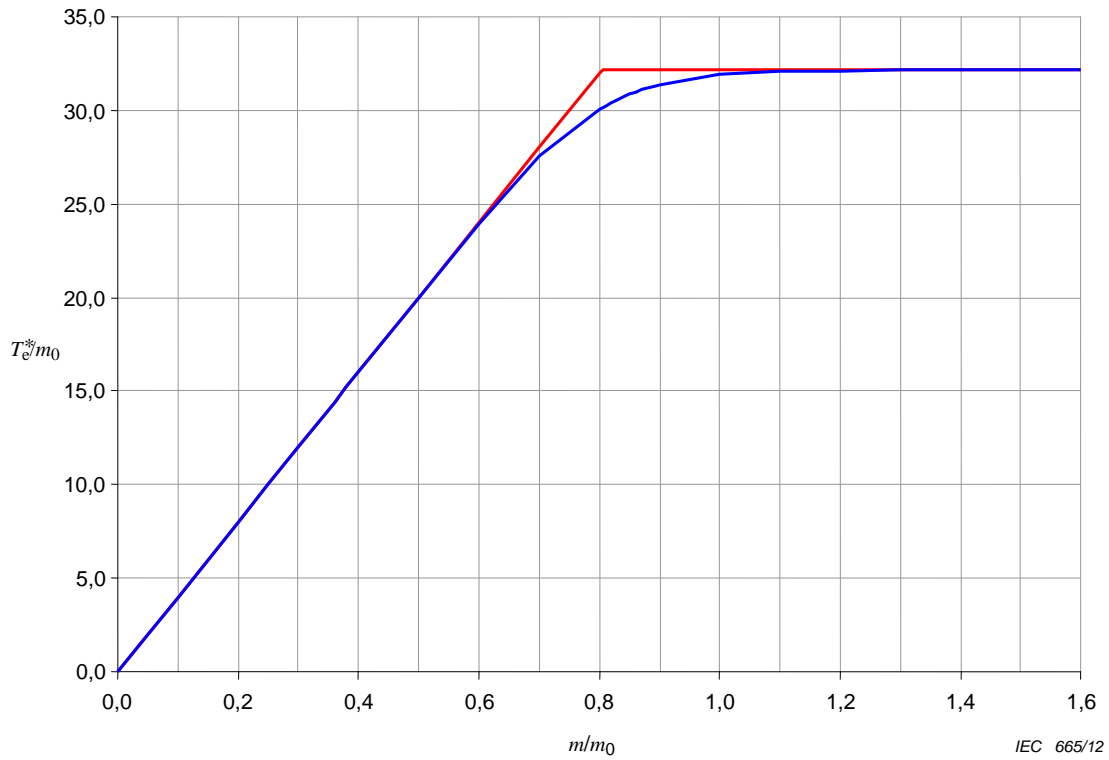


Figure B.7 – Plan d'essais B.5 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision

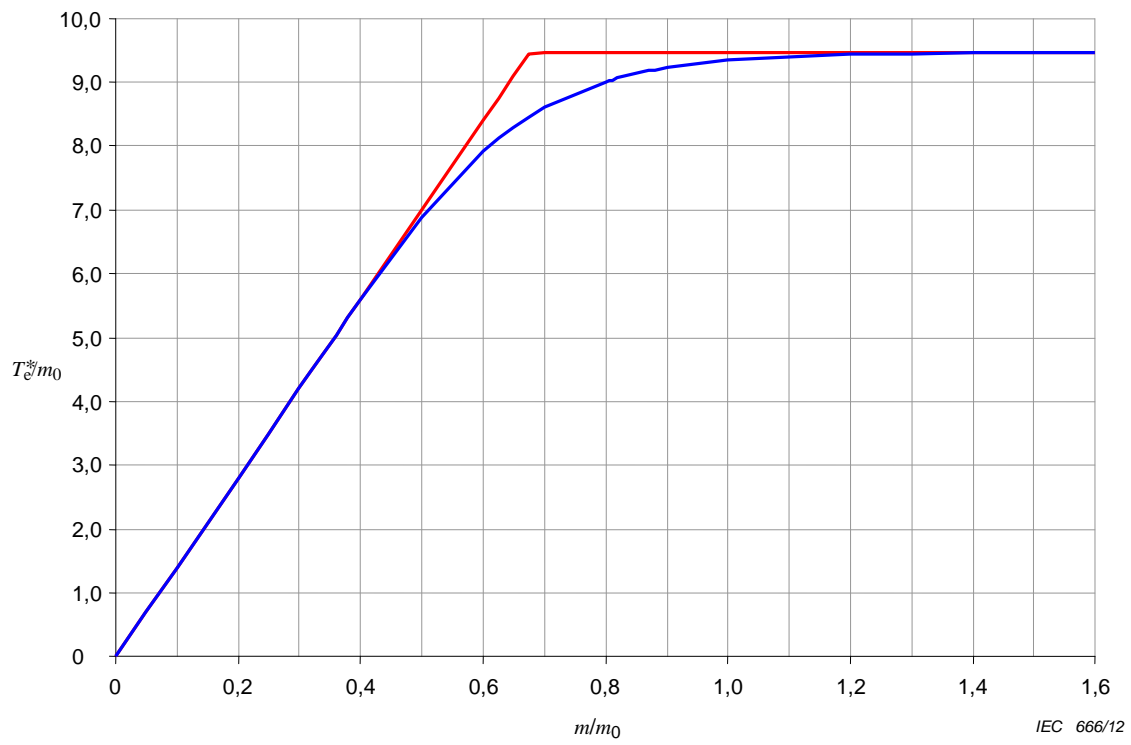


Figure B.8 – Plan d’essais B.6 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision

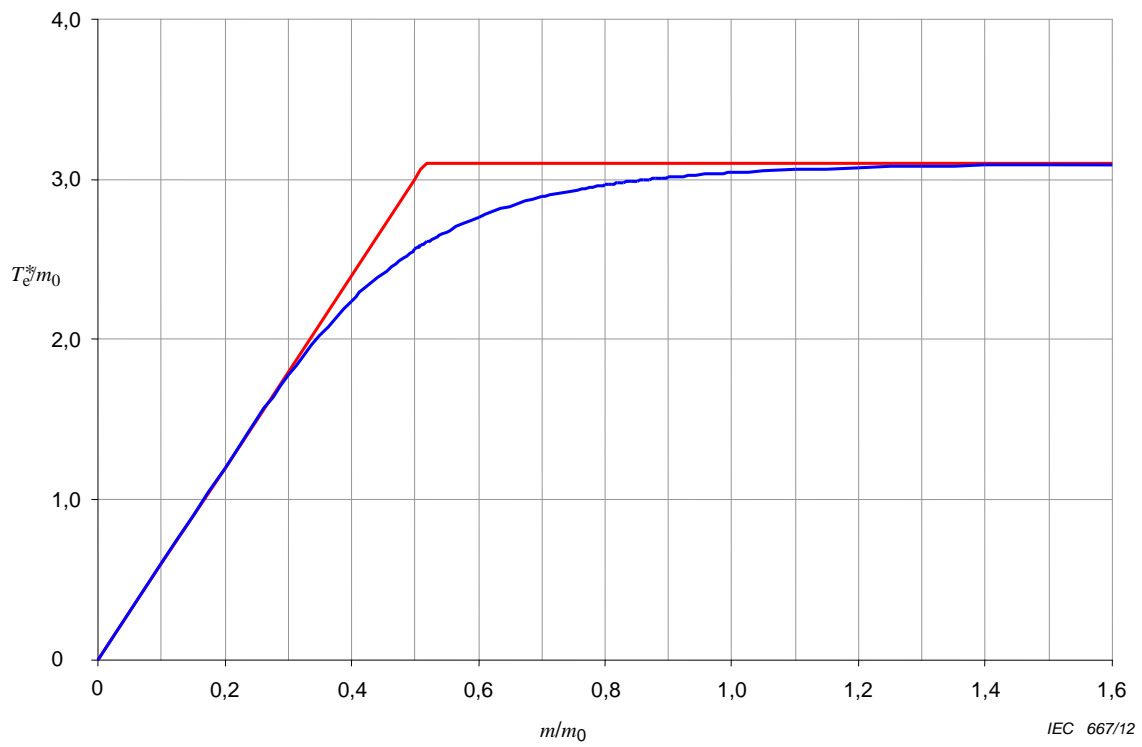


Figure B.9 – Plan d’essais B.7 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision

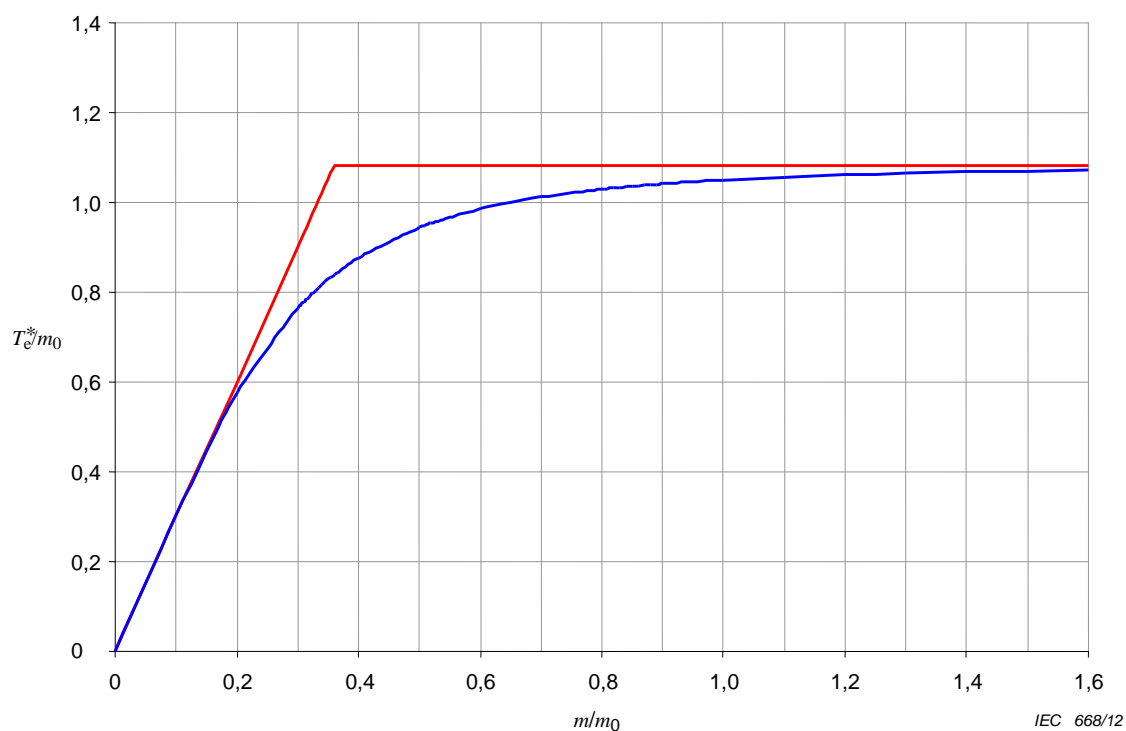


Figure B.10 – Plan d'essais B.8 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision

B.3 Plans d'essais B.9 à B.11

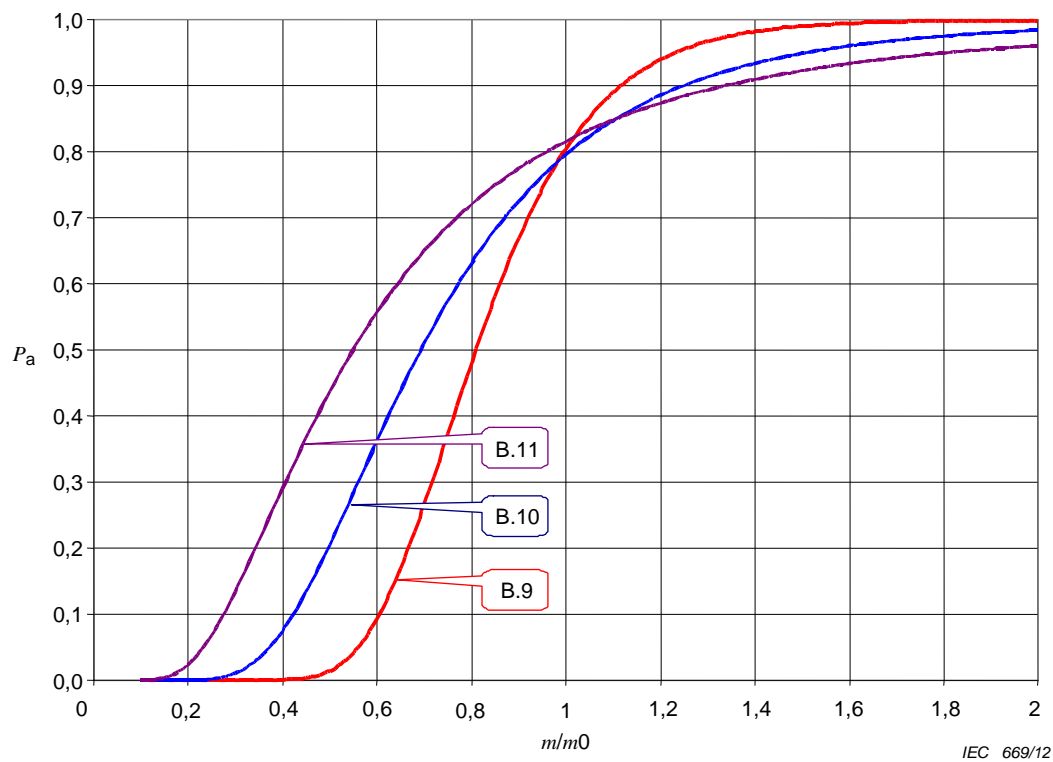


Figure B.11 – Courbe caractéristique d'exploitation pour les plans d'essais B.9, B.10 et B.11

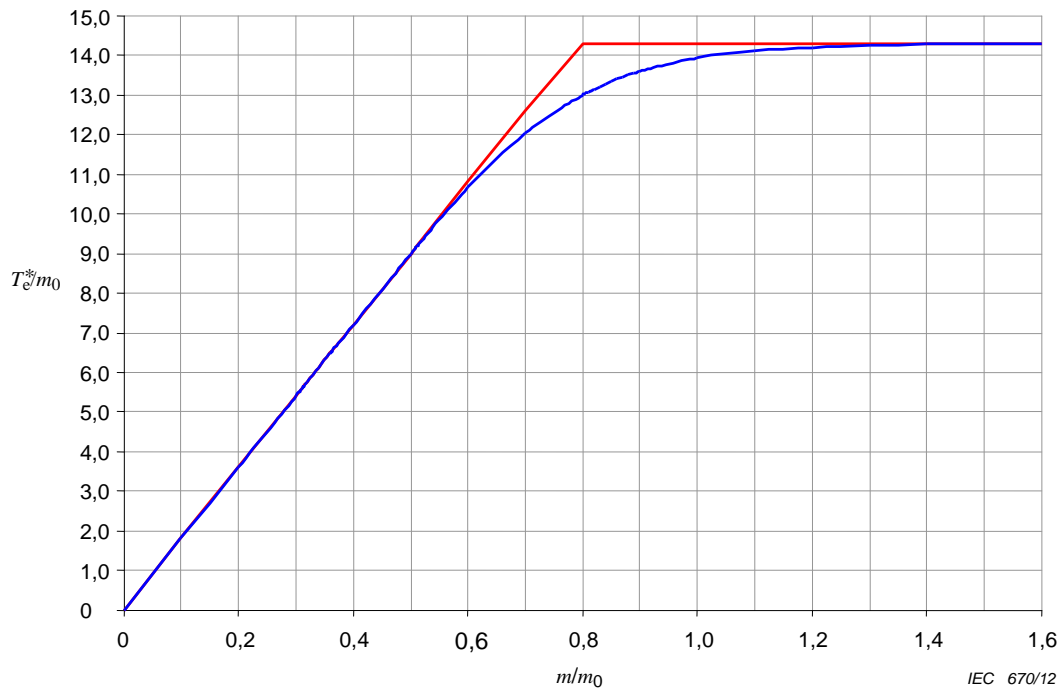


Figure B.12 – Plan d’essais B.9 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision

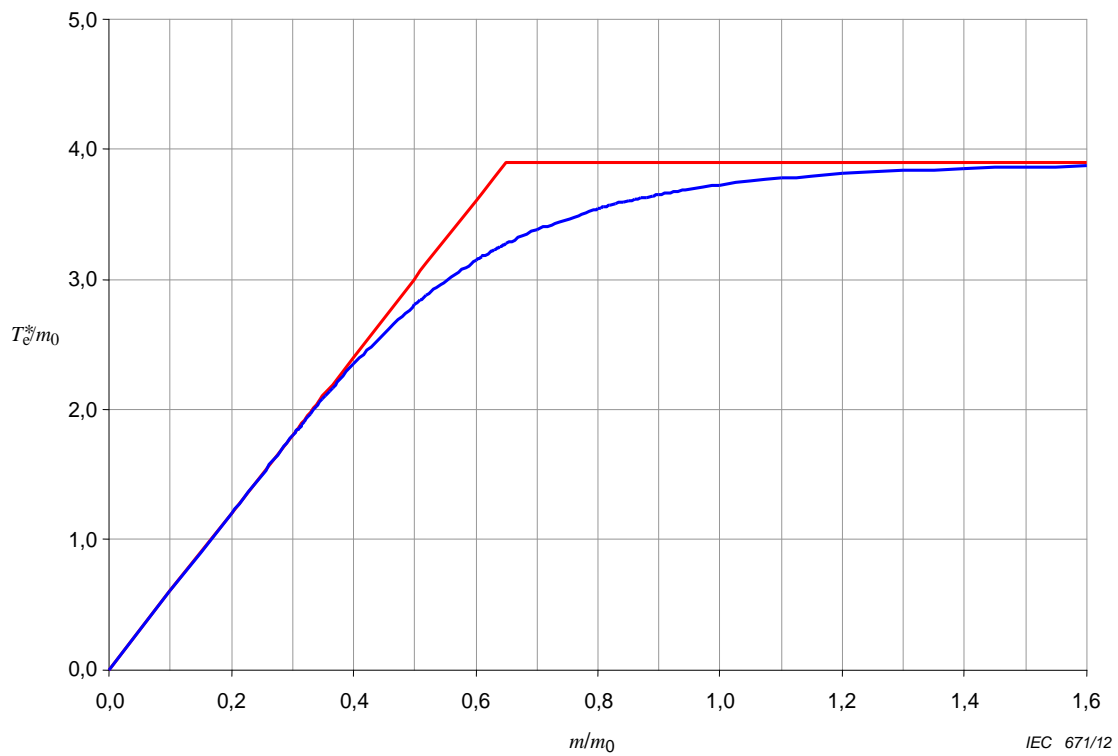


Figure B.13 – Plan d’essais B.10 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision

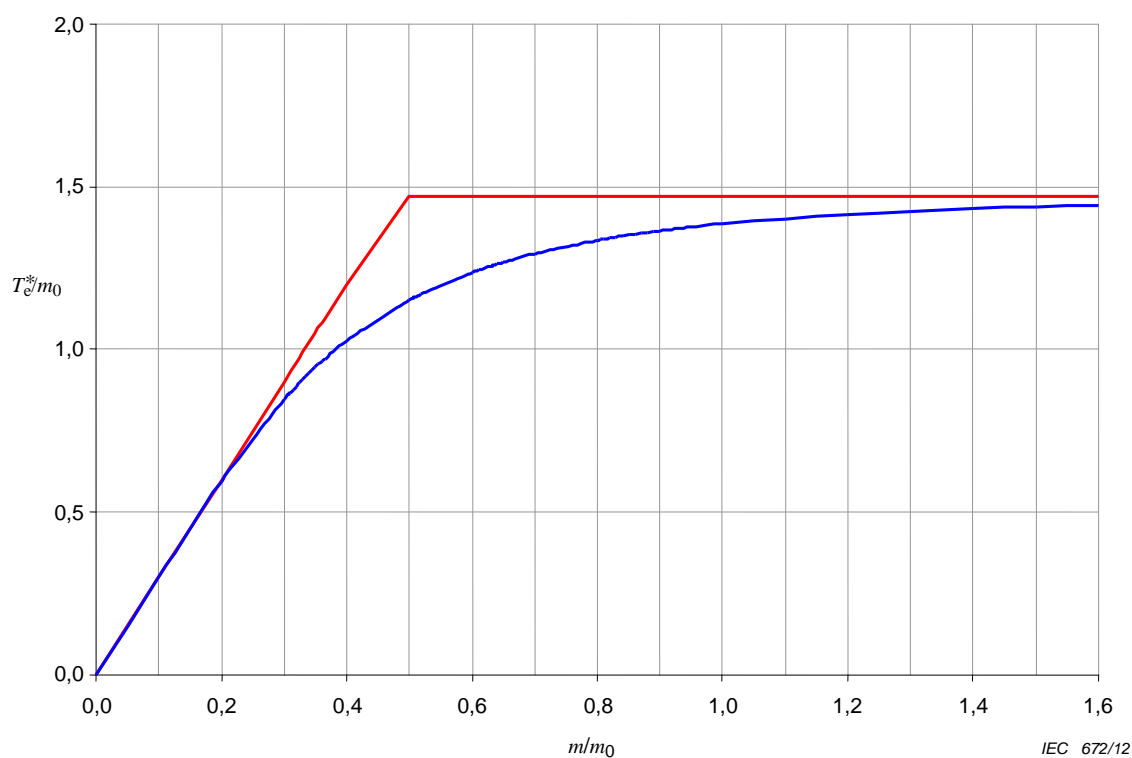


Figure B.14 – Plan d'essais B.11 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision

B.4 Plans d'essais B.12 à B.13

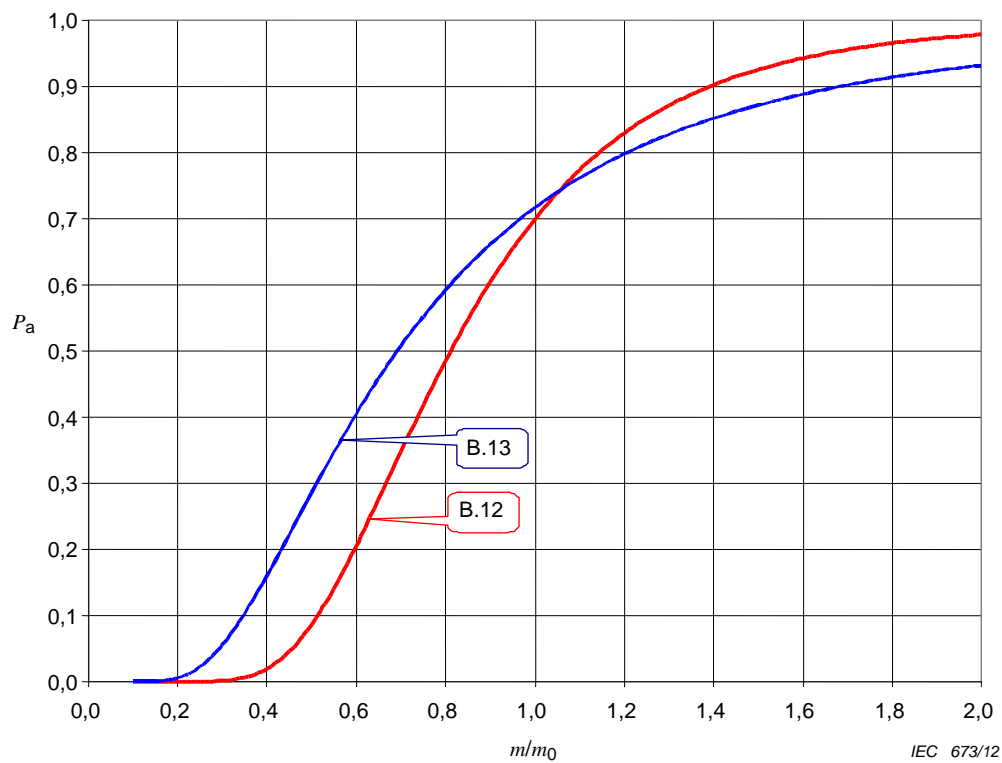


Figure B.15 – Courbe caractéristique d'exploitation pour les plans d'essais B.12 et B.13

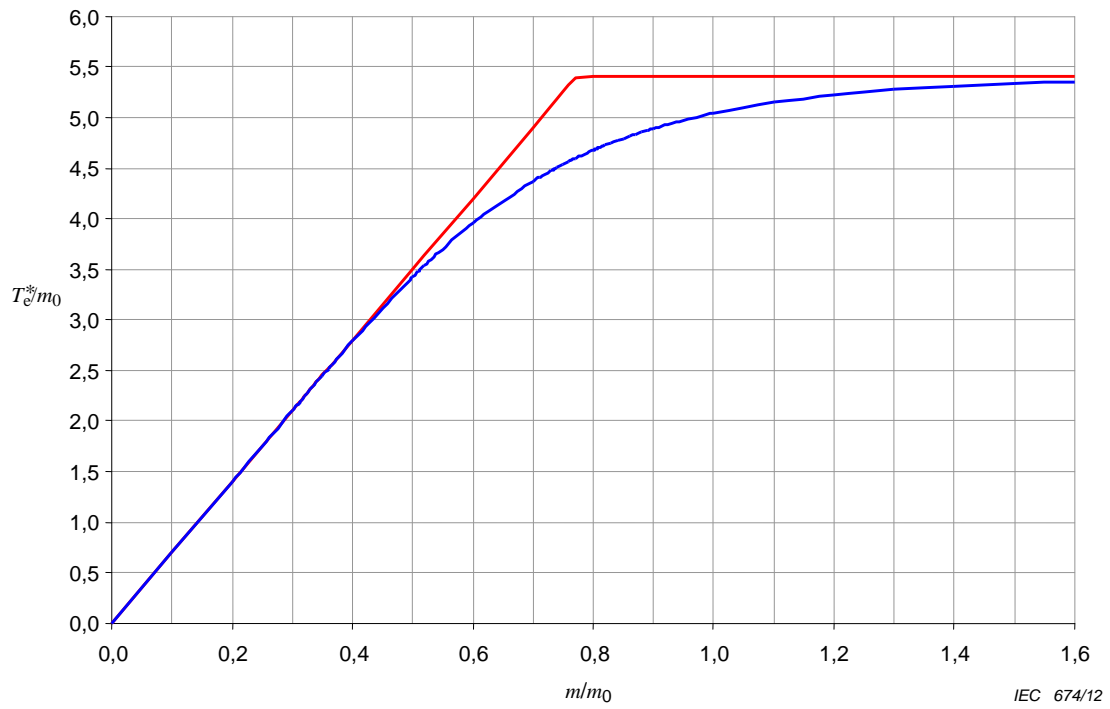


Figure B.16 – Plan d’essais B.12 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision

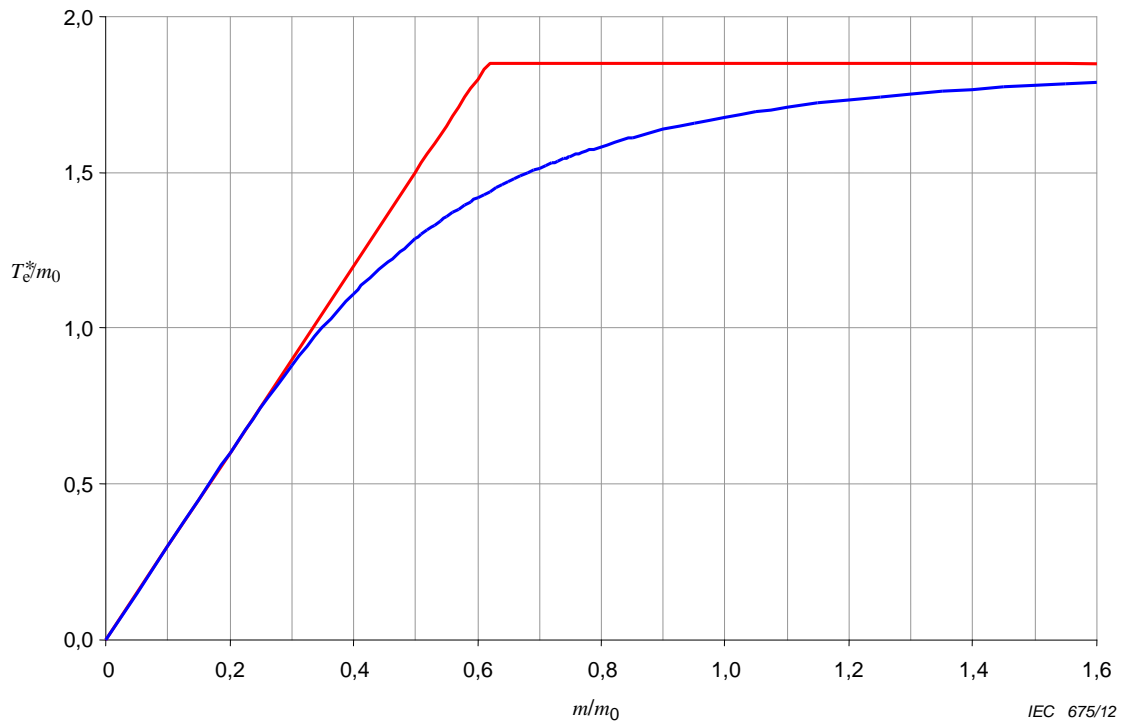


Figure B.17 – Plan d’essais B.13 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision

Annexe C (normative)

Graphiques relatifs aux plans d'essais censurés alternatifs

NOTE 1 Voir l'Article 8.

NOTE 2 Cette annexe utilise les symboles listés en 3.2.2.

C.1 Cas typique, déduction de c et D

Cette méthode convient particulièrement à des cas où les paramètres suivants du plan d'essais sont spécifiés:

- temps d'essai pour chaque entité soumise à l'essai, ce temps t_t^* étant supposé identique pour toutes les entités et défini comme critère de fin;
- nombre d'entités soumises à l'essai, n ;
- risques nominaux identiques pour le fournisseur et le client, $\alpha = \beta$;
- valeur maximale du rapport de discrimination, si nécessaire.

Sur la base de ces paramètres, le rapport de discrimination réel, et le nombre acceptable de défaillances, c , sont déduits à l'aide des figures en Article C.4, comme indiqué ci-après.

Si le rapport de discrimination réel, D , qui a été déduit dépasse la valeur maximale spécifiée, ou s'il est jugé inapproprié, le temps d'essai doit être augmenté ou d'autres paramètres du plan d'essais doivent être modifiés. On recommence alors les calculs et on les réévalue jusqu'à ce que les conditions soient remplies.

a) Méthode générale

Calculer $\mu_0 = \lambda_0 t_t^* n$

Si $\mu_0 < 1$, il est généralement recommandé d'augmenter soit le temps d'essai t_t^* , soit le nombre d'entité n , afin d'obtenir des plans d'essais appropriés.

b) Méthode pour μ_0 compris entre 1 et 5

- 1) Dans la Figure C.1, repérer μ_0 (déjà calculé) sur la courbe en pointillés pour la valeur spécifiée de $\alpha = \beta$.
- 2) Repérer la courbe pleine c la plus proche de ce point dans le sens vertical, et déterminer alors c .
- 3) Noter le rapport de discrimination D au niveau de la courbe c correspondant à la valeur de μ_0 .
- 4) A partir de ce dernier point, on peut estimer les risques vrais $\alpha' = \beta'$ par interpolation entre les courbes en pointillés; en alternative, les risques peuvent être lus sur les courbes caractéristiques d'exploitation correspondantes de la Figure C.2.
- 5) Si les valeurs trouvées pour D et pour $\alpha' = \beta'$ ne sont pas acceptables, c doit être augmenté ou diminué de 1.

EXEMPLE

Spécifié: $\mu_0 = 2,7; \alpha = \beta = 10 \%$
 A déduire: c, D, α', β'
 A déduire de la Figure C.1: $c = 4$ avec $D = 2,75$, et $\alpha' = \beta' \approx 14 \%$

c) Méthode pour μ_0 compris entre 5 et 500

- 1) Lire le rapport de discrimination D sur la Figure C.3 pour la valeur de μ_0 (déjà calculée) à partir de la courbe pour la valeur spécifiée $\alpha = \beta$.
- 2) Lire $\Delta\mu_0$ dans la Figure C.4 pour la valeur de μ_0 calculée sur la courbe pour la valeur spécifiée $\alpha = \beta$.
- 3) Calculer c en ajoutant $\Delta\mu_0$ et μ_0 et en arrondissant au nombre entier le plus proche, soit $c = (\Delta\mu_0 + \mu_0)$.

EXEMPLE

Spécifié: $\mu_0 = 40; \alpha = \beta = 10 \%$
 A déduire: c, D
 A déduire de la Figure C.3: $D (10 \%) = 1,45$
 A déduire de la Figure C.4: $c (10 \%) = (40 + 7,8)_{\text{arrondi}} = 48$

C.2 Déduction des risques, $\alpha = \beta$

Outre λ_0 , les paramètres suivants du plan d'essais doivent être spécifiés:

- temps d'essai t_t^* ;
- nombre d'entités soumises à l'essai n ;
- rapport de discrimination D .

Pour de petites valeurs de μ_0 , les risques vrais sont déterminés; pour de grandes valeurs de μ_0 , les risques nominaux $\alpha = \beta$.

a) Méthode générale

Calculer $\mu_0 = \lambda_0 t_t^* n$ ou $\mu_0 = \lambda_0 T_t^*$.

b) Méthode pour μ_0 compris entre 1 et 5

- 1) Dans la Figure C.1, chercher la courbe c la plus proche du point (μ_0, D) , et déterminer c .
- 2) Lire dans la Figure C.2, les valeurs vraies de risque α' et β' à partir de la courbe caractéristique d'exploitation pour $\mu = \mu_0$ et $\mu = D\mu_0$, respectivement.

EXEMPLE

Spécifié: $\mu_0 = 1; D = 3$
 A déduire: c, α', β'
 A déduire de la Figure C.1: $c = 1$
 A déduire de la Figure C.2: $\alpha' = 26,4 \%, \beta' = 19,9 \%$

c) Procedure for r_0 between 5 and 500

- 1) Dans la Figure C.3, identifier le point (μ_0, D) et interpoler entre les courbes $\alpha = \beta$ afin d'évaluer les risques nominaux $\alpha = \beta$.
- 2) Utiliser dans la Figure C.4 les risques nominaux $\alpha = \beta$ pour déterminer $\Delta\mu_0$ et calculer alors comme ci-dessus, soit $c = (\Delta\mu_0 + \mu_0)_{\text{arrondi}}$.

EXEMPLE

Spécifié: $\mu_0 = 40; D = 1,5$

A déduire: $c, \alpha = \beta$

A déduire de la Figure C.3: $\alpha = \beta \approx 8 \%$

A déduire de la Figure C.4: $\Delta\mu_0 = 8,7$ et par conséquent $c = (48,7)_{\text{arrondi}} = 49$

C.3 Dédution de n ou de t_t^*

Outre λ_0 , l'une des séries suivantes de paramètres de plans d'essais doit être spécifiée:

- a) temps d'essai t_t^* ;
risques $\alpha = \beta$;
rapport de discrimination D .
- b) nombre d'entités soumises à l'essai n ;
risques $\alpha = \beta$;
rapport de discrimination D .

Méthode commune aux cas a) et b)

- chercher D et la valeur μ_0 correspondant aux risques $\alpha = \beta$, soit à partir de la Figure C.1, soit à partir de la Figure C.3;
- utiliser la valeur μ_0 pour déterminer c soit à partir de la Figure C.1 soit à partir de la Figure C.4;
- calculer $T_t^* = \frac{\mu_0}{\lambda_0}$ à partir de la valeur de μ_0 ;
- en utilisant T_t^* , calculer soit le nombre d'entités soumises à l'essai n pour t_t^* spécifié, $n = \frac{T_t^*}{t_t^*}$ soit le temps d'essai t_t^* pour n spécifié, $t_t^* = \frac{T_t^*}{n}$

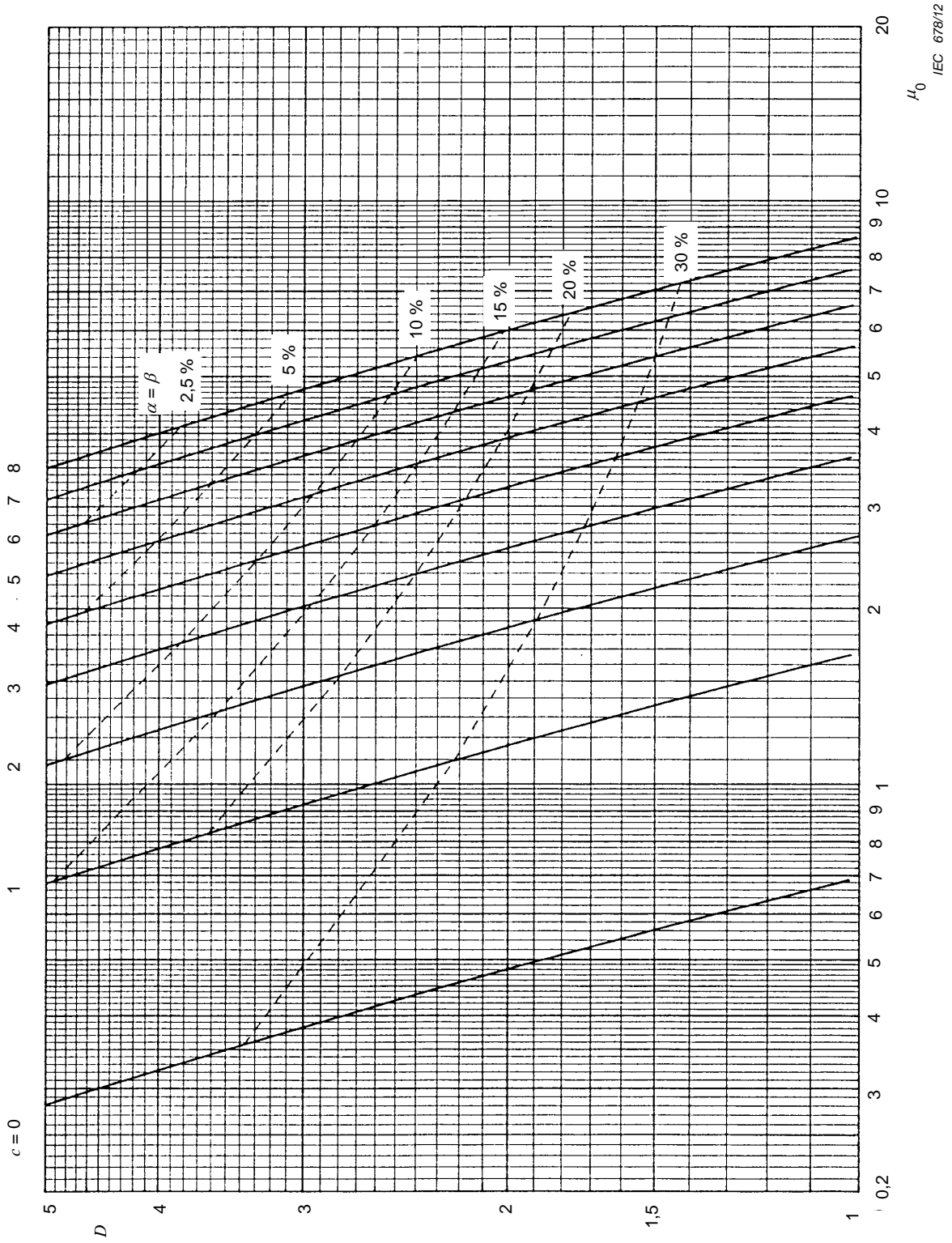


Figure C.1 – Rapport de discrimination, D , et nombre acceptable de défaillances $c = 0$ à 8, en fonction de l'espérance mathématique du nombre de défaillances, μ_0 , pour les valeurs recommandées de 2,5 %, 5 %, 10 %, 20 % et 30 % de $\alpha = \beta$

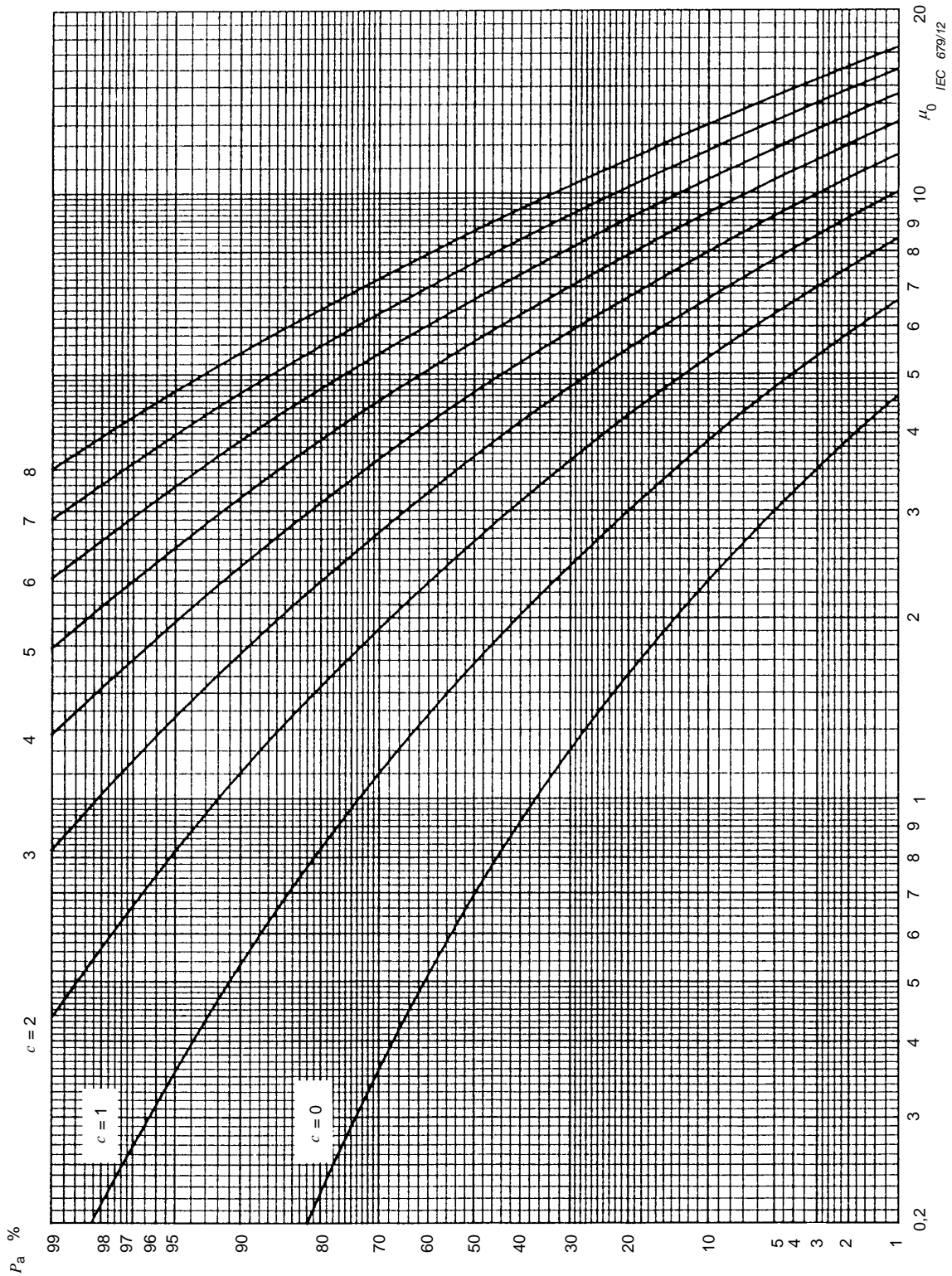


Figure C.2 – Courbe caractéristique d’exploitation pour $c = 0$ à 8; probabilité d’acceptation, P_a en fonction de l’espérance mathématique du nombre (inconnu) vrai de défaillances, μ_0

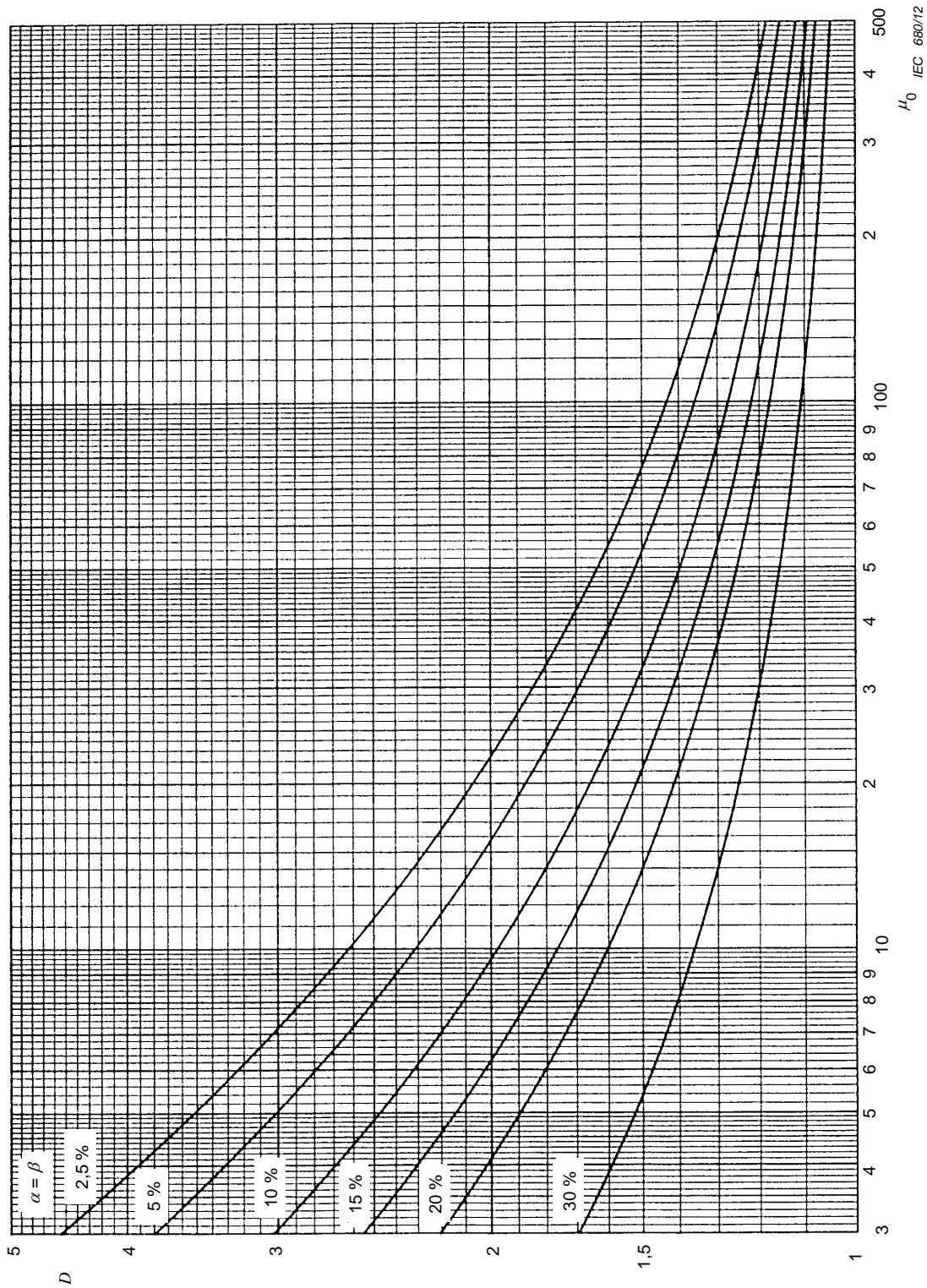


Figure C.3 – Rapport de discrimination, D , en fonction de l'espérance mathématique du nombre de défaillances, μ_0 , pour les valeurs recommandées de 2,5 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % et 30 % de $\alpha = \beta$

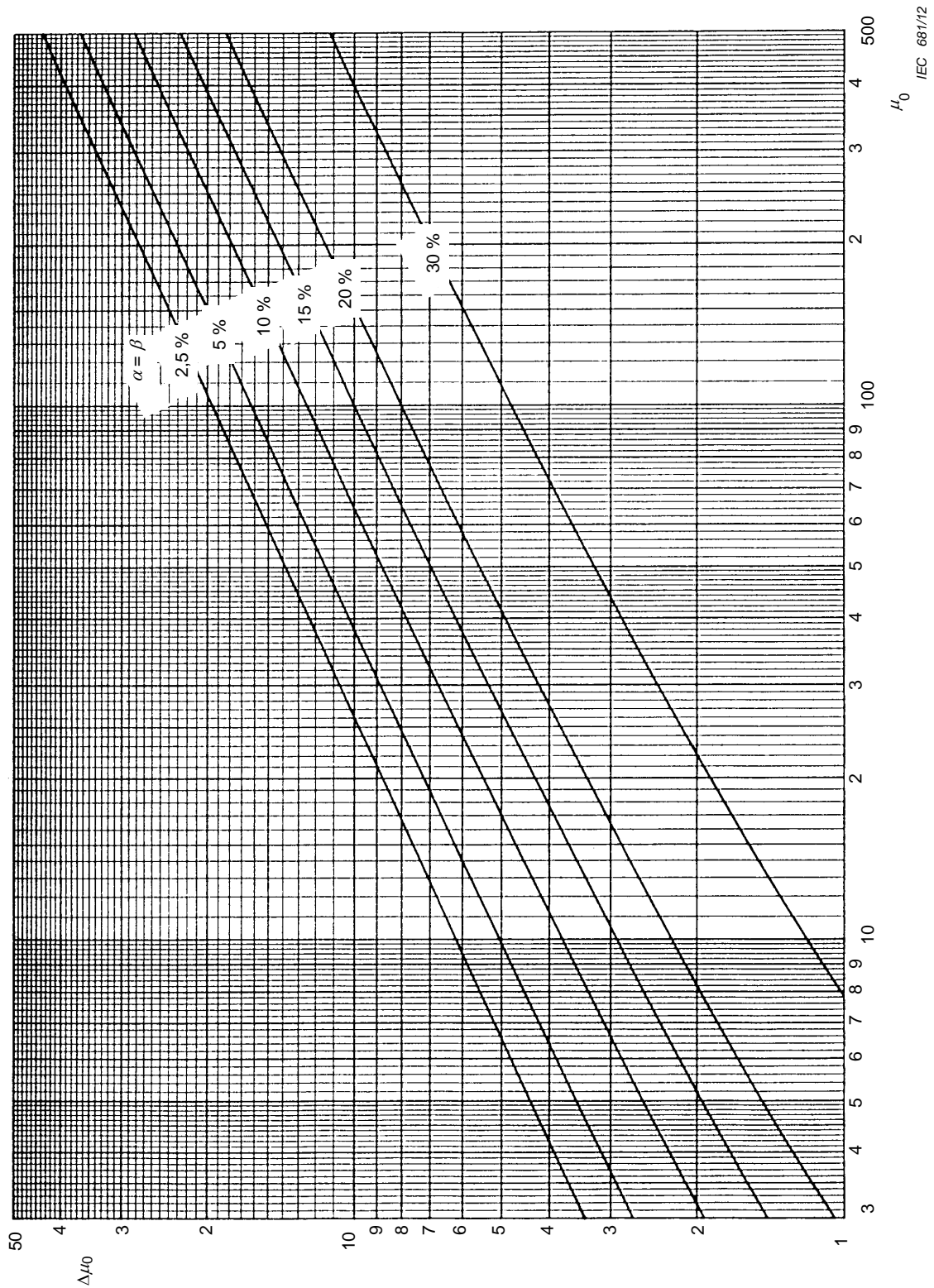


Figure C.4 – Nombre acceptable de défaillance, c , moins l'espérance mathématique du nombre de défaillances, μ_0 ($\Delta\mu_0 = c - \mu_0$) comme une fonction de l'espérance mathématique du nombre de défaillances μ_0 pour les valeurs recommandées 2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, et 30 % de $\alpha = \beta$

Annexe D (normative)

Tableaux et graphiques pour plan d'essais combinés et plans d'essais progressifs supplémentaires

NOTE 1 Cette annexe utilise les symboles listés en 3.2.2.

NOTE 2 La présente annexe comporte d'autres plans d'essais progressifs et combinés issus de la GOST R 27.402.

D.1 Généralités

Les plans d'essais combinés associent les avantages des plans d'essais censurés (plan d'essais B, Article 7) aux avantages des plans d'essais progressifs (voir Article 6). Ils réduisent le temps d'essai des entités hautement fiables soumises à l'essai et ne rejettent pas rapidement les entités présentant une faible fiabilité. La gestion de ce type de plan est presque identique à celle des plans d'essais progressifs.

D'autres plans d'essais de ces types sont disponibles dans la GOST R 27.402.

Les plans d'essais disponibles dans la présente annexe sont énumérés dans le Tableau D.1 et D.2.

Tableau D.1 – Plans d'essais progressifs dans la présente annexe

Plans d'essais progressifs C $D = 1,7$		α				
		5 %	10 %	15 %	20 %	30 %
β	5 %	C1	C2	C4		
	10 %		C3		C5	
	20 %				C6	C7
	30 %					C8

Tableau D.2 – Plans d'essais combinés dans la présente annexe

Plans d'essais combinés D $D = 1,7$		α				
		5 %	10 %	15 %	20 %	30 %
β	5 %	D1	D2	D4		
	10 %		D3		D5	
	20 %				D6	D7
	30 %					D8

Pour chaque plan d'essais, les paramètres suivants sont énumérés dans des tableaux et sont tracés:

- les lignes d'acceptation et de rejet comme nombre de défaillances r en fonction du temps d'essai cumulé normalisé T^*/m_0 ;
- la valeur moyenne du temps d'essai T_e^* en fonction du temps d'essai cumulé normalisé T^*/m_0 ;
- valeur moyenne du temps d'essai avant acceptation T_e^* (+) en fonction du temps d'essai cumulé normalisé T^*/m_0 ;

- la caractéristique de fonctionnement P_a en fonction du temps d'essai cumulé normalisé T^*/m_0 .

Pour rendre plus facile la comparaison des plans d'essais de type C et D ils sont tracés dans les mêmes figures.

D.2 Plans d'essais C1 et D1 $-\alpha = 5 \%$, $\beta = 5 \%$; $D = 1,7$

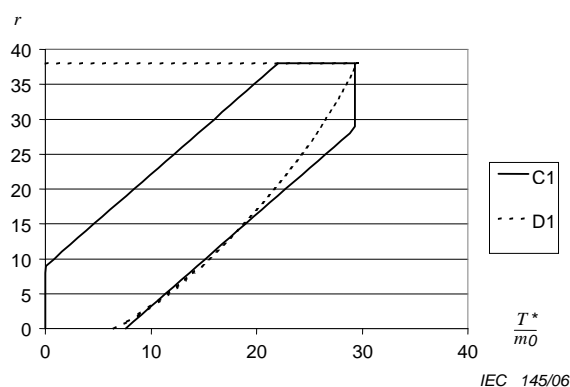


Figure D.1 – Lignes d'acceptation et de rejet

Tableau D.3 – Lignes d'acceptation et de rejet

Défaillances r	Temps d'essai cumulé T^* / m_0				Défaillances r	Temps d'essai cumulé T^* / m_0			
	Plan C1		Plan D1			Plan C1		Plan D1	
	Rejet	Acceptation	Rejet	Acceptation		Rejet	Acceptation	Rejet	Acceptation
0	0,000 0	7,584 0	Non	6,454 0	21	9,161 7	23,502 8	Non	22,187 8
1	0,000 0	8,342 0	Non	7,769 1	22	9,919 7	24,260 9	Non	22,714 3
2	0,000 0	9,100 1	Non	8,877 6	23	10,677 8	25,018 9	Non	23,228 6
3	0,000 0	9,858 1	Non	9,875 2	24	11,435 8	25,777 0	Non	23,730 9
4	0,000 0	10,616 2	Non	10,799 0	25	12,193 8	26,535 0	Non	24,221 4
5	0,000 0	11,374 2	Non	11,668 3	26	12,951 9	27,293 0	Non	24,699 9
6	0,000 0	12,132 2	Non	12,494 5	27	13,709 9	28,051 1	Non	25,166 6
7	0,000 0	12,890 3	Non	13,285 2	28	14,468 0	28,809 1	Non	25,621 3
8	0,000 0	13,648 3	Non	14,045 7	29	15,226 0	29,300 0	Non	26,064 0
9	0,065 2	14,406 4	Non	14,780 0	30	15,984 0	29,300 0	Non	26,494 4
10	0,823 2	15,164 4	Non	15,490 8	31	16,742 1	29,300 0	Non	26,912 5
11	1,581 3	15,922 4	Non	16,180 6	32	17,500 1	29,300 0	Non	27,317 9
12	2,339 3	16,680 5	Non	16,851 0	33	18,258 2	29,300 0	Non	27,710 4
13	3,097 4	17,438 5	Non	17,503 6	34	19,016 2	29,300 0	Non	28,089 5
14	3,855 4	18,196 6	Non	18,139 5	35	19,774 2	29,300 0	Non	28,455 0
15	4,613 4	18,954 8	Non	18,759 7	36	20,532 3	29,300 0	Non	28,806 1
16	5,371 5	19,712 6	Non	19,365 0	37	21,290 3	29,300 0	Non	29,142 5
17	6,129 5	20,470 7	Non	19,956 1	$r_0=38$	22,048 4	29,300 0	Non	29,463 2
18	6,887 6	21,228 7	Non	20,533 5	39	29,300 0	N/A	Toujours	N/A
19	7,645 6	21,986 8	Non	21,097 7	Rejet si 39 défaillances ou plus.				
20	8,403 6	22,744 8	Non	21,649 0					

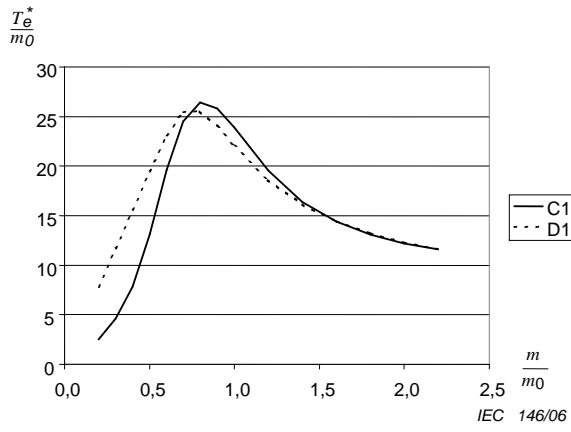


Figure D.2 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision T_e^*

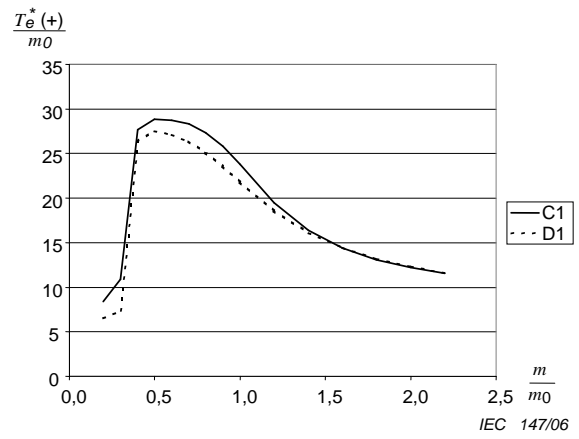


Figure D.3 – Durée d’essai cumulée au moment de l’acceptation $T_e^*(+)$

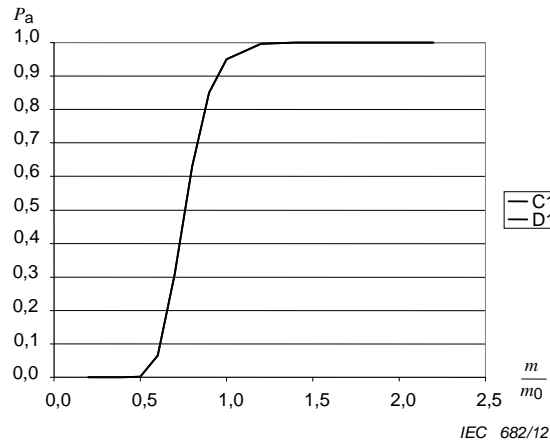


Figure D.4 – Caractéristique d’exploitation P_a

Tableau D.4 – Valeur moyenne du temps d’essai au moment de la décision et caractéristique d’exploitation P_a

m/m_0	Plan C1		Plan D1		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C1	Plan D1
0,2	2,532 8	8,371 5	7,800 0	6,521 7	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	4,617 3	10,888 0	11,700 0	7,395 5	0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	7,856 3	27,663 2	15,600 0	26,378 9	0,4	0,000 0	0,000 0
0,5	13,088 4	28,835 8	19,491 9	27,529 9	0,5	0,002 7	0,002 8
0,6	19,581 8	28,750 9	23,130 9	27,132 5	0,6	0,065 4	0,065 3
0,7	24,518 7	28,297 4	25,429 1	26,321 9	0,7	0,308 1	0,307 7
0,8	26,413 6	27,352 6	25,521 9	25,110 6	0,8	0,630 1	0,629 6
0,9	25,803 0	25,803 4	24,045 0	23,544 0	0,9	0,850 2	0,849 9
1,0	23,890 9	23,763 9	22,065 4	21,791 0	1,0	0,950 0	0,950 0
1,2	19,540 9	19,512 2	18,568 9	18,532 2	1,2	0,995 9	0,996 0
1,4	16,383 8	16,381 1	16,132 9	16,129 7	1,4	0,999 7	0,999 7
1,6	14,388 4	14,388 2	14,449 0	14,448 7	1,6	1,000 0	1,000 0
1,8	13,097 7	13,097 7	13,239 0	13,239 0	1,8	1,000 0	1,000 0
2,0	12,212 3	12,212 3	12,335 6	12,335 5	2,0	1,000 0	1,000 0
2,2	11,570 8	11,570 8	11,638 4	11,638 4	2,2	1,000 0	1,000 0

D.3 Plans d’essais C2 et D2 – $\alpha = 10 \%$, $\beta = 5 \%$; $D = 1,7$

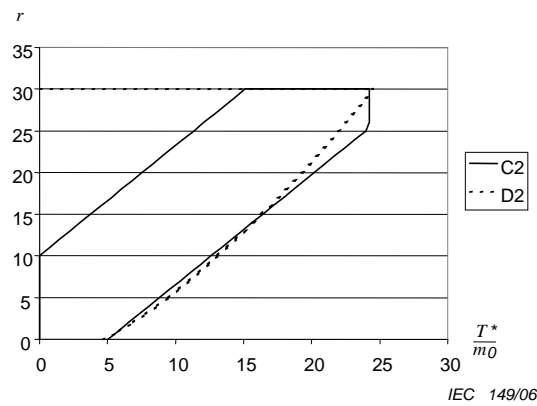


Figure D.5 – Lignes d’acceptation et de rejet

Tableau D.5 – Lignes d'acceptation et de rejet

Défaillances <i>r</i>	Durée d'essai cumulé T^*/m_0			
	Plan C2		Plan D2	
	Rejet	Acceptation	Rejet	Acceptation
0	0,000 0	5,032 9	Non	4,721 9
1	0,000 0	5,790 9	Non	5,895 8
2	0,000 0	6,549 0	Non	6,899 3
3	0,000 0	7,307 0	Non	7,812 9
4	0,000 0	8,065 1	Non	8,667 4
5	0,000 0	8,823 1	Non	9,478 7
6	0,000 0	9,581 1	Non	10,256 1
7	0,000 0	10,339 2	Non	11,005 8
8	0,000 0	11,097 2	Non	11,732 2
9	0,000 0	11,855 3	Non	12,438 3
10	0,000 0	12,613 3	Non	13,126 6
11	0,720 1	13,371 3	Non	13,798 8
12	1,478 2	14,129 4	Non	14,456 3
13	2,236 2	14,887 4	Non	15,100 5
14	2,994 3	15,645 5	Non	15,732 1
15	3,752 3	16,403 5	Non	16,352 1
16	4,510 3	17,161 5	Non	16,961 0
17	5,268 4	17,919 6	Non	17,559 4
18	6,026 4	18,677 6	Non	18,147 8
19	6,784 5	19,435 7	Non	18,726 5
20	7,542 5	20,193 7	Non	19,295 9
21	8,300 5	20,951 7	Non	19,856 3
22	9,058 6	21,709 8	Non	20,407 8
23	9,816 6	22,467 8	Non	20,950 6
24	10,574 7	23,225 9	Non	21,485 0
25	11,332 7	23,983 9	Non	22,011 0
26	12,090 7	24,240 0	Non	22,528 7
27	12,848 8	24,240 0	Non	23,038 1
28	13,606 8	24,240 0	Non	23,539 3
29	14,364 9	24,240 0	Non	24,032 3
$r_0=30$	15,122 9	24,240 0	Non	24,517 0
31	24,2400	N/A	Toujours	N/A
Rejet si 31 défaillances ou plus.				

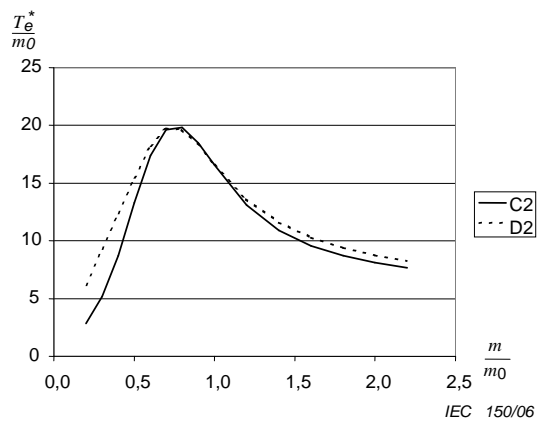


Figure D.6 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision T_e^*

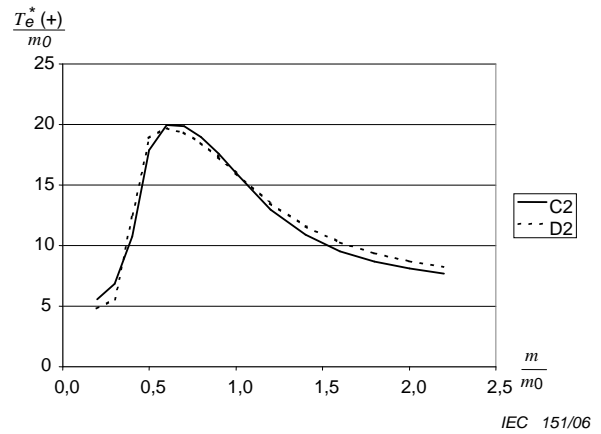


Figure D.7 – Durée d’essai cumulée au moment de l’acceptation $T_e^*(+)$

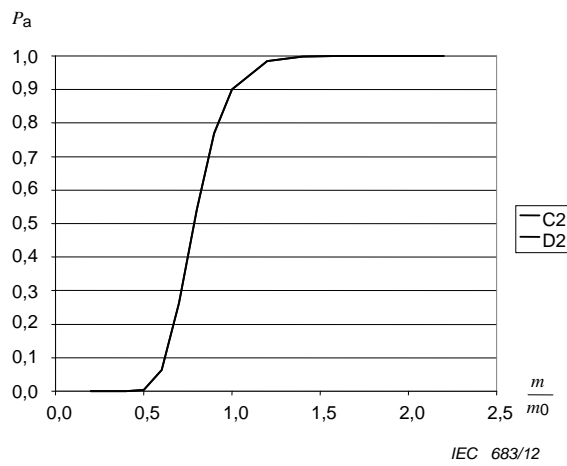


Figure D.8 – Caractéristique d’exploitation P_a

Tableau D.6 – Valeur moyenne du temps d’essai au moment de la décision et caractéristique d’exploitation P_a

Plan C2		Plan D2				P_a	
m/m_0	T_e^* / m_0	$T_e^{*(+)}/ m_0$	T_e^* / m_0	$T_e^{*(+)}/ m_0$	m/m_0	Plan C2	Plan D2
0,2	2,841 4	5,555 5	6,200 0	4,815 2	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	5,181 1	6,828 7	9,300 0	5,559 4	0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	8,722 1	10,738 8	12,399 6	12,548 4	0,4	0,000 1	0,000 0
0,5	13,311 2	17,895 5	15,475 8	18,847 2	0,5	0,004 6	0,004 4
0,6	17,370 8	19,933 3	18,230 3	19,709 2	0,6	0,063 2	0,063 3
0,7	19,643 2	19,857 7	19,790 5	19,350 6	0,7	0,261 5	0,262 5
0,8	19,816 8	18,948 8	19,643 2	18,478 7	0,8	0,541 4	0,542 3
0,9	18,491 3	17,571 7	18,306 8	17,300 3	0,9	0,769 0	0,769 3
1,0	16,576 0	15,975 4	16,586 0	15,977 0	1,0	0,900 0	0,900 0
1,2	13,116 9	12,980 5	13,602 0	13,471 0	1,2	0,985 6	0,985 5
1,4	10,896 7	10,875 5	11,615 2	11,595 0	1,4	0,998 2	0,998 2
1,6	9,551 8	9,548 9	10,307 9	10,305 1	1,6	0,999 8	0,999 8
1,8	8,692 3	8,691 9	9,402 6	9,402 2	1,8	1,000 0	1,000 0
2,0	8,104 4	8,104 3	8,743 7	8,743 6	2,0	1,000 0	1,000 0
2,2	7,678 6	7,678 6	8,244 3	8,244 3	2,2	1,000 0	1,000 0

D.4 Plans d’essais C3 et D3 – $\alpha = 10 \%$, $\beta = 10 \%$; $D = 1,7$

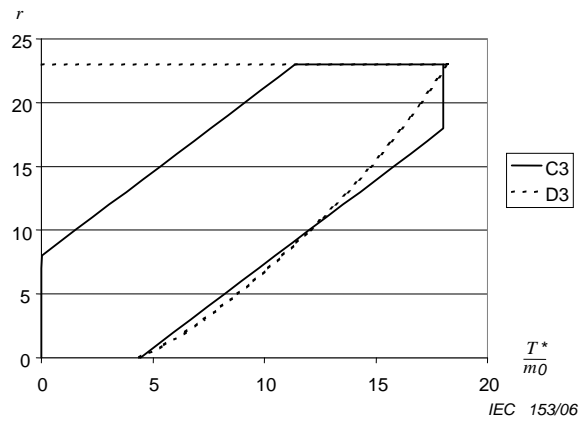
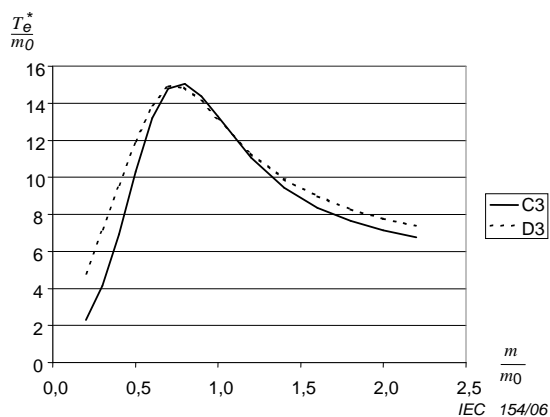
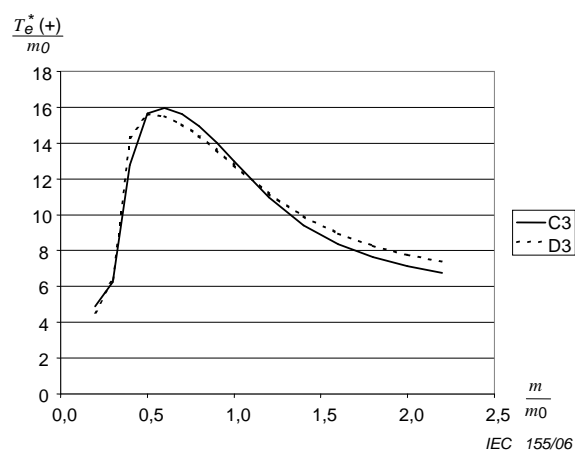


Figure D.9 – Lignes d’acceptation et de rejet

Tableau D.7 – Lignes d'acceptation et de rejet

Défaillances r	Durée d'essai cumulé T^*/m_0			
	Plan C3		Plan D3	
	Rejet	Acceptation	Rejet	Acceptation
0	0,000 0	4,429 4	Non	4,426 4
1	0,000 0	5,187 4	Non	5,531 2
2	0,000 0	5,945 5	Non	6,466 4
3	0,000 0	6,703 5	Non	7,310 1
4	0,000 0	7,461 6	Non	8,092 4
5	0,000 0	8,219 6	Non	8,828 6
6	0,000 0	8,977 6	Non	9,527 8
7	0,000 0	9,735 7	Non	10,196 1
8	0,015 2	10,493 7	Non	10,837 4
9	0,773 2	11,251 8	Non	11,454 8
10	1,531 2	12,009 8	Non	12,050 3
11	2,289 3	12,767 8	Non	12,625 7
12	3,047 3	13,525 9	Non	13,182 2
13	3,805 4	14,283 9	Non	13,720 6
14	4,563 4	15,042 0	Non	14,241 7
15	5,321 4	15,800 0	Non	14,745 9
16	6,079 5	16,558 0	Non	15,233 7
17	6,837 5	17,316 1	Non	15,705 1
18	7,595 6	18,030 0	Non	16,160 2
19	8,353 6	18,030 0	Non	16,599 0
20	9,111 6	18,030 0	Non	17,021 1
21	9,869 7	18,030 0	Non	17,426 3
22	10,627 7	18,030 0	Non	17,814 1
$r_0=24$	11,385 8	18,030 0	Non	18,183 9
24	18,030 0	N/A	Toujours	N/A
Rejet si 24 défaillances ou plus.				

Figure D.10 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^* Figure D.11 – Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$

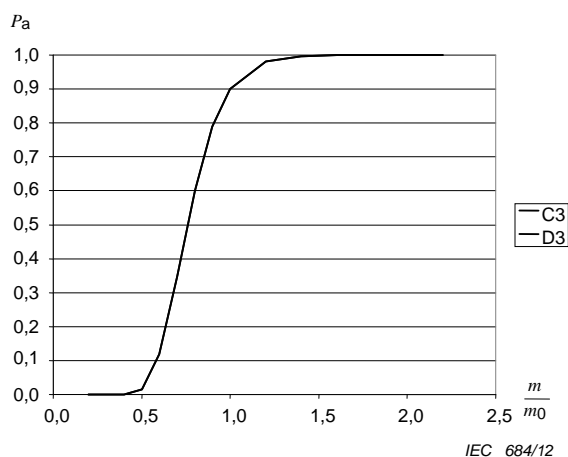


Figure D.12 – Caractéristique d’exploitation P_a

Tableau D.8 – Valeur moyenne du temps d’essai au moment de la décision et caractéristique d’exploitation P_a

m/m_0	Plan C3		Plan D3		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C3	Plan D3
0,2	2,279 1	4,889 3	4,800 0	4,551 2	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	4,152 5	6,242 3	7,200 0	6,422 1	0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	6,920 1	12,759 5	9,598 8	14,294 0	0,4	0,000 4	0,000 3
0,5	10,295 5	15,650 0	11,948 4	15,586 3	0,5	0,015 8	0,015 6
0,6	13,183 2	15,972 7	13,908 6	15,505 1	0,6	0,119 3	0,119 4
0,7	14,790 4	15,625 2	14,912 4	15,058 8	0,7	0,346 6	0,346 9
0,8	15,042 6	14,932 3	14,848 0	14,404 8	0,8	0,600 7	0,600 9
0,9	14,369 1	14,011 9	14,104 9	13,618 1	0,9	0,789 8	0,789 9
1,0	13,279 6	12,974 4	13,116 6	12,772 8	1,0	0,900 0	0,900 0
1,2	11,071 8	10,967 5	11,274 0	11,170 4	1,2	0,980 7	0,980 7
1,4	9,446 8	9,422 2	9,926 5	9,902 9	1,4	0,996 5	0,996 5
1,6	8,365 2	8,360 0	8,979 9	8,975 0	1,6	0,999 4	0,999 4
1,8	7,638 1	7,637 0	8,296 6	8,295 6	1,8	0,999 9	0,999 9
2,0	7,129 0	7,128 8	7,785 3	7,785 1	2,0	1,000 0	1,000 0
2,2	6,756 8	6,756 7	7,390 2	7,390 2	2,2	1,000 0	1,000 0

D.5 Plans d'essais C4 et D4 - $\alpha = 15 \%$, $\beta = 5 \%$; $D = 1,7$

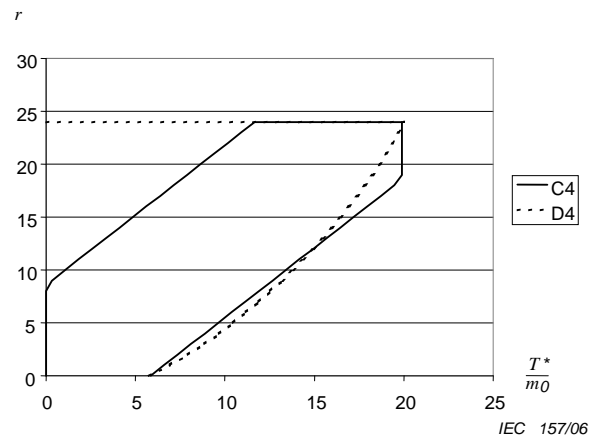


Figure D.13 – Lignes d'acceptation et de rejet

Tableau D.9 – Lignes d'acceptation et de rejet

Défaillances r	Durée d'essai cumulé T^*/m_0			
	Plan C4		Plan D4	
	Rejet	Acceptation	Rejet	Acceptation
0	0,000 0	5,836 6	Non	5,732 0
1	0,000 0	6,594 6	Non	6,946 2
2	0,000 0	7,352 7	Non	7,960 5
3	0,000 0	8,110 7	Non	8,865 7
4	0,000 0	8,868 8	Non	9,697 2
5	0,000 0	9,626 8	Non	10,473 0
6	0,000 0	10,384 8	Non	11,204 0
7	0,000 0	11,142 9	Non	11,897 4
8	0,000 0	11,900 9	Non	12,558 0
9	0,303 2	12,659 0	Non	13,189 4
10	1,061 3	13,417 0	Non	13,794 1
11	1,819 3	14,175 0	Non	14,374 2
12	2,577 3	14,933 1	Non	14,931 2
13	3,335 4	15,691 1	Non	15,466 1
14	4,093 4	16,449 2	Non	15,979 8
15	4,851 5	17,207 2	Non	16,472 9
16	5,609 5	17,965 2	Non	16,945 8
17	6,367 5	18,723 3	Non	17,398 7
18	7,125 6	19,481 3	Non	17,831 5
19	7,883 6	19,900 0	Non	18,244 3
20	8,641 7	19,900 0	Non	18,636 7
21	9,399 7	19,900 0	Non	19,008 2
22	10,157 7	19,900 0	Non	19,358 1
23	10,915 8	19,900 0	Non	19,685 7
$r_0 = 24$	11,673 8	19,900 0	Non	19,989 8
25	19,900 0	N/A	Toujours	N/A
Rejet si 25 défaillances ou plus.				

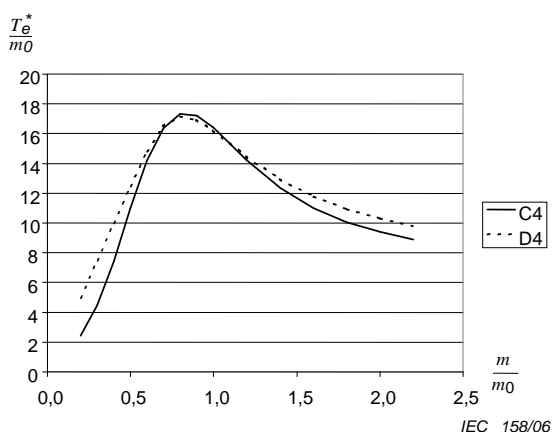


Figure D.14 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision T_e^*

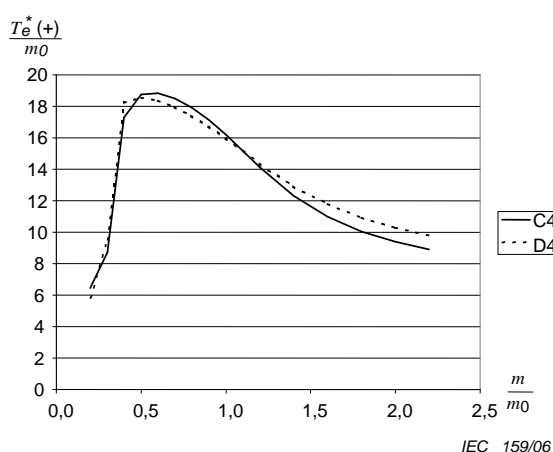


Figure D.15 – Durée d’essai cumulée au moment de l’acceptation $T_e^*(+)$

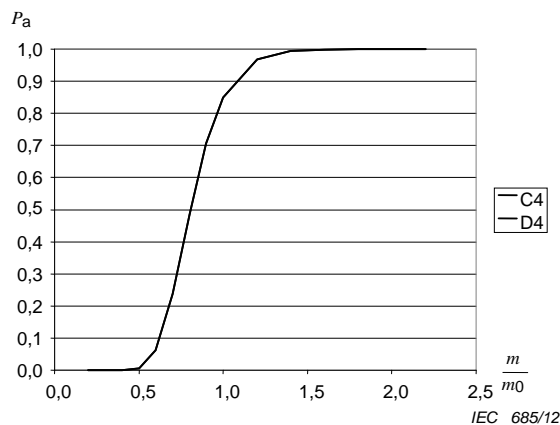


Figure D.16 – Caractéristique d’exploitation P_a

Tableau D.10 – Valeur moyenne du temps d’essai au moment de la décision et caractéristique d’exploitation P_a

m/m_0	Plan C4		Plan D4		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C4	Plan D4
0,2	2,447 5	6,442 7	5,000 0	5,830 8	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	4,460 1	8,723 0	7,500 0	9,557 4	0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	7,420 7	17,275 0	9,999 9	18,229 0	0,4	0,000 1	0,000 0
0,5	10,990 5	18,772 1	12,488 0	18,570 3	0,5	0,005 2	0,005 1
0,6	14,178 5	18,817 0	14,806 3	18,360 2	0,6	0,062 3	0,062 3
0,7	16,365 1	18,499 1	16,483 7	17,960 5	0,7	0,237 7	0,237 8
0,8	17,318 9	17,929 2	17,152 6	17,407 7	0,8	0,486 2	0,486 3
0,9	17,199 5	17,136 4	16,938 8	16,723 1	0,9	0,705 5	0,705 6
1,0	16,408 3	16,174 8	16,224 5	15,945 4	1,0	0,850 0	0,850 0
1,2	14,225 3	14,096 5	14,451 9	14,328 7	1,2	0,968 3	0,968 3
1,4	12,338 3	12,302 0	12,945 7	12,912 8	1,4	0,994 0	0,994 0
1,6	10,990 5	10,982 2	11,812 0	11,804 5	1,6	0,998 9	0,998 9
1,8	10,055 0	10,053 2	10,960 9	10,959 3	1,8	0,999 8	0,999 8
2,0	9,390 9	9,390 5	10,307 8	10,307 4	2,0	1,000 0	1,000 0
2,2	8,902 4	8,902 3	9,794 2	9,794 1	2,2	1,000 0	1,000 0

D.6 Plans d'essais C5 et D5 – $\alpha = 20 \%$, $\beta = 10 \%$; $D = 1,7$

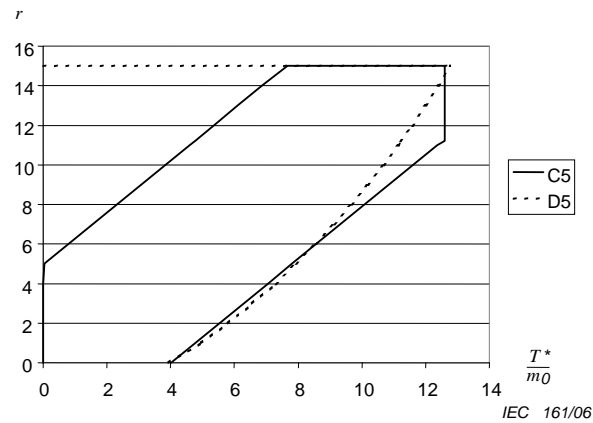


Figure D.17 – Lignes d'acceptation et de rejet

Tableau D.11 – Lignes d'acceptation et de rejet

Défaillances r	Durée d'essai cumulé T^*/m_0			
	Plan C5		Plan D5	
	Rejet	Acceptation	Rejet	Acceptation
0	0,000 0	4,023 2	Non	3,949 5
1	0,000 0	4,781 2	Non	4,965 6
2	0,000 0	5,539 3	Non	5,818 1
3	0,000 0	6,297 3	Non	6,580 4
4	0,000 0	7,055 4	Non	7,280 4
5	0,041 8	7,813 4	Non	7,932 4
6	0,799 8	8,571 4	Non	8,544 8
7	1,557 8	9,329 5	Non	9,122 9
8	2,315 9	10,087 5	Non	9,670 3
9	3,073 9	10,845 6	Non	10,189 2
10	3,832 0	11,603 6	Non	10,681 2
11	4,590 0	12,361 6	Non	11,147 4
12	5,348 1	12,600 0	Non	11,588 2
13	6,106 1	12,600 0	Non	12,003 7
14	6,864 1	12,600 0	Non	12,393 7
$r_0=15$	7,662 2	12,600 0	Non	12,757 3
16	12,600 0	N/A	Toujours	N/A
Rejet si 16 défaillances ou plus.				

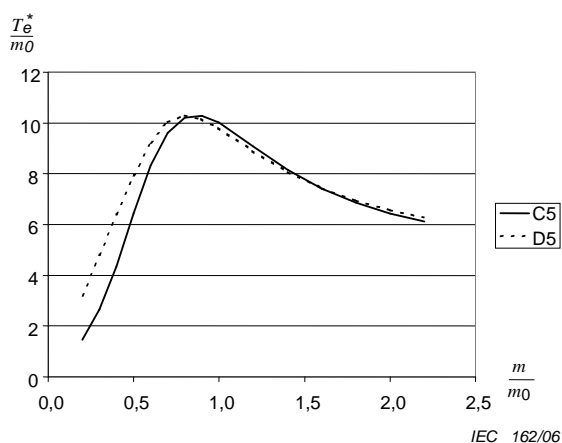


Figure D.18 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision T_e^*

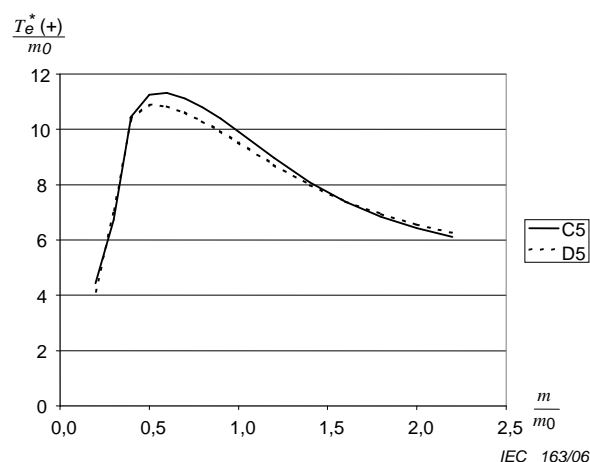


Figure D.19 – Durée d’essai cumulée au moment de l’acceptation $T_e^*(+)$

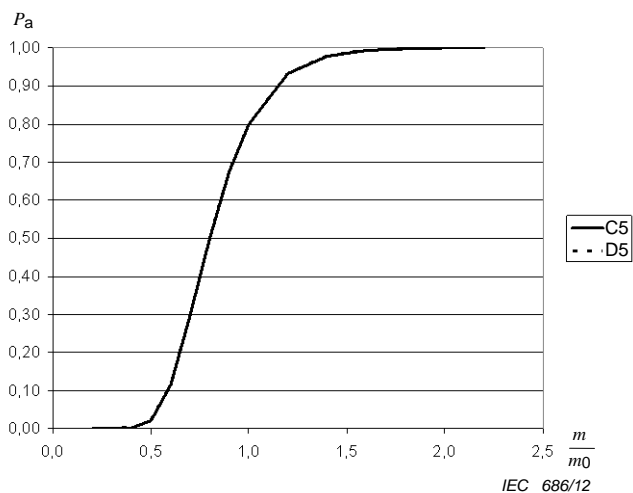
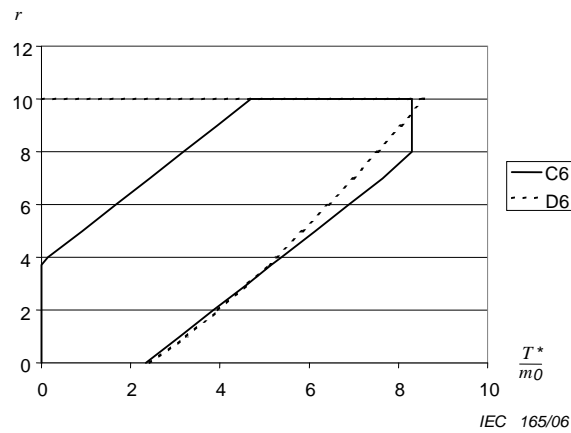


Figure D.20 – Caractéristique d’exploitation P_a

Tableau D.12 – Valeur moyenne du temps d’essai au moment de la décision et courbe d’efficacité P_a

m/m_0	Plan C5		Plan D5		P_a		
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	m/m_0	Plan C5	Plan D5
0,2	1,453 4	4,442 0	3,200 0	4,132 1	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	2,643 8	6,722 0	4,800 0	7,086 9	0,3	0,000 0	0,000 0
0,4	4,357 8	10,456 2	6,397 3	10,387 9	0,4	0,001 2	0,001 1
0,5	6,423 9	11,260 5	7,943 0	10,886 2	0,5	0,022 4	0,022 5
0,6	8,313 0	11,309 9	9,238 2	10,842 9	0,6	0,115 9	0,115 9
0,7	9,607 6	11,118 8	10,041 1	10,622 6	0,7	0,292 8	0,292 6
0,8	10,215 9	10,796 8	10,303 6	10,308 1	0,8	0,497 1	0,496 8
0,9	10,279 6	10,388 2	10,162 4	9,935 9	0,9	0,673 1	0,672 9
1,0	10,005 9	9,926 3	9,797 1	9,532 7	1,0	0,800 0	0,800 0
1,2	9,075 5	8,963 3	8,884 5	8,720 7	1,2	0,932 1	0,932 3
1,4	8,151 0	8,092 8	8,070 0	7,997 6	1,4	0,977 9	0,978 1
1,6	7,413 5	7,389 1	7,435 6	7,407 0	1,6	0,992 7	0,992 9
1,8	6,857 1	6,847 7	6,951 6	6,940 7	1,8	0,997 5	0,997 6
2,0	6,439 1	6,435 5	6,577 9	6,573 7	2,0	0,999 1	0,999 2
2,2	6,120 4	6,119 0	6,283 4	6,281 7	2,2	0,999 7	0,999 7

D.7 Plans d'essais C6 et D6 – $\alpha = 20 \%$, $\beta = 20 \%$; $D = 1,7$

Figure D.21 – Lignes d'acceptation et de rejet
Tableau D.13 – Lignes d'acceptation et de rejet

Défaillances r	Temps d'essai cumulé T^*/m_0			
	Plan C6		Plan D6	
	Rejet	Acceptation	Rejet	Acceptation
0	0,000 0	2,342 4	Non	2,436 5
1	0,000 0	3,100 4	Non	3,257 1
2	0,000 0	3,858 5	Non	3,972 8
3	0,000 0	4,616 5	Non	4,633 4
4	0,148 9	5,374 6	Non	5,257 5
5	0,906 9	6,132 6	Non	5,854 5
6	1,665 0	6,890 6	Non	6,429 8
7	2,423 0	7,648 7	Non	6,986 8
8	3,181 0	8,300 0	Non	7,527 9
9	3,939 1	8,300 0	Non	8,054 7
$r_0=10$	4,697 1	8,300 0	Non	8,568 4
11	8,300 0	N/A	Toujours	N/A
Rejet si 11 défaillances ou plus.				

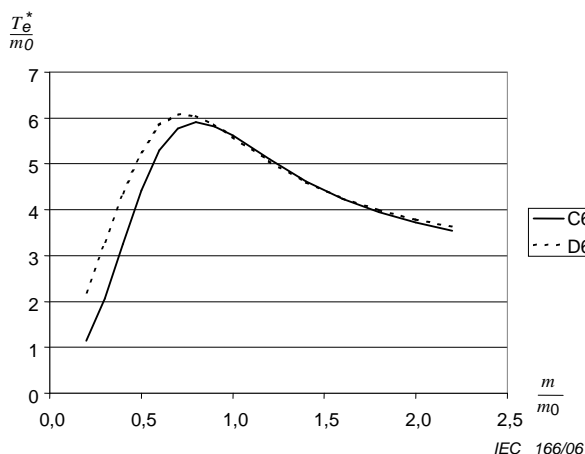


Figure D.22 – Durée d’essai cumulée au moment de la décision T_e^*

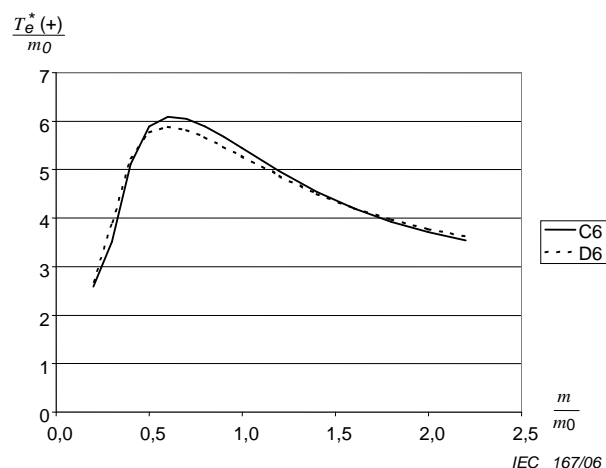


Figure D.23 – Durée d’essai cumulée au moment de l’acceptation $T_e^*(+)$

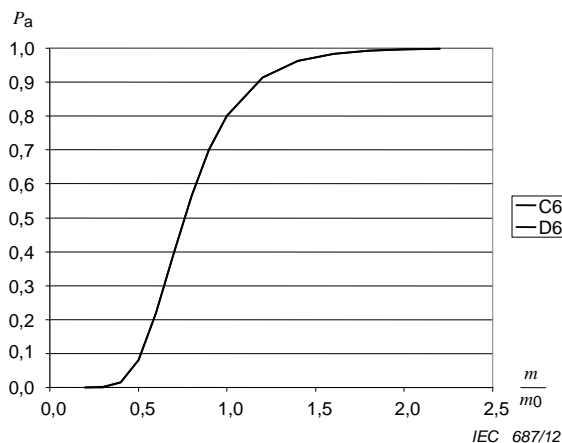


Figure D.24 – Caractéristique d’exploitation P_a

Tableau D.14 – Valeur moyenne du temps d’essai au moment de la décision et courbe d’efficacité P_a

m/m_0	Plan C6		Plan D6		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C6	Plan D6
0,2	1,145 9	2,587 4	2,200 0	2,700 2	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	2,064 2	3,513 7	3,297 9	3,916 6	0,3	0,001 0	0,000 8
0,4	3,248 2	5,114 3	4,360 6	5,241 1	0,4	0,014 9	0,014 5
0,5	4,427 0	5,888 3	5,261 0	5,768 0	0,5	0,080 8	0,080 7
0,6	5,302 9	6,091 5	5,845 5	5,885 2	0,6	0,219 3	0,219 3
0,7	5,775 5	6,049 7	6,080 7	5,823 6	0,7	0,396 1	0,395 8
0,8	5,909 2	5,893 7	6,048 1	5,676 2	0,8	0,564 9	0,564 5
0,9	5,821 5	5,681 6	5,858 1	5,486 7	0,9	0,700 9	0,700 6
1,0	5,615 3	5,445 1	5,598 0	5,279 9	1,0	0,800 0	0,800 0
1,2	5,097 9	4,969 3	5,057 8	4,869 3	1,2	0,913 6	0,914 0
1,4	4,621 0	4,547 5	4,605 7	4,507 1	1,4	0,962 6	0,963 2
1,6	4,240 2	4,201 9	4,258 6	4,209 2	1,6	0,983 4	0,983 8
1,8	3,947 4	3,927 9	3,995 5	3,970 9	1,8	0,992 3	0,992 7
2,0	3,722 4	3,712 6	3,793 7	3,781 3	2,0	0,996 3	0,996 5
2,2	3,547 6	3,542 5	3,635 8	3,629 4	2,2	0,998 1	0,998 3

D.8 Plans d'essais C7 et D7 - $\alpha = 30 \%$, $\beta = 20 \%$; $D = 1,7$

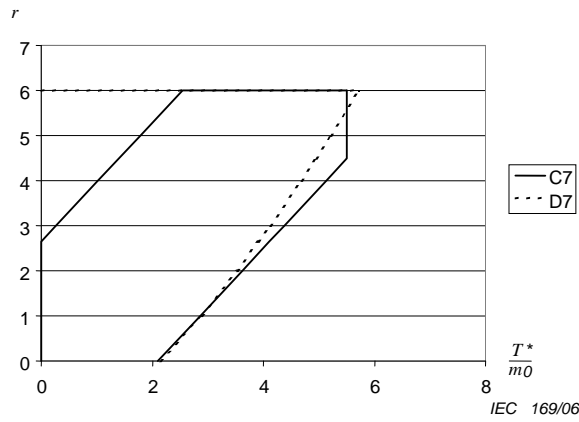


Figure D.25 – Lignes d'acceptation et de rejet

Tableau D.15 – Lignes d'acceptation et de rejet

Défaillances <i>r</i>	Durée d'essai cumulé <i>T*/m₀</i>			
	Plan C7		Plan D7	
	Rejet	Acceptation	Rejet	Acceptation
0	0,000 0	2,102 1	Non	2,144 1
1	0,000 0	2,860 2	Non	2,887 7
2	0,000 0	3,618 2	Non	3,533 4
3	0,266 5	4,376 2	Non	4,126 1
4	1,024 5	5,134 3	Non	4,682 3
5	1,782 5	5,500 0	Non	5,210 3
<i>r₀</i> =6	2,540 6	5,500 0	Non	5,714 6
7	5,500 0	N/A	Toujours	N/A
Rejet si 7 défaillances ou plus.				

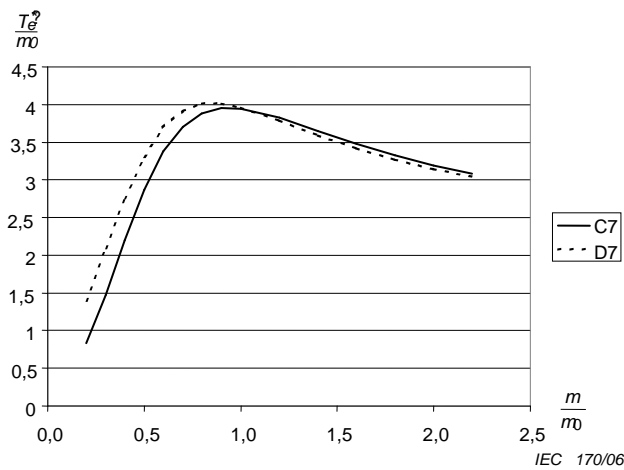


Figure D.26 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*

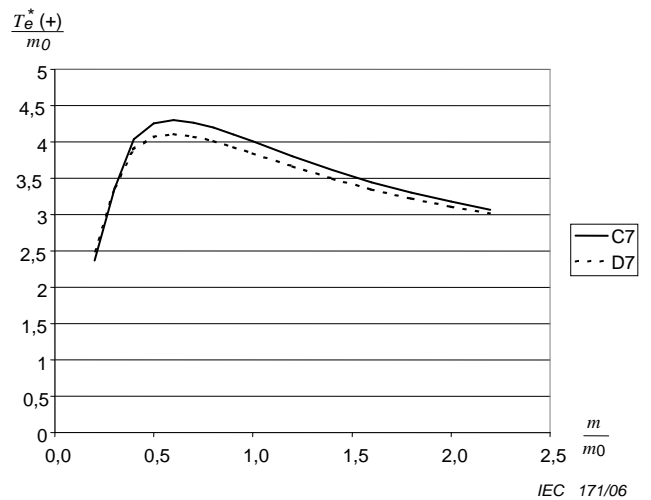


Figure D.27 – Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$

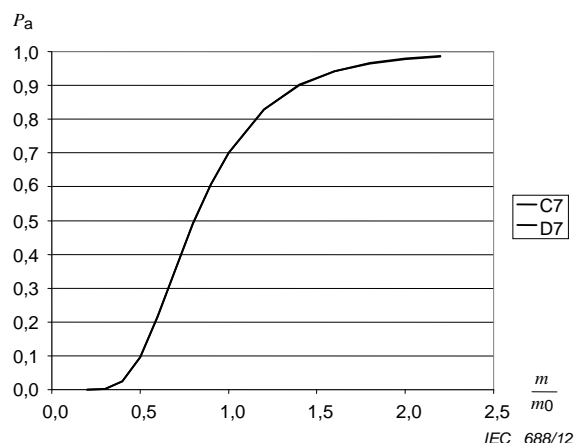


Figure D.28 – Caractéristique d'exploitation P_a

Tableau D.16 – Valeur moyenne du temps d'essai au moment de la décision et caractéristique d'exploitation P_a

m/m_0	Plan C7		Plan D7		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C7	Plan D7
0,2	0,832 1	2,370 5	1,400 0	2,497 3	0,2	0,000 0	0,000 0
0,3	1,467 0	3,358 6	2,096 4	3,377 3	0,3	0,002 3	0,002 4
0,4	2,194 3	4,033 2	2,757 2	3,895 9	0,4	0,024 8	0,025 2
0,5	2,864 7	4,257 6	3,309 5	4,076 7	0,5	0,096 3	0,096 7
0,6	3,375 9	4,300 1	3,697 5	4,111 2	0,6	0,215 7	0,215 6
0,7	3,706 6	4,265 7	3,920 4	4,079 7	0,7	0,355 7	0,355 2
0,8	3,885 0	4,194 6	4,012 4	4,015 6	0,8	0,490 6	0,489 9
0,9	3,952 8	4,105 1	4,015 3	3,935 1	0,9	0,606 5	0,606 1
1,0	3,948 1	4,006 9	3,964 0	3,847 3	1,0	0,700 0	0,700 0
1,2	3,826 0	3,805 8	3,789 1	3,668 4	1,2	0,827 7	0,828 4
1,4	3,652 3	3,616 3	3,595 6	3,500 9	1,4	0,900 2	0,901 3
1,6	3,479 9	3,447 5	3,420 4	3,352 6	1,6	0,940 8	0,942 1
1,8	3,326 2	3,301 3	3,271 5	3,224 7	1,8	0,964 0	0,965 2
2,0	3,194 4	3,176 5	3,147 6	3,115 6	2,0	0,977 4	0,978 5
2,2	3,082 8	3,070 3	3,044 8	3,022 9	2,2	0,985 5	0,986 4

D.9 Plans d'essais C8 et D8- $\alpha = 30 \%$, $\beta = 30 \%$; $D = 1,7$

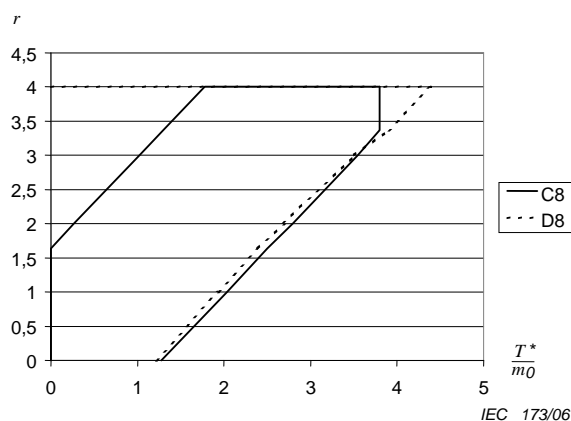


Figure D.29 – Lignes d'acceptation et de rejet

Tableau D.17 – Lignes d'acceptation et de rejet

Défaillances <i>r</i>	Durée d'essai cumulé T^*/m_0			
	Plan C8		Plan D8	
	Rejet	Acceptation	Rejet	Acceptation
0	0,000 0	1,275 7	Non	1,219 4
1	0,000 0	2,033 8	Non	1,930 7
2	0,263 6	2,791 8	Non	2,689 1
3	1,021 6	3,549 9	Non	3,508 7
$r_0=4$	1,779 6	3,800 0	Non	4,388 1
5	3,800 0	N/A	Toujours	N/A
Rejet si 5 défaillances ou plus.				

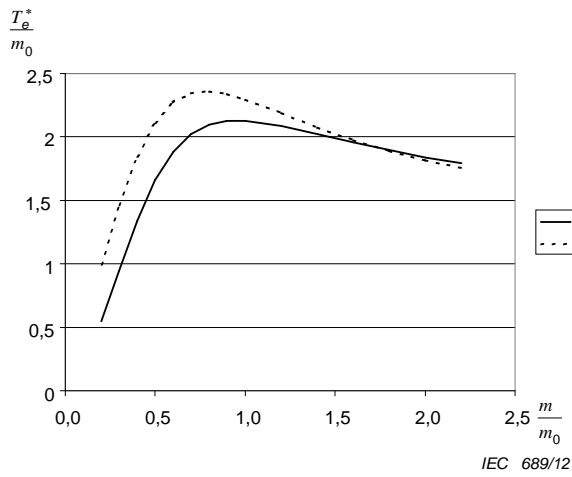


Figure D.30 – Durée d'essai cumulée au moment de la décision T_e^*

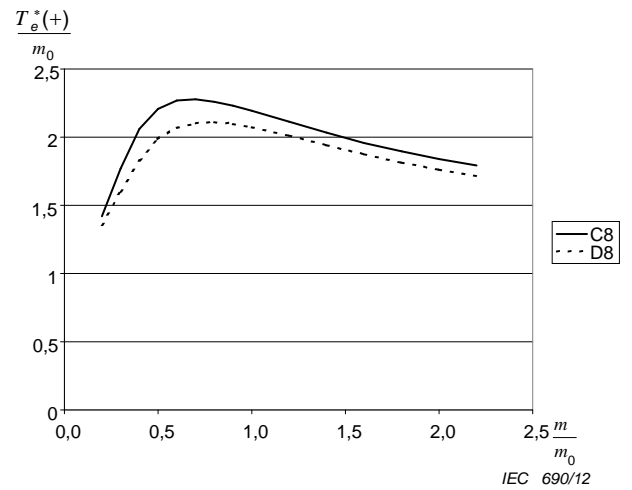


Figure D.31 – Durée d'essai cumulée au moment de l'acceptation $T_e^*(+)$

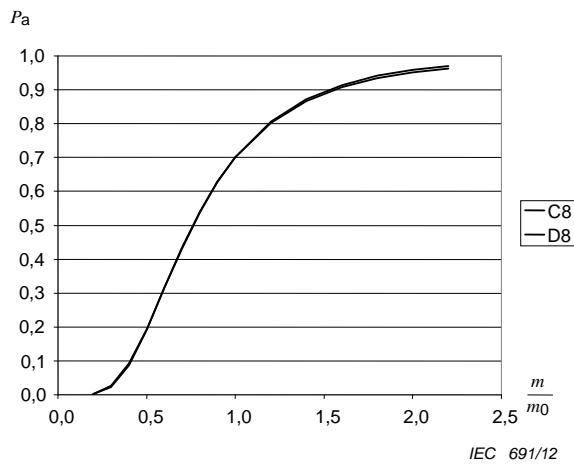


Figure D.32 – Caractéristique d'exploitation P_a

Tableau D.18 – Valeur moyenne du temps d’essai au moment de la décision et caractéristique d’exploitation P_a

m/m_0	Plan C8		Plan D8		m/m_0	P_a	
	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$	T_e^*/m_0	$T_e^*(+)/m_0$		Plan C8	Plan D8
0,2	0,548 2	1,419 2	0,997 4	1,360 7	0,2	0,002 0	0,002 7
0,3	0,943 6	1,766 6	1,463 9	1,603 3	0,3	0,022 8	0,026 9
0,4	1,339 2	2,059 9	1,845 9	1,831 0	0,4	0,086 5	0,092 3
0,5	1,660 2	2,209 9	2,112 9	1,984 3	0,5	0,191 5	0,194 7
0,6	1,883 5	2,268 2	2,270 8	2,068 7	0,6	0,314 7	0,314 3
0,7	2,021 0	2,277 4	2,344 2	2,105 3	0,7	0,434 7	0,432 2
0,8	2,094 6	2,260 6	2,359 8	2,111 5	0,8	0,540 5	0,537 7
0,9	2,124 7	2,230 1	2,339 3	2,099 1	0,9	0,628 7	0,627 0
1,0	2,126 9	2,192 7	2,298 2	2,075 5	1,0	0,700 0	0,700 0
1,2	2,086 8	2,111 3	2,190 3	2,012 4	1,2	0,802 0	0,805 4
1,4	2,023 6	2,031 9	2,079 0	1,943 3	1,4	0,866 0	0,871 9
1,6	1,957 2	1,959 9	1,978 7	1,877 0	1,6	0,906 8	0,913 9
1,8	1,895 3	1,896 2	1,892 5	1,816 6	1,8	0,933 3	0,940 8
2,0	1,839 9	1,840 7	1,819 8	1,762 9	2,0	0,951 0	0,958 4
2,2	1,791 4	1,792 4	1,758 6	1,715 7	2,2	0,963 1	0,970 2

Annexe E (informative)

Exemple et référence mathématique pour les plans d'essais progressifs

E.1 Symboles

Outre les symboles donnés en 3.2.2, les symboles suivants sont utilisés:

A	constant
B	constant
a	l'intersection de la ligne d'acceptation avec l'axe r
b	la pente de la ligne d'acceptation et de rejet
b^*	$b^* = b \times m_0$, pente
c	l'intersection de la ligne de rejet avec l'axe r
E_r	nombre acceptable de défaillances
E_t	temps moyen prévu pour arriver à une décision pour n entités soumises à l'essai
h	variable d'itération pour la conception de courbes-OC
h_0	paramètre utilisé pour calculer E_r
h_1	paramètre utilisé pour calculer E_r
$P(r)$	taux de probabilité en fonction du nombre de défaillances
$P_0(r)$	probabilité d'avoir exactement r défaillances à l'instant T^* pour une valeur vraie de $m = m_0$
$P_1(r)$	probabilité d'avoir exactement r défaillances à l'instant T^* pour une valeur vraie de $m = m_1$
$P_r(r)$	taux de probabilité
s	paramètre utilisé pour calculer E_r
t^*	temps d'essai pour chaque entité soumise à l'essai
t_a^*	temps d'essai pour chaque entité d'essai, établi comme critère d'acceptation
t_r^*	temps d'essai pour chaque entité d'essai, établi comme critère de rejet
$\chi_{\alpha; 2r_0}^2$	α fractile de la distribution χ^2 avec $2r_0$ degrés de liberté
$\chi_{1-\beta; 2r_0}^2$	$1-\beta$ fractile de la distribution χ^2 avec $2r_0$ degrés de liberté

E.2 Exemple d'essai progressif

Spécifié: $n = 500$ composants qui sont placés en conditions d'essai avec remplacement. Le fournisseur et le client conviennent des valeurs suivantes $\lambda_0 = 9 \times 10^{-7} \text{ h}^{-1}$ et $\alpha = \beta = 10 \%$ et $D = 3$

A déduire: Plan d'essai progressif et exemples simulés.

Méthode: $m_0 = \frac{1}{\lambda_0} = 1,11 \times 10^6 \text{ h}$ (= 126,8 ans).

Dans la mesure où on se sert d'un remplacement, le temps d'essai cumulé pour 500 composants, T^* , est:

$$T^* = nt^* = 500 t^*$$

où t^* est le temps d'essai par entité.

Le plan d'essais A.3 satisfait aux valeurs α , β et D spécifiées tandis que T_a^* et T_r^* sont les temps d'essais cumulés à prendre en compte respectivement pour l'acceptation et pour le rejet; ils sont définis comme des multiples de m_0 , c'est-à-dire $\frac{T_a^*}{m_0}$ et $\frac{T_r^*}{m_0}$.

Chaque fois qu'une défaillance se produit, il convient de tracer le point $(\frac{T^*}{m_0}, r) = (\frac{nt^*}{m_0}, r)$ dans le schéma et de noter l'endroit où il se trouve, à savoir:

- sur ou au-dessus les limites de rejet, *rejeter*,
- entre les limites, *poursuivre l'essai*;
- sur ou au-dessous les limites d'acceptation, *accepter*.

Les formules des limites sont les suivantes voir (Tableau E.2):

Lignes de rejet:
$$r = 1,63 + 1,82 \left(\frac{T^*}{m_0} \right), 0 \leq \frac{T^*}{m_0} \leq 2,4 \quad \text{et} \quad r = 6, 2,4 \leq \frac{T^*}{m_0} < 3,15$$

Lignes d'acceptation:
$$r = -2,0 + 1,82 \left(\frac{T^*}{m_0} \right), 1,10 \leq \frac{T^*}{m_0} \leq 3,74 \quad \text{et} \quad 3,74 < r \leq 6, \frac{T^*}{m_0} = 3,15$$

L'abscisse $\frac{T^*}{m_0}$ peut être changée par rapport à t^* en multipliant par $\frac{m_0}{n} = 1,11 \times 10^6 / 500 = 2\,222 \text{ h}$.

Au lieu du traçage dans le schéma, il est donc possible d'utiliser le Tableau A.3 en ajoutant deux colonnes indiquant t_a^* et t_r^* en heures d'essai, c'est-à-dire $t_a^* = \left[\frac{T_a^*}{m_0} \right] \times \frac{m_0}{n}$ et

$$t_r^* = \left[\frac{T_r^*}{m_0} \right] \times \frac{m_0}{n} \text{ où les valeurs entre crochets sont les valeurs déterminées.}$$

Il existe un moyen aisé permettant d'effectuer un essai progressif: il consiste à placer le tableau dans un tableur électronique avec des graphiques.

Les résultats d'un exemple avec des données fictives sont donnés au Tableau E.1 et la Figure E.1. On montre la méthode de calculs du tableur dans l'Annexe F.

**Tableau E.1 – Exemple d'essai progressif utilisant le plan d'essais A.3
(avec donnée d'exemple)**

$\alpha = \beta = 10 \%, D = 3, m_0 = 1,11 \times 10^6 \text{ h}, t^* = 2222 \times \frac{T^*}{m_0} \text{ h}$							
Plan d'essais A.3					Résultat d'essai		
r	$\frac{T_r^*}{m_0}$	$\frac{T_a^*}{m_0}$	t_r^* en heures	t_a^* en heures	$\frac{T^*}{m_0}$	T^* en heures	Décision
	Rejet (inférieur ou égal)	Acceptation (supérieur ou égal)	Rejet (inférieur ou égal)	Acceptation (supérieur ou égal)			
0	0	1,098	0	2 440	0,000	0	Continue
1	0	1,648	0	3 658	0,739	1 641	Continue
2	0,203	2,197	451	4 878	1,071	2 380	Continue
3	0,752	2,747	1 678	6 098	1,211	2 688	Continue
4	1,301	3,152	2 890	6 998	1,481	3 288	Continue
5	1,851	3,152	4 110	6 998	1,598	3 548	Rejet
$r_0 = 6$	2,400	3,152	5 328	6 998			
7	3,152	N/A	6 998	N/A			

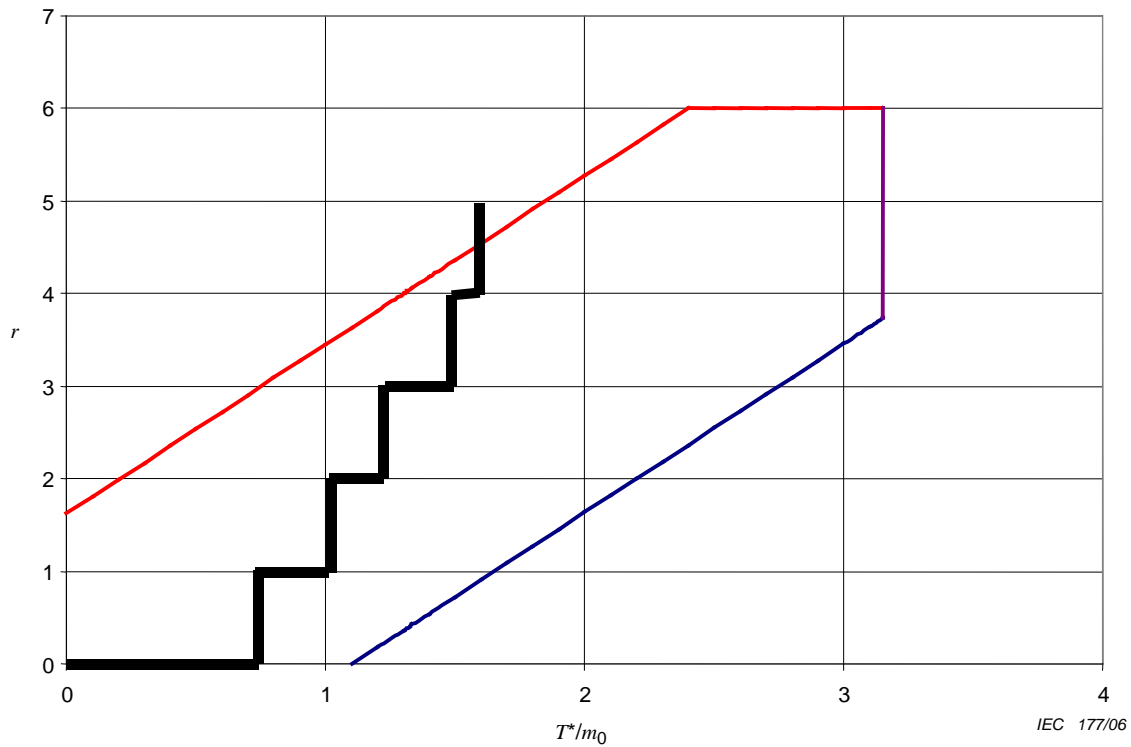


Figure E.1 – Exemple d’essai progressif utilisant le plan d’essais A.3 –

$$\alpha = \beta = 10 \%, D = 3, m_0 = 1,11 \times 10^6 \text{ h}; r \text{ en fonction de } \frac{T^*}{m_0}$$

E.3 Références mathématiques pour plans d’essais progressifs

E.3.1 Détermination du plan d’essais

Pour une entité soumise à l’essai avec une inconnue m , la probabilité de fréquence de défaillances r dans un temps cumulé de fonctionnement T^* est de

$$P(r) = \left(\frac{T^*}{m}\right)^r \left(\frac{e^{-T^*/m}}{r!}\right) \tag{E.1}$$

L’essai doit apporter la preuve de $m \geq m_0$ contre $m < m_0$. Ceci peut être réalisé par l’essai de taux de probabilité progressif de Wald (SPRT) [4] en essayant l’hypothèse $H_0 : m = m_0$ contre l’hypothèse $H_1 : m = m_1$.

Il est nécessaire que

- la probabilité d’accepter $m \leq m_1$ soit inférieure ou égale au risque β du client, et
- la probabilité de rejeter $m \geq m_0$ soit inférieure ou égale au risque α du fournisseur.

Pendant cet essai, le taux de probabilité des deux probabilités est (voir aussi la Formule (E.5)):

$$P_r(r) = P_1(r)/P_0(r) \tag{E.2}$$

La probabilité d'avoir r défaillances dans le temps cumulé T^* si la valeur vraie de m est égale à m_1 est:

$$P_1(r) = \left(\frac{T^*}{m_1} \right)^r \frac{\exp(-T^*/m_1)}{r!} \quad (\text{E.3})$$

La probabilité d'avoir r défaillances dans le temps cumulé T^* si la valeur vraie de m est égale à m_0 est:

$$P_0(r) = \left(\frac{T^*}{m_0} \right)^r \frac{\exp(-T^*/m_0)}{r!} \quad (\text{E.4})$$

Le taux de probabilité entre les deux est de:

$$P_r(r) = \frac{P_1(r)}{P_0(r)} = D^r \cdot \exp \left[- \left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0} \right) \cdot T^* \right] \quad (\text{E.5})$$

La valeur est évaluée comme étant entre les deux valeurs constantes:

$$B \leq P_r(r) \leq A \quad (\text{E.6})$$

Le taux de probabilité est calculé en continu pendant l'essai et est comparé à deux constantes prédéterminées, A et B, en utilisant les règles de décision suivantes:

- si $P_r(r) \leq B$, accepter et arrêter l'essai,
- si $P_r(r) \geq A$, rejeter et arrêter l'essai,
- si $B < P_r(r) < A$, poursuivre l'essai.

Les constantes A et B sont

$$A = \frac{1-\beta}{\alpha} \cdot \frac{D+1}{2 \cdot D}, \quad (\text{E.7})$$

$$B = \frac{\beta}{1-\alpha} \quad (\text{E.8})$$

La constante A contient le facteur de correction $(D+1)/(2 \cdot D)$. Ce facteur est utilisé pour mieux remplir les risques nominaux (voir [4]). Dans l'équation ci-dessus, D est connu comme rapport de discrimination:

$$D = \frac{m_0}{m_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_0} \quad (\text{E.9})$$

Avec les Formules (E.5) et (E.6) suit:

$$B < D^r \cdot \exp \left[- \left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0} \right) \cdot T^* \right] < A \quad (\text{E.10})$$

En prenant les registres (à la base e), il s'ensuit:

$$\ln(B) < r \cdot \ln(D) - \left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0} \right) \cdot T^* < \ln(A) \quad (E.11)$$

En réarrangeant l'équation ci-dessus en ajoutant $\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0} \right) \cdot T^*$ à chaque terme et en divisant tous les termes par $\ln(D)$ il s'ensuit que:

$$\frac{\ln(B)}{\ln(D)} + \frac{\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0} \right)}{\ln(D)} \cdot T^* < r < \frac{\ln(A)}{\ln(D)} + \frac{\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0} \right)}{\ln(D)} \cdot T^* \quad (E.12)$$

La Formule (E.12) ci-dessus est réécrite comme suit:

$$a + b \cdot T^* < r < c + b \cdot T^* \quad (E.13)$$

où $r = a + b \cdot T^*$ est la ligne d'acceptation et $r = c + b \cdot T^*$ est la ligne de rejet.

Les constantes sont:

$$a = \frac{\ln(B)}{\ln(D)} \quad (E.14)$$

$$c = \frac{\ln(A)}{\ln(D)} \quad (E.15)$$

$$b = \frac{\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0} \right)}{\ln(D)} = \frac{D - 1}{m_0 \cdot \ln(D)} \quad (E.16)$$

Le temps de troncature d'essai est calculé en utilisant la formule suivante:

$$T_t^* = \frac{m_0 \chi_{\alpha; 2r_0}^2}{2} \quad (E.17)$$

où le nombre de défaillance de troncature d'essai r_0 est déterminé à partir du rapport:

$$\frac{\chi_{\alpha; 2r_0}^2}{\chi_{1-\beta; 2r_0}^2} \geq \frac{m_1}{m_0} = \frac{1}{D} \quad (E.18)$$

Les variables de khi-deux ayant $2r_0$ degrés de liberté peuvent être trouvées dans les tables de statistiques ou les tableurs qui ont des fonctions de statistique. La valeur de r_0 est déterminée pour obtenir les deux fonctions khi-deux ayant un taux supérieur ou égal à $1/D$.

Le temps d'essai minimum pour acceptation sans défaillance d'essai est:

$$T_{a, \min}^* = -\frac{a}{b} \quad (E.19)$$

E.3.2 Détermination de la caractéristique d'exploitation

La caractéristique d'exploitation est déterminée par l'approximation suivante [4].

$$P_a(h) = \frac{A^h - 1}{A^h - B^h} \quad (\text{E.20})$$

La valeur h se trouve dans l'équation suivante:

$$m = m_0 \cdot \frac{D^h - 1}{h \cdot (D - 1)} \quad (\text{E.21})$$

E.3.3 Détermination de la valeur moyenne du temps d'essai

a) Essais avec remplacement des entités défectueuses

La valeur moyenne du temps d'essai pour $n \geq 1$ entités soumises à l'essai avec remplacement est déduite comme suit:

L'espérance mathématique du nombre de défaillances lors d'un essai avant de prendre une décision est:

$$E_r = \frac{h_1 - P_a(h_0 - h_1)}{s - m} \quad (\text{E.22})$$

où

$$h_1 = m_0 \cdot \frac{\ln(A)}{D - 1} \quad (\text{E.23})$$

$$h_0 = m_0 \cdot \frac{\ln(B)}{D - 1} \quad (\text{E.24})$$

$$s = m_0 \cdot \frac{\ln(D)}{D - 1} = \frac{1}{b} \quad (\text{E.25})$$

Lorsque les expressions des Formules (E.23) à (E.25) sont substituées dans la Formule (E.22), l'espérance mathématique du nombre de défaillances est alors:

$$E_r = m_0 \cdot \frac{P_a(\ln(A) - \ln(B)) - \ln(A)}{m \cdot (D - 1) - m_0 \cdot \ln(D)} \quad (\text{E.26})$$

La valeur moyenne du temps d'essai avant décision:

$$E_t = \frac{m}{n} \cdot E_r \quad (\text{E.27})$$

La valeur moyenne du temps d'essai en termes de m_0 pour essais avec remplacement se trouve avec $T_e^* = n \cdot E_t = m \cdot E_r$:

$$\frac{T_e^*}{m_0} = \frac{m \cdot E_r}{m_0} = m \cdot \frac{P_a[\ln(A) - \ln(B)] - \ln(A)}{m \cdot (D - 1) - m_0 \cdot \ln(D)} \quad (\text{E.28})$$

b) Essais sans remplacement des entités défailtantes

Lorsque l'essai est sans remplacement, la valeur moyenne du temps d'essai pour arriver à une décision pour $n \geq r_0$ entités soumises à l'essai est:

$$E_t = m \cdot \ln\left(\frac{n}{n - E_r}\right) \tag{E.29}$$

avec E_r à partir de la Formule(E.26).

E.4 Limites et coordonnées

Le tableau suivant montre les coordonnées extrêmes des lignes et les constantes pour les formules des limites d'acceptation, $r_a = a + b^* \cdot \frac{T^*}{m_0}$ et pour le rejet, $r_r = c + b^* \cdot \frac{T^*}{m_0}$ avec

$$b^* = b \cdot m_0 = \frac{D - 1}{\ln(D)}.$$

Tableau E.2 – Constantes pour formules des limites et leurs coordonnées pour les plans d'essais progressifs A.1 à A.9

Plan d'essais	$\alpha = \beta$ %	D	Constantes des formules pour les limites			Coordonnées pour les limites $\left\{T^*/m_0; r\right\}$			
			a	b*	c	Ligne de rejet		Ligne d'acceptation	
A.1	10	1,5	-5,42	1,233 4	4,97	0; 4,97	29,22; 41	4,39; 0	33,09; 35,32
A.2	10	2	-3,17	1,442 7	2,755	0; 2,76	8,49; 15	2,20; 0	10,30; 11,69
A.3	10	3	-2,00	1,820 5	1,631	0; 1,63	2,40; 6	1,10; 0	3,15; 3,74
A.4	10	5	-1,37	2,485 3	1,05	0; 1,05	0,79; 3	0,55; 0	1,10; 1,37
A.5	20	1,5	-3,42	1,233 2	2,97	0; 2,97	12,19; 18	2,77; 0	14,37; 14,30
A.6	20	2	-2,00	1,442 7	1,58	0; 1,58	3,75; 7	1,39; 0	4,73; 4,83
A.7	20	3	-1,26	1,820 5	0,89	0; 0,89	1,16; 3	0,69; 0	1,54; 1,53
A.8	30	1,5	-2,09	1,233 2	1,64	0; 1,64	4,35; 7	1,69; 0	5,41; 4,58
A.9	30	2	-1,22	1,442 7	0,81	0; 0,81	1,52; 3	0,85; 0	1,91; 1,54

Annexe F (informative)

Conception des plans d'essais progressifs en utilisant un tableur électronique courant

F.1 Symboles

Outre les symboles donnés en 3.2.2, et à l'Article E.1, les symboles suivants sont utilisés dans cette annexe:

- a l'intersection de la ligne d'acceptation avec l'axe r ;
- b la pente des lignes d'acceptation et de rejet;
- c l'intersection de la ligne de rejet avec l'axe r ;
- n nombre d'entités soumises à l'essai;
- E_t temps moyen prévu pour arriver à une décision pour n entités soumises à l'essai;
- E_r nombre de défaillances attenus.

NOTE Dans le tableur, T^* est remplacé par T en raison des limitations de l'éditeur d'formules dans le programme du tableur.

F.2 Réalisation de plans progressifs à l'aide d'outils logiciels

F.2.1 Réalisation de plans d'essais progressifs

Les plans d'essai et les lignes de décision ainsi que le temps de troncature peuvent être réalisés et optimisés en utilisant un logiciel commercial spécialisé ou tout tableur disponible dans le commerce permettant d'insérer des fonctions et des formules.

Compte tenu de l'utilisation de l'informatique à l'échelle mondiale et le développement de logiciels informatiques standard de pointe, le tableur a été développé pour faciliter la réalisation des courbes et pour exploiter les données difficiles à trouver dans un tableau ou un graphique, notamment dans les cas où des paramètres uniques sont donnés.

Le tableur est réalisé à l'aide des formules intégrées utilisant des paramètres donnés dans le tableur tels que: les risques pour le fournisseur et le client (α et β), le rapport de discrimination (D), et m_0 . En modifiant les valeurs des paramètres et en déterminant le temps d'arrêt de l'essai T_t^* , le tracé requis est redessiné à partir du tracé initial.

L'exemple d'essai progressif donné en l'Article F.3 indique pas à pas la construction d'un tableur pour un essai du taux de probabilité progressif, SPRT.

Cette méthodologie peut rendre obsolète l'utilisation de graphiques et tableaux pré-préparés, à moins de ne pas avoir accès à l'informatique. Les plans d'essais dans l'Annexe A de la présente norme peuvent également être tracés en utilisant la méthodologie graphique intégrée pour les paramètres d'essai déterminés (nombre du plan d'essai); ils peuvent également être utilisés pour toute valeur des paramètres d'essai, indépendamment de l'existence de tableaux pré-préparés.

Une fois toutes les formules intégrées dans le tableur, les graphiques peuvent être redessinés pour tout paramètre requis.

Lorsque les plans d'essais sont calculés et tracés à l'aide du tableur, les plans d'essais A.1 à A.9 peuvent légèrement varier de ceux figurant à l'Annexe A. La différence est due à l'arrondi des fonctions khi-deux et peut entraîner la sélection de différentes valeurs du nombre maximal autorisé de défaillances d'essai. Les calculs effectués par le tableur ne tiennent pas compte de l'arrondi des nombres; les calculs et les graphiques sont donc plus précis.

En préparant les plans d'essais dans un tableur, comme expliqué à l'Article F.3, le dernier nombre de défaillances en rejet peut apparaître légèrement supérieur ou inférieur au nombre entier le plus proche. Ceci est dû à la gradation d'essai sur l'axe x . La gradation ou granularité survient à cause de l'intervalle assigné à l'augmentation du temps d'essai. Les valeurs calculées pour le nombre de défaillances au temps correspondant peuvent résulter être légèrement supérieures ou inférieures au nombre entier. Pour aborder ceci, il convient d'ajuster l'augmentation du temps d'essai à proximité du nombre de rejet des défaillances pour que le traçage puisse s'arrêter au nombre entier, ou de remplacer la valeur de fin (rejet) par le nombre entier correspondant de défaillances.

F.2.2 Réalisation de courbes OC et temps d'essai attendu pour les essais progressifs en utilisant un tableur

Les courbes OC sont basées sur les formules à l'Article F.1. F.2. F.3 et F.4. Comme les courbes OC représentent un tracé de probabilité d'acceptation en fonction de m , le tableur inclut des valeurs d'assignation à la variable h pour que les valeurs résultantes m soient dans la gamme (et au-delà) des valeurs de m_1 et m_0 . Les valeurs de la variable m sont alors calculées à partir des valeurs de sa variable, h , et la probabilité d'acceptation est calculée à partir des valeurs de la variable h et ensuite tracée en fonction des valeurs de m .

La méthode est expliquée à l'Article F.4.

La détermination du temps d'essai estimé est également expliquée à l'Annexe E et l'utilisation d'un tableur pour préparer les graphiques en fonction de m est indiquée aux Articles F.3 et F.4.

F.3 Réalisation de plans d'essais progressifs à l'aide d'outils logiciels

Dans un tableur, entrer les titres des paramètres spécifiques et les formules appropriées, comme indiqué dans les Tableaux F.1, F.2, F.3 et F.4. L'exemple dans le Tableau F.4 est le tableur utilisé pour la préparation du plan d'essais A.5 montré à l'Annexe A.

Dans le Tableau F.1, les valeurs de paramètres sont entrées dans les cellules C3, D3, F3 et G3, alors que la formule indiquée en E2 est intégrée dans la cellule E3 pour calculer le rapport de discrimination à partir de m_0 et m_1 .

Une fois toutes les formules intégrées, toutes les autres valeurs figurant dans le tableur seront recalculées pour différentes valeurs des paramètres.

Tableau F.1 – Début du tableur préparé pour obtenir un essai progressif graphique

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	r_0	$2r$	β	α	D	m_0	m_1	T_t^*	T_t^*/m_1
2					=F\$3/G\$3				
3			0,2	0,2	1,5	3 000	2 000		
4			=C\$3	=1-D\$3	=1/E\$3				
5			0,2	0,8	0,666667				

NOTE Les symboles \$ dans les formules intégrées du tableur indiquent que la valeur est fixée et que seule la valeur de cette cellule spécifique est utilisée. Ce symbole peut être différent suivant les programmes de tableur utilisé.

Les formules indiquées dans les cellules C4 à E4 doivent être reportées dans les cellules C5 à E5. Plus loin dans le tableur, les formules restantes nécessaires au calcul de la ligne supérieure et inférieure du graphique d'essai progressif (SPRT) sont insérées comme indiqué dans le Tableau F.2.

Tableau F.2 – Poursuite du calcul des paramètres pour les lignes nécessaires au graphique PRST

	J	K	L	M	N
1	A	B	a	b	c
2	$A = \frac{(1-\beta)(D+1)}{2\alpha D}$	$B = \frac{\beta}{(1-\alpha)}$	$a = \frac{\ln(B)}{\ln\left(\frac{m_0}{m_1}\right)}$	$b = \frac{\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_0}\right)}{\ln\left(\frac{m_0}{m_1}\right)}$	$c = \frac{\ln(A)}{\ln\left(\frac{m_0}{m_1}\right)}$
3	$=((1-\$C\$3)*(\$E\$3+1))/$ $(2*(\$D\$3)*(\$E\$3))$	$=\$C\$3/(1-\$D\$3)$	$=\text{LN}(\$K\$4)/\text{LN}(\$E\$3)$	$=((1/\$G\$3)-$ $(1/\$F\$3))/\text{LN}(\$E\$3)$	$=\text{LN}(\$J\$4)/\text{LN}(\$E\$3)$
4	3,33	0,25	-3,419023	0,000411	2,969362

Les valeurs figurant de J4 à N4 représentent les équations données respectivement dans les cellules J3 à N3.

Lorsque les paramètres a , b , et c sont déterminés, les lignes peuvent ensuite être tracées en fonction du temps d'essai. Les données pour les lignes d'acceptation et de rejet sont illustrées dans le Tableau F.3.

Tableau F.3 – Calcul de la ligne d'acceptation et de rejet pour le graphique PRST

	O	P	Q	R
1			$a+bT$	$c+bT$
2		$=O5/\$F\3	$=\$L\$4+\$M\$4*O5$	$=\$N\$4+\$M\$4*O5$
3	Variable	Variable		
4	T (heures)	T/m_0 (heures/ m_0)	$a+bT$	$c+bT$
5	0	0	-3,419023	2,969362
6	200	0,133333	-3,254602	3,133783

Dans le Tableau E.3, les valeurs figurant dans les cellules Q5, Q6, etc., et R5, R6, etc. sont des formules insérées dans le tableur et indiquées respectivement dans les cellules Q4 et R4.

Pour calculer le temps de fin T_t^* (Formule (E.17)), il est nécessaire de déterminer les deux fonctions de khi-deux montrées dans la Formule (E.18). Celles-ci sont également intégrées dans le tableur comme le montre au Tableau F.4. Le tracé représente les fonctions de khi-deux nécessaires au calcul de la Formule (E.18) et leur taux, en fonction du nombre de défaillances r ou du double du nombre de défaillances ($2r$).

Tableau F.4 –Détermination du temps de fin de l'essai

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	r_0	$2r$	\square	\square	D	m_0	m_1	Tt^*
2					$=\$F3/\$G3$			
3			0,2	0,2	1,5	3 000	2 000	
4			$=\$C3$	$=1-\$D3$	$=1/\$E3$			
5			0,2	0,8	0,666667			
6								
7								
8								
9	$=B10/2=r_0$	$2r$	CHIINV($\$C\$3,\$B10$)	CHIINV($\$D\$5,\$B10$)	$=D10/C10$			$=(\$F3*\$D10)/2$
10	0,5	1	1,642376	0,064185	0,039			96,28
11	1	2	3,218879	0,446287	0,139			669,43
12	1,5	3	4,641630	1,005173	0,217			1 507,76
13	2	4	5,988616	1,648776	0,275			2 473,16
14	2,5	5	7,289273	2,342532	0,321			3 513,80
15	3	6	8,558058	3,070088	0,359			4 605,13
16	3,5	7	9,803248	3,822320	0,399			5 733,48
17	4	8	11,030090	4,593572	0,417			6 890,36
18	4,5	9	12,242141	5,380055	0,439			8 070,08
19	5	10	13,441963	6,179076	0,460			9 268,61
20	5,5	11	14,631420	6,988672	0,478			10 483,01
21	6	12	15,811990	7,807329	0,494			11 710,99
22	6,5	13	16,984793	8,633863	0,508			12 950,80
23	7	14	18,150767	9,467329	0,522			14 200,99
24	7,5	15	19,310653	10,306960	0,534			15 460,44
25	8	16	20,465074	11,152120	0,545			16 728,18
26	8,5	17	21,614562	12,002260	0,555			18 003,40
27	9	18	22,759549	12,856950	0,565			19 285,43
28	9,5	19	23,900418	13,715790	0,574			20 573,68
29	10	20	25,037501	14,578440	0,582			21 867,66
30	10,5	21	26,171094	15,444610	0,590			23 166,92
31	11	22	27,301455	16,314040	0,598			24 471,06
32	11,5	23	28,428790	17,186500	0,605			25 779,75
33	12	24	29,553320	18,061800	0,611			27 092,70
34	12,5	25	30,675199	18,939750	0,617			28 409,62
35	13	26	31,794609	19,820190	0,623			29 730,28
36	13,5	27	32,911683	20,702980	0,629			31 054,47
37	14	28	34,026569	21,587970	0,634			32 381,95
38	14,5	29	35,139366	22,475050	0,639			33 712,58
39	15	30	36,250182	23,364110	0,645			35 046,17
40	15,5	31	37,359130	24,255060	0,649			36 382,59
41	16	32	38,466305	25,147780	0,654			37 721,67
42	16,5	33	39,571798	26,042210	0,658			39 063,32
43	17	34	40,675641	26,938270	0,662			40 407,4
44	17,5	35	41,777972	27,835880	0,666			41 753,81
45	18	36	42,878793	28,734960	0,670			43 102,44

Comme indiqué au Tableau F.4, le temps de fin est calculé pour une variation de r et selon les fonctions khi-deux. Les formules lisibles dans la rangée 9 sont intégrées dans la rangée 10. Lorsque le rapport des deux fonctions de khi-deux atteint une valeur supérieure ou égale à la valeur de la cellule E5 (0,67 dans cet exemple), le chiffre entier le plus proche pour le nombre de défaillances est le nombre de défaillances déterminé comme critère de rejet. Ce nombre est utilisé pour le calcul du temps de fin de l'essai. Pour faciliter la sélection du plus proche entier, le calcul est fait pour les valeurs de r par pas de 0,5 ce qui se traduit par des pas de $2r$ pour l'ensemble des entiers. La colonne H a une formule intégrée pour le temps de fin d'essai correspondant à la fonction du khi-deux de la colonne C et D et de la valeur de m_0 de la colonne F. Dans l'exemple, la valeur en gras du temps de fin de l'essai est égale à 43 102,44 h à $r_0 = 18$.

Le Tableau F.5 fournit une autre déduction à partir du tableur pour obtenir les deux lignes, d'acceptation et de rejet, avec le temps de fin et le nombre maximal autorisé de défaillances d'essai.

Tableau F.5 – Formules pour la ligne d'acceptation et de rejet avec la fin de l'essai

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	a	b	c			a+bT	c+bT		
2					=O5/\$F\$3	=\$L\$4+\$M\$4*O5	=\$N\$4+\$M\$4*O5		
3	=LN(\$K\$4)/LN(\$E\$3)	=(1/\$G\$3)-(1/\$F\$3)/LN(\$E\$3)	=LN(\$J\$4)/LN(\$E\$3)	Variable	Variable				
4	-3,419023	0,000411	2,969362	T(hours)	T/m ₀ (hours/m ₀)	a+bT	c+bT		
5				0	0	-3,419023	2,969362		
6				400	0,133333	-3,254602	3,133783		
7				800	0,266667	-3,090182	3,298203		
8				1200	0,4	-2,925762	3,462623		
9				1600	0,533333	-2,761342	3,627043		
10				2000	0,666667	-2,596921	3,791463		
11				2400	0,8	-2,432501	3,955884		
12				2800	0,933333	-2,268081	4,120304		
13				3200	1,066667	-2,103661	4,284724		
14				3600	1,2	-1,939241	4,449144		



92				31800	10,6	9,652386	16,040771		
93				32000	10,666667	9,734596	16,122981		
94				32400	10,8	9,899016	16,287401		
95				32800	10,933333	10,063436	16,451821		
96				33200	11,066667	10,227857	16,616241		
97				33600	11,2	10,392277	16,780662		
98				34000	11,333333	10,556697	16,945082		
99				34200	11,4	10,638907	17,027292		
100				34400	11,466667	10,721117	17,109502		
101				34800	11,6	10,885537	17,273922		
102				35200	11,733333	11,049958	17,438343		
103				35600	11,866667	11,214378	17,602763		
104				36000	12	11,378798	17,767183		
105				36200	12,066667	11,461008	17,849393		
106				36400	12,133333	11,543218	17,931603		
107				36600	12,2	11,625429	18,013813	18,013813	
108				36800	12,266667	11,707639		18,013813	
109				37200	12,4	11,872059		18,013813	
110				37600	12,533333	12,036479		18,013813	
111				38000	12,666667	12,200899		18,013813	
112				38400	12,8	12,365320		18,013813	
113				38800	12,933333	12,529740		18,013813	
114				39200	13,066667	12,694160		18,013813	
115				39600	13,2	12,858580		18,013813	
116				40000	13,333333	13,023000		18,013813	
117				40400	13,466667	13,187421		18,013813	
118				40800	13,6	13,351841		18,013813	
119				41200	13,733333	13,516261		18,013813	
120				41600	13,866667	13,680681		18,013813	
121				42000	14	13,845102		18,013813	
122				42400	14,133333	14,009522		18,013813	
123				42800	14,266667	14,173942		18,013813	
124				43102	14,367333	14,298079		18,013813	14,298079
125				43102	14,367333	14,298079		18,013813	18,013813

La ligne supérieure de rejet est arrêtée à l'instant où le nombre de défaillances atteint le nombre de rejet (approximativement 18 dans cet exemple). Le nombre est recopié dans la colonne S à chaque instant de rejet (pour tracer une ligne horizontale sur le graphique). La colonne T contenant le nombre de défaillances augmentant de l'acceptation au rejet au temps de fin de l'essai est complétée par les nombres figurant à la dernière ligne de la colonne Q et à la dernière ligne de la colonne R pour le même temps de fin afin de former une ligne de fin d'essai verticale.

La colonne P du Tableau F.5 donne le temps d'essai mesuré dans le tracé m_0 en fonction du temps d'essai. Les lignes d'acceptation et de rejet, avec le temps de fin de l'essai et le nombre de défaillances de troncature d'essai sont montrées à la Figure F.1.

La Figure F.1 indique le tracé qui est automatiquement redessiné chaque fois que les paramètres d'essai sont modifiés (α , β , m_1 , et m_0). L'opérateur n'a qu'à additionner la ligne de nombre de défaillances de troncature d'essai et la ligne de fin d'essai (colonnes R, S et T dans la Figure F.5).

La valeur 17,931 6 qui est le nombre de défaillances correctement calculées pour le temps correspondant $\frac{T^*}{m_0}$ de 12,133 33. Ce nombre peut être substitué dans le tableur à l'entier 18, ou le temps d'essai correspondant peut être allongé légèrement de sorte que le nombre calculé de défaillances approche 18 pour que le nombre de défaillances de troncature d'essai apparaisse comme un entier.

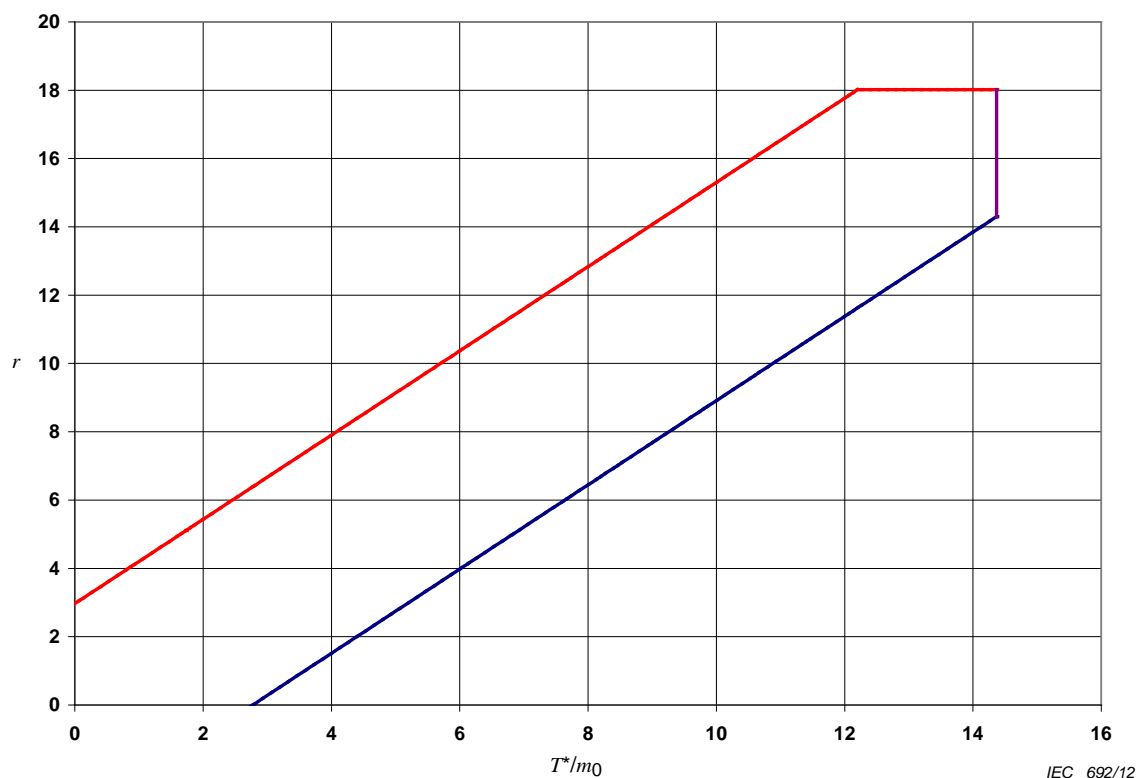


Figure F.1 – Exemple de graphique de tableur SPRT

Le graphique de la Figure F.1 a été dessiné en sélectionnant les temps d'essai (en m_0) et les valeurs pour les lignes d'acceptation et de rejet avec le nombre de rejet de défaillances et le temps de fin de l'essai. Il s'agit d'une ligne graphique en nuage de points.

Une fois toutes les formules intégrées dans le tableur, les graphiques peuvent être redessinés pour tout paramètre requis.

Un tableur peut être établi pour dessiner automatiquement les courbes OC pour les valeurs données de m_0 et m_1 . Cette dernière peut être ajustée une fois les courbes complétées pour changer le temps d'essai nécessaire aux risques requis. Le tableur est montré au Tableau F.6 pour l'exemple montré à la Figure F.1.

F.4 Réalisation des courbes OC et du temps d'essai prévu pour une décision, T_e^*

Un tableur peut être réglé pour dessiner automatiquement les courbes OC pour les paramètres d'essai donnés et m_0 . La probabilité d'acceptation est donnée à l'Annexe E, dans les Formules (E.20) et (E.21) copiées ci-dessous:

$$P_a(h) = \frac{A^h - 1}{A^h - B^h}$$

La constante h se trouve dans l'équation suivante:

$$m = m_0 \cdot \frac{D^h - 1}{h \cdot (D - 1)}$$

La seconde formule, Formule (E.21), ne peut être explicitement résolue pour h par substitution en Formule (E.20) pour que la probabilité d'acceptation puisse être exprimée en fonction de la vraie valeur m . Pour cette raison, des valeurs sont données à la variable h dans le tableur puis les valeurs de m sont calculées. Les valeurs sont assignées à h de façon à obtenir m dans une gamme de valeur inférieure à m_1 sur les valeurs supérieures à m_0 . Simultanément, les valeurs de $P_a(h)$ sont calculées pour les mêmes valeurs données de h , ensuite le graphique est tracé avec l'abscisse étant les valeurs calculées de m/m_0 , et les valeurs de $P_a(h)$ sont tracées sur axe-y.

Le temps d'essai prévu T_e^* exprimé en multiples de m_0 est calculé à partir de la Formule (E.28) dans l'Annexe E modifiée comme suit:

$$\frac{T_e^*}{m_0} = \frac{E_t}{m_0} = \frac{m}{n \cdot m_0} \cdot E_r = \frac{m}{n \cdot m_0} \cdot m_0 \cdot \frac{P_a[\ln(A) - \ln(B)] - \ln(A)}{m \cdot (D - 1) - m_0 \cdot \ln(D)} \tag{F.1}$$

$$\frac{T_e^*}{m_0} = m \cdot \frac{P_a[\ln(A) - \ln(B)] - \ln(A)}{m \cdot (D - 1) - m_0 \cdot \ln(D)}$$

Le Tableau F.6 montre le tableur de l'exemple donné des Figures F.1 et F.2 et aux Tableaux F.2 à F.5 avec formules intégrées qui s'appliquent aux paramètres en dessous. Les formules intégrées dans la rangée 5 se retrouvent en rangée 3.

Les valeurs correspondantes pour m_0 , A, B et D sont copiées à partir de leur emplacement dans le tableur. Le signe \$ dans ce type de tableur indique que la valeur de la cellule est fixée et ne changera pas avec une autre rangée ou colonne.

Tableau F.6 – Elaboration du tableur pour la réalisation des courbes OC pour le SPRT

	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1						<i>n</i>		
2						1		
3	Chosen values	$=((\$E\$3^X-1)/(X5*(\$E\$3-1)))*F\$3$		$=(\$J\$4^X-1)/(\$J\$4^X-\$K\$4^X)$			$=(Y5/\$AC\$2)*AE5/F\$3$	$=F\$3*(AA5*(LN(\$J\$4)-LN(\$K\$4))-LN(\$J\$4))/(Y5*(\$E\$3-1)-F\$3*LN(\$E\$3))$
4	<i>h</i>	<i>m</i>	<i>m/m₀</i>	<i>P_a</i>		<i>m/m₀</i>	<i>T_e*/m₀</i>	<i>E_r</i>
5	-5,0	1041,98	0,35	0,0010		0,35	1,80	5,18
6	-4,7	1086,74	0,36	0,0015		0,36	1,94	5,35
7	-4,4	1134,60	0,38	0,0022		0,38	2,09	5,54
8	-4,1	1185,83	0,40	0,0034		0,40	2,27	5,75
9	-3,8	1240,71	0,41	0,0051		0,41	2,48	5,99
10	-3,5	1299,56	0,43	0,0077		0,43	2,72	6,27
11	-3,2	1362,72	0,45	0,0116		0,45	2,99	6,58
12	-2,9	1430,57	0,48	0,0174		0,48	3,31	6,94
13	-2,6	1503,54	0,50	0,0260		0,50	3,68	7,34
14	-2,3	1582,07	0,53	0,0387		0,53	4,10	7,78
15	-2,0	1666,67	0,56	0,0572		0,56	4,59	8,27



31	2,8	4525,96	1,51	0,9663		1,51	5,62	3,72
32	3,1	4867,08	1,62	0,9764		1,62	5,30	3,27
33	3,4	5239,88	1,75	0,9835		1,75	5,02	2,87
34	3,7	5647,59	1,88	0,9884		1,88	4,77	2,53
35	4,0	6093,75	2,03	0,9919		2,03	4,55	2,24
36	4,3	6582,31	2,19	0,9944		2,19	4,35	1,98
37	4,6	7117,61	2,37	0,9961		2,37	4,18	1,76
38	4,9	7704,50	2,57	0,9973		2,57	4,03	1,57
39	5,2	8348,32	2,78	0,9981		2,78	3,90	1,40
40	5,5	9054,99	3,02	0,9987		3,02	3,78	1,25
41	5,8	9831,09	3,28	0,9991		3,28	3,68	1,12
42	6,1	10683,90	3,56	0,9994		3,56	3,59	1,01
43	6,4	11621,51	3,87	0,9995		3,87	3,50	0,90
44	6,7	12652,87	4,22	0,9997		4,22	3,43	0,81
45	7,0	13787,95	4,60	0,9998		4,60	3,37	0,73
46	7,3	15037,77	5,01	0,9998		5,01	3,31	0,66
47	7,6	16414,60	5,47	0,9999		5,47	3,25	0,59
48	7,9	17932,05	5,98	0,9999		5,98	3,21	0,54
49	8,2	19605,24	6,54	0,9999		6,54	3,17	0,48
50	8,5	21450,97	7,15	1,0000		7,15	3,13	0,44

NOTE Un incrément de 0,3 a été utilisé afin d'éviter $h = 0$ dans la colonne X.

En sélectionnant Z5:AA50, et en traçant une ligne graphique en nuages de point, la caractéristique d'exploitation pour la probabilité d'acceptation P_a est tracée (voir Figure F.2).

La source de donnée AC5:AD50 génère un graphique pour la durée d'essai prévu pour arriver à une décision, mesurée en multiples m_0 (voir Figure F.3).

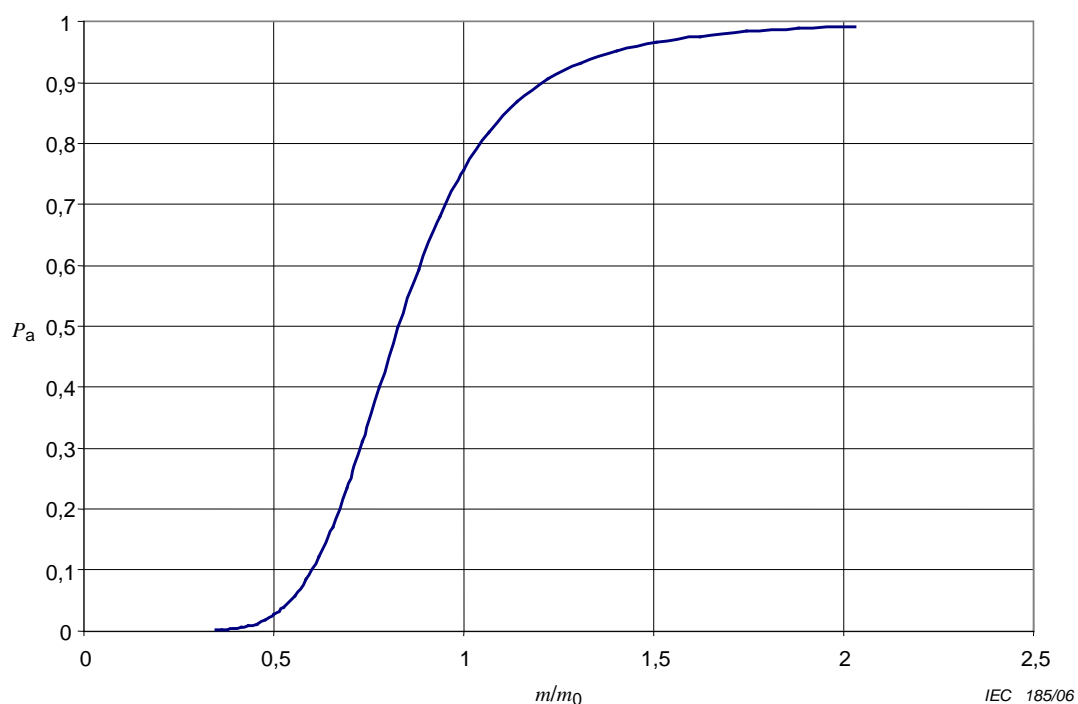


Figure F.2 – Caractéristique d’exploitation pour probabilité d’acceptation, P_a

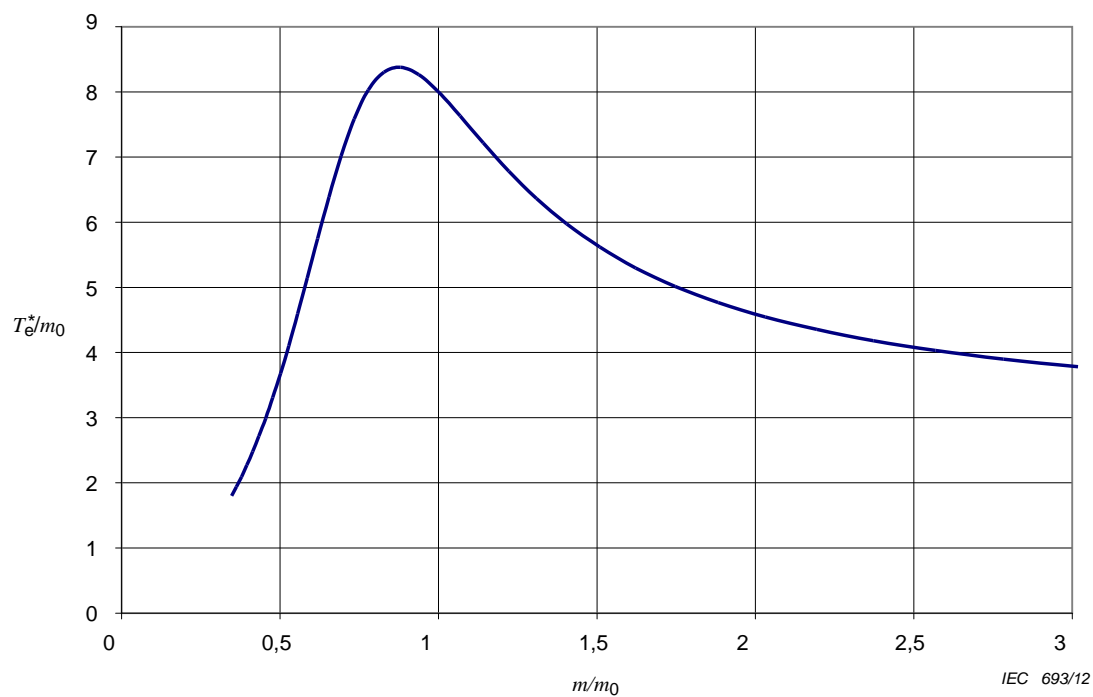


Figure F.3 – Valeur moyenne du temps d’essai pour prendre une décision

F.5 Méthode pas-à-pas

Pour calculer un plan d'essais, suivre les étapes suivantes:

Etape 1: Entrer α , β , D , m_0 , m_1 comme spécifié.

Etape 2: Trouver dans la colonne E la première valeur supérieure ou égale à la valeur dans E5. Lire la même ligne T_t^* ans la colonne H et r_0 dans la colonne A.

Etape 3: Trouver la valeur la plus proche de T_t^* dans la colonne O et taper la valeur trouvée à l'étape 2.

Etape 4: Copier T_t^* dans le reste de la colonne O jusqu'au bout de la feuille.

Etape 5: Trouver la valeur la plus proche de r_0 dans la colonne R. Copier cette valeur dans la colonne S depuis la même ligne et jusqu'à la fin de la feuille. Supprimer les valeurs de la colonne R en dessous de cette ligne.

Etape 6: Pour la ligne avec la valeur de T_t^* trouvée à l'étape 3 dans la colonne O, copier la valeur de la ligne correspondante de la colonne Q dans la colonne T. S'il y a des valeurs d'un calcul précédent dans la colonne S et T, il faut les supprimer.

Etape 7: Les graphiques sont mis à jour automatiquement.

Annexe G
(informative)

**Exemples et références mathématiques relatifs
aux plans d'essais fixé par le temps ou les défauts –
Plans d'essai de durée fixe**

NOTE Cette annexe utilise les symboles listés en 3.2.2.

G.1 Références mathématiques

G.1.1 Généralités

NOTE Voir l'Article 7.

Il y a quatre considérations possibles qui sont applicables à des essais à durée fixe:

- a) essais tronqués avec remplacement;
- b) essais tronqués sans remplacement;
- c) essais censurés avec remplacement;
- d) essais censurés sans remplacement.

Les conversions du taux de défaillance et/ou du MTBF sont effectuées comme indiqué en 3.2.2.

Lorsque la durée de l'essai est fixe, les essais tronqués sont réalisés avec remplacement, le temps de fin de l'essai, T_t^* et le nombre acceptable de défaillances, c , est déterminé en se fondant sur les deux formules suivantes:

$$\beta = \sum_{k=0}^c \frac{\left(\frac{T_t^*}{m_1}\right)^k \cdot e^{-\frac{T_t^*}{m_1}}}{k!} \tag{G.1}$$

$$1 - \alpha = \sum_{k=0}^c \frac{\left(\frac{T_t^*}{m_0}\right)^k \cdot e^{-\frac{T_t^*}{m_0}}}{k!}$$

Les Formules (G.1) peuvent être entrées dans un tableur pour déterminer le temps et le nombre acceptable de défaillances en se fondant sur le rapport de discrimination m_0 et le risque fournisseur et le risque client, α et β . Un exemple est illustré à l'Annexe H.

La caractéristique d'exploitation est donnée par le tracé de la probabilité d'acceptation, P_a (dans une durée d'essai prédéterminée T_t^*) par rapport à la quantité m , où

$$P_a = e^{-\frac{T_t^*}{m}} \sum_{k=0}^c \frac{\left(\frac{T_t^*}{m}\right)^k}{k!} \tag{G.2}$$

G.2 Exemples d'études des plans d'essais censurés à durée fixe

G.2.1 Exemple 1

Spécifié: Un matériel réparable d'un équipement ayant un objectif de MTBF = $m_0 \geq 1\ 500$ h a été essayé dans des conditions nominales. Le fournisseur accepte de se conformer à un risque de rejet $\alpha = 5\%$, même si les conditions de garantie sont satisfaites. Le client accepte de se conformer à un risque d'acceptation $\beta = 5\%$, même si la vraie valeur de $m = 750$ h d'où, $D = 1\ 500/750 = 2$.

A déduire: Plan d'essais terminés par un défaut ou une défaillance avec un temps d'essai cumulé T_t^* , comme critère de fin, et le nombre, c , de défaillances acceptables pendant l'essai.

Méthode: Le plan d'essai B.2 établit que $\frac{T_t^*}{m_0} = 15,71$ et $c = 22$. Le temps d'essai est donc:

$$T_t^* = 15,71 m_0 = 15,71 \times 1\ 500 = 23\ 550 \text{ h} = 2,7 \text{ ans}$$

durant lequel un nombre maximal de 22 défaillances est autorisé pour que la conformité soit assurée.

Si pour des raisons de calendriers par exemple, le temps d'essai est considéré trop long, il est possible d'augmenter le nombre d'entités soumises à l'essai pour augmenter la valeur de D et/ou les risques. Il est également possible de concevoir un plan d'essais adapté ou «équilibré» conformément à 8.2, où le temps d'essai peut être choisi indépendamment de m_0 . Il convient de considérer aussi les plans d'essais combinés (voir l'Annexe D).

G.2.2 Exemple 2

Spécifié: Les mêmes renseignements que ceux de l'Article E.2: $n = 500$, $\lambda_0 = 900 \times 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ et $\alpha = \beta = 10\%$ et $D = 3$.

A déduire: Plan d'essais tronqués-censurés avec un temps d'essai cumulé T_t^* , comme critère de fin, et le nombre, c , de défaillances acceptables pendant l'essai.

Méthode: Le plan d'essais B.7 indique que $T_t^* = 3,1$ et $c = 5$. D'après 3.2.2, $m_0 = \frac{1}{\lambda_0}$ et le

temps d'essai est alors $T_t^* = \frac{3,1}{\lambda_0} = \frac{3,1}{900 \times 10^{-9}} = 3\ 44 \times 10^3 \text{ h}$, et $t_* = \frac{T_t^*}{n} = 6\ 889 \text{ h} = 0,8 \text{ ans}$,

pendant lequel cinq défaillances au plus sont autorisées pour que la conformité soit assurée.

NOTE En le comparant au plan d'essais progressif de l'exemple dans l'Article E.2 en utilisant le plan d'essais progressif A.3, il est possible de voir que le temps relatif au plan d'essais tronqués censurés est légèrement plus court que le temps d'essai maximal relatif au plan d'essais progressif. Pour ce qui concerne les entités en très bon état ou les entités en très mauvais état, le temps d'essai relatif au plan d'essais progressif peut être beaucoup plus court; cependant, sa planification et sa gestion sont plus compliquées.

Annexe H (informative)

Conception des plans d'essais censurés à durée fixe en utilisant un tableur électronique

NOTE 1 Voir l'Article 7.

NOTE 2 Cette annexe utilise les symboles listés en 3.2.2 à l'exception de T^* qui est appelé T à cause de la limitation de l'éditeur d'équation dans le tableur.

Les Formules (G.1) peuvent être entrées dans un tableur pour déterminer le temps et le nombre acceptable de défaillances en se fondant sur m_0 , m_1 , sur le rapport de discrimination, D , le risque fournisseur et le risque client, α et β comme dans les Tableaux H.1 à H.3 et dans la Figure H.1.

Dans le Tableau H.1, dans la rangée 7, les colonnes B à L contiennent la formule figurant au-dessus de cette partie du tableur (β à partir de la Formule (G.1)) et les colonnes M à W contiennent l'équation intégrée figurant au-dessus de ces cellules (équation pour $1 - \alpha$, à partir de la Formule (G.1)).

La rangée 4 montre les nombres saisis dans la rangée 5 mais non visibles, et est reliée aux formules intégrées dans le Tableau H.2. Chacune de ces formules est entrée dans la cellule appropriée de la rangée 7, et cette rangée est alors copiée et collée sur le tableur pour la durée estimée de l'essai (voir colonne Y).

Les colonnes Z et AA contiennent des valeurs de temps divisées par m_1 et m_0 en termes de m et ces temps sont utilisés dans les formules intégrées.

L'exemple du Tableau H.1 indique un nombre acceptable maximal de défaillances de 10. Si besoin est, ce nombre peut être augmenté et les formules intégrées doivent être ajustées en conséquence.

Les formules indiquées dans le tableur sont visibles entre guillemets dans le tableur (sans ses marques, elles sont indiquées et ne peuvent pas être vues pour les instructions). Elles doivent être saisies dans les cellules correspondantes sans les guillemets. Lorsqu'elles sont entrées dans les cellules respectives, les guillemets doivent être omis.

**Tableau H.2 – Formules intégrées dans le tableur
indiqué dans le Tableau H.1**

B7 =((Z7^\$B\$5)/1)*X7
C7 =(((Z7^\$C\$5)/\$C\$5)+B7/X7)*X7
D7 =((Z7^\$D\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$D\$5))+C7/X7)*X7
E7 =((Z7^\$E\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$E\$5))+D7/X7)*X7
F7 =(((Z7^\$F\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$F\$5))+E7/X7)*X7
G7 =(((Z7^\$G\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$G\$5))+F7/X7)*X7
H7 =(((Z7^\$H\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$H\$5))+G7/X7)*X7
I7 =(((Z7^\$I\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$I\$5))+H7/X7)*X7
J7 =(((Z7^\$J\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$J\$5))+I7/X7)*X7
K7 =(((Z7^\$K\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$K\$5))+J7/X7)*X7
L7 =(((Z7^\$L\$5)/(PRODUCT(\$C\$5:\$L\$5))+K7/X7)*X7
M7 =((AA7^\$M\$5)/1)*AB7
N7 =(((AA7^\$N\$5)/\$N\$5)+M7/AB7)*AB7
O7 =((AA7^\$O\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$O\$5))+N7/AB7)*AB7
P7 =(((AA7^\$P\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$P\$5))+O7/AB7)*AB7
Q7 =(((AA7^\$Q\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$Q\$5))+P7/AB7)*AB7
R7 =(((AA7^\$R\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$R\$5))+Q7/AB7)*AB7
S7 =(((AA7^\$S\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$S\$5))+R7/AB7)*AB7
T7 =(((AA7^\$T\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$T\$5))+S7/AB7)*AB7
U7 =(((AA7^\$U\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$U\$5))+T7/AB7)*AB7
V7 =(((AA7^\$V\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$V\$5))+U7/AB7)*AB7
W7 =(((AA7^\$W\$5)/(PRODUCT(\$N\$5:\$W\$5))+V7/AB7)*AB7

IEC 188/06

Pour atteindre le but de ce processus, déterminer la durée de l'essai et le nombre acceptable de défaillances, le tableur est examiné pour trouver le temps de fin de l'essai T_t^* . De cette façon, les exigences pour les risques du fournisseur et du client sont satisfaites en même temps. Le Tableau H.3 montre comment ceci est accompli dans le même exemple utilisé dans les Tableaux H.1 et H.2. La formule est copiée de la Formule (G.1):

$$\beta = \sum_{k=0}^c \frac{\left(\frac{T_t^*}{m_1}\right)^k \cdot e^{-\frac{T_t^*}{m_1}}}{k!}$$

$$1 - \alpha = \sum_{k=0}^c \frac{\left(\frac{T_t^*}{m_0}\right)^k \cdot e^{-\frac{T_t^*}{m_0}}}{k!}$$

Dans le tableur du Tableau H.1 le nombre de défaillances acceptable est trouvé en cherchant la valeur la plus proche vérifiant les deux formules de la Formule (G.1) recopiées ci-dessus. Il faut être prudent dans le choix de la valeur de risque pour le client; il convient que cette valeur soit égale ou inférieure à celle donnée par le plan d'essais. Il convient que la valeur du risque du fournisseur α soit proche de la valeur donnée dans le plan d'essais. Les deux valeurs sélectionnées doivent donner le même nombre de défaillances acceptables. Le temps qui correspond à ces deux nombres est le temps de fin de l'essai T_t^* .

Dans le Tableau H.1, les nombres le plus proche du risque du fournisseur et du client qui correspond au même nombre de défaillance est 0,201 (pour β), étant la valeur exigée pour le risque au client, et 0,793 ($1 - \alpha$), autorisant un risque plus élevé pour le fournisseur (le plan d'essais pour les deux risques devait être de 0,2). Le temps d'essai correspondant à ces valeurs est $T = 3\,950$ h. Dans l'exemple du Tableau H.1, il ressort que le temps coïncidant à l'exigence pour α et à l'exigence pour β est de 3 950 h soit 7,9 fois m_1 et 3,95 fois m_0 .

Méthode pas à pas:

Etape 1: Taper α, β, m_0, m_1 et D comme spécifié et montré dans le Tableau H.1.

Etape 2: Taper les formules du Tableau H.2.

Etape 3: Mettre à jour les données de l'étape 1 si nécessaire pour concevoir un nouveau plan d'essais.

Etape 4: Pour le nombre c de défaillances trouver, dans les colonnes B à L, la rangée où la valeur est proche de β .

Etape 5: Pour le nombre c de défaillances trouver, dans les colonnes M à W, la rangée où la valeur est proche de $1 - \alpha$.

Etape 6: Vérifier si le nombre de la rangée trouvé à l'étape 4 est le même que le nombre de la rangée trouvé à l'étape 5 pour la même valeur c .

Si oui: alors c est le nombre acceptable de défaillances pour le plan d'essais.

Trouver, dans la colonne AA, dans la même rangée, le temps d'essai de fin T_t^* / m_0 .

Si non: aller à l'étape 7.

Etape 7: Répéter de l'étape 4 à 6 avec une valeur nouvelle de c jusqu'à obtenir un plan d'essais adapté.

Etape 8: Une fois un plan d'essais trouvé, allé à l'étape 3 pour concevoir un autre plan d'essais, si nécessaire.

Le tableur pour le traçage de la courbe OC est montré dans le Tableau H.3. Dans ce tableau, le symbole T^* est représenté par le symbole T seulement à cause de la particularité du tableur lorsque le symbole $*$ représente une multiplication. Si ce symbole a été entré, le programme considérerait la formule incomplète et ne permettrait pas de suite.

Tableau H.3 – Caractéristique d’exploitation pour essai censuré à durée fixe

	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
4							$\sum_{k=0}^5 \frac{\left(\frac{T}{m}\right)^k}{k!}$
5	T*	3950	m	m/m ₀	P(m)	exp(-T/m)	
6			1	0,001	0	0	8,02332E+15
7			100	0,1	6,40087E-12	7,00435E-18	913841,544
8			200	0,2	8,70204E-05	2,64657E-09	32880,41747
9			300	0,3	0,009626203	1,91333E-06	5031,131547
10			400	0,4	0,071965387	5,14449E-05	1398,883901
11			500	0,5	0,200569118	0,000370744	540,9915374
12			600	0,6	0,357043975	0,001383231	258,1232042
13			700	0,7	0,504604639	0,003542732	142,4337663
14			800	0,8	0,626925929	0,007172507	87,40680312
15			900	0,9	0,721784843	0,012414515	58,1403958
16			1000	1	0,792895407	0,019254702	41,1793138
17			1100	1,1	0,845367954	0,027573252	30,65898579
18			1200	1,2	0,883877046	0,037191811	23,765367
19			1300	1,3	0,912154808	0,047908538	19,03950404
20			1400	1,4	0,933005094	0,059520852	15,67526438
21			1500	1,5	0,948473775	0,071838601	13,20284312
22			1600	1,6	0,960033944	0,084690656	11,3357717
23			1700	1,7	0,968741487	0,097927349	9,892450849
24			1800	1,8	0,975353686	0,111420445	8,753812547
25			1900	1,9	0,980415627	0,125061787	7,839450014
26			2000	2	0,984321804	0,138761312	7,093632861
27			2100	2,1	0,987359585	0,152444851	6,476831318
28			2200	2,2	0,989739798	0,166051957	5,960422361
29			2300	2,3	0,991618264	0,179533887	5,523293018
30			2400	2,4	0,993111017	0,192851786	5,149607571
31			2500	2,5	0,994305111	0,205975098	4,827307377
32			2600	2,6	0,995266335	0,218880192	4,547082713
33			2700	2,7	0,996044769	0,231549186	4,301655243
34			2800	2,8	0,996678794	0,243968957	4,085268902
35			2900	2,9	0,997198033	0,256130304	3,89332312
36			3000	3	0,997625488	0,268027239	3,72210486

Dans le Tableau H.3, la formule à écrire dans la ligne 6 de la colonne AK, AJ, AI et AH du tableur sont les suivantes:

$$\text{AK6: } =1+(\text{\$AF\$5}/\text{AG6})+(1/2)*(\text{\$AF\$5}/\text{AG6})^2+(1/6)*(\text{\$AF\$5}/\text{AG6})^3+(1/24)*(\text{\$AF\$5}/\text{AG6})^4+(1/120)*(\text{\$AF\$5}/\text{AG6})^5$$

$$\text{AJ6: } =\exp(-\text{\$AF\$5}/\text{AG6})$$

$$\text{AI6: } =\text{AJ6}*\text{AK6}$$

$$\text{AH6: } =\text{AG6}/\text{\$G\$2}$$

Toutes les entrées décrites ci-dessus doivent être effectuées sans les guillemets. La Figure H.1 montre la courbe OC tracée pour l'exemple dans les Tableaux H.1 à H.3. AI est tracé en fonction de AH.

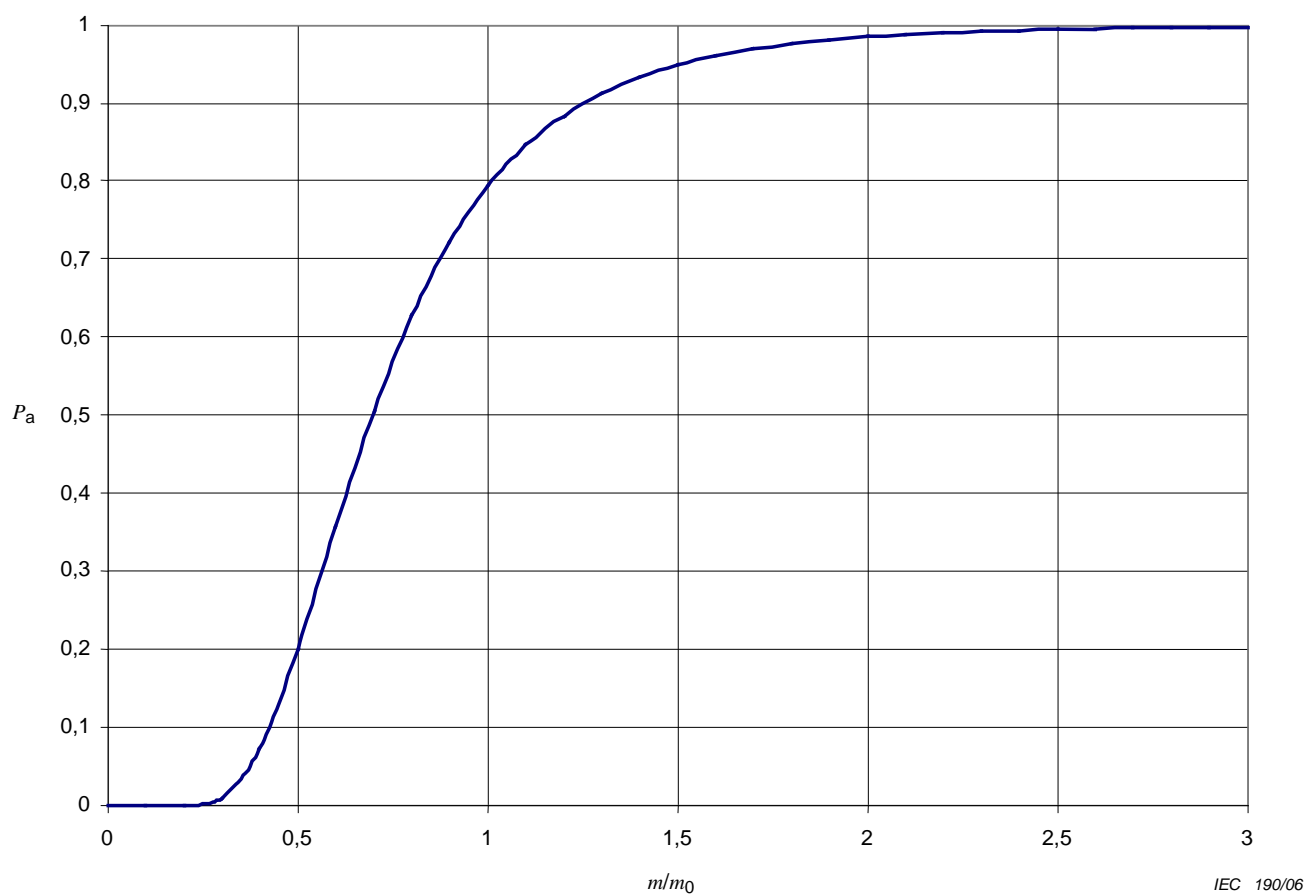


Figure H.1 – Caractéristique d'exploitation tracée à partir des calculs du tableur

Annexe I (informative)

Exemples et référence mathématique relatifs à l'étude de plans d'essais censurés alternatifs

NOTE 1 Voir l'Article 8.

NOTE 2 Cette annexe montre les exemples détaillés se référant aux méthodes de l'Article 8.

I.1 Symboles

Outre les symboles donnés en 3.2.2, les symboles suivants sont utilisés dans cette annexe:

c_t	valeur approchée pour arrondir c au nombre entier le plus proche
D'	rapport de discrimination vrai
$f(P_a, c)$	fonction de P_a et c
$P(c)$	fonction de répartition de la loi de Poisson
$p(c)$	fonction densité de probabilité de la loi de Poisson
t^*	durée calendaire
u_γ	γ – fractile de la fonction de répartition normale $\lambda = \Phi(u_\gamma)$
$\Phi(u)$	fonction de répartition normale
γ	fractile de répartition
μ_{0t}	valeur approchée pour arrondir μ au nombre entier le plus proche
μ_1	valeur de μ utilisée pour déterminer D'

I.2 Exemples d'essais de composants

I.2.1 Exemple 1

Spécifié: $\lambda_0 = 0,025$ défaillances par an, $\alpha = \beta = 5 \%$, $D = 2$.

A déduire: c , T_t^*

Méthode: $\mu_0 = 15,8$ pour $D = 2$ est trouvé à partir de la courbe $\alpha = \beta = 5 \%$ de la Figure C.3.

$\Delta\mu_0 = 6,3$ pour $\mu_0 = 15,8$ est trouvé à partir de la courbe $\alpha = \beta = 5 \%$ de la Figure C.4.

Par conséquent $c = (15,8 + 6,3)$ soit 22 en valeur arrondie. Puis $T_t^* = \frac{\mu_0}{\lambda_0} = \frac{15,8}{0,025} = 632$ composants années.

Pour un temps d'essai spécifié, $t^* = 1$ année, $n = 632$ composants.

Pour un nombre spécifié de composants $n = 1\ 000$ suit $t^* = \frac{T_t^*}{n} = \frac{632}{1\ 000} \approx 5\ 500$ h.

I.2.2 Exemple 2

Spécifié: $\lambda_0 = 900$ défaillances par 10^9 h, $\alpha = \beta = 10\%$, $D \approx 3$

A déduire: c , T_t^* , D'

Méthode: Identifier le point sur la courbe en pointillés $\alpha = \beta = 10\%$ de la Figure C.1 pour lequel $D = 3$. Suivre la courbe en pointillés jusqu'à l'intersection avec la courbe de c la plus proche.

Ainsi, $c = 5$ est déterminé en prenant $\mu_0 = 3,15$ et $D' = 2,95$.

Alors $T_t^* = \frac{\mu_0}{\lambda_0} = \frac{3,15}{900 \times 10^{-9}} = 3,50 \times 10^6$ composant heures.

Pour un temps d'essai spécifié, $t^* = 0,5$ année, $n = 4\ 380$ h suivent $n = \frac{T_t^*}{t^*} = \frac{3,50 \times 10^6}{4\ 380} = 799$ composants.

Pour un nombre de composants spécifié $n = 500$ suivent $t^* = \frac{T_t^*}{n} = \frac{3,50 \times 10^6}{500} = 7\ 000$ h.

Dans cet exemple, il convient d'utiliser la Figure C.1 car le point indiqué apparaîtra juste sur la limite inférieure des Figures C.3 et C.4; Dans la zone où les figures se confondent, la Figure C.1 est la plus précise. Dans cet exemple, la Figure C.3 donne $\mu_0 = 3,05$ alors que la Figure C.1 donne $\mu_0 = 3,15$. Les deux Figures C.1 et C.4 donne $c = 5$.

I.3 Méthodes mathématiques

I.3.1 Généralités

Les méthodes et les formules de la présente annexe peuvent être utilisées pour calculer les paramètres du plan d'essais au lieu de lire les valeurs sur les figures.

$$p(c) = \frac{\mu^c e^{-\mu}}{c!} \quad (I.1)$$

$$P(c) = \sum_{i=0}^c p(i) = e^{-\mu} \sum_{i=0}^c \frac{\mu^i}{i!} \quad (I.2)$$

NOTE Dans cette annexe, les probabilités ne sont pas données en pourcentage.

I.3.2 Calculs

I.3.2.1 Détermination de c et D pour $\mu_0 \leq 5$

Ce cas concerne la Figure C.1.

Spécifié: $\mu_0, \alpha = \beta$

A déduire: D, c

Méthode:

Etape 1

Calculer une valeur c_t , pour arrondir c au nombre entier le plus proche:

$$c_t = \left[\mu_0 + u_{1-\alpha} \sqrt{\mu_0} - 0,5 + \frac{u_{1-\alpha}^2}{8} \right] \text{ (arrondi)} \quad (I.3)$$

où $u_{1-\alpha} = u_\gamma$ est pris du Tableau I.2.

Etape 2

Calculer la valeur α' à partir de $\alpha' = 1 - P(c)$ selon la Formule (G.1) pour $\mu = \mu_0$, en utilisant la relation de récursivité

$$p(i+1) = p(i) \frac{\rho}{i+1} \quad (I.4)$$

où $p(0) = e^{-\mu}$

Etape 3

Comparer α' à α ; si leurs valeurs ne sont pas suffisamment proches, augmenter ou diminuer c_t de 1 et répéter l'étape 2.

Etape 4

Poser $\beta' = \alpha'$, et calculer μ_1 par itération en utilisant les Formules (I.1) et (I.2) de manière que $P(c)$ converge vers α' et μ vers μ_1 .

Etape 5

Déterminer la valeur de D' à partir de $D' = \frac{\mu_1}{\mu_0}$.

I.3.2.2 Détermination des courbes OC

Ce cas concerne la Figure C.2 (et la Figure C.1).

Spécifié: c

A déduire: Probabilité d'acceptation $P_a = P_a(\mu, c)$ en fonction de μ pour c déterminé.

Méthode:**Etape 1a)**

Calculer $P_a(\mu, c) = P(c)$ pour une série de valeurs appropriée de μ en utilisant les Formules (I.1) et (I.2).

Etape 1b)

Si $c \geq 3$, P_a peut être calculé à partir de

$$P_a = \gamma = \Phi(u_\gamma)$$

en utilisant l'approximation:

$$u_\gamma = \sqrt{9(c+1)} \times \left[\sqrt[3]{\frac{\rho}{c+1}} - 1 + \frac{1}{9(c+1)} \right] \quad (I.5)$$

Etape 1c)

Si $c \geq 9$, P_a peut être calculé à partir de

$$P_a = \gamma = \Phi(u_\gamma)$$

en utilisant l'approximation simplificatrice:

$$u_\gamma \approx 2 \left[2\sqrt{\rho} - \sqrt{2(\rho + c + 0,5)} \right] \quad (I.6)$$

NOTE Les Formules (I.5) et (I.6) peuvent être utilisées pour déterminer α' et β' , en considérant que pour $\gamma > 0,5$: $\alpha' = 1 - \gamma$, et pour $\gamma < 0,5$: $\beta' = \gamma$.

I.3.2.3 Détermination de μ à partir des courbes OC

Ce cas concerne la Figure C.2.

Dans certains cas, il peut être utile de déterminer les valeurs de la caractéristique d'exploitation pour obtenir par exemple:

- une valeur initiale pour l'itération (se reporter à I.3.2.1, étape 4);
- les valeurs initiales et finales de μ pour une courbe OC exacte (se reporter à I.3.2.2, étape 1);
- la valeur (approximative) de μ_1 pour la détermination de D pour des valeurs déterminées de γ .

Spécifié: c

A déduire: Espérance mathématique du nombre de défaillances $\mu = f(P_a, c)$, en fonction de P_a pour c déterminé.

Méthode:

Etape 1a)

Calculer μ pour une valeur désirée de $P_a = P(c)$ par itération, en utilisant les Formules (I.1) et en observant que $\gamma = P_a = \Phi(u_\gamma)$.

Etape 1b)

Si $c \geq 3$, μ peut être calculé en utilisant l'approximation suivante:

$$\rho \approx (c+1) \times \left[1 - \frac{1}{9(c+1) + u_\gamma \sqrt{\frac{1}{9(c+1)}}} \right]^3 \quad (I.7)$$

Etape 1c)

Si $c \geq 9$, μ peut être calculé en utilisant l'approximation suivante:

$$\mu \approx c + 0,5 + 3 \frac{u_\gamma^2}{8} + u_\gamma \sqrt{c + 0,5 + \frac{u_\gamma^2}{8}} \quad (I.8)$$

I.3.2.4 Détermination de D et c pour $\mu_0 > 5$

Ce cas concerne C.1 et les Figures C.3 et C.4.

Spécifié: $\mu_0, \alpha = \beta$

A déduire: D, c

Méthode:

Etape 1

Calculer la valeur de c en utilisant la Formule d'approximation (I.3).

Etape 2

Calculer la valeur de D par la formule d'approximation:

$$D \approx \left[1 + \frac{u_{1-\alpha}}{\sqrt{\rho_0}} \right]^2 \quad (I.9)$$

Etape 3 (facultative)

Calculer $\alpha' = \beta'$, pour $\mu = \mu_0$, en utilisant l'une des alternatives suivantes:

- Formules (I.1) et (I.4); ou
- Formule (I.5); ou
- Formule (I.6).

Etape 4 (facultative)

Calculer la valeur de D' , soit conformément aux étapes 4 et 5 de I.3.2.1 soit en utilisant les Formules d'approximation (I.7) ou (I.8).

I.3.2.5 Détermination de c et $\alpha = \beta$ ou $\alpha' = \beta'$

Ce cas concerne l'Article C.2.

Spécifié: μ_0, D

A déduire: c, α, β

Méthode:

Etape 1

Calculer une valeur approchée $\gamma_t = \alpha = \beta$ en utilisant:

$$\gamma_t = \Phi(u_{\gamma_t})$$

où
$$u_{\gamma_t} = \sqrt{\mu_0} \times (\sqrt{D} - 1) \quad (I.10)$$

Etape 2

Calculer une valeur approchée de c, c_t en utilisant la Formule (I.3).

Etape 3

Si $\mu_0 \leq 5$, vérifier c_t, D', α' et β' en utilisant la Formule (I.1). Si nécessaire, augmenter ou diminuer c en conséquence.

Les Formules (I.5) et (I.6) peuvent également être utilisées pour la détermination de α' et β' à l'intérieur de leur gamme autorisée.

I.3.2.6 Détermination de c et n ou t_t^*

Ce cas concerne l'Article C.3.

Spécifié: $\gamma_0, D, \alpha = \beta$, et t_t^* , ou n

A déduire: $c, \mu_0 = \gamma_0 n t_t^*, n$ ou t_t^*

Méthode:

Etape 1

Calculer une valeur approchée de μ_0 , μ_{0t} à partir de:

$$\mu_{0t} \approx \left[\frac{u_{1-\alpha}}{\sqrt{D-1}} \right]^2 \quad (I.11)$$

où $u_{1-\alpha} = u_\gamma$ peut être extrait du Tableau I.2.

Etape 2

Calculer une valeur approchée de c , c_t , en utilisant l'Equation (I.3).

Etape 3

Si $\mu_{0t} \leq 5$, vérifier c_t , D' , α' et β' en utilisant la Formule (I.1), Si nécessaire, faire varier μ_{0t} de façon continue pour atteindre un accord raisonnable avec les valeurs spécifiées.

Etape 4

Calculer n ou t_t^* en utilisant $n = \frac{\mu_{0t}}{\lambda_0 t_t^*}$ ou $t_t^* = \frac{\mu_{0t}}{\lambda_0 n}$ respectivement.

I.3.2.7 Détermination de D et c pour $\alpha \neq \beta$

Spécifié: μ_0 , α et β ($\alpha \neq \beta$)

A déduire: D , c

Méthode:

Etape 1

Trouver le risque moyen, γ , à partir de $\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}$

Etape 2

Procéder d'après les indications de I.3.2.1 à I.3.2.4.

Etape 3

En utilisant les courbes OC, par les méthodes de I.3.2.2 ou I.3.2.3 vérifier si la valeur déduite c donne les valeurs α' et β' en accord raisonnable avec les valeurs spécifiées de α et β , sinon, augmenter ou diminuer c par 1.

I.3.3 Tableaux de la fonction de distribution normale et de son inverse

Tableau I.1 – Fonction de distribution normale pour des valeurs de u_γ déterminées

u_γ	2,5	2,0	1,5	1,25	1,0	0,5	0,0
$\Phi(u_\gamma) = \gamma$	0,993 8	0,977 3	0,933 2	0,894 4	0,841 3	0,691 5	0,500 0
$1-\gamma$	0,006 2	0,022 7	0,066 8	0,105 6	0,158 7	0,308 5	0,500 0
NOTE Remarquer que $u_\gamma = -u_{1-\gamma}$.							

Tableau I.2 – Inverse de la fonction de distribution normale pour des valeurs de $1-\gamma$ déterminées

$1-\gamma$	0,01	0,025	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30
$\Phi(u_\gamma) = \gamma$	0,99	0,975	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70
u_γ	2,326	1,960	1,645	1,282	1,0364	0,841 6	0,524 4

Annexe J (informative)

Exemples et références mathématiques relatifs aux plans d'essais à durée calendaire censurés

NOTE 1 Voir l'Article 9.

NOTE 2 Cette annexe utilise les symboles listés en 3.2.2.

J.1 Exemples

J.1.1 Exemple 1

Spécifié: Une entité non réparable a un MTTF = $m_0 = 2\,000$ h, correspondant à un taux de défaillance $\lambda_0 = \frac{1}{m_0} = 500 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1} = 4,4$ défauts par an.

Un nombre d'entité, n , est soumis à un essai à durée calendaire fixe $t_{\text{cal},t}^*$ pendant 500 h (3 semaines). Le fournisseur et le client acceptent $\alpha = \beta = 5\%$ et $D = 2$.

A déduire: p_0 , n , c et le temps d'essai final $t_{\text{cal},t}^*$.

Méthode: D'après 9.4, $p_0 = 1 - \exp\left(\frac{-t_{\text{cal},t}^*}{m_0}\right) = 1 - \exp\left(\frac{-500}{2\,000}\right) = 0,221$. Cette valeur n'est pas indiquée dans la CEI 61123, il faut donc ajuster $t_{\text{cal},t}^*$, en utilisant la Formule (2) donnée en 9.4.1 avec $p_0 = 0,20$: $t_{\text{cal},t}^* = -m_0 \ln(1 - p_0) = 446$ h.

Dans le Tableau 2 de la CEI 61123:1991, le plan d'essai suivant est trouvé pour $q_0 = 0,80$ ou $p_0 = 0,2$; $\alpha = \beta = 5\%$; $D = 2$:

$$n = 60 \text{ avec } c = 17$$

Le temps d'essai déterminé final $t_{\text{cal},t}^* = 446$ h est proche du temps spécifié de 500 h.

J.1.2 Exemple 2

Spécifié: Les mêmes données que celles de l'exemple 1, excepté le fait que le nombre maximal disponible d'entités est $n = 210$ et que le temps d'essai doit être déterminé.

A déduire: p_0 , n final, c et $t_{\text{cal},t}^*$

Méthode: Dans le Tableau 2 de la CEI 61123:1991, le plan d'essais suivant est trouvé pour $\alpha = \beta = 5\%$; $D = 2$ et n inférieur et proche du temps spécifié 210:

$$n = 203 \text{ avec } c = 20 \text{ et } q_0 = 0,93 \text{ correspondant à } p_0 = 1 - q_0 = 0,07.$$

A l'aide de l'Equation (2) de 9.4.1, le temps d'essai à durée calendaire fixe est défini comme suit:

$$t_{\text{cal},t}^* = -m_0 \ln(1 - p_0) = -2\,000 \ln(0,93) = 145 \text{ h.}$$

J.2 Base mathématique

La Formule (1) donnée en 9.4.1 correspond à la fiabilité $R(t) = 1 - p_0 = \exp\left(\frac{-t}{m_0}\right)$ pour une distribution exponentielle du rapport temps/défaillance et de distribution moyenne égale à m_0 . Lorsque $t_{\text{cal},t}$ est le temps calendaire, alors $R(t_{\text{cal},t}) = 1 - p_0 = \exp\left(\frac{-t_{\text{cal},t}}{m_0}\right)$. Dans les cas où le nombre d'entités défaillantes est petit par rapport au nombre d'entités soumises à l'essai, à savoir $\frac{r}{n} < 0,1$, les méthodes indiquées à l'Article 8 peuvent être employées.

Annexe K (informative)

Déduction et référence mathématique pour les plans d'essais optimisés de GOST R 27 402

K.1 Symboles

NOTE La terminologie dans l'Annexe K est différente de la terminologie listée en 3.2.2.

A	paramètre de fonctionnement
a_k	nombre du point intérieur minimal dans la section k
B	paramètre de fonctionnement
b_k	nombre du point intérieur maximal dans la section k
i	indice de sommation dans la section k
j	nombre de la section horizontale (pour les points de la limite d'acceptation), $j = 0, 1, \dots, R - 1$
k	nombre de la section verticale, $k = 1, 2, \dots, s$
l ou l	nombre de la section horizontale (pour les points intérieurs)
m	indice de sommation dans la section ($k + 1$)
P_a	probabilité d'acceptation (courbe OC)
P_j	probabilité de passer par un point de la limite d'acceptation
$Q_i^{(k)}$	probabilité pour qu'une des lignes F traverse la limite de rejet de tous les points intérieurs du plan
q_i	probabilité de passer par un point intérieur
$q_l^{(k)}$	probabilités du passage des lignes F par tous les points de la limite d'acceptation
R	nombre maximal des défaillances (rejets) (paramètre de fonctionnement)
s	variable de sommation
T	MTTF ou MTBF inconnue
T_i	abscisse des points d'intersection des lignes verticales avec les limites d'acceptation et les lignes horizontales
T_{\max}	temps d'essai maximal (paramètre de fonctionnement)
T_β	valeur non acceptable (de rejet) spécifiée de T
T_α	valeur acceptable spécifiée de T
T_e^*	temps d'essai moyen (espérance mathématique) au moment de la décision d'acceptation ou de rejet
$T_e^*(+)$	temps d'essai moyen (espérance mathématique) au moment de la décision d'acceptation
t_k	temps d'essai à la section k
$t_1 \ t_k \ t_s$	abscisse des points d'intersection des lignes verticales avec les limites d'acceptation et de rejet et les lignes horizontales

α	risque fournisseur nominal (risque de type I)
α_1	risque fournisseur vrai
β	risque client nominal (risque de type II)
β_1	risque client vrai
λ	taux de défaillance inconnu
$\tilde{\Delta}_{k+1,i}$	temps d'essai moyen (espérance mathématique) à partir de i horizontal de la section k à la limite de rejet pendant l'intervalle de temps Δ_{k+1}
Δ_k	k -th intervalle de temps d'essai $\Delta_k = t_k - t_{k-1}$
$\tau_1 \tau_j$	abscisse des points d'intersection des lignes verticales avec les limites d'acceptation et les lignes horizontales (temps d'essai au moment de la décision d'acceptation avec j défaillances)
τ_{R-1}	

K.2 Types de plan d'essais et terminologie

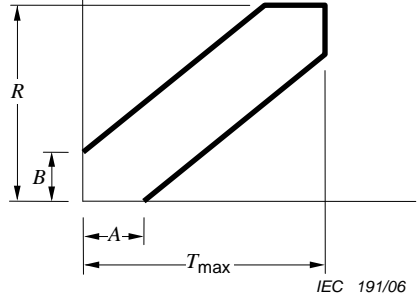
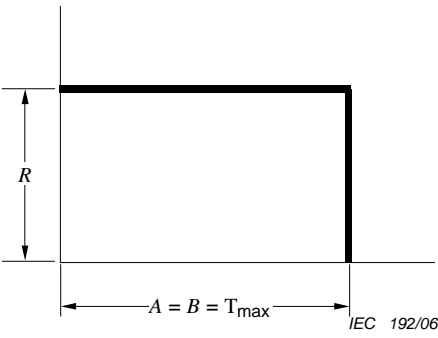
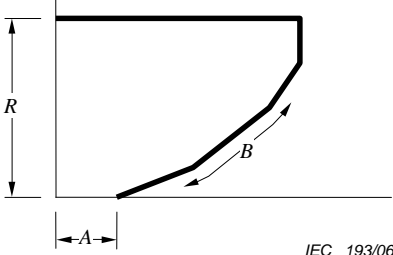
	<p>Plan d'essais progressif (T/S) La figure illustre les paramètres de fonctionnement d'un plan d'essai T/S (A, B, R, T_{\max}).</p> <p>Ces plans d'essais se trouvent dans le Tableau 2 et dans les Annexes A et D</p>
	<p>Plan d'essais censuré (T/F) La figure illustre les paramètres de fonctionnement d'un plan T/F (A et R).</p> <p>Ces plans d'essais peuvent être trouvés dans le Tableau 3 et l'Annexe B</p>
	<p>Plan d'essais combiné de la GOST R 27.402 La figure illustre les paramètres de fonctionnement d'un plan d'essais combiné (A, B, R). Le paramètre de fonctionnement B génère une modification progressive de la limite d'acceptation et n'a aucun analogue graphique.</p> <p>Ces plans d'essais se trouvent à l'Annexe D</p>

Figure K.1 – Types de plan d'essais et terminologie

K.3 Introduction générale

Dans ces plans, la caractéristique est fonctionnement sont:

$$P_a = \sum_{j=0}^{R-1} p_j \tag{K.1}$$

et les risques sont:

$$\alpha = 1 - P_a(T_\alpha) = 1 - \sum_{j=0}^{R-1} p_j(T_\alpha) \tag{K.2}$$

et

$$\beta = P_a(T_\beta) = \sum_{j=0}^{R-1} p_j(T_\beta) \tag{K.3}$$

Les valeurs du temps d'essai moyen au moment de la décision d'acceptation T_e^* (+) aux points concernés T (par exemple $T = T_\alpha$ et $T = T_\beta$) sont calculées en utilisant la formule suivante:

$$T_e^*(+) = \frac{\sum_{j=0}^{R-1} \tau_j p_j}{\sum_{j=1}^{R-1} p_j} \tag{K.4}$$

Les valeurs du temps d'essai moyen T_e^* aux points concernés T (par exemple $T = T_\alpha$ et $T = T_\beta$) sont calculées en utilisant la formule suivante:

$$T_e^* = \sum_{j=0}^{R-1} p_j \tau_j + \sum_{k=1}^{s-1} \sum_{i=a_k}^{b_k} q_i^{(k)} Q_i^{(k)} \left\{ t_k + \underbrace{\frac{b_{k+1}-i+1}{\lambda Q_i^{(k)}} \left[1 - e^{-\lambda \Delta_{k+1}} \sum_{m=0}^{b_{k+1}-i+1} \frac{(\lambda \Delta_{k+1})^m}{m!} \right]}_{\tilde{\Delta}_{k+1,i}} \right\} \tag{K.5}$$

où

$$Q_i^{(k)} = 1 - e^{-\lambda \Delta_{k+1}} \sum_{m=0}^{b_{k+1}-i} \frac{(\lambda \Delta_{k+1})^m}{m!}$$

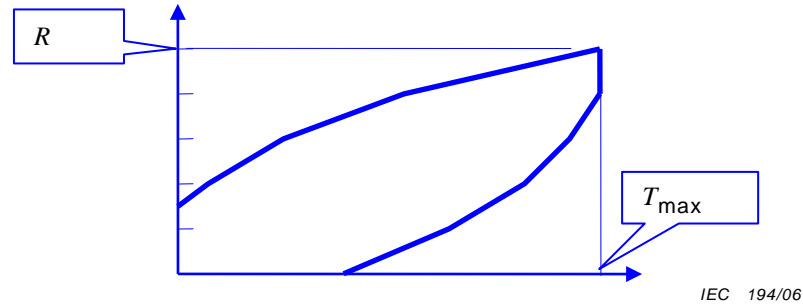
K.4 Méthode utilisée pour développer des plans d'essais optimisés

Les plans d'essais de l'Annexe D sont issus de la GOST R 27 402 contenant la plupart de ces types de plans d'essais.

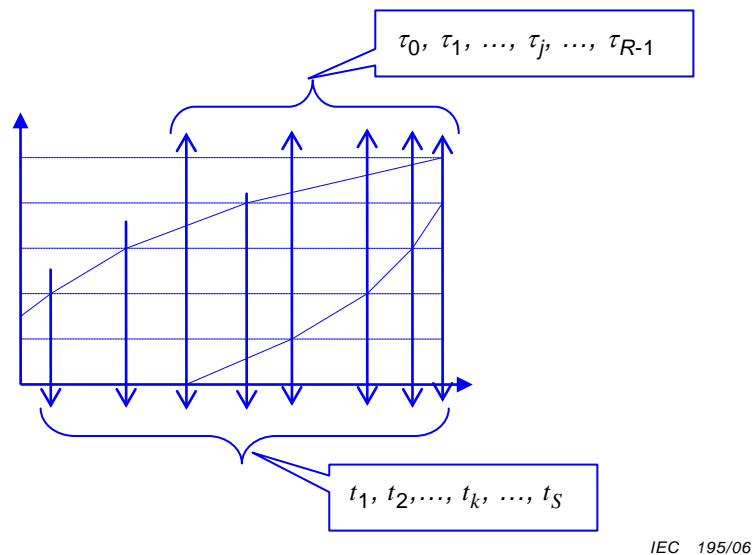
Les plans d'essais ont été développés en utilisant la méthode itérative qui suit.

Etape 1 (Préambule et préparation)

Un graphe de forme usuelle comportant des limites d'acceptation et de rejet choisi arbitrairement, où R est le nombre maximal de défaillances entraînant le rejet et où T_{\max} est la durée maximale d'essai, et dont les caractéristiques du plan d'essais doivent être calculées.

**Figure K.2 – Principe des plans d'essais**

- a) Les points d'intersection des lignes verticales avec les limites d'acceptation et de rejet et les lignes horizontales sont t . Les points d'intersection des lignes verticales avec les limites d'acceptation et les lignes horizontales sont τ .

**Figure K.3 – Découpage du graphique correspondant au plan d'essais**

- b) Les lignes verticales et horizontales ont une intersection aux points blancs dans la zone de poursuite d'essai. Lorsque les points où les lignes d'acceptation et de rejet ont une ligne intersection, ils sont noirs. Pour calculer les caractéristiques du plan d'essais, il suffit de considérer les points noirs. Toutes les lignes possibles de réalisation de défaillance (lignes F) entre deux points de sections adjacentes sont indiquées par une flèche comme illustré à la Figure K.5:

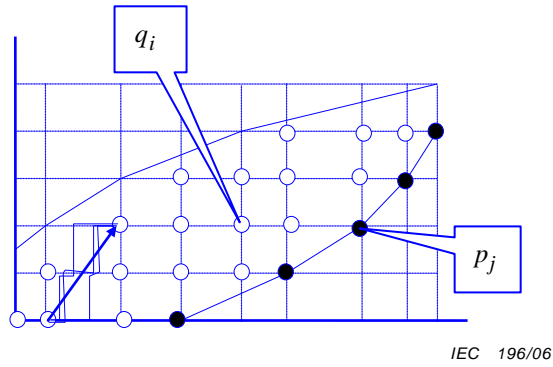


Figure K.4 – Nœuds intérieurs et nœuds limites

- c) Les flèches indiquent toutes les translations possibles des lignes F vers des points intérieurs de la limite d'acceptation (voir Figure K.5):

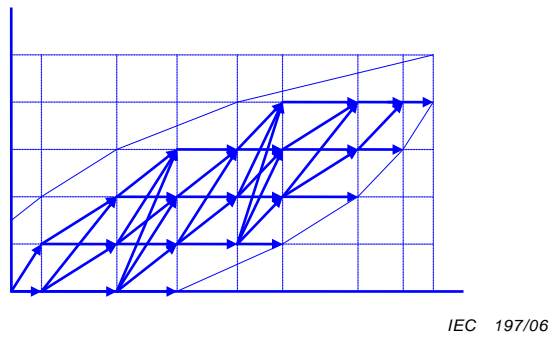


Figure K.5 – Chemins vers la ligne d'acceptation

- d) Les flèches indiquent toutes les translations possibles des lignes F vers des points intérieurs de la limite de rejet.

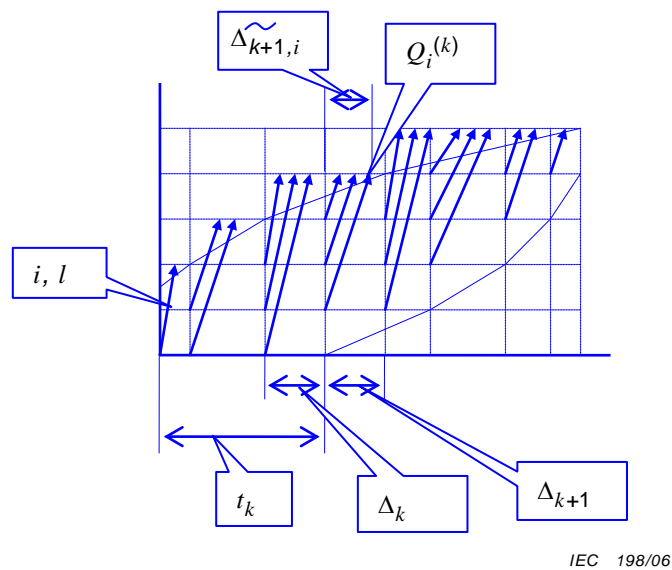


Figure K.6 – Chemins vers la ligne de rejet

Etape 2

Choisir les valeurs requises des données initiales: D , α et β .

Etape 3

Choisir le type de plan par exemple plan d'essais progressifs (voir Figure K.1).

Etape 4

Déterminer les valeurs initiales des paramètres de fonctionnement A , B , R , T_{\max} pour le premier plan. Les valeurs initiales de A et B sont calculées à l'aide des formules d'Abraham Wald (E.7) et (E.8). Les valeurs initiales R et T_{\max} sont calculées de la même façon que le plan T/F . En conséquence, les limites du plan coïncident avec les limites des plans séquentiels tronqués (voir l'Annexe A). Ceci est utilisé comme point de départ pour développer les plans d'essais de l'Annexe D.

Etape 5

Calculer:

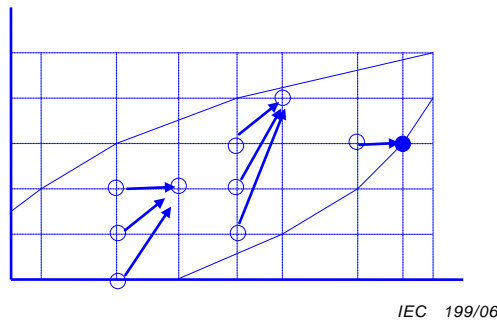
- a) probabilités du passage des lignes F par tous les points internes (q) du plan en utilisant la Formule (K.6):

$$q_l^{(k)} = e^{-\lambda\Delta_k} \sum_{i=a_{k-1}}^{\min(l, b_{k-1})} q_i^{(k-1)} \frac{(\lambda\Delta_k)^{l-i}}{(l-i)!} \quad (\text{K.6})$$

probabilités du passage des lignes F par tous les points de la limite d'acceptation (p) du plan en utilisant la Formule (K.7):

$$p_j \equiv q_{l=a_{k-1}}^{(k)} = q_{a_{k-1}}^{(k-1)} e^{-\lambda\Delta_k} \quad (\text{K.7})$$

La Formule (K.7) est un cas spécial de la Formule (K.6) pour $i = l$.



IEC 199/06

Figure K.7 – Probabilités de transfert de chemins entre les nœuds

Les probabilités q , p et $Q_i^{(k)}$; $\tilde{\Delta}_{k+1,i}$, T_e^* , $T_e^*(+)$, sont déterminées en fonction de la valeur inconnue T .

Les Formules (K.6) et (K.7) sont récurrentes (identiques aux autres points du plan). Les calculs sous cette formule sont effectués pour chaque point de manière continue sur les sections verticales et de bas en haut (il est possible de procéder de haut en bas, mais avec moins de facilité).

- b) valeurs de la caractéristique d'exploitation P_a comprenant les risques vrais, alpha et bêta sont calculées en utilisant la Formule (K.8):

$$P_a = \sum_{j=0}^{R-1} p_j \quad (K.8)$$

Notamment

$$\alpha = 1 - P_a(T_\alpha) = 1 - \sum_{j=0}^{R-1} p_j(T_\alpha) \quad (K.9)$$

$$\beta = P_a(T_\beta) = \sum_{j=0}^{R-1} p_j(T_\beta) \quad (K.10)$$

- c) les valeurs du temps d'essai moyen $T_e^*(+)$ aux points concernés T (par exemple $T = T_\alpha$ et $T = T_\beta$) sont calculées en utilisant la Formule (K.11):

$$T_e^*(+) = \frac{\sum_{j=0}^{R-1} \tau_j p_j}{\sum_{j=1}^{R-1} p_j} \quad (K.11)$$

- d) les valeurs du temps d'essai moyen T_e^* aux points concernés T (par exemple $T = T_\alpha$ et $T = T_\beta$) sont calculées en utilisant la Formule (K.12):

$$T_e^* = \sum_{j=0}^{R-1} p_j \tau_j + \sum_{k=1}^{s-1} \sum_{i=\alpha_k}^{b_k} q_i^{(k)} Q_i^{(k)} \left\{ t_k + \frac{b_{k+1} - i + 1}{\lambda Q_i^{(k)}} \left[1 - e^{-\lambda \Delta_{k+1}} \sum_{m=0}^{b_{k+1} - i + 1} (\lambda \Delta_{k+1})^m / m! \right] \right\} \quad (K.12)$$

où

$$Q_i^{(k)} = 1 - e^{-\lambda \Delta_{k+1}} \sum_{m=0}^{b_{k+1} - i} \frac{(\lambda \Delta_{k+1})^m}{m!}$$

Les valeurs initiales de paramètre pour $k = 0$: $t_0 = 0$, $q_0^{(0)} = 1$, $q_i^{(0)} = 0$

Les probabilités $Q_i^{(k)}$ d'une sortie des lignes F le long de la limite de rejet formée par tous les points internes du plan et les temps d'essai moyens correspondants $\tilde{\Delta}_{k+1,i}$ dans l'intervalle Δ_{k+1} sont illustrés à la Figure K.6.

Dans l'Annexe D, les valeurs de ces caractéristiques sont calculées en 15 points y compris $T = T_\alpha$.

Le résultat de ce calcul est un plan pour lequel les valeurs α_1 et β_1 ne coïncident pas avec les valeurs nominales α et β , et la valeur T_e^* et/ou $T_e^*(+)$ n'est pas la plus petite valeur possible.

Etape 6

Sélectionner de nouvelles valeurs des paramètres de fonctionnement A et B pour les limites inclinées du plan et calculer un autre plan avec d'autres valeurs α_1 et β_1 .

Etape 7

Répéter la méthode de l'étape 6 jusqu'à ce que les valeurs vraies des risques coïncident avec les valeurs nominales $\alpha_1 = \alpha$ et $\beta_1 = \beta$ avec la précision requise.

NOTE Les risques des plans sont donnés à 4 décimales en Annexe D et calculés à 6 décimales à l'aide d'un ordinateur.

Le plan qui en résulte est précis. Cependant il ne s'agit pas encore du plan optimal.

Etape 8

Modifier la valeur du paramètre de fonctionnement T_{\max} et, si nécessaire, R , et répéter les étapes 6 et 7 et calculer un autre plan précis pour une autre valeur de T_e^* .

NOTE Le nombre de plans d'essais précis pour différentes valeurs de T_e^* est infini.

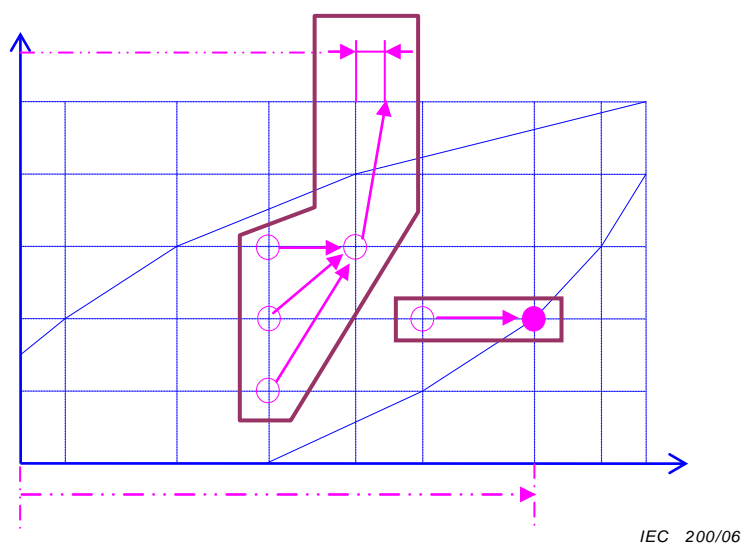
Etape 9

Répéter les étapes 6 à 8 jusqu'à ce que le plan correspondant à la plus petite valeur possible T_e^* ou $T_e^*(+)$ se situe dans les limites autorisées et ait la précision requise.

NOTE 1 Les valeurs des caractéristiques T_e^* et $T_e^*(+)$ des plans sont donnés à 4 décimales en Annexe D et calculés à 6 décimales à l'aide d'un ordinateur.

Un plan de ce type est précis et optimal.

NOTE 2 Les formules récursives dans une forme pleine (par exemple l'Equation K.12)), sont souvent compliquées. Elles sont illustratives mais pas conviviales. Si l'utilisateur souhaite effectuer les calculs manuellement, il convient de "morceler la formule", d'attribuer un élément récurrent et de l'utiliser pour les calculs à tous les points du plan. Le programme informatique utilise également un élément récurrent.



IEC 200/06

NOTE Voir la NOTE 2 de l'étape 9 ci-dessus.

Figure K.8 – L'élément récurrent – Deux cas

Bibliographie

- [1] GOST R 27.402, *Dependability techniques – Compliance test plans for mean operating time to failure or between failures – Part 1: Exponential case*
 - [2] MIL-HDBK-781 *Handbook for Reliability Test Methods, Plans and Environments for Engineering development, Qualification and Production*
 - [3] CEI 60605-7:1978, *Essai de fiabilité des équipements – Plans d'échantillonnage pour confirmer le taux de défaillance et la moyenne des temps de bon fonctionnement dans l'hypothèse d'un taux de défaillance constant*
(rétirée)
 - [4] WALD, A. *Sequential Analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1947
 - [5] EPSTEIN, B. and SOBEL, M. *Sequential life tests in the Exponential case*, *Annals of Mathematical Statistics*, Volume 26, 1955, pp. 82-93
 - [6] KAPUR, K.C. and LAMBERTSON, L.R. *Reliability in Engineering Design*, John Wiley & Sons, New York, Santa Barbara, London, Sydney, Toronto, 1977.
 - [7] KECECIOGLU, D. *Reliability and Life Testing Handbook*, PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
 - [8] GHOSH, B.K. and SEN, P.K. *Handbook of Sequential Analysis*, Marcel Dekker, Inc, New York.
 - [9] M. ABRAMOVITZ and STEGUN, I.A., *Handbook of Mathematical Functions*, National Bureau of Standards, 1964. Dover Publications Inc. New York 1974
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch