

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61751

Première édition
First edition
1998-02

**Modules laser utilisés pour
les télécommunications –
Evaluation de la fiabilité**

**Laser modules used
for telecommunication –
Reliability assessment**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61751:1998

Numéros des publications

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

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

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

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

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

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

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

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

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

IEC publications prepared by the same technical committee

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

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
61751

Première édition
First edition
1998-02

**Modules laser utilisés pour
les télécommunications –
Evaluation de la fiabilité**

**Laser modules used
for telecommunication –
Reliability assessment**

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives.....	8
3 Termes et définitions.....	10
4 Fiabilité du laser et procédure d'assurance de la qualité	10
4.1 Démonstration de la qualité du produit.....	10
4.2 Responsabilités des essais	12
4.3 Programmes d'amélioration de la qualité (QIP)	12
5 Essais.....	14
5.1 Associabilité.....	14
5.2 Vieillessement artificiel et sélection (s'ils sont applicables dans la DS).....	14
6 Activités	22
6.1 Analyse des résultats de fiabilité	22
6.2 Visites techniques aux LMM	24
6.3 Changements au niveau de la conception/du processus	24
6.4 Livraisons	24
6.5 Documentation fournisseur.....	24
Annexe A (normative) Mécanismes de défaillance des diodes et modules laser.....	26
Annexe B (informative) Guide	40
Figures	
A.1 Non-linéarités au niveau des caractéristiques du courant laser.....	32
A.2 Courbe de taux de défaillance « en baignoire »	34
A.3 Exemple de tracé de défaillances cumulatives montrant une répartition log-normale du taux de défaillance du laser	34
A.4 Taux de défaillance calculé pour des composants présentant une répartition log-normale des durées de vie, avec une durée de vie moyenne de 10^6 h et une répartition dans un intervalle de 0,5 à 2,0	36
A.5 Coupe transversale d'un module laser type montrant des composants clé.....	36
A.6 Coupe transversale d'un module laser type à hétérostructure enterrée (monté côté substrat)	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	11
4 Laser reliability and quality assurance procedure	11
4.1 Demonstration of product quality	11
4.2 Testing responsibilities	13
4.3 Quality Improvement Programmes (QIPs)	13
5 Tests	15
5.1 Structural similarity	15
5.2 Burn-in and screening (when applicable in the DS)	15
6 Activities	23
6.1 Analysis of reliability results	23
6.2 Technical visits to LMMs	25
6.3 Design/process changes	25
6.4 Deliveries	25
6.5 Supplier documentation	25
Annex A (normative) Laser diode and laser module failure mechanisms	27
Annex B (informative) Guide	41
Figures	
A.1 Non-linearities in laser-current characteristics	33
A.2 "Bathtub" failure rate curve	35
A.3 Example of cumulative failure plot showing log-normal distribution of laser failure rate	35
A.4 Calculated failure rates for components having a log-normal lifetime distribution, with a median life of 10^6 h and dispersion in the range 0,5 to 2,0	37
A.5 Cross-section through a typical laser module showing key components	37
A.6 Cross-section through a typical buried heterostructure laser (bonded junction side up)	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MODULES LASER UTILISÉS POUR LES TÉLÉCOMMUNICATIONS – Evaluation de la fiabilité

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61751 a été établie par le sous-comité 47C: Dispositifs optoélectroniques, d'affichage et d'imagerie, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le domaine de la présente norme est désormais placé sous la responsabilité du comité d'études 86: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86/115/FDIS	86/116/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.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

L'annexe B est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LASER MODULES USED FOR TELECOMMUNICATION – Reliability assessment

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61751 has been prepared by subcommittee 47C: Optoelectronic, display and imaging devices, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

The field of this standard will henceforth be placed under the responsibility of IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

FDIS	Report on voting
86/115/FDIS	86/116/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.

Annex A forms an integral part of this standard.

Annex B is for information only.

INTRODUCTION

Les modules laser couverts par la présente Norme internationale sont achetés par un fournisseur du système (SS), pour être insérés dans un matériel, lui-même fourni/vendu à un opérateur de systèmes (SO), par exemple les PTT nationaux ou un exploitant du réseau (voir définitions à l'article 3).

Pour que l'opérateur du système se comporte en acheteur averti, une connaissance des risques potentiels posés par l'utilisation de composants critiques est nécessaire.

Les techniques relatives aux composants optoélectroniques sont en constante évolution. Par conséquent, au cours des phases de développement des produits, de nombreux mécanismes de défaillance ont été identifiés au sein des modules laser. Ces mécanismes de défaillance, s'ils ne sont pas détectés, pourraient occasionner des durées de vie très courtes au niveau de l'utilisation du système.

INTRODUCTION

The laser modules covered by this International Standard are purchased by a system supplier (SS) to be inserted in equipments which in turn are supplied/sold to a system operator (SO), for example a national PTT or a network operator (see definitions in clause 3).

For the system operator to act as an informed buyer, a knowledge of the potential risks posed by the use of critical components is required.

Optoelectronic component technology is continuing to develop. Consequently, during product development phases, many failure mechanisms in laser modules have been identified. These failure mechanisms, if undetected, could result in very short laser lifetime in system use.

MODULES LASER UTILISÉS POUR LES TÉLÉCOMMUNICATIONS – Evaluation de la fiabilité

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique à l'évaluation de la fiabilité des modules laser utilisés pour les télécommunications.

Elle a pour objet:

- d'établir une méthode normalisée permettant d'évaluer la fiabilité des modules laser afin de minimiser les risques et de favoriser le développement et la fiabilité du produit;
- d'établir les moyens permettant de déterminer la répartition des défaillances au fil du temps. Il convient que les taux de défaillance du matériel pour des critères de fin de vie spécifiés puissent ainsi être déterminés.

En outre, elle fournit des lignes directrices concernant:

- l'exécution des essais qui incombent au fournisseur du système avant l'acquisition de modules auprès d'un fabricant de modules laser;
- une gamme d'activités attendue de la part d'un fournisseur du système, permettant de vérifier les déclarations de fiabilité d'un fabricant de modules laser.

Les annexes A et B fournissent des détails supplémentaires concernant la justification.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60068-2-1:1990, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais. Essais A: Froid*

CEI 60068-2-14:1984, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais. Essais N: Variations de température*

CEI 60747-1:1996, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs discrets et circuits intégrés, Partie 1: Généralités*
Amendement 3 (1996)

CEI 60747-12-2:1995, *Dispositifs à semiconducteurs – Partie 12: Dispositifs optoélectronique – Section 2: Spécification particulière cadre des modules diodes laser avec une fibre amorce pour systèmes ou sous-systèmes à fibres optiques*

CEI 60749:1996, *Dispositifs à semiconducteurs – Essais mécaniques et climatiques*

ISO 9000: *Normes pour le management de la qualité et l'assurance de la qualité*

MIL-STD-883:1985, *Test methods and Procedures for Microelectronics*

LASER MODULES USED FOR TELECOMMUNICATION – Reliability assessment

1 Scope

This International Standard deals with reliability assessment of laser modules used for telecommunication.

The aim of this standard is:

- to establish a standard method of assessing the reliability of laser modules in order to minimize risks and to promote product development and reliability;
- to establish means by which the distribution of failures with time can be determined. This should enable the determination of equipment failure rates for specified end of life criteria.

In addition, guidance is given on:

- the testing that a system supplier should ensure is in a place prior to procurement of a laser module from a laser module manufacturer;
- a range of activities expected of a system supplier to verify a laser module manufacturer's reliability claims.

Further details concerning the rationale are given in annexes A and B.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60068-2-1:1990, *Environmental testing – Part 2: Tests. Tests A: Cold*

IEC 60068-2-14:1984, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test N: Change of temperature*

IEC 60747-1:1996, *Semiconductor devices – Discrete devices and integrated circuits – Part 1: General*
Amendment 3 (1996)

IEC 60747-12-2:1995, *Semiconductor devices – Part 12: Optoelectronic devices – Section 2: Blank detail specification for laser diode modules with pigtail for fibre optic systems and sub-systems*

IEC 60749:1996, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods*

ISO 9000: *Quality management and quality assurance standards*

MIL-STD-883:1985, *Test methods and Procedures for Microelectronics*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent:

module laser

ensemble complet comprenant une diode laser et une photodiode

NOTE – Il est permis que le module inclue aussi un refroidisseur et un capteur de température permettant de contrôler et de surveiller la température du laser. La sortie optique se fait normalement par une fibre amorce.

support

substrat sur lequel il est permis de monter une diode laser ou une photodiode en vue de l'assemblage dans le module laser

NOTE – Les composants, sur les supports, sont également soumis à un essai de qualification.

fabricant de modules laser (LMM)

fabricant de modules laser fournissant des dispositifs répondant aux prescriptions de la spécification particulière (DS) correspondante et aux prescriptions de fiabilité du client

fournisseur du système (SS)

fabricant de matériel de transmission de données/télécommunications comprenant des lasers à semi-conducteurs optoélectroniques, c'est-à-dire client de modules laser

opérateur du système (SO)

exploitant de réseau utilisant un matériel de transmission de données/télécommunications comprenant des lasers à semi-conducteurs optoélectroniques au niveau du trajet de transmission

NOTE – Il est permis que le système s'intègre dans d'autres systèmes plus étendus, par exemple les télécommunications, les transports ferroviaires, les véhicules routiers, l'aérospatiale ou l'armement.

composants pour agrément savoir-faire (CQC)

composants sélectionnés pour représenter les étapes critiques du processus et les caractéristiques restrictives propres à la conception mécanique et électro-optique

Il convient que ces composants servent à identifier les mécanismes de défaillance du produit final permettant de déterminer les énergies d'activation.

4 Fiabilité du laser et procédure d'assurance de la qualité

4.1 Démonstration de la qualité du produit

La présente norme (quand elle est prescrite par la spécification particulière (DS)) indique les prescriptions obligatoires minimales et s'intègre dans une procédure de fiabilité totale du laser et d'assurance de la qualité adoptée par le fabricant du module laser.

Elle donne les lignes directives concernant les activités du fournisseur du système et de l'opérateur du système ainsi que la réaction au niveau de la performance de champ vis-à-vis du fabricant de module laser et du fournisseur du système.

3 Terms and definitions

For the purpose of this International Standard the following definitions apply:

laser module

a packaged assembly containing a laser diode and photodiode

NOTE – The module may also include a cooler and temperature sensor to enable laser temperature to be controlled and monitored. The optical output is normally via an optical fibre pigtail.

submount

a substrate upon which a laser diode or photodiode may be mounted for assembly into the laser module

NOTE – Components on submounts are also subject to qualification testing.

laser module manufacturer (LMM)

a manufacturer of laser modules who provides devices meeting the requirements of the relevant detail specification (DS) and the customer's reliability requirements

system supplier (SS)

a manufacturer of telecommunications/data transmission equipment containing optoelectronic semiconductor lasers, i.e. laser module customer

system operator (SO)

a network operator of telecommunications/data transmission equipment containing optoelectronic semiconductor lasers in the transmission path

NOTE – The system may also be part of other more extensive systems, for example telecommunications, rail, road vehicles, aerospace or weapons.

capability qualifying components (CQC)

components selected to represent critical stages of the process and limiting or boundary characteristics of mechanical and electro-optic design

Such components should aid the identification of end product failure mechanisms to enable the determination of activation energies.

4 Laser reliability and quality assurance procedure

4.1 Demonstration of product quality

This standard (where required by the detail specification (DS)) gives the minimum mandatory requirements and is part of a total laser reliability and quality assurance procedure adopted by the laser module manufacture.

It gives guidance on the activities of the system supplier, and the system operator as well as feedback of field performance, the laser module manufacturer and the system supplier.

Moyennant une homologation de dispositifs, un agrément de technologie ou un agrément de savoir-faire du processus de fabrication, le fabricant de modules laser doit être capable de présenter:

- a) un processus de fabrication documenté et audité comprenant la qualification de composants achetés conformément à l'ISO 9000;
- b) un programme de qualification de performance, comprenant par exemple, les essais de vie accélérée, le vieillissement artificiel et la sélection de composants et de modules;
- c) un programme de maintien de la qualification permettant d'assurer la continuité de la performance de fiabilité;
- d) une procédure permettant de renvoyer les problèmes de fiabilité au niveau du développement et de la production.

Il existe en outre de nombreux éléments qui constituent un programme complet d'assurance de la fiabilité (voir annexe B).

4.2 Responsabilités des essais

Il faut que les essais détaillés dans les tableaux 1a et 1b soient réalisés par le fabricant de modules laser et par les fournisseurs de composants (le cas échéant). Des essais supplémentaires sont susceptibles d'être spécifiés dans la spécification particulière (DS).

4.2.1 Recommandation (applicable au client du laser/fournisseur du système)

Il est recommandé que le fournisseur du système ait un programme permettant l'analyser et la vérification des résultats, y compris l'analyse des défaillances. Ce programme comprend un essai d'endurance indépendant réalisé sur des modules laser prêts à être utilisés, voir tableau 1b, essais 2 et/ou essai 3 et/ou essai 5 (taille de l'échantillon >10 par essai).

4.2.2 Recommandation (applicable à l'opérateur du système)

Il est recommandé que l'opérateur du système ait un programme permettant de contrôler et de signaler les taux de défaillance de champs avec suffisamment de détails pour permettre au fournisseur du système ainsi qu'au fabricant de modules laser de lancer les actions correctives éventuellement nécessaires à un stade précoce de la durée de vie d'un produit.

Il est admis que les fournisseurs aient des approches différentes (au niveau des concepts de fiabilité) au cours du développement de la maturité du produit et que des limitations des ressources dictent les stratégies d'essai.

Il est permis de pratiquer des essais et des activités différents de ceux spécifiés à condition que les LMM/SS/SO puissent démontrer leur intention de supprimer les défaillances du produit final et les mécanismes de défaillance associés. Cependant, des données significatives seront nécessaires pour justifier la conformité.

4.3 Programmes d'amélioration de la qualité (QIP)

Les programmes d'amélioration de la qualité (QIP) doivent être lancés par les fournisseurs et les clients des composants (SO, SS et LMM) afin de faire face aux non-conformités (y compris les problèmes de qualité et de fiabilité identifiés lors de la durée d'utilisation ultérieure du laser). La correction des non-conformités et le QIP résultant constituent une stratégie nécessaire pour minimiser les risques concernant la fiabilité. Il convient d'indiquer le déroulement des QIP dans les documents génériques d'agrément de la qualité et les documents d'agrément de savoir-faire.

The laser module manufacturer shall be able to demonstrate, by means of qualification approval of devices, technology approval or capability approval of the manufacturing process:

- a) a documented and audited manufacturing process including the qualification of purchased components in accordance with ISO 9000;
- b) a performance qualification programme, including for example, accelerated life testing, burn-in and screening of components and modules;
- c) a qualification maintenance programme to ensure continuity of reliability performance;
- d) a procedure to feedback reliability issues to development and production.

In addition, there are many elements which make up a comprehensive reliability assurance programme (see annex B).

4.2 Testing responsibilities

The testing detailed in tables 1a and 1b is to be performed by the laser module manufacturer and component suppliers (where applicable). Additional testing may be specified in the DS.

4.2.1 Recommendation (applicable to laser customer/system supplier)

The system supplier is recommended to have a programme to analyse and verify the results including failure analysis. This programme includes an independent life test of fully packaged laser modules, see table 1b test 2 and/or test 3 and/or test 5 (sample size >10 per test).

4.2.2 Recommendation applicable to system operator

The system operator is recommended to have a programme to monitor and report field failure rates in sufficient detail to enable system supplier and laser module manufacturer to initiate any necessary corrective actions at an early stage in the lifetime of a product.

Suppliers may have different approaches (i.e. to reliability concepts) during the development of product maturity and resource limitations may dictate testing strategies.

Alternative tests and activities to those specified are permitted provided the LMM/SS/SO can show intent to remove end-product failures and the associated failure mechanisms. However, this will require significant data to substantiate compliance.

4.3 Quality improvement programmes (QIPs)

Quality improvement programmes (QIPs) shall be initiated with component suppliers and customers (SOs, SSs and LMMs) to address non-compliances (including quality and reliability problems identified during subsequent service life of the laser). The correction of non-compliances and subsequent QIPs are a required strategy to minimize reliability risks. The operation of QIPs should be stated in the quality approval (QA) generic and capability approval documents.

5 Essais

Les essais décrits dans les tableaux 1a et 1b sont conçus pour accélérer les principaux mécanismes de défaillance connus pour représenter des risques au niveau de la fiabilité des modules laser, (voir annexe B). Le cas échéant, le CQC doit démontrer une aptitude à réduire les mécanismes de défaillance du produit final. La validation du produit final est nécessaire pour prouver que les CQC fonctionnent dans les limites du processus et de la technologie. Ces essais réduiront le risque que représentent des composants non fiables pénétrant dans le système et permettront de faire des estimations au niveau de la répartition des durées de vie du laser et par conséquent des taux de défaillance du laser.

La taille de l'échantillon et le niveau d'essai sont susceptibles de varier en fonction du volume d'affaires entre le client du laser ou le fournisseur du système (SS) et le fabricant de modules laser (LMM). Ces informations seront indiqués dans le document d'agrément de savoir-faire (CA) et la spécification particulière (DS) le cas échéant.

NOTE – Il est primordial que les lasers évalués soient entièrement représentatifs des dispositifs de production normalisés et qu'ils aient subi toutes les procédures de production et/ou de vieillissement artificiel et sélection spécifiées (si elles s'appliquent dans la DS).

Tableau 1a – Qualification initiale

Ces essais seront normalement réalisés par le fabricant du laser comme partie intégrante d'un programme de qualification initial.

Tableau 1b – Maintien de la qualification

Ces essais couvrent la surveillance périodique exercée sur les dispositifs de production afin d'assurer le maintien ou l'amélioration de la qualité et des performances de fiabilité établies au cours de la qualification initiale.

5.1 Associabilité

Quand une gamme de modules laser est produite par un fabricant de lasers, une associabilité significative est admise entre différents codes type. Une combinaison de résultats de différents programmes d'essai, le cas échéant, est par conséquent autorisée.

Il convient de prendre en compte le fait que des différences mineures au niveau des techniques ou du traitement peuvent avoir un impact majeur sur la fiabilité, alors que ce fait n'est pas apparent au cours de l'évaluation de la qualité.

Des preuves doivent être présentées, démontrant que tous les résultats sont directement applicables.

5.2 Vieillissement artificiel et sélection (s'ils sont applicables dans la DS)

Voir B.1.13 de l'annexe B.

5 Tests

The tests described in tables 1a and 1b are designed to accelerate the main failure mechanisms known to be reliability hazards in laser modules (see annex B). Where appropriate, the CQC shall demonstrate an ability to reduce end product failure mechanisms. Final product validation is required to demonstrate that CQCs are operating at the boundaries of the process or technology. These tests will reduce the risk of unreliable components entering system use and will enable estimates to be made of the distribution of laser lifetimes and hence the laser failure rates.

The sample size and level of testing may vary depending on the business volume between the laser customer/system supplier (SS) and laser module manufacturer (LMM). This information will be given in the capability approval (CA) document and DS where appropriate.

NOTE – It is essential that the lasers evaluated are entirely representative of standard production devices, and have passed all the production and/or specified (where applicable in the DS) burn-in and screening procedures.

Table 1a – Initial qualification

These tests will normally be performed by the laser manufacturer as part of an initial qualification programme.

Table 1b – Maintenance of qualification

These tests cover periodic monitoring performed on production devices to ensure that the quality and reliability performance established during initial qualification is maintained or improved.

5.1 Structural similarity

Where a range of laser modules is produced by a laser manufacturer, there may be some significant structural similarity between different type codes. A combination of results from different test programmes, where appropriate, is therefore permitted.

Consideration should be given to the fact that minor differences in technology or processing can have a major impact on reliability, whilst not being apparent during quality assessment.

Evidence shall be presented which demonstrates that all results are directly relevant.

5.2 Burn-in and screening (when applicable in the DS)

See B.1.13 of annex B.

Tableau 1 – Essais relatifs à la qualification

Tableau 1a – Qualifications initiales (voir notes concernant les symboles)

Essai n°	Essai	Références CEI	Conditions	n
1	Essais initiaux d'endurance du:			
1.1	a) Module avec refroidisseur thermo-électrique	60747-12-2, article 8	Φ_e spécifié, puissance constante Température: $T_c = T_{op\ max}$ $T_s = T_{s\ nom}$ Durée**: 5 000 h	25
1.2	b) Module sans refroidisseur thermo-électrique	60747-12-2, article 8	Φ_e spécifié, puissance constante Température: $T_c = T_{op\ max}$ Durée**: 5 000 h	25
NOTE – Les résultats des essais ci-dessus doivent être complétés par un essai réalisé indépendamment par le client du laser/SS sur les modules prêts à l'utilisation conformément à l'essai 2 et/ou 3 du tableau 1b (taille de l'échantillon ≥ 10 par essai), voir également 4.2.				
1.3	Diode laser (support)	60747-12-2, article 8	Température: au moins deux températures d'essai: Φ_e spécifié, puissance constante	200
1.3.1			$T_{s1} = T_s\ max$	Voir DS
1.3.2			$T_{s2} = < T_{s1} - 20\ ^\circ C$ Durée: >5 000 h	Voir DS
1.4	Photodiode (d'une série représentative)	60747-12-2, article 8	Température: au moins deux températures d'essai: V_f ou I_f spécifié	200
1.4.1			$T_{s1} = 125\ ^\circ C\ min.*$	Voir DS
1.4.2			$T_{s2} = < (T_{s1} - 30\ ^\circ C)$ Durée: >1 000 h	Voir DS
1.5	Température élevée stockage du refroidisseur thermo-électrique		$T = T_{stg\ max}$ du refroidisseur Durée: 1 000 h Voir tableaux B.1 et B.7	25
1.5.1	Essais de cycle de puissance dispositifs refroidis		Nombre de cycles: 20 K $T_c = T_{op\ max}$ $T_s = T_c$ à $(T_c - \Delta T_{max})$	
1.6	Température élevée stockage du capteur thermique		$T = T_{stg\ max}$ du capteur Voir tableaux B.1 et B.7	25
* Ou selon les limites techniques.				
** A condition que les données relatives à la répartition de la période de défaillance par usure soient réunies avec une précision suffisante. Un agrément provisoire pour l'expédition du produit doit être accordé après 2 000 h. Il est recommandé de poursuivre l'essai jusqu'à ce qu'une extrapolation précise de la durée de vie soit possible avec une limite supérieure de 10 000 h. Des durées atteignant 5 000 h sont susceptibles d'être nécessaires pour prévoir avec précision la durée de vie.				

Table 1 – Qualification testing**Table 1a – Initial qualifications (see notes for symbols)**

Test No.	Test	IEC references	Conditions	n
1	Initial endurance tests of:			
1.1	a) Module with thermoelectric cooler	60747-12-2, clause 8	Φ_e specified, constant power Temperature: $T_c = T_{op\ max}$ $T_s = T_{s\ nom}$ Duration**: 5 000 h	25
1.2	b) Module without thermoelectric cooler	60747-12-2, clause 8	Φ_e specified, constant power Temperature: $T_c = T_{op\ max}$ Duration**: 5 000 h	25
NOTE – Results from the above tests shall be supplemented by a laser customer/SS independent test of fully packaged modules in accordance with table 1b test 2 and/or test 3 (sample size ≥ 10 per test) see also 4.2.				
1.3	Laser diode (submount)	60747-12-2, clause 8	Temperature: at least two test temperatures: Φ_e specified, constant power	200
1.3.1			$T_{s1} = T_{s\ max}$	See DS
1.3.2			$T_{s2} = < T_{s1} - 20\ ^\circ\text{C}$ Duration: >5 000 h	See DS
1.4	Photodiode (in representative package)	60747-12-2, clause 8	Temperature: at least two test temperatures: V_r or I_r specified	200
1.4.1			$T_{s1} = 125\ ^\circ\text{C min.}^*$	See DS
1.4.2			$T_{s2} = < (T_{s1} - 30\ ^\circ\text{C})$ Duration: >1 000 h	See DS
1.5	High temperature storage of the thermoelectric cooler		$T = T_{stg\ max}$ of the cooler Duration: 1 000 h See tables B.1 and B.7	25
1.5.1	Power cycle tests cooled devices		Number of cycles: 20 K $T_c = T_{op\ max}$ $T_s = T_c$ to $(T_c - \Delta T_{max})$	
1.6	High temperature storage of the thermal sensor		$T = T_{stg\ max}$ of the sensor See tables B.1 and B.7	25
* Or as limited by technology.				
** Provided data about the distribution of wear-out lifetime is accumulated with sufficient accuracy. Provisional approval for product shipment shall be granted at 2 000 h. It is also recommended to continue the test until accurate extrapolation of lifetime is possible with an upper limit of 10 000 h. Durations up to 5 000 h may be needed for accurate lifetime prediction.				

Tableau 1a (fin)

Essai n°	Essai	Références CEI	Conditions	n
1.8	Essai de résistance de la fibre		Essai de résistance voir DS Durée voir DS Rayon de courbure min. voir DS	10
1.9	Conservation de la fibre		Force = 10 N min.	10
3	Variations rapides de température Etanchéité	60749, chap. 3 Essai Qk suivi de l'essai Qc	Température: $T_A = T_{stg \text{ min}}$ $T_B = T_{stg \text{ max}}$ Nombre de cycles = 50 Nombre de cycles = 500 Voir notes	10
4	Chocs et vibrations	60749, chap. 2	Voir DS	10
5	Stockage à haute température (non applicable si essai d'endurance du module réalisé à température de boîtier et support équivalente)	60749, chap. 3	Température: $T = T_{stg \text{ max}}$ Durée: >2 000 h Voir tableau B.9	10
6	ESDS, modules a) Lasers b) Photodiodes	60747-1, amend. 3 équivalent	Voir B.1.11	5 par plaquette
7	Analyse des gaz résiduels		Voir B.1.12	6
8	Stockage à basse température	60068-2-1	$T = T_{stg \text{ min}}$ Durée: >1 000 h Voir B.1.4	10

Table 1a (concluded)

Test No.	Test	IEC references	Conditions	<i>n</i>
1.8	Fibre proof test		Proof test see DS Duration see DS Min. bend radius see DS	10
1.9	Fibre retention		Force = 10 N min.	10
3	Rapid change of temperature Sealing	60749, chap. 3 Test Qk followed by test Qc	Temperature: $T_A = T_{\text{stg min}}$ $T_B = T_{\text{stg max}}$ Number of cycles = 50 Number of cycles = 500 See notes	10
4	Shock and vibration	60749, chap. 2	See DS	10
5	High temperature storage (not applicable if module life test performed at equivalent case temperature and submount temperature)	60749, chap. 3	Temperature: $T = T_{\text{stg max}}$ Duration: >2 000 h See table B.9	10
6	ESDS, modules a) Lasers b) Photodiodes	60747-1, amend. 3 equivalent	See B.1.11	5 per wafer
7	Residual gas analysis		See B.1.12	6
8	Low temperature storage	60068-2-1	$T = T_{\text{stg min}}$ Duration: >1 000 h See B.1.4	10

Tableau 1b – Maintien de la qualification

Essai n°	Essai	Références CEI	Conditions	n	p
2	Essai de fiabilité continue a) Module (refroidi) b) Module (non refroidi) c) Diode laser (support) d) Photodiode	60747-12-2, article 8	Essai périodique: Essai 1.1 Essai 1.2 Essai 1.3 Essai 1.4	Voir notes 10 10 25 * 25 *	6
NOTE – Il faut que les résultats des essais ci-dessus soient complétés par un essai réalisé indépendamment par le client du laser/SS sur les modules prêts à l'utilisation conformément à l'essai 2 et/ou 3 et/ou 5 du tableau 1b (taille de l'échantillon ≥10 par essai). Voir également 4.2.					
3	Cyclage de température Etanchéité	60749, chap. 3 Essai Qk suivi de l'essai Qc	Température: $T_A = T_{stg\ min}$ $T_B = T_{stg\ max}$ Essai périodique: nombre de cycles = 200 (voir notes) Voir notes	10	6
4	Chocs et vibrations	60749, chap. 2	Voir DS Essai périodique: voir notes	10	12
5	Stockage à haute température (non applicable si essai d'endurance du module réalisé à température de boîtier et support équivalente)	60749, chap. 3	Température: $T = T_{stg\ max}$ Durée: >2 000 h Essai périodique: voir notes et article B.2, tableau B.9	10	12
6	ESDS, modules a) Lasers b) Photodiodes	60747-1, amend. 3 MIL-STD-883, Méthode 3015	Essai périodique: voir notes B.1.11	5 par plaquette	
7	Analyse des gaz résiduels		Essai périodique: voir notes et B.1.12	Voir DS	6
* Parmi différentes plaquettes.					

Symboles littéraux relatifs aux tableaux 1a et 1b

T_A : température minimale de stockage

T_B : température maximale de stockage

T_C : température du boîtier du module

T_S : température du support

$T_{s\ nom}$: température recommandée du support

$T_{op\ min}$: température minimale de fonctionnement du module

$T_{op\ max}$: température maximale de fonctionnement du module

$T_{stg\ min}$: température minimale de stockage du module

$T_{stg\ max}$: température maximale de stockage du module

p : périodicité (en mois)

n : taille de l'échantillon

Table 1b – Maintenance of qualification

Test No.	Test	IEC references	Conditions	<i>n</i>	<i>p</i>
2	Ongoing reliability test a) Module (cooled) b) Module (uncooled) c) Laser diode (submount) d) Photodiode	60747-12-2, clause 8	Periodic testing: Test 1.1 Test 1.2 Test 1.3 Test 1.4	See notes 10 10 25 * 25 *	6
NOTE – Results shall be supplemented by a laser customer/system supplier (SS) independent test of fully packaged modules in accordance with table 1b, test 2 and/or test 3 and/or test 5 (sample size ≥ 10 per test). See also 4.2.					
3	Temperature cycling Sealing	60749, chap. 3 Test Qk followed by test Qc	Temperature: $T_A = T_{\text{stg min}}$ $T_B = T_{\text{stg max}}$ Periodic testing: Number of cycles = 200 (see notes) See notes	10	6
4	Shock and vibration	60749, chap. 2	See DS Periodic testing: see notes	10	12
5	High temperature storage (not applicable if module life test performed at equivalent case temperature and submount temperature)	60749, chap. 3	Temperature: $T = T_{\text{stg max}}$ Duration: >2 000 h Periodic testing: see notes and clause B.2, table B.9	10	12
6	ESDS, modules a) Lasers b) Photodiodes	60747-1, amend. 3 MIL-STD-883, Method 3015	Periodic testing: see notes and B.1.11	5 per wafer	
7	Residual gas analysis		Periodic testing: see notes and B.1.12	See DS	6
* Out of different wafers.					

Letter symbols for tables 1a and 1b

- T_A : minimum storage temperature
 T_B : maximum storage temperature
 T_C : module case temperature
 T_S : submount temperature
 $T_{S \text{ nom}}$: recommended submount temperature
 $T_{\text{op min}}$: module minimum operating temperature
 $T_{\text{op max}}$: module maximum operating temperature
 $T_{\text{stg min}}$: module minimum storage temperature
 $T_{\text{stg max}}$: module maximum storage temperature
p: periodicity (in months)
n: sample size

6 Activités

6.1 Analyse des résultats de fiabilité

Le client du module laser/fournisseur du système (SS) doit avoir un programme permettant d'analyser et de vérifier les déclarations de fiabilité d'un fabricant de modules laser. En particulier:

- les données relatives à l'essai d'endurance concernant le module laser complet;
- les données relatives à l'essai d'endurance concernant les composants initiaux, par exemple une diode laser ou une photodiode;
- le résultat des essais d'ambiance, c'est-à-dire prescriptions de contrôle, Groupe B, C de la DS;
- le cas échéant, voir article 5, données et résultats d'essai des CQC correspondants.

Il convient que l'analyse des résultats donne lieu à une indication des paramètres de fiabilité des modules laser pour chaque type de module laser. Les paramètres minimaux de fiabilité sont présentés comme dans le tableau 2.

Tableau 2 – Règles de présentation des paramètres de fiabilité du module laser

Paramètres	Valeur mesurée
Vie moyenne (ML) @ 25 °C: voir note 3	Années
Dispersion(s)	
Taux de défaillance par usure à 5 ans (λ) ₅ à 10 ans (λ) ₁₀ à 20 ans (λ) ₂₀	FITS FITS FITS
Energie d'activation usure (E_a)	eV
Taux de défaillance aléatoire (λ_a) @ 25 °C: voir note 3 Limites de fiabilité utilisées:	FITS %
Energie d'activation défaillance aléatoire (E_a)	eV
<p>NOTE 1 – Ce tableau présuppose une répartition log-normale des durées de défaillance. Le paramètre de dispersion représente l'écart standard du logarithme à la base «e» des durées de défaillance. Voir B.3.2a, de l'annexe B.</p> <p>NOTE 2 – Quand les données révèlent plus d'un mécanisme d'usure, il faut indiquer la durée de vie moyenne et la dispersion dans chaque cas.</p> <p>NOTE 3 – La température de référence utilisée pour tous les paramètres de ce tableau est de 25 °C. Il est permis d'utiliser une température de référence différente (50 °C) à condition que les énergies d'activation soient indiquées.</p> <p>NOTE 4 – Les critères de défaillance utilisés pour dériver ces paramètres de fiabilité doivent faire l'objet d'un accord entre le client du laser/les fournisseurs du système (SS) et le fabricant de modules laser (LMM). Les critères seront établis dans la (DS), voir article B.2.</p> <p>NOTE 5 – Il convient de prêter une attention particulière à tous les modèles d'extrapolation utilisés et il faut mentionner la justification relative aux énergies d'activation employées dans les prédictions de fiabilité.</p> <p>Les lignes directives concernant ces activités sont données à l'annexe B.</p>	

6 Activities

6.1 Analysis of reliability results

The laser module customer/system supplier (SS) shall have a programme to analyse and verify a laser manufacturer's reliability claims. In particular:

- life test data for the complete laser module;
- life test data for initial components, for example laser diode and photodiode;
- environmental test result, i.e. inspection requirements group B, C of the DS;
- where appropriate, see clause 5, the data and test results of appropriate CQCs.

The analysis of results should lead to reporting of the laser module reliability parameters for each of the laser module types. Minimum reliability parameters are presented as in table 2.

Table 2 – Proforma for laser module reliability parameters

Parameter	Measured value
Median life (ML) @ 25 °C: see note 3	Years
Dispersion(s)	
Wear-out failure rate at 5 years (λ) ₅ at 10 years (λ) ₁₀ at 20 years (λ) ₂₀	FITS FITS FITS
Wear-out activation energy (E_a)	eV
Random failure rate (λ_a) @ 25 °C: see note 3 Confidence limits used:	FITS %
Random failure activation energy (E_a)	eV
<p>NOTE 1 – This table assumes a log-normal distribution of times to failure. The dispersion parameter is the standard deviation of the logarithm to the base 'e' of the times to failure. See B.3.2a of annex B.</p> <p>NOTE 2 – Where data reveals more than one wear-out mechanism, median life and dispersion in each case is to be stated.</p> <p>NOTE 3 – The reference temperature used for all parameters in this table is 25 °C. An alternative reference temperature (50 °C) may be used provided activation energies are given.</p> <p>NOTE 4 – The failure criteria used to derive these reliability parameters shall be agreed between the laser customer/system suppliers (SS) and laser module manufacturer (LMM). The criteria will be stated in the (DS), see clause B.2.</p> <p>NOTE 5 – Special attention should be paid to all extrapolation models used and the justification for activation energies employed in reliability predictions is to be stated.</p> <p>Guidance on these activities is given in annex B.</p>	

6.2 Visites techniques aux LMM

Les conceptions de modules laser sont en constante évolution et un LMM est susceptible d'introduire des changements significatifs réduisant la fiabilité. Après négociation entre le client et le fabricant, il convient d'effectuer des visites techniques jusqu'à ce qu'on puisse faire preuve d'une stabilité technologique et de production suffisante. Ces réunions/visites techniques doivent inclure à l'ordre du jour une question relative à la qualité et à la fiabilité. Quand un LMM détient un agrément de savoir-faire, il est permis de réduire la fréquence de ces visites techniques à condition que le fabricant puisse démontrer:

- a) que les CQC sont entièrement représentatifs des conceptions appropriées, des mises à jour de processus et des questions de fiabilité;
- b) un auto-contrôle satisfaisant du système qualité.

6.3 Changements au niveau de la conception/du processus

Le client/fournisseur du système (SS) doit être informé par le fabricant de modules laser (LMM) de tout changement au niveau de la conception ou du processus qui peut toucher la configuration, l'adaptation ou la fonction du produit final.

6.4 Livraisons

Les conceptions de modules laser vont poursuivre leur évolution et, par conséquent, chaque lot livré doit être fabriqué conformément à une technique et un processus de production établis.

Il convient que le fournisseur/et le client le vérifient avant la livraison.

6.5 Documentation fournisseur

Le client du laser/fournisseur du système (SS) et le fabricant de composants LMM doivent intégrer, dans la mesure du possible, les essais et activités décrits dans la présente norme à leur qualification de composant interne, ou le cas échéant, des procédures d'agrément de savoir-faire et des spécifications d'achat. Cette documentation sera utilisée dans les présentations techniques/de fiabilité, les soumissions d'offres, les dossiers marketing adressés aux clients.

6.2 Technical visits to LMMs

Laser module designs continue to evolve and a LMM may introduce significant changes which impinge on reliability. Under the negotiation between customer and manufacturer, technical visits should be performed until there is sufficient evidence of a maturing technology and production stability. These technical meetings/visits shall contain an item on the agenda that concerns quality and reliability. Where a LMM holds a capability approval, the frequency of these technical visits may be reduced provided the manufacturer can demonstrate:

- a) that the CQCs fully represent any relevant design, process updates and reliability issues;
- b) satisfactory self-audit of the quality system.

6.3 Design/process changes

The customer/system supplier (SS) shall be informed by the laser module manufacturer (LMM) of any design or process change which may affect the form, fit or function of the end product.

6.4 Deliveries

Laser module designs will continue to evolve and therefore each delivered lot shall be manufactured according to a stated technology and production process.

This should be verified by the supplier/ and customer before delivery.

6.5 Supplier documentation

The laser customer/system supplier (SS) and component manufacturer or LMM shall incorporate, wherever possible, the tests and activities described in this standard into their in-house component qualification, or where appropriate, capability approval procedures and purchasing specifications. This documentation will be used in reliability/technical presentations, tender submission, marketing briefs to customers.

Annexe A (normative)

Mécanismes de défaillance des diodes et modules laser

A.1 Introduction

Une grande partie des données de fiabilité publiées sur les lasers (et également des données de fiabilité des fabricants de laser) provient des essais d'endurance des puces laser fixées sur des supports ou des embases spéciales. Les résultats indiquent fréquemment une augmentation des courants de seuil ou de fonctionnement entraînant d'éventuelles défaillances. Cependant, d'autres caractéristiques du laser peuvent également se dégrader et il convient de les surveiller au cours des essais d'endurance, par exemple le spectre de sortie lumineuse.

Les émetteurs laser en pratique, tels qu'il sont utilisés dans les systèmes de transmission par fibres, contiennent plusieurs autres pièces ou composants importants également vulnérables aux défaillances. Par exemple, une puissance de sortie de fibre réduite, du fait de l'instabilité au niveau de l'alignement de la fibre et de la puce laser, constitue un mécanisme de défaillance important dans les modules laser. On dispose de moins d'informations sur la stabilité de la sortie des boîtiers de socles.

La figure A.5 fournit une vue schématique de la section transversale d'un module laser type, dans lequel la puce laser est montée sur un support dans un boîtier DIP (dual-in-line-package) possédant une fibre amorcée. La température du support laser est souvent contrôlée en utilisant un refroidisseur Peltier, une thermistance faisant fonction de capteur de température. Certains modules laser de rétro-action répartis, destinés à être utilisés dans des systèmes à fibres optiques à taux binaire élevé contiennent également des isolateurs optiques empêchant la puissance optique réfléchie de perturber le fonctionnement du laser. Des modules sophistiqués comprenant des circuits intégrés pour certaines fonctions de commande sont également disponibles.

A.2 Description des principaux mécanismes de défaillance affectant les diodes et les modules laser

A.2.1 Diodes laser

La figure A.6 fournit une vue transversale d'un laser type à hétérostructure enterrée InGaAsP/InP. Une large gamme de mécanismes de défaillance a été identifiée dans les diodes laser et associée aux défauts de matériau au niveau du matériau des semi-conducteurs, de la dégradation de facette, à la fois pour les métallisations côtés p et n et au niveau de la liaison avec le refroidisseur. Ces mécanismes de défaillance sont traités avec plus de détails ci-après.

a) Dégradation due à la croissance des défauts de matériau

Les défaillances rapides des premiers lasers avaient une raison commune: la croissance des défauts de lignes sombres (DLD) et de points sombres (DSD) – réseau de dislocations menant à des zones localisées de forte recombinaison non-radiative, et donc occasionnant une augmentation des courants de seuil ou même une perte complète de sortie lumineuse. Les défauts pouvaient apparaître comme des lignes ou des points sombres au travers d'un microscope électronique à balayage utilisant la luminescence cathodique ou le courant EBIC induit par le faisceau d'électrons. Ils représentaient un problème en particulier pour les premiers lasers GaAlAs (850 nm), dans lesquels ils s'associaient aux défauts traversant les couches épitaxiales à partir du substrat. La croissance des défauts est accélérée par la contrainte à l'intérieur du laser, causée par exemple par une métallisation. La pénétration de cuivre provenant du support laser a également montré qu'elle contribuait à la croissance des réseaux de défauts de points sombres. Dans les lasers 1 300 nm et 1 550 nm fabriqués à partir de InGaAsP/InP, des réseaux de dislocation peuvent se développer du fait du défaut de réseau entre le matériau quaternaire ou ternaire et le substrat de phosphure d'indium.

Annex A

(normative)

Laser diode and laser module failure mechanisms

A.1 Introduction

Much of the published laser reliability data (and also reliability data from laser manufacturers) is from the service life testing of laser chips bonded onto submounts or special headers. The results usually show increasing threshold or operating currents leading to eventual failure. However, other laser characteristics can also degrade and should be monitored during life testing, for example, light-output spectrum.

Practical laser transmitters, as used in fibre transmission systems, contain several other important piece parts and components which are also vulnerable to failure. For example, reduced fibre output power, due to instability in the fibre to laser chip alignment, is a significant failure mechanism in laser modules. Less information is available on the stability of the output from receptacle packages.

A schematic cross-section through a typical laser module is shown in figure A.5 in which the laser chip is mounted on a submount within a dual-in-line package with a fibre pigtail. The temperature of the laser submount is often controlled using a Peltier cooler, with a thermistor as a temperature sensor. Some distributed feedback laser modules for use in high bit-rate optical fibre systems also contain optical isolators to prevent reflected optical power from adversely affecting the laser operation. Advanced modules containing integrated circuits for some control functions are also available.

A.2 Description of the main failure mechanisms which affect laser diodes and laser modules

A.2.1 Laser diodes

A cross-section through a typical InGaAsP/InP buried heterostructure laser is shown in figure A.6. A wide range of failure mechanisms have been identified in laser diodes associated with material defects in the semiconductor material, facet degradation, both p and n-side metallizations and with the bond to the heatsink. These failure mechanisms are discussed in more detail below.

a) Degradation due to the growth of material defects

A common cause of rapid failure in early lasers was the growth of dark line defects (DLDs) and dark spot defects (DSDs) – network of dislocations leading to localized regions of strong non-radiative recombination, and hence increased threshold currents or even complete loss of light output. The defects could be observed as dark lines or spots when viewed in a scanning-electron-microscope using cathode-luminescence or electron-beam-induced current (EBIC). They were a particular problem in early GaAlAs (850 nm) lasers, in which they were associated with defects threading up through the epitaxial layers from the substrate. Defect growth is accelerated by stress within the laser, for example caused by bonding. Penetration of copper from the laser submount has also been seen to contribute to the growth of arrays of dark spot defects. In 1 300 nm and 1 550 nm lasers fabricated from InGaAsP/InP, dislocation networks can grow as a result of lattice mismatch between quaternary or ternary material and the indium phosphide substrate.

Des défaillances rapides dues aux DLD et DSD ont été en grande partie éliminées grâce à l'utilisation de substrats à faible densité de défauts et une croissance de matériau épitaxiale grandement améliorée. Une sélection rigoureuse par vieillissement artificiel peut éliminer efficacement tout laser individuel susceptible de subir encore ce problème. Bien que les défaillances rapides dues aux problèmes de matériaux aient été en grande partie éliminées, les lasers en général présentent encore une dégradation progressive à long terme dans des conditions de fonctionnement normales, donnant lieu à une lente augmentation du courant de seuil ou à une modification de l'efficacité. La manière dont la dégradation se produit dépend de la structure du laser, et le taux (et par là-même la durée de vie du laser) dépend fortement de la qualité de croissance du matériau et des variations de traitement d'un lot à l'autre.

Pour les lasers à hétérostructure enterrée (BH), les défauts ont tendance à croître le long des parois latérales de la couche active exposée au cours de la croissance des couches d'arrêt. Ces défauts provoquent une augmentation de la recombinaison non radiative et donc une augmentation du courant de seuil. L'efficacité de pente reste généralement inchangée (pour un courant donné). Deux étapes de dégradation ont été établies, une première étape rapide qui sature, suivie par un taux beaucoup plus faible de dégradation à long terme. Une courte période de contrainte de température et courant élevés, appliquée dans le cadre d'un vieillissement artificiel, va saturer la dégradation de la première étape. Il convient donc que l'utilisateur observe seulement l'augmentation progressive à long terme du courant de seuil ou de fonctionnement.

Pour les laser à guide d'ondes nervuré, la couche active n'est pas coupée en cours de traitement, et en conséquence les parois latérales ne sont pas exposées en cours de surcroissance. Les lasers à guide d'ondes nervuré ne présentent donc généralement pas de dégradation à deux étapes comme les lasers BH, mais tendent seulement à montrer une dégradation progressive après une période initiale de stabilisation.

La raison de l'augmentation progressive à long terme au niveau du courant de seuil, qui se poursuit après la saturation d'une première étape, n'est pas clairement comprise, mais on pense qu'elle est associée à l'accumulation ou la génération de défauts de point dans la région active, qui donne lieu à une augmentation de la recombinaison non radiative.

b) Fuite de la couche d'arrêt

On a remarqué qu'une augmentation des courants de fuite dans les couches d'arrêt des lasers à hétérostructure enterrée entraînait une augmentation des courants de seuil. Cependant, la dégradation des couches d'arrêt ne constitue pas un problème général.

c) Dégradation des facettes

Les facettes de laser sont vulnérables aux dommages destructifs dus aux transitoires de courant élevé, et on a remarqué que même de faibles dommages dus aux transitoires entraînaient une augmentation des taux de dégradation dans les lasers GaAIAs, et par là-même une réduction des durées de vie des laser. Les lasers InGaAsP sont généralement un peu moins sensibles aux dommages de face que les lasers GaAIAs. Les facettes de tous les types de lasers peuvent être endommagées par une manipulation en cours d'assemblage.

On a remarqué que l'oxydation de la facette, entraînant une augmentation des courants de seuil, constituait un problème pour les premiers lasers GaAIAs (850 nm), mais elle a pu être en grande partie supprimée grâce à l'utilisation de revêtements tels que l' Al_2O_3 .

Les lasers InGaAsP sont beaucoup moins vulnérables face à ce problème et, lors d'un fonctionnement normal, la dégradation de facette n'est généralement pas significative.

La contamination au sein d'un boîtier de laser peut entraîner la formation de contaminants (par exemple, carbone, chlore, cuivre) le long de la ligne de la zone active sur les facettes, et donc provoquer une réduction de la sortie lumineuse.

d) Métallisation et soudure du laser

L'augmentation de l'impédance thermique due à la formation de liaisons intermétalliques indium/or au niveau de la liaison de la puce laser représentait une cause commune de défaillance dans les premiers lasers GaAIAs. Elle était provoquée par l'utilisation de brasure d'indium avec un cristal métallisé or, ou avec des supports dorés. Ce problème peut être minimisé par un contrôle minutieux de l'épaisseur de la couche d'or, mais l'utilisation de lasers montés avec ce type de soudure à des températures supérieures à 50 °C reste risquée. La brasure d'indium n'est plus très couramment utilisée pour les lasers InGaAsP, mais elle est souvent requise pour les laser GaAIAs où une brasure à faible contrainte est essentielle.

Rapid failures due to DLDs and DSDs have largely been eliminated by the use of low-defect density substrates and greatly improved epitaxial material growth. A rigorous burn-in screen can effectively remove any individual lasers which may still suffer from this problem. Although rapid failures due to material problems have largely been eliminated, lasers in general still show gradual long-term degradation under normal operating conditions, leading to a slow rise in threshold current or change in efficiency. The manner in which degradation occurs is dependent on the laser structure, and the rate (and hence the laser lifetime) is very dependent on the quality of the material growth and on batch-to-batch processing variations.

In buried heterostructure (BH) lasers, defects tend to grow along the side walls of the active layer which are exposed during the growth of the blocking layers. These defects lead to increased non-radiative recombination and hence to an increase in threshold current. The slope efficiency is generally unchanged (at a given current). Two stages of degradation have been reported, a rapid first stage which saturates, followed by a much lower rate of long-term degradation. A short period of high temperature and current stress, applied as a burn-in, will saturate the first stage degradation. The user should therefore only observe the gradual long-term increase in threshold or operating current.

With ridge waveguide lasers the active layer is not cut during processing, with the result that side walls are not exposed during overgrowth. Ridge lasers do not in general therefore exhibit the two-stage degradation exhibited by BH lasers, but tend only to show gradual degradation after an initial settling down period.

The cause of the gradual long-term increase in threshold current, which continues after any first stage has saturated, is not clearly understood, but is thought to be associated with the accumulation or generation of point defects within the active region which give rise to increased non-radiative recombination.

b) Blocking layer leakage

Increased leakage currents in the blocking layers of buried heterostructure lasers have been reported leading to increased threshold currents. However, blocking layer degradation is not a general problem.

c) Facet degradation

Laser facets are vulnerable to catastrophic damage due to high-current transients, and even slight transient damage has been shown to lead to increased degradation rates in GaAlAs lasers, and hence reduced laser lifetimes. InGaAsP lasers are generally somewhat less sensitive to face damage than GaAlAs lasers. The facets of all types of lasers can be damaged by handling during assembly.

Oxidation of the facet, leading to increased threshold currents, was observed to be a problem in early GaAlAs (850 nm) lasers, but was largely suppressed by the use of coatings such as Al_2O_3 .

InGaAsP lasers are far less vulnerable to this problem and, under normal operation, facet degradation is generally insignificant.

Contamination within a laser package can lead to build-up of contaminants (for example carbon, chlorine, copper) along the line of the active region on the facets and hence to reduced light output.

d) Laser metallization and bonding

A common cause of failure in early GaAlAs lasers was increased thermal impedance due to the formation of indium/gold intermetallics in the laser die bond. This was due to the use of indium solder in conjunction with gold layer metallization or gold-plated submounts. This problem can be minimized by careful control of gold layer thickness, but operation of lasers with this bonding system at temperatures greater than 50 °C is still risky. Indium solder is no longer widely used for InGaAsP lasers, but is often required for GaAlAs lasers where a low-stress solder is essential.

Des défaillances de laser ont été observées du fait de la pénétration de métal dans la couche active, y compris l'or de la métallisation et les supports en cuivre. La présence de métaux d'arrêt efficaces est donc primordiale à la fois dans les lasers et les supports, par exemple du TiPtAu pour les métallisations de côté p et du NiAu pour les supports en cuivre.

Des défaillances soudaines de laser ont été observées du fait de court circuits ou de croissances de pointes de contact, mais elles peuvent être éliminées en faisant un choix correct de la brasure. L'AuSn (80:20), tout comme le PbSn peuvent fournir des liaisons fiables pour l'InGaAsP.

A.2.2 Photodiode de contrôle

Plusieurs types de photodiodes sont utilisés comme appareil de contrôle de facette arrière au niveau du module laser. Pour le fonctionnement en 850 nm, on utilise des photodétecteurs à diode PIN au silicium, et pour des longueurs d'ondes longues, on peut utiliser des détecteurs à diode PIN au germanium ou III-V. Il existe deux principaux types de photodiodes InGaAs/InP disponibles, possédant une structure méssa ou planar.

L'augmentation du courant (de fuite) d'obscurité constitue la cause dominante de défaillance dans les photodiodes. Les structures méssa, qui présentent une jonction P-N exposée en surface, sont particulièrement vulnérables à l'augmentation de la fuite en surface. Une amélioration de la stabilité de la diode PIN méssa peut être obtenue en utilisant une passivation organique, mais on obtient normalement une meilleure fiabilité avec des dispositifs planar.

A.2.3 Refroidisseur Peltier et thermistance

Les refroidisseurs Peltier sont construits à partir d'une série d'éléments p et n tirés au tellure de bismuth fixés par brasure sur des barres bus en cuivre en sandwich dans des plaques en céramique. Ces dispositifs sont relativement fragiles et vulnérables aux contraintes mécaniques résultant de leur montage dans le boîtier et du défaut de correspondance thermique avec d'autres matériaux du boîtier. La diffusion d'ions métalliques dans les éléments à partir de la brasure ou de la métallisation peut provoquer une perte d'efficacité de refroidissement, et des réactions métallurgiques au niveau des brasures peuvent entraîner un affaiblissement des joints et un craquèlement des éléments.

Des changements au niveau des thermistances peuvent intervenir du fait des réactions se déroulant dans la métallisation et la brasure. Une augmentation des courants d'attaque du laser suit alors tandis que le support laser est contrôlé à une température plus élevée que prévue.

A.2.4 Encapsulation et fibre optique

Un alignement critique est obligatoire entre l'extrémité de la fibre et la facette du laser afin de maintenir une sortie lumineuse constante à partir de la fibre amorcée. Pour les lasers couplés à des fibres monomodales, un alignement est obligatoire dans un intervalle de quelques dixièmes de micromètre, sauf si des lentilles sont utilisées pour réduire la tolérance d'alignement.

Certaines défaillances très prématurées ont été observées dans les essais d'endurance des modules laser du fait de l'instabilité de l'alignement de fibre et de la perte de sortie lumineuse de fibre en résultant. Des défaillances dues à une perte de sortie de fibre ont également été observées au cours des essais de cyclage de température. Un essai de cyclage de température peut aussi révéler une vulnérabilité aux ruptures de fibres dues à une contraction de la fibre amorcée. Comme pour d'autres boîtiers hermétiques, une atmosphère sèche à gaz inerte est nécessaire dans le boîtier afin d'éviter des problèmes tels que la corrosion de la métallisation. Par conséquent, des essais d'herméticité et d'analyse gazeuse sont requis. Une contamination, par exemple des résidus de chlore provenant de résidus de solvant, présente du fait d'un nettoyage inadéquat, peut exacerber les problèmes de corrosion.

Laser failures have been seen to be due to metal penetration into the active layer, including gold from metallization and copper submounts. Effective barrier metals are therefore essential in both lasers and submounts, for example TiPtAu for laser p-side metallizations, and NiAu for copper submounts.

Sudden laser failures have been observed because of short-circuits of whisker growth, but these can be eliminated by the corrected choice of solder. Both AuSn (80:20) and PbSn can give reliable bonds for InGaAsP.

A.2.2 Monitor photodiode

Several kinds of photodiode are used as back-facet monitors in the laser module. For 850 nm operation, silicon pin photodetectors are used, and for long wavelengths either Germanium or III-V pin detectors can be used. There are two-main types of InGaAs/InP photodiode available, having either a mesa or a planar structure.

The dominant cause of failure in photodiodes is increased dark (leakage) current. Mesa structures, which have an exposed p-n junction at the surface, are particularly vulnerable to increased surface leakage. An improvement in the stability of the mesa pin can be obtained by the use of an organic passivation, but the best reliability is normally achieved by planar devices.

A.2.3 Peltier cooler and thermistor

Peltier coolers are constructed from a series of p and n doped bismuth telluride elements soldered to copper bus-bars within a sandwich of ceramic plates. They are relatively fragile devices and vulnerable to mechanical stresses arising from mounting them within the package and from thermal mismatch with other package materials. Diffusion of metal ions into the elements from the solder or metallization can lead to loss of cooling efficiency, and metallurgical reactions in solders can lead to weakened joints and cracked elements.

Changes in the thermistor resistance can occur due to reactions within the metallization and solder. Increased laser drive currents then follow as the laser submount is controlled at a higher temperature than intended.

A.2.4 Packaging and optical fibre

A critical alignment is required between the fibre tip and laser facet in order to maintain a constant light output from the fibre pigtail. For lasers coupled to single-mode fibres, alignment is required to within a few tenths of a micrometer, unless lenses are used to reduce the alignment tolerance.

Some very early failures have been observed in laser module service life tests due to fibre alignment instability and consequent loss of fibre light output. Failures due to loss of fibre output have also been observed during temperature cycling testing. Temperature cycling testing can also reveal vulnerability to fibre breaks due to shrinkage of the fibre pigtail. As with other hermetic packages, a dry inert gas atmosphere is required within the package to avoid problems such as metallization corrosion. Therefore hermeticity and gas analysis testing are required. Contamination, for example residual chlorine from solvent residues, resulting from inadequate cleaning can exacerbate corrosion problems.

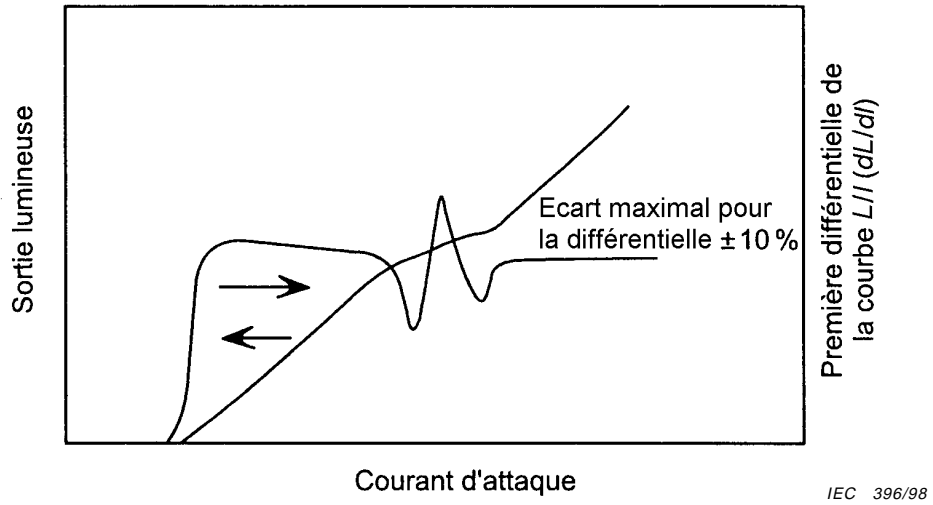


Figure A.1a – Non-linéarités de la courbe lumière-courant (L/I)

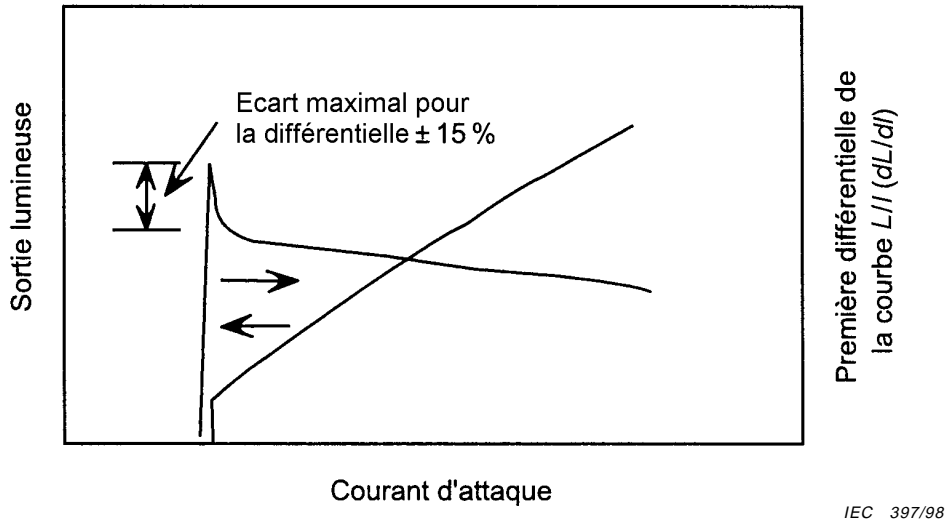
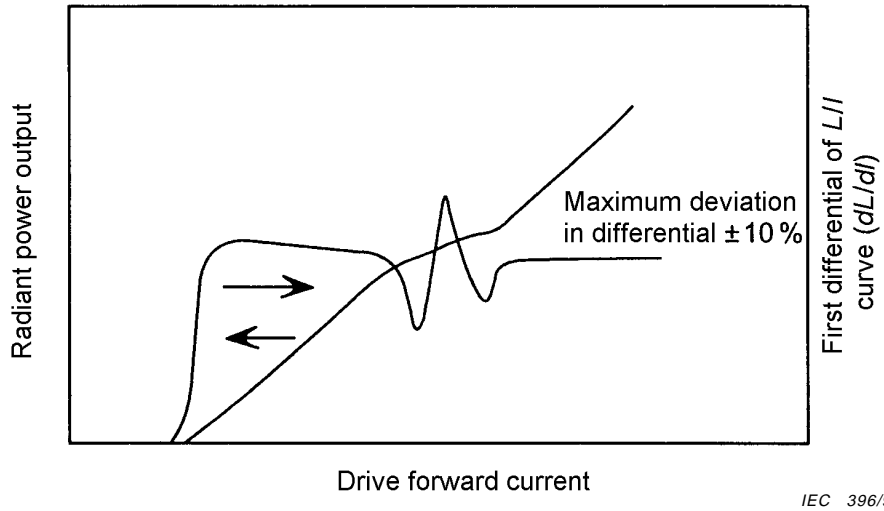


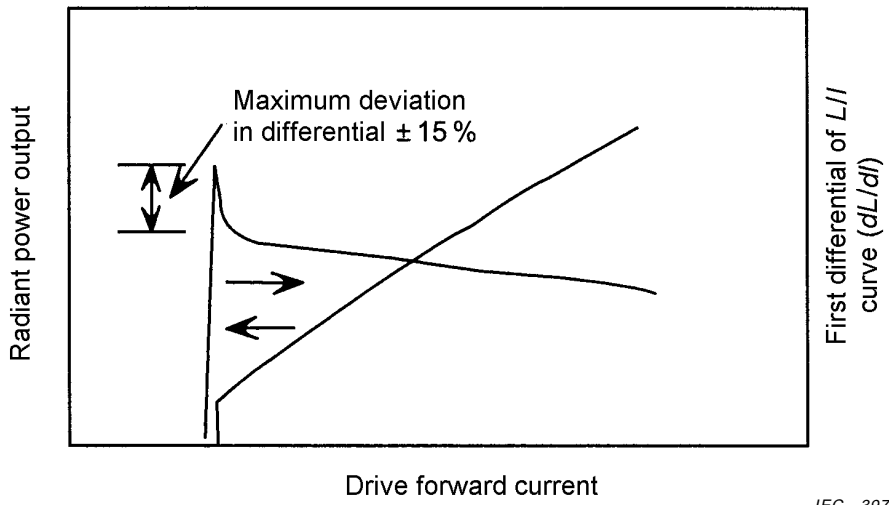
Figure A.1b – Non-linéarités au niveau des caractéristiques du courant laser

Figure A.1 – Non-linéarités au niveau des caractéristiques du courant laser



IEC 396/98

Figure A.1a – Kinks in radiant power – forward current (L/I) curve



IEC 397/98

Figure A.1b – Snap-on of radiant power output

Figure A.1 – Non-linearities in laser-current characteristics

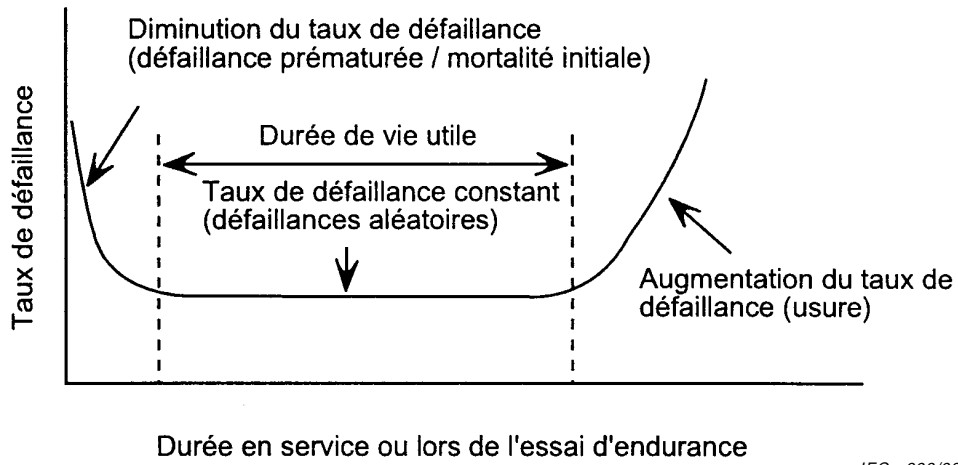


Figure A.2 – Courbe de taux de défaillance «en baignoire»

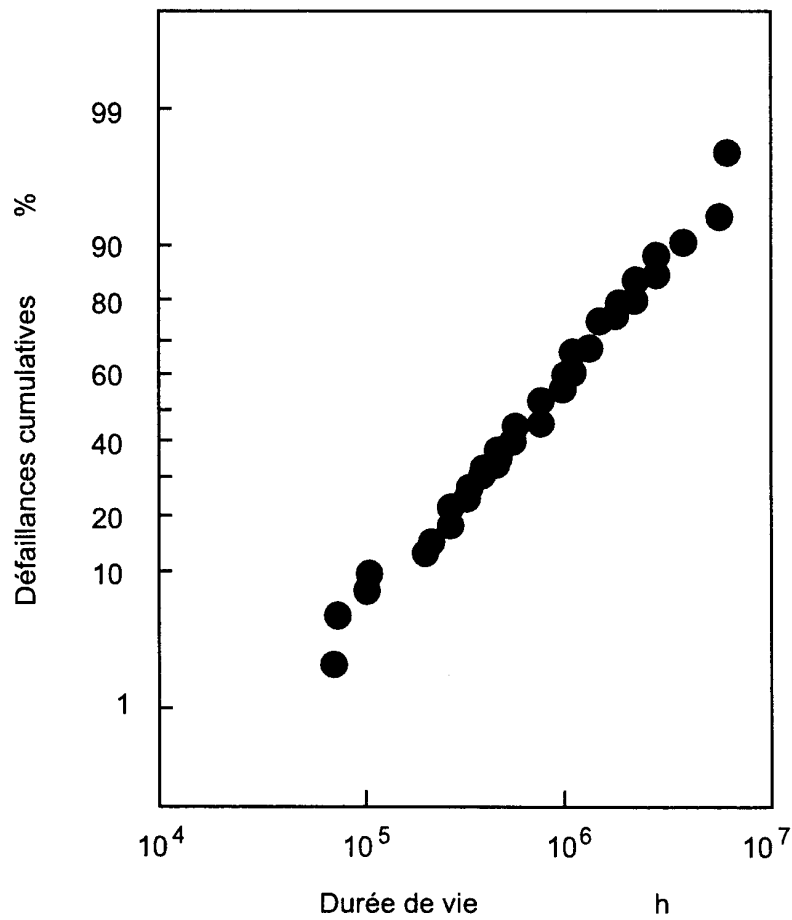
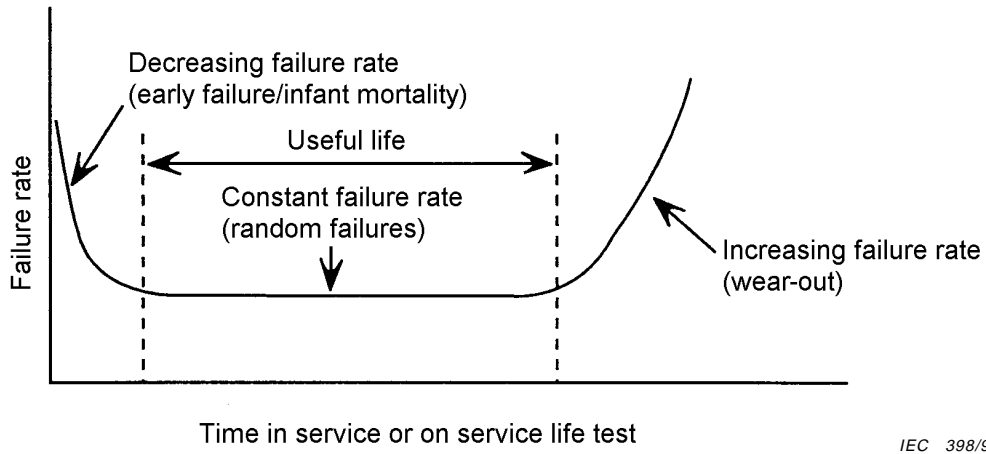
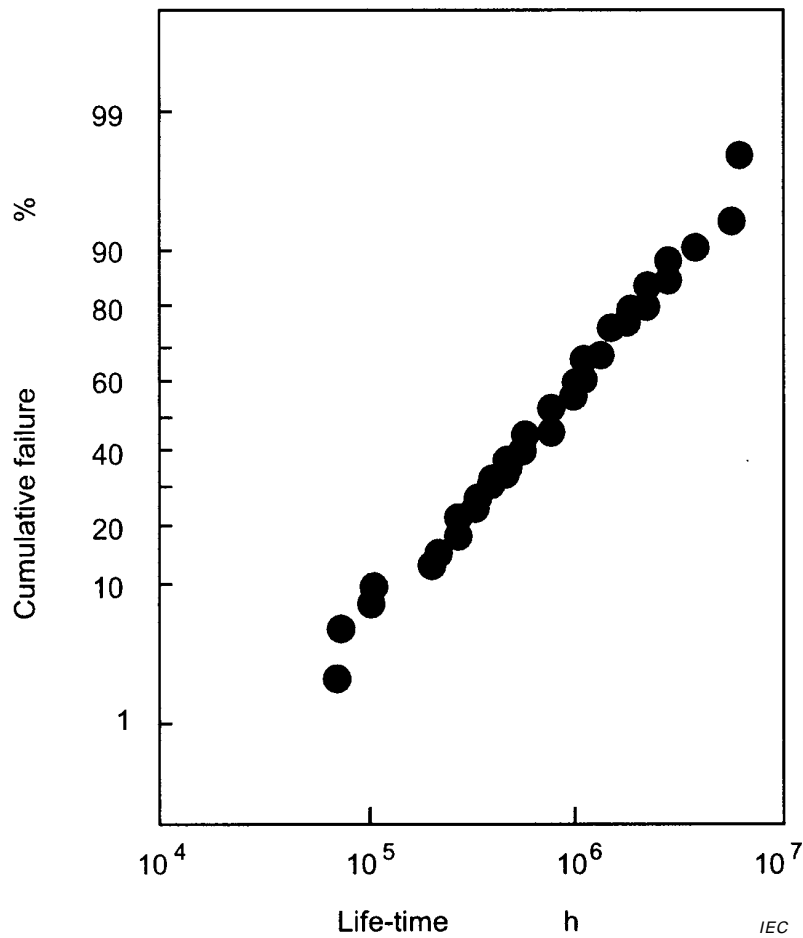


Figure A.3 – Exemple de tracé de défaillances cumulatives montrant une répartition log-normale du taux de défaillance du laser



IEC 398/98

Figure A.2 – “Bathtub” failure rate curve



IEC 399/98

Figure A.3 – Example of cumulative failure plot showing log-normal distribution of laser failure rate

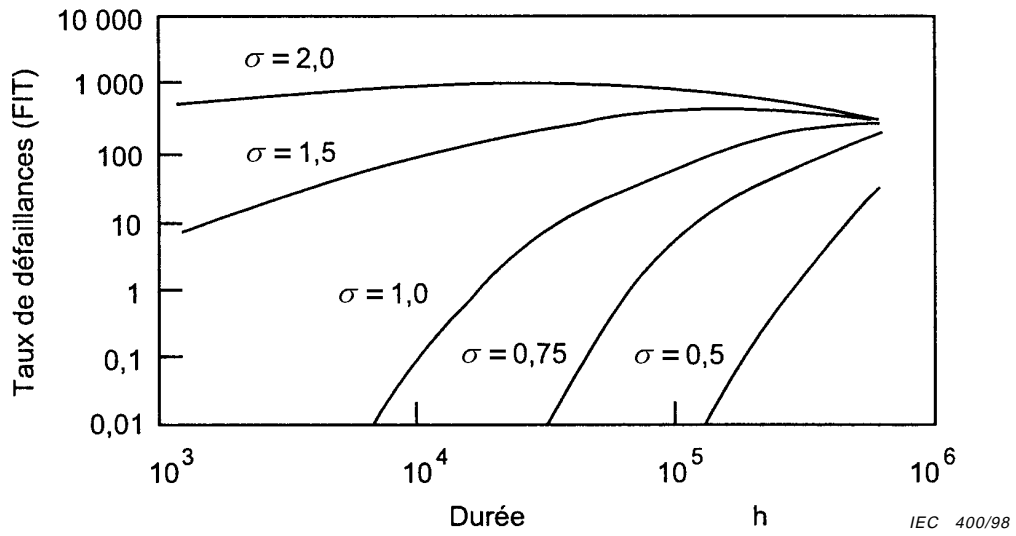


Figure A.4 – Taux de défaillance calculé pour des composants présentant une répartition log-normale des durées de vie, avec une durée de vie moyenne de 10⁶ h et une répartition dans un intervalle de 0,5 à 2,0

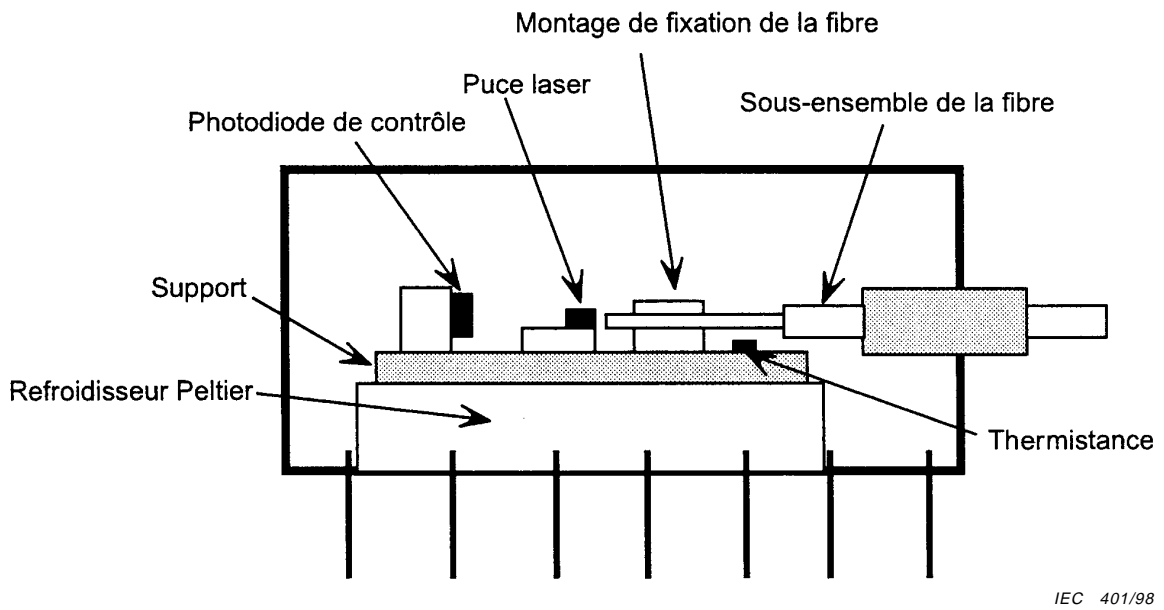


Figure A.5 – Coupe transversale d'un module laser type montrant des composants clé

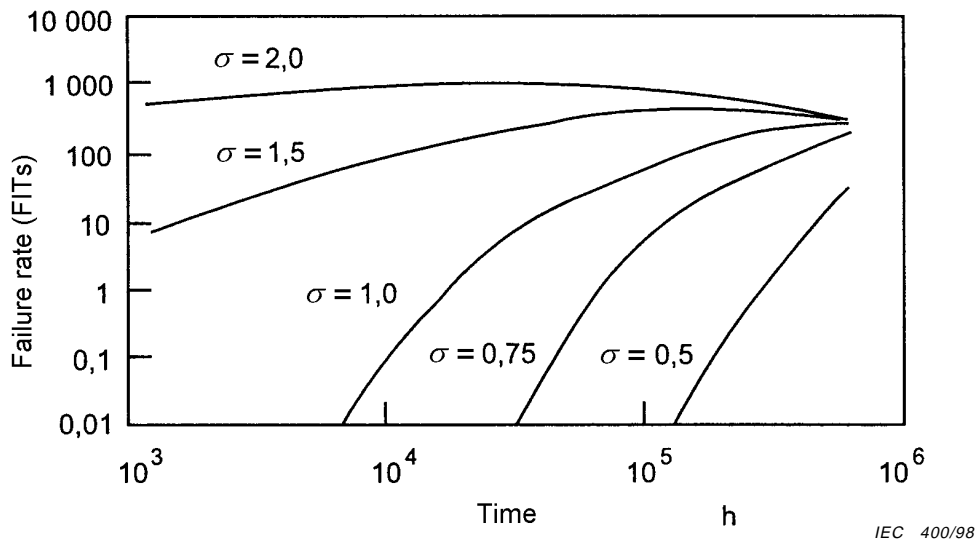


Figure A.4 – Calculate failure rates for components having a log-normal lifetime distribution with a median life of 10⁶ h and dispersion in the range 0,5 to 2,0

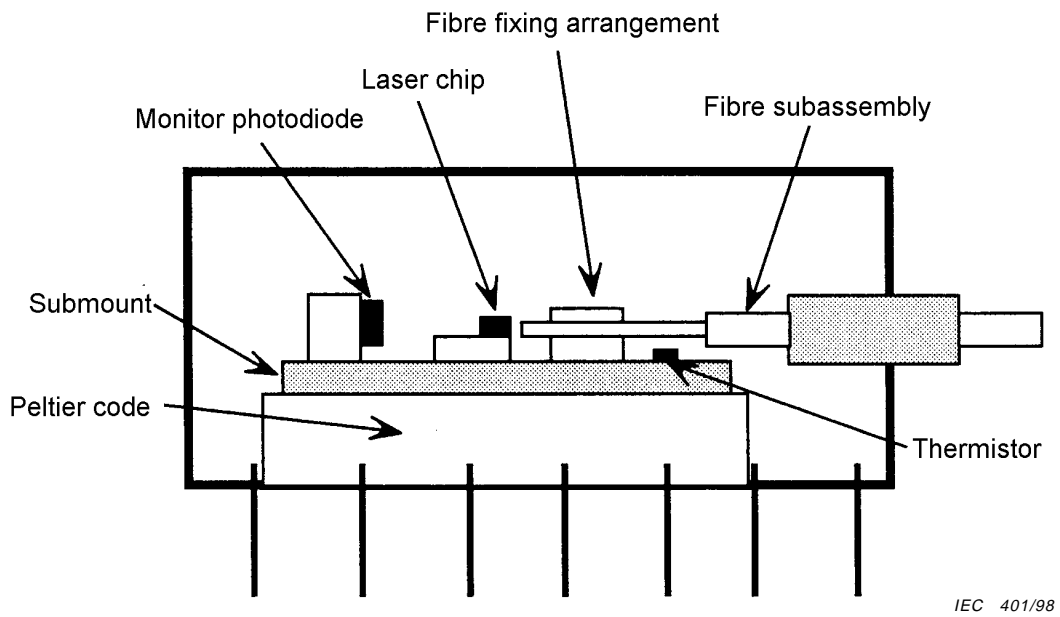
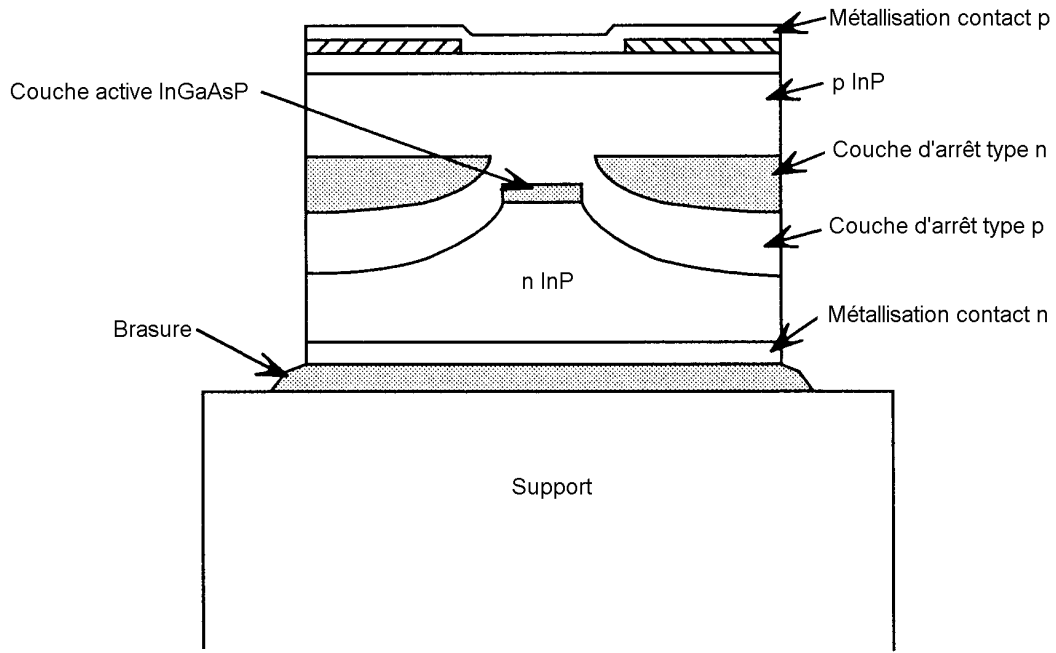
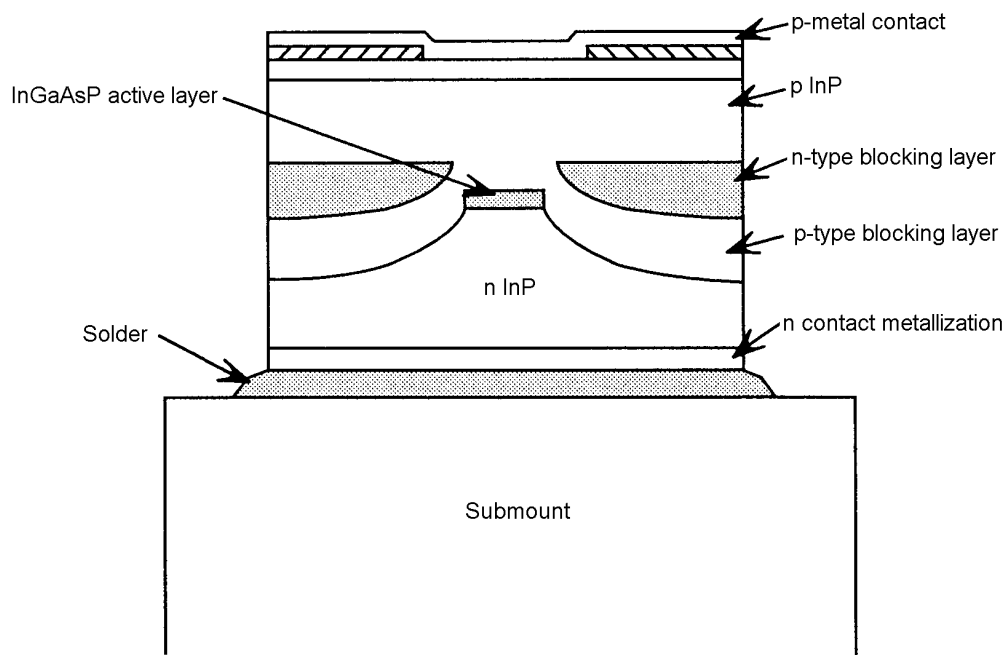


Figure A.5 – Cross-section through a typical laser module showing key components



IEC 402/98

Figure A.6 – Coupe transversale d'un laser type à hétérostructure enterrée (monté côté substrat)



IEC 402/98

**Figure A.6 – Cross-section through a typical buried heterostructure laser
(bonded section side up)**

Annexe B (informative)

Guide

B.1 Lignes directrices concernant les essais

B.1.1 Essais d'endurance – généralités

Un vieillissement accéléré est nécessaire pour démontrer la stabilité à long terme des modules laser. L'essai à accélération thermique est la méthode la plus couramment utilisée pour fournir des données relatives à la fiabilité des composants lors d'un essai de durée raisonnable, et elle s'applique également aux diodes laser et aux photodiodes.

Au niveau de la contrainte thermique, la relation entre la durée de vie et la température est dérivée de la relation d'Arrhénius:

$$t_1/t_2 = \exp [(E_a/k)(1/T_1 - 1/T_2)] \quad (\text{B.1})$$

où

t_1 et t_2 représentent les durées de vie à des températures respectives T_1 et T_2 ;

k est la constante de Boltzmann;

T_1 et T_2 représentent la température absolue, en kelvins;

E_a est l'énergie d'activation liée au mécanisme de défaillance.

Pour obtenir une estimation de la fiabilité des modules laser, un essai d'endurance des diodes laser n'est pas suffisant. De nombreux types de mécanismes de défaillance responsables de défaillances de champ sont associés au conditionnement et les essais d'endurance et d'ambiance sur les modules complets sont par conséquent essentiels. Les résultats des essais d'endurance pratiqués sur des diodes laser montées sur des supports, des photodiodes de contrôle, ou d'autres composants intégrés, fournissent des données nécessaires concernant la fiabilité des principaux dispositifs actifs. En effet, sur ces composants, des essais d'endurance peuvent être réalisés sur une plus large gamme de température, sans les limitations imposées par les matériaux utilisés pour l'encapsulation. De tels essais d'endurance sont volontiers réalisés par le fabricant des composants. Cependant, il convient que le client acquéreur de lasers/fournisseur du système (SS) réalise indépendamment un essai sur des modules complets (taille d'échantillon >10 par essai, tableau 1b, essai 2 et/ou 3 et/ou 5).

Pour obtenir des résultats valables, tous les composants participant à l'essai d'endurance doivent être représentatifs des processus de production normalisés, y compris les essais de vieillissement artificiel et de sélection (le cas échéant, voir DS).

B.1.2 Echelle d'essai

L'échelle des essais de fiabilité dépendra des prescriptions du système et de l'application de l'opérateur du système (SO), et en particulier du taux de défaillance (ou durée de vie) et du niveau de fiabilité requis. Il convient que la taille de l'échantillon sélectionnée permette de déterminer le taux de défaillance global (usure + taux de défaillance aléatoire) avec une précision suffisante pour la construction du système. Pour faire apparaître un taux de défaillance global faible pour un niveau de fiabilité élevé, des heures accumulées sur plusieurs centaines de composants sont susceptibles d'être nécessaires (voir article B.3). Des données de champ ainsi qu'une validation des plaquettes et les résultats d'un vieillissement artificiel peuvent venir compléter les résultats d'endurance, permettant une fiabilité accrue. Un essai périodique sur un échantillonnage plus réduit est nécessaire pour assurer que les prédictions de durée de vie restent valables.

Annex B (informative)

Guide

B.1 Guidance on testing

B.1.1 Service life tests – general

To demonstrate the long-term stability of laser modules, accelerated ageing is required. Thermally accelerated testing is the most widely used method of providing component reliability data in a test of reasonable duration, and is also appropriate for laser diodes and photodiodes.

For thermal overstress, the relationship between lifetime and temperature is derived from the Arrhenius relationship:

$$t_1/t_2 = \exp [(E_a/k)(1/T_1 - 1/T_2)] \quad (\text{B.1})$$

where

t_1 and t_2 are the lifetimes at temperatures T_1 and T_2 respectively;

k is Boltzmann's constant;

T_1 and T_2 are absolute temperatures, in kelvins;

E_a is the activation energy for the failure mechanism.

In order to obtain an estimate of the reliability of laser modules, life testing of the laser diodes is not sufficient. Many kinds failure mechanisms which cause field failures are associated with packaging and therefore life tests as well as environmental testing of complete modules are essential. The results of life tests of laser diodes on submounts, monitor photodiodes, or other included components, provide necessary supporting data on the reliability of the key active devices. As a matter of fact, on such components, life tests can be performed over a wider temperature range without the limitations imposed by packaging materials. Such life testing is most readily performed by the component manufacturer. However, the laser customer system supplier should perform an independent test of complete modules (sample size > 10 per test, table 1b, test 2 and/or test 3 and/or test 5).

To obtain valid results, all life test components have to be representative of the standard production processes, including burn-in and screening tests (where appropriate, see DS).

B.1.2 Scale of testing

The scale of reliability testing will be dependent on the system requirements and system operator application and, in particular, the failure rate (or life time) and the confidence level required. The sample size selected should enable the total failure rate (wear-out + random failure rate) to be determined with sufficient accuracy for the system construction. To demonstrate a low total failure rate to a high level of confidence, accumulated component hours on many hundreds of components may be required (see clause B.3). Field data and water validation and burn-in results may be used to life test results to give increased confidence. Periodic testing on a smaller sample size is required to ensure that predictions remain valid.

B.1.3 Essais d'endurance sur modules laser comprenant des refroidisseurs thermo-électriques (par exemple Peltier) (essai 1.1 du tableau 1a)

Avec les modules laser dotés de refroidisseurs thermo-électriques, il est difficile de fournir un degré significatif de surcontrainte à tous les composants clé simultanément. Au cours d'un «fonctionnement normal» la température du support du laser est généralement contrôlée à $T_s = 25 \text{ °C}$. Cependant, pour un essai d'endurance réalisé pour une température de boîtier égale à $T_c = T_{op \text{ max}}$, une contrainte utile peut être obtenue pour la diode laser, la fixation de fibre, la photodiode et le capteur thermique si le refroidisseur est utilisé sous un courant relativement élevé afin de maintenir la température du support à $T_s = T_{s \text{ nom}}$.

Certains essais supplémentaires réalisés sur le refroidisseur sont recommandés, par exemple $T_c = T_{op \text{ max}}$ et $T_s = T_s - 10 \text{ °C}$.

Tableau B.1 – Conditions d'essai d'endurance recommandées pour les modules laser dotés de refroidisseurs

Température du boîtier	$T_{op \text{ max}}$
Température du support laser	$T_s = T_{s \text{ nom}}$
Puissance optique	Sortie de fibre fixée à P_{max} au début de l'essai d'endurance (en utilisant un circuit de contrôle)
Courant laser	Pour maintenir une sortie de contrôle constante
Courant contrôle	Polarisation normale
Courant capteur thermique	Polarisation normale
Courant refroidisseur	Pour maintenir une résistance de thermistance ou des conditions de capteur constantes
Durée	>5 000 h

B.1.4 Essais d'endurance sur modules laser – modules non refroidis (essai 1.2, tableau 1a)

Dans le cas de modules non dotés de refroidisseur (par exemple Peltier), les essais d'endurance peuvent être facilement réalisés pour une gamme de températures allant jusqu'à la température maximale de fonctionnement recommandée pour le module. Au cours de la qualification initiale, il est recommandé d'effectuer des essais d'endurance à deux températures ou plus, par exemple $T_c = T_{op \text{ max}}$ et $T_c = 40 \text{ °C}$ à 50 °C .

Un essai d'endurance supplémentaire à basse température (durée >2 000 h à $T_{op \text{ min}}$) est susceptible d'être nécessaire pour les modules contenant des résines époxy ou des matériaux organiques.

S'il faut réaliser un seul essai d'endurance, par exemple au cours d'un essai de maintien de la qualification, les conditions suivantes sont recommandées:

B.1.3 Laser module life tests containing thermoelectric coolers (for example Peltier, test 1.1 of table 1a)

With laser modules containing thermoelectric coolers it is difficult to provide a significant degree of overstress to all key components simultaneously. During “normal operation”, the laser submount temperature is usually controlled at $T_s = 25\text{ °C}$. However, for a life test with a case temperature of $T_c = T_{op\ max}$, a useful stress can be obtained for the laser diode, fibre fixing, photodiode and thermal sensor if the cooler is operated at a relatively high current to maintain a submount temperature of $T_s = T_{s\ nom}$.

Some additional testing of the cooler is recommended, for example $T_c = T_{op\ max}$ and $T_s = T_s - 10\text{ °C}$.

Table B.1 – Recommended life test conditions for laser modules containing Peltier coolers

Case temperature	$T_{op\ max}$
Laser submount temperature	$T_s = T_{s\ nom}$
Optical power	Fibre output set to P_{max} at start of life test (using monitor circuit)
Laser current	To maintain constant monitor output
Monitor current	Normal bias
Thermal sensor current	Normal bias
Cooler current	To maintain constant thermistor resistance (or sensor conditions)
Duration	>5 000 h

B.1.4 Laser module life tests – uncooled module (test 1.2, table 1a)

For modules without thermoelectric coolers (for example Peltier), life tests can be readily performed over a range of temperatures up to the recommended maximum operating temperature for the module. During initial qualification, service life tests at two or more temperatures, for example $T_c = T_{op\ max}$ and $T_c\ 40\text{ °C}$ to 50 °C , are recommended.

An additional life test at low temperature (duration >2 000 h at $T_{op\ min}$) may be required for modules containing epoxies or organic materials.

If only a single life test is to be performed, for example during maintenance of qualification testing, the following conditions are recommended:

Tableau B.2 – Conditions d'essai d'endurance recommandées pour les modules laser non refroidis

Température du boîtier	$T_{op\ max}$
Puissance optique	Sortie de fibre fixée à P_{max} au début de l'essai d'endurance (en utilisant un circuit de contrôle)
Courant laser	Pour maintenir constant le courant photo-électrique de contrôle
Courant photo-électrique de contrôle	Polarisation normale
Durée	>5 000 h

B.1.5 Essais d'endurance de diodes laser sur supports (essai 1.3, tableau 1a)

L'essai d'endurance doit être réalisé tandis que le laser fonctionne avec une sortie lumineuse constante, comme lors d'un fonctionnement normal, sauf accord avec l'ONS. Les températures appartenant à la gamme $T_s = 50\text{ °C}$ à 80 °C sont souvent utilisées. L'accélération du taux de dégradation, par rapport à un fonctionnement normal, est donc relativement faible. La température maximale à laquelle les essais d'endurance peuvent être réalisés dans les conditions de fonctionnement du laser s'inscrit généralement dans la gamme $T_s = 70\text{ °C}$ à 100 °C . Cependant des essais d'endurance à courant constant pour des températures s'élevant jusqu'à $T_s = 150\text{ °C}$ peuvent être utiles pour étudier la fiabilité des métallisations de contact. Des défaillances réelles ne se produisent pas souvent au niveau de diodes laser bien sélectionnées, soumises à des essais à des températures $T_s < 90\text{ °C}$. Pour estimer la durée de vie du laser, certaines extrapolations sont nécessaires pour prévoir quand le courant de seuil ou de fonctionnement dépassera le critère de défaillance prédéterminé. Pour obtenir une augmentation raisonnable du courant de fonctionnement, la durée d'un essai d'endurance doit être supérieure à 5 000 h.

Si un seul essai d'endurance est nécessaire, par exemple au cours de l'essai de maintien de la qualification, les conditions indiquées dans le tableau B.3 sont recommandées:

Tableau B.3 – Conditions recommandées pour l'essai d'endurance sur diode laser

Température	$T_s = 70\text{ °C}$
Puissance optique	Maximum spécifié
Polarisation	Pour maintenir une sortie de puissance constante
Durée	>5 000 h

B.1.6 Essais d'endurance sur photodiode de contrôle (essai 1.4, tableau 1a)

Il est préférable de réaliser les essais d'endurance sur photodiodes en utilisant des dispositifs à polarisation inverse s'il faut évaluer la susceptibilité à l'augmentation du courant d'obscurité. Pour obtenir des défaillances dans une échelle de temps raisonnable, il est généralement nécessaire d'appliquer des températures comprises dans la gamme $T_s = 125\text{ °C}$ à 200 °C . Il convient de pratiquer les essais sur les dispositifs à passivations organiques à des températures inférieures à la température de durcissement de la passivation.

Il est également possible d'utiliser une augmentation de la tension de polarisation pour accélérer la défaillance, mais il serait alors nécessaire de déterminer la durée de vie en fonction de la tension avant d'être en mesure de prévoir la durée de vie en fonctionnement.

Table B.2 – Recommended life test conditions for uncooled laser modules

Case temperature	$T_{op\ max}$
Optical power	Fibre output set to P_{max} at start of life test (using monitor circuit)
Laser current	To maintain constant monitor photocurrent
Monitor photocurrent	Normal bias
Duration	>5 000 h

B.1.5 Laser diode life tests on submounts (test 1.3, table 1a)

The laser life test shall be performed with the laser operating at constant light output, as it would be in normal operation, unless otherwise agreed with the ONS. Temperatures in the range $T_s = 50\text{ °C}$ to 80 °C are often used. The acceleration in the rate of degradation, relative to normal operation, is therefore relatively small. The maximum temperature at which life tests can be performed under lasing operating conditions is usually in the range $T_s = 70\text{ °C}$ to 100 °C . However, constant current/life tests at temperatures up to $T_s = 150\text{ °C}$ can be useful in studying the reliability of contact metallizations. Actual failures do not often occur in well screened laser diodes tested at temperatures $T_s < 90\text{ °C}$. In order to estimate the laser life some extrapolation is required to predict when the threshold or operating current will exceed the pre-determined failure criterion. To obtain a reasonable increase in operating current, a life test duration greater than 5 000 h is required.

If a single life test is to be performed, for example during maintenance of qualification testing, the conditions in table B.3 are recommended:

Table B.3 – Recommended laser diode life test conditions

Temperature	$T_s = 70\text{ °C}$
Optical power	Maximum specified
Bias	To maintain constant monitor output
Duration	>5 000 h

B.1.6 Monitor photodiode life tests (test 1.4, table 1a)

Photodiode life tests are best performed with the devices under reverse bias if the susceptibility to increased dark current is to be assessed. To obtain failures in a reasonable timescale, temperatures in the range $T_s = 125\text{ °C}$ to 200 °C are usually required. Devices with organic passivations should be tested at temperatures below the curing temperature of the passivation.

Increased bias voltage can also be used to accelerate failure, but the dependence of lifetime on voltage would then need to be determined before a prediction of operating lifetime could be made.

Les mesures du courant d'obscurité de la photodiode doivent inclure des mesures faites à la température normale de fonctionnement. Les mesures effectuées à la température de l'essai d'endurance seulement sont susceptibles de ne pas détecter une augmentation des pertes en surface car les courants d'obscurité en profondeur dominent à des températures élevées.

Les photodiodes présentant des défaillances sous une augmentation des courants d'obscurité (résultant de l'accumulation de la charge mobile) retrouveront souvent leur condition normale rapidement si elles sont stockées à température élevée sans polarisation. Il est essentiel, à la fin de la durée d'essai, de maintenir des conditions de polarisation inverse jusqu'à ce que la température soit inférieure à 30 °C. Les mesures réalisées après l'essai doivent être terminées en 3 h. L'augmentation du courant d'obscurité des photodiodes à jonctions exposées (par exemple dispositifs méso non passivés) est très sensible à l'atmosphère du boîtier, et de faibles traces d'oxygène ou de vapeur d'eau peuvent provoquer une diminution des durées de vie. Il convient donc de réaliser les essais d'endurance en scellant les photodiodes dans des boîtiers hermétiques représentatifs, et sans ouvrir les supports. Des essais pratiqués dans un flux d'azote (nominalement sec) peuvent produire des résultats variables.

Tableau B.4 – Conditions recommandées d'essai d'endurance sur photodiodes

Température	Dans la gamme $T_s = 125\text{ °C}$ à 200 °C
Polarisation	Tension de polarisation inverse maximale spécifiée. Polarisation à maintenir au cours du refroidissement avant les mesures
Durée	1 000 h
Atmosphère	Photodiode dans un boîtier représentatif hermétique

B.1.7 Cyclage de température et choc thermique (essai 3, tableaux 1a et 1b)

Il est difficile de quantifier l'accélération (par rapport à un fonctionnement normal) obtenue à partir d'un essai de cyclage de température. Néanmoins, il a été clairement démontré que le cyclage de température entre $T_c = -40\text{ °C}$ et $+70\text{ °C}$ peut révéler des risques potentiellement graves au niveau des modules laser associés à une instabilité de la fibre, à une mauvaise adaptation entre les pièces (par exemple refroidisseurs et supports), et à des ruptures de fibre.

Pour la qualification initiale, un nombre de cycles = 500 entre $T_{stg\ min}$ et $T_{stg\ max}$ est requis. Pour l'essai périodique (3 et/ou 6 par mois), le nombre de cycles = 100. Il convient que la procédure de cyclage de température suive l'une de ces deux méthodes:

- a) IEC 60068-2-14, Essai Na: méthode à deux chambres;
- b) IEC 60068-2-14, Essai Nb: méthode à une seule chambre, taux de changement égal à 1,3 ou 5 °C min.

Il convient que les modules de conception et de construction satisfaisantes soient en mesure de résister à ce type d'essai en présentant des changements négligeables en termes de performances du module.

B.1.8 Herméticité (essai 3, tableaux 1a et 1b)

L'évaluation effectuée après l'essai, dans le cadre de l'essai 3, doit comprendre un essai de fuite fin, essai Q_k , suivi de l'essai de fuite brut Q_a . Des précautions appropriées doivent être prises pour supprimer l'absorption d'hélium par le revêtement de la fibre afin d'éviter les erreurs de mesure.

B.1.9 Chocs et vibrations (essai 4, tableaux 1a et 1b)

Ces essais sont conçus pour simuler des conditions faisant intervenir les vibrations et les chocs qu'un composant est susceptible de subir en service ou au cours du transport.

It is necessary for measurements of photodiode dark currents to include measurement at the normal operating temperature. Measurements made at only the life test temperature may not detect increased surface leakage, because bulk dark currents dominate at high temperatures.

Failed photodiodes with increased dark currents (as a result of the accumulation of mobile charge) will often recover quickly if stored at high temperatures without bias. It is essential, that at the end of the test duration, the reverse bias conditions shall be maintained until the temperature is below 30 °C. The post test measurements shall be completed within 3 h. The increase in dark current of photodiodes with exposed junctions (for example unpassivated mesa devices) is very sensitive to the package atmosphere, and small traces of oxygen or water vapour can result in decreased lifetimes. Life tests should therefore be performed with the photodiodes sealed in representative hermetic packages, and not on open submounts. Tests in flowing (nominally dry) nitrogen can produce variable results.

Table B.4 – Recommended photodiode life test conditions

Temperature	In the range $T_s = 125\text{ °C}$ to 200 °C
Bias	Specified maximum reverse bias voltage. Bias to be maintained during cool down prior to measurements
Duration	1 000 h
Atmosphere	Photodiode in representative hermetic package

B.1.7 Temperature cycling and thermal shock test 3 (tables 1a and 1b)

It is difficult to quantify the acceleration (with respect to normal operation) obtained from a temperature cycling test. Nevertheless, it has been clearly demonstrated that temperature cycling from $T_c = -40\text{ °C}$ to $+70\text{ °C}$ can reveal potentially serious hazards in laser modules associated with fibre instability, thermal mismatch between piece parts (for example coolers and submounts), and with fibre breaks.

For initial qualification, number of cycles = 500 from $T_{stg\ min}$ to $T_{stg\ max}$ are required. For periodic testing (3 and/or 6 monthly), number of cycles = 100. The temperature cycling procedure should follow either:

- a) IEC 60068-2-14, test Na: two-chamber method;
- b) IEC 60068-2-14, test Nb: single-chamber method, rate of change equal to 1, 3, or 5 °C/min.

Well designed and constructed modules should be able to withstand such a test with negligible changes in module performance.

B.1.8 Hermeticity (test 3, tables 1a and 1b)

The post-test assessment for test 3 shall be fine-leak testing, test Qk, followed by the gross-leak test Qa. Suitable precautions shall be taken to eliminate absorption of helium by the fibre coating to avoid measurement errors.

B.1.9 Shock and vibration (test 4, tables 1a and 1b)

These tests are designed to simulate conditions involving vibration and shock that a component may be subjected to in service or during transportation.

B.1.10 Stockage à température élevée (essai 5, tableaux 1a et 1b)

L'essai de stockage à température présente l'avantage d'être relativement peu coûteux car il ne nécessite aucun circuit de polarisation. A condition que l'essai soit réalisé à une température égale ou inférieure à la température de stockage maximale pour le module $T_c \leq T_{stg\ max}$, il peut être considéré comme non destructif. Le stockage à température élevée (par exemple $T_c = 70\ ^\circ\text{C}$, durée = 1 000 h) offrira, bien que la contrainte soit relativement faible, une protection utile contre des problèmes majeurs relatifs à l'instabilité de l'alignement de la fibre et identifiera certains mécanismes de métallisation potentielle et de défaillance de brasure, par exemple des défaillances au niveau du refroidisseur thermo électrique ou de la thermistance.

B.1.11 Sensibilité à la décharge électrostatique, ESD (essai 6, tableaux 1a et 1b)

Les composants opto-électroniques sont sensibles aux dommages causés par la décharge électrostatique (ESD) à tous les stades de fabrication, d'essai, d'assemblage dans le matériel et de fonctionnement. L'exposition à l'ESD peut causer une défaillance subite, des changements de paramètres, ou même des dommages latents occasionnant une réduction de la durée de vie au cours d'un fonctionnement ultérieur. Il convient de déterminer la sensibilité du laser et de la photodiode de contrôle par rapport aux dommages provoqués par l'ESD de manière à pouvoir adopter le niveau de précautions approprié pour éviter les dommages.

L'essai minimal recommandé pour les modules consiste à soumettre six diodes laser et six photodiodes de contrôle sur une base de plaquette à l'essai «Modèle de corps humain» décrit dans la méthode 3015 de MIL-STD-883. Cependant, plutôt que d'appliquer une seule condition d'essai de contrôle rapide, il convient d'appliquer des transitoires de tension croissante pour déterminer le seuil à partir duquel des défaillances surviennent.

Il convient de définir une défaillance comme un changement de paramètres intervenant au niveau:

- courant d'obscurité de la photodiode ou du courant de seuil de la photodiode;
- de l'efficacité de la pente;
- de la tension directe;
- du courant de fuite inverse ou du spectre de sortie lumineuse.

Les critères sont indiqués dans le tableau B.7.

B.1.12 Analyse des gaz résiduels (RGA) (essai 7, tableaux 1a et 1b)

Certains risques au niveau de la fiabilité du module laser, associés à une teneur en eau élevée dans le boîtier sont susceptibles de ne pas être détectés par l'essai décrit dans les tableaux 1a et 1b. L'essai d'herméticité et l'analyse des gaz résiduels des modules du transmetteur sont nécessaires pour démontrer que le boîtier du module renferme une atmosphère sèche et inerte tout au long de sa durée de vie en fonctionnement. L'essai d'endurance à température élevée n'est pas susceptible à lui seul de détecter les risques pour la fiabilité associés à une teneur en eau élevée dans le boîtier. Voir également B.1.4 et tableaux 1a et 1b, essai 7.

Précaution: la température de précuison pour la RGA selon la méthode 1018 de MIL-STD-883 est de $120\ ^\circ\text{C}$. Il est admis qu'elle soit supérieure à la température de stockage $T_{stg\ max}$, de la plupart des composants optoélectroniques. Une température de précuison inférieure de $T_c = T_{stg\ max}$ pendant une période plus longue est donc recommandée jusqu'à ce que le niveau de fond de la RGA reste constant. Ce niveau peut alors être éliminé des résultats.

B.1.10 High-temperature storage (test 5, tables 1a and 1b)

Temperature storage testing has the advantage of being relatively inexpensive because no bias circuitry is required. Provided the test is performed at or below the maximum storage temperature for the module $T_C \leq T_{\text{stg max}}$, it can be regarded as non-destructive. Storage at high temperatures (for example $T_C = 70\text{ °C}$, duration = 1 000 h) will, although the stress is relatively small, provide useful protection against major problems with fibre alignment instability and will identify some potential metallization and solder failure mechanisms, for example thermoelectric cooler or thermistor failures.

B.1.11 Electrostatic discharge sensitivity (ESD) (test 6, tables 1a and 1b)

Optoelectronic components are sensitive to damage by electrostatic discharge (ESD) at all stages during manufacture, testing, assembly into equipment and operation. Exposure to ESD can result in either sudden failure, parametric shifts, or even latent damage leading to a reduced lifetime during subsequent operation. The sensitivity of the laser and monitor photodiode to ESD damage should be determined so that the appropriate level of precautions can be taken to avoid damage.

The minimum recommended testing for modules is to subject six laser diodes and six monitor photodiodes on a wafer basis, to the “human body model” test described in MIL-STD-883, method 3015. However, rather than applying a single go-no-go test condition, transients of increasing voltage should be applied to determine the threshold at which failures occur.

Failure should be defined as a parametric change in:

- photodiode dark current or in laser threshold current;
- slope efficiency;
- forward voltage;
- reverse leakage current or light output spectrum.

The criteria are given in table B.7.

B.1.12 Residual gas analysis (RGA) (test 7, tables 1a and 1b)

Certain laser module reliability hazards associated with high package water content are unlikely to be detected with the testing described in tables 1a and 1b. Hermeticity testing and residual gas analysis of transmitter modules is necessary to demonstrate that the module package contains a dry, inert atmosphere throughout its operating life. High-temperature life testing alone is not likely to detect reliability hazards associated with high package water content. See also B.1.4 and tables 1a and 1b, test 7.

Caution: the pre-bake temperature for RGA in MIL-STD-883, method 1018 is 120 °C. This may be greater than the storage temperature $T_{\text{stg max}}$ of most optoelectronic components. A lower pre-bake temperature of $T_C = T_{\text{stg max}}$ for a longer period is therefore recommended until the background level of RGA remains constant. This level can then be eliminated from the results.

B.1.13 Sélection des composants (y compris le vieillissement artificiel)

Il convient que l'essai de sélection soit conçu par le fabricant de modules laser (LMM) spécifiquement pour sa technique particulière. Toute approche fondée sur une similarité avec les réalisations d'autres fabricants permet d'établir des comparaisons, mais elle peut être inefficace pour atteindre l'objectif de sélection réel. C'est le cas particulièrement pour les composants pour fibres optiques dont les techniques ne sont pas encore stabilisées et varient de façon significative d'un fabricant à l'autre.

Quand un fabricant peut démontrer une stabilité de composant et processus, une révision des procédures de sélection est permise.

B.1.13.1 Diodes laser

Au niveau d'une diode laser, sur un support ou dans un sous-module adapté sans fibre, la contrainte appliquée combine la température et la puissance optique ou le courant d'attaque. La procédure probablement la plus courante est appelée vieillissement artificiel APC (commande de puissance automatique): la puissance optique est maintenue constante au moyen d'une photodiode avec un circuit de contre-réaction. Le vieillissement artificiel ACC (commande de courant automatique) constitue une autre procédure fréquemment utilisée: on applique un courant fort et une température élevée de manière que le laser ne soit pas autorisé à émettre de rayonnement. Un essai ACC de courte durée n'est pas censé réduire la durée de vie du dispositif, et il s'adapte donc de façon idéale à la sélection.

Pour la plupart des techniques de laser actuelles, il convient d'utiliser un vieillissement artificiel en deux étapes, au cours duquel on mesure la dégradation du laser, voir tableau B.5.

Tableau B.5 – Conditions recommandées pour le vieillissement artificiel et la sélection de diodes laser

Conditions	Etape 1 (voir note 1)	Etape 2 (voir note 2)
	ACC	APC
Température	100 °C min (voir note 3)	$T_{op\ max}$
Durée (h) (voir note 4)	96 h	96 h
Critère de défaillance (voir note 5)	$\Delta I_{th}/I_{th0} > x\ %$	$\Delta I_{th}/I_{th0} > y\ %, < x\ %$
<p>NOTE 1 – (Étape 1) Il convient que le vieillissement artificiel de la diode laser soit suffisamment rigoureux pour saturer la dégradation initiale.</p> <p>NOTE 2 – L'étape 2 est parfois réalisée alors que la diode laser est dans son boîtier définitif (module). Des paramètres autres que le courant de seuil peuvent également être observés, mais il est expressément prescrit que le taux de dégradation dans l'étape 2 est largement inférieur à celui de l'étape 2 et se conforme aux prescriptions de la DS.</p> <p>NOTE 3 – Pour certains lasers de type hétérostructure enterrée (BH), le vieillissement à haute température est susceptible d'introduire différents mécanismes de dégradation, comparé aux mécanismes observés dans des conditions de fonctionnement à température relativement inférieure. Par conséquent, il est admis de fixer la température de vieillissement de l'étape 1 en dessous de la valeur de 100 °C recommandée pour ces lasers de type BH.</p> <p>NOTE 4 – La durée dépendra de la température.</p> <p>NOTE 5 – Les critères de défaillance nécessaires $x\ %$ et $y\ %$ dépendront du comportement des techniques laser particulières, et plus précisément de la dégradation saturable initiale.</p>		

Exemples de conditions ACC: 100 °C, 150 mA pendant 96 h ou 125 °C, 100 mA pendant 24 h. On utilise couramment la condition APC correspondant à 70 °C pour un fonctionnement du laser à puissance nominale maximale.

B.1.13 Screening of components (including burn-in)

The screening test should be designed by the laser module manufacturer specifically for his particular technology. Any approach based on similarity to that which is performed by other manufacturers, is good for comparison purposes, but can be ineffective in achieving the actual screening goal. This is particularly true for fibre optic components whose technology is not yet mature and varies significantly from supplier to supplier.

Where a manufacturer can demonstrate component and process stability, screening procedures may be revised.

B.1.13.1 Laser diodes

With a laser diode, either on a submount or in an appropriate submodule without fibre, the stress applied is a combination of temperature and optical power or driving current. Probably the most widely used screening procedure is the so-called APC burn-in (automatic power control), where the optical power is kept constant by means of a photodiode with a feedback circuit. Another widely used procedure is the ACC burn-in (automatic current control) where high current and high temperature are applied so that the laser is not allowed to lase. A short ACC test is not expected to reduce device life time, and is therefore ideal for screening.

For most current laser technologies, a two-step burn-in should be used, during which laser degradation is measured, see table B.5.

Table B.5 – Recommended laser diode screening and burn-in conditions

Conditions	Step 1 (see note 1)	Step 2 (see note 2)
	<u>ACC</u>	<u>APC</u>
Temperature	100 °C min (see note 3)	$T_{op\ max}$
Duration (h) (see note 4)	96 h	96 h
Failure criterion (see note 5)	$\Delta I_{th}/I_{th0} > x\ %$	$\Delta I_{th}/I_{th0} > y\ %, < x\ %$

NOTE 1 – Step 1 laser diode burn-in should be sufficiently rigorous to achieve saturated initial degradation.

NOTE 2 – Step 2 is sometimes performed with the laser diode in its final package (module). Parameters other than threshold current can also be monitored, but an important requirement is that the rate of degradation in step 2 is significantly less than that in step 1 and commensurate with the requirements of the DS.

NOTE 3 – For some buried heterostructure (BH) type lasers, high-temperature ageing may introduce different degradation mechanisms when compared with the mechanisms observed under relatively lower temperature operating conditions. Therefore, the step 1 burn-in temperature may be set below the recommended 100 °C value for these BH type lasers.

NOTE 4 – Duration will depend on temperature.

NOTE 5 – The necessary failure criteria $x\ %$ and $y\ %$ will depend on the behaviour of the particular laser technology, and in particular on initial saturable degradation.

Examples of ACC conditions are 100 °C, 150 mA for 96 h or 125 °C, 100 mA for 24 h. A widely used APC condition is 70 °C with the laser operating at its maximum rated power.

B.1.13.2 Photodiode de contrôle

Les photodiodes de contrôle sont placées dans les modules laser pour commander la puissance optique au moyen d'une contre-réaction externe. Etant donné qu'elles ne sont pas obligées de présenter des performances élevées en termes de vitesse et de sensibilité, ce sont normalement des diodes PIN à zone étendue basées sur Si pour 800 nm à 900 nm, et sur InGaAs pour 1 300 nm à 1 550 nm.

Le vieillissement dit HTRB (polarisation inverse à température élevée) constitue un vieillissement normalisé pour les photodiodes PIN; il est réalisé selon des polarisations inverses fixées (par exemple, $V_r = 0,8$ de la tension de claquage spécifiée ou I_r au point de rupture) à température très élevée (125 °C à 200 °C). Là aussi, la stabilisation des paramètres est importante, particulièrement parce que ces dispositifs sont sensibles à la contamination en surface, qui peut survenir en cours de fabrication.

Tableau B.6 – Conditions recommandées de sélection des photodiodes de contrôle

Conditions de polarisation	$V_r = 0,8$ V claquage (spécifié)
Température	125 °C à 200 °C
Durée	48 h à 96 h
Critère de défaillance	$\Delta I_r / I_{r0} > 100$ %

B.1.13.3 Autres composants du module laser

Autres composants qu'il convient de sélectionner avant l'assemblage:

- TEC (refroidisseur thermo-électrique): cyclage de puissance
- Composants actifs: température élevée, polarisation inverse
- Composants optiques: répétabilité de la perte d'insertion

Le refroidisseur thermo-électrique peut être particulièrement important car son influence sur la fiabilité à court terme n'est pas claire.

B.2 Lignes directrices concernant l'utilisation des critères de défaillance au cours des essais

Les critères de défaillance qu'il convient d'appliquer au cours des essais sur les diodes laser, les photodiodes et les modules laser seront établis dans la spécification particulière (DS). Les critères dépendent de l'application et il convient qu'il fassent l'objet d'un accord entre le fournisseur du système (SS) et le fabricant de modules laser (LMM), en termes de paramètres spécifiés et également au niveau des valeurs de ces paramètres définis comme critères de défaillance. De même, les méthodes et les conditions de mesure dépendront de l'application et des spécifications concernant le dispositif.

La plupart des essais d'endurance et d'ambiance qui peuvent être réalisés sur des modules laser et des dispositifs sur supports produiront des changements de paramètres plutôt que des défaillances totales. Il faudra donc extrapoler les changements de paramètres, par exemple au niveau du courant de seuil du laser ou la puissance de sortie de la fibre, afin de déterminer à quel moment se produiront les défaillances par rapport aux spécifications. La photodiode constitue une exception à cette observation générale, car des défaillances par rapport à la limite des spécifications de courant d'obscurité peuvent être facilement obtenues au cours des essais d'endurance à température élevée sur des dispositifs discrets.

B.1.13.2 Monitor photodiode

Monitor photodiodes are in laser modules to control the optical power by means of external feedback. Because high performance is not required of them in terms of speed and sensitivity, they are normally large area pin diodes based on Si for 800 nm to 900 nm and on InGaAs for 1 300 nm to 1 550 nm.

A standard burn-in for pin photodiodes is the so-called HTRB (high-temperature reverse bias) carried out at fixed reverse bias (for example $V_r = 0,8$ of the specified breakdown voltage or I_r at the breakdown point) at very high temperature (125 °C to 200 °C). Again, parameter stabilization is important, especially as these devices are sensitive to surface contamination, possibly induced during manufacturing.

Table B.6 – Recommended monitor photodiode screening conditions

Bias conditions	$V_r = 0,8$ breakdown (specified)
Temperature	125 °C to 200 °C
Duration	48 h to 96 h
Failure criterion	$\Delta I_r/I_{r0} > 100 \%$

B.1.13.3 Other components of the laser module

Other parts that should be screened prior to assembly:

TEC (thermoelectric cooler): power cycling

Active components: high-temperature, reverse bias

Optical components: insertion loss repeatability

The thermoelectric cooler can be especially important, as its influence on short-term reliability is not clear.

B.2 Guidance on the use of failure criteria during testing

The failure criteria which should be applied during testing of laser diodes, photodiodes and laser modules should be stated in the detail specification (DS). The criteria are dependent on the application should be agreed between the system supplier and laser module manufacturer, both in terms of the parameters that are specified and also the values of these parameters which are defined as failure criteria. Similarly, measurement methods and conditions will depend on the application and device specifications.

Most endurance or environmental tests that can be performed on laser modules or devices on submounts will produce parametric changes rather than complete failures. Parametric changes, for example laser threshold current or fibre output power, therefore, have to be extrapolated to determine when specification failures will occur. An exception to this general observation is the photodiode where failures of dark current specification limit can readily be obtained during high-temperature life tests on discrete devices.

Le tableau B.7 indique des paramètres généralement mesurés à intervalles fréquents au cours d'un essai d'endurance permettant de déterminer les durées de vie (par extrapolation si nécessaire). Il est permis d'omettre certains paramètres si les techniques de mesure dégradent les données d'essai d'endurance.

Le tableau B.8 fournit des critères de défaillance supplémentaires.

Le tableau B.9 fournit des critères de défaillance suggérés pour les modules laser après les essais de cyclage de température. Des variations au niveau des paramètres suivants et des valeurs indiquées dans les tableaux B.7, B.8 et B.9 sont acceptables quand on peut démontrer qu'elles sont nécessaires pour remplir une prescription de système particulière. Elles seront indiquées dans la (DS).

Tableau B.7 – Critères de défaillance recommandés pour les essais d'endurance

Dispositifs	Paramètres	Critères de défaillance	Conditions de mesure
Diode laser	Courant de seuil ou courant de fonctionnement	Augmentation 50 %* ou augmentation 10 mA si $I_{th} < 20$ mA	25 °C ou température d'essai d'endurance
	Efficacité de pente	Changement 10 %*	25 °C ou température d'essai d'endurance
	Tension directe	Changement 10 %*	25 °C ou température d'essai d'endurance
	Non-linéarités de la courbe L/I	Absence de non-linéarités dans les limites de $1,2 \times P_{nom}$ (changement de linéarité ≤ 10 %)*	$T_{op\ min}$, 25 °C, $T_{op\ max}$
	Longueur d'onde	Voir DS et application	Voir DS
Photodiode	Courant d'obscurité	USL ou augmentation de 10 nA*	25 °C
Module laser	Courant de seuil ou courant de fonctionnement laser	Augmentation 50 %* ou augmentation 10 mA si $I_{th} < 20$ mA	25 °C ou Température d'essai d'endurance
	Puissance optique en sortie de fibre	10 % de variation*	Température de l'essai d'endurance I_{mon} maintenu à sa valeur initiale
	Non-linéarités de la courbe L/I	Absence de non-linéarités dans les limites de $1,2 \times P_{nom}$ (changement de linéarité ≤ 10 %)*	$T_{op\ min}$, 25 °C, $T_{op\ max}$
	Longueur d'onde	Voir DS et application	Voir DS
	Rapport de poursuite (I_{mon}/P_{fibre})	$<LSL \geq USL$	$T_{op\ min} - T_{op\ max}$ à un niveau de puissance nominale
	Courant d'obscurité de la photodiode	USL ou augmentation 10 nA*	25 °C
	Résistance de thermistance	Changement 5 %*	25 °C ou température d'essai d'endurance support T_s
	Courant du refroidisseur Peltier	Changement ± 10 %*	Pour maintenir ΔT constant au cours de l'essai d'endurance
Tension du refroidisseur Peltier	Changement ± 10 %*		

* Changement au niveau des valeurs préalables et postérieures à l'essai dans la DS.

NOTE 1 – Il convient de mesurer des paramètres supplémentaires au début et à la fin des essais d'endurance, et périodiquement durant des essais d'endurance longs, à condition que ces mesures ne dégradent pas les données d'essai d'endurance. Certaines de ces mesures peuvent être facilement réalisées, par exemple, lumière/courant (L/I) et courant/tension (I/V), mais d'autres sont relativement longues à réaliser et il n'est pas admis qu'elles soient effectuées sur tous les essais d'endurance/échantillons (à spécifier dans la DS). Des paramètres recommandés sont indiqués dans le tableau B.8. Parmi les autres paramètres requis pour des applications de système spécifiées (par exemple systèmes cohérents et linéaires), on distingue le bruit optique, la linéarité de sortie lumineuse, la largeur modulée en fréquence ou spectrale. Cette liste n'est pas exhaustive.

NOTE 2 – Il convient de réaliser des mesures sensibles à la puissance optique réfléchie (par exemple performance spectrale et bruit) sur le module laser en terminant par une perte par réflexion représentative de l'application du système (à spécifier dans la DS).

Parameters which are generally measured at frequent intervals during life test to allow life times to be determined (by extrapolation if necessary) are given in table B.7. Certain parameters may be omitted if measurement techniques degrade life test data.

Table B.8 gives recommended additional failure criteria.

Table B.9 provides suggested failure criteria for laser modules after temperature cycling testing. Variations of the following parameters and values given in tables B.7, B.8 and B.9 are acceptable where it can be shown to be necessary to meet a particular system requirement. The criteria should be stated in the (DS).

Table B.7 – Recommended life test failure criteria

Devices	Parameter	Failure criterion	Measurement condition
Laser diode	Threshold current or operating current	50 % increase* or 10 mA increase if $I_{th} < 20$ mA	25 °C or life test temperature
	Slope efficiency	10 % change*	25 °C or life test temperature
	Forward voltage	10 % change*	25 °C or life test temperature
	Kinks in L/I curve	Kink-free within $1,2 \times P_{nom}$ (linearity change ≤ 10 %)*	$T_{op\ min}$, 25 °C, $T_{op\ max}$
	Wavelength	See DS and application	See DS
Photodiode	Dark current	USL or 10 nA increase*	25 °C
Laser module	Laser threshold or operating current	50 % increase* or 10 mA increase if $I_{th} < 20$ mA	25 °C or Life test temperature
	Fibre output power	10 % change*	Life test temperature I_{mon} set to initial value
	Kinks in L/I curve	Kink-free within $1,2 \times P_{nom}$ (linearity change ≤ 10 %)*	$T_{op\ min}$, 25 °C, $T_{op\ max}$
	Wavelength	See DS and application	See DS
	Tracking ratio (I_{mon}/P_{fibre})	$<LSL \geq USL$	$T_{op\ min} - T_{op\ max}$ at rated power level
	Photodiode dark current	USL or 10 nA increase*	25 °C
	Thermistor resistance	5 % change*	25 °C or submount life test temperature T_s
	Peltier cooler current	± 10 % change*	To maintain constant ΔT during life test
Peltier cooler voltage	± 10 % change*		

* Change of pre- and post- test values in the DS.

NOTE 1 – Additional parameters should be measured at the start and finish of the life tests, and periodically during long life tests, provided these measurements do not degrade the life test data. Some of these measurements can be readily made, for example, light/current (L/I) and current/voltage (I/V), but others are relatively time-consuming and may not be performed on all life tests/samples (to be specified in the DS). Recommended parameters are given in table B.8. Other parameters which are required for specified system applications (for example coherent or linear systems) include optical noise, light output linearity, chirp and spectral linewidth. This list is not exhaustive.

NOTE 2 – Measurements which are susceptible to reflected optical power (for example spectral performance and noise) should be made with the laser module terminated with a return loss representative of the system application (to be specified in the DS).

Tableau B.8 – Critères de défaillance supplémentaires recommandés (facultatifs) pour les essais d'endurance sur modules laser

Paramètres	Critères de défaillance	Conditions de mesure
Longueur d'onde de crête fonctionnement dans les conditions de modulation du système	$<LSL \geq USL$	$T_{op \text{ min}}, 25 \text{ }^\circ\text{C}, T_{op \text{ max}}$
Largeur spectrale (RMS) fonctionnement dans les conditions de modulation du système	USL	$T_{op \text{ min}}, 25 \text{ }^\circ\text{C}, T_{op \text{ max}}$
Suppression mode latéral fonctionnement dans les conditions de modulation du système	LSL	$T_{op \text{ min}}, 25 \text{ }^\circ\text{C}, T_{op \text{ max}}$ Laser modulé au taux d'erreur du système BER
Enclenchement (à partir de la première courbe L/I différentielle)	$\geq 15 \%$ première courbe L/I différentielle	$T_{op \text{ min}}, 25 \text{ }^\circ\text{C}^*, T_{op \text{ max}}$
Non-linéarité dans L/I	10 %**	$T_{op \text{ min}}, 25 \text{ }^\circ\text{C}^*, T_{op \text{ max}}$ $I_F < \text{max}$ et/ou $P_O \text{ max}$
Fuite polarité inverse	Maximum recommandé par les fabricants	25 °C
<p>* Voir figure A.1.</p> <p>** L'ouverture numérique permettant de capter la lumière provenant de la facette du laser est susceptible d'affecter de façon significative la capacité de détection des non-linéarités dans les courbes lumière-courant. Il convient d'effectuer des mesures sur des diodes laser sans boîtier (sur supports) dans une ouverture numérique représentative de celle de la fibre optique dans le boîtier définitif.</p>		

Tableau B.9 – Critères de défaillance recommandés pour les modules laser après un essai de cyclage de température et un essai de stockage à haute température

Paramètres	Critères de défaillance	Conditions de mesure
Seuil laser	Augmentation 10 %*	$T_s = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Puissance de sortie de fibre	Changement 1 dB*	$T_s = 25 \text{ }^\circ\text{C}, I_{\text{mon}}$ constant
Courant d'obscurité photodiode	Augmentation 10 nA*	$T_s = 25 \text{ }^\circ\text{C}, T_s = T_{op \text{ min}}$
Résistance de thermistance	Changement 5 %*	$T_s = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Courant refroidisseur Peltier	Changement $\pm 10 \%$ *	Pour maintenir une Δt_s constante à partir du début de l'essai
Tension refroidisseur Peltier	Changement $\pm 10 \%$ * Voir tableau B.7	Pour maintenir une Δt_s constante à partir du début de l'essai
<p>* Changement au niveau des valeurs préalables et postérieures à l'exception du seuil laser quand $I_{th} < 30 \text{ mA}$, le critère correspond à 3 mA maximum.</p>		
<p>NOTE – Il faut que les modules restent hermétiques après l'essai de cyclage de température.</p>		

B.3 Lignes directrices concernant les prédictions de fiabilité

B.3.1 Prédications de durée de vie

La contrainte qui peut être appliquée aux modules laser au cours d'un essai d'endurance est souvent insuffisante pour provoquer des défaillances paramétriques ou catastrophiques au cours de l'essai. Cependant, les variations paramétriques peuvent être observées au cours de l'essai d'endurance et des prédictions relatives aux durées de défaillance (TTF) des dispositifs individuels peuvent être extrapolées selon la description ci-dessous.

Table B.8 – Recommended (optional) additional failure criteria for laser module service life tests

Parameter	Failure criterion	Measurement condition
Peak wavelength operating at system modulation conditions	<LSL ≥ USL	$T_{op\ min}, 25\ ^\circ C, T_{op\ max}$
Spectral width (RMS) operating at system modulation conditions	USL	$T_{op\ min}, 25\ ^\circ C, T_{op\ max}$
Side-mode suppression operating at system modulation conditions	LSL	$T_{op\ min}, 25\ ^\circ C, T_{op\ max}$ Laser-modulated at system bit-error rate BER
Snap-on (from first differential L/I curve)	≥15 % first differential L/I curve	$T_{op\ min}, 25\ ^\circ C^*, T_{op\ max}$
Kink in L/I	10 %**	$T_{op\ min}, 25\ ^\circ C^*, T_{op\ max}$ $I_F < \max$ and/or $P_o \max$
Reverse bias leakage	Manufacturers' recommended maximum	25 °C
<p>* See figure A.1.</p> <p>** The numerical aperture for the collection of the light from the laser facet may significantly affect the ability to detect kinks in the light-current curves. Measurement on unpackaged laser diodes (on submounts) should be made into a numerical aperture representative of that of the optical fibre in the final package.</p>		

Table B.9 – Recommended failure criteria for laser modules after temperature cycling testing and high-temperature storage testing

Parameter	Failure criterion	Measurement condition
Laser threshold	10 % increase*	$T_s = 25\ ^\circ C$
Fibre output power	1 dB change*	$T_s = 25\ ^\circ C, I_{mon}$ constant
Photodiode dark current	10 nA increase*	$T_s = 25\ ^\circ C, T_s = T_{op\ min}$
Thermistor resistance	5 % change*	$T_s = 25\ ^\circ C$
Peltier cooler current	±10 % change*	To maintain constant Δt_s from start of test
Peltier cooler voltage	±10 % change* See table B.7	To maintain constant Δt_s from start of test
<p>* Change of pre- and post-test values except for laser threshold where $I_{th} < 30\ mA$ the criteria is 3 mA max.</p>		
NOTE – Modules shall remain hermetic after the temperature cycling test.		

B.3 Guidance on reliability predictions

B.3.1 Life time predictions

The stress which can be applied to laser modules during a life test is often insufficient to cause either parametric or catastrophic failures during the test. However, parametric variations can be monitored during the life test and predictions of the times to failure (TTF) of individual devices can be extrapolated as described below.

a) Extrapolation du courant de seuil ou de fonctionnement du laser

Presque tous les lasers présentent une augmentation graduelle du courant de seuil (et par là-même du courant d'attaque requis pour une sortie lumineuse donnée) au cours d'un essai d'endurance et en fonctionnement normal. Les durées de vie des lasers individuels peuvent alors être prévues en extrapolant l'augmentation du courant à certains critères de défaillance pré-déterminés (par exemple augmentation 50 % LOP). Un modèle couramment utilisé, qui s'est révélé bien adapté aux données d'essai d'endurance, est représenté par la relation:

$$(I - I_0)/I_0 = At^n \quad (B.2)$$

où

I est le courant de fonctionnement (ou courant de seuil);

I_0 est le courant de fonctionnement, valeur initiale;

t est le temps;

A et n sont des constantes.

Bien qu'une extrapolation linéaire ($n = 1$) soit souvent utilisée pour simplifier, en général, l'exposant n a une valeur inférieure à l'unité, 0,5 par exemple. Il n'est pas exclu que des concessions soient nécessaires au niveau de changements initiaux, pour permettre de modéliser plus précisément les tendances de dégradation à long terme. Des modèles différents de l'équation (B.2) sont acceptables s'ils s'adaptent considérablement mieux aux données présentées.

En utilisant cette relation, on peut obtenir la répartition des durées de vie à la température de l'essai d'endurance. Pour des lasers fabriqués et sélectionnés de façon satisfaisante, il faudra une durée d'essai d'endurance de plusieurs milliers d'heures afin d'obtenir une dégradation suffisante pour réaliser une bonne prédiction de la durée de vie.

b) Changements au niveau de la puissance de sortie de fibre du module laser

Les modules laser fonctionnent généralement sous un courant d'attaque contrôlé du laser pour maintenir une sortie constante de la photodiode de contrôle. Dans ces conditions, tout changement d'alignement de la fibre optique/facette du laser provoquera des changements au niveau de la puissance de sortie de la fibre. Les changements au niveau de la puissance de sortie de fibre des modules d'émetteur laser sont généralement très progressifs, bien que des défaillances très rapides aient été observées.

Une extrapolation des changements observés au cours de l'essai d'endurance est donc souvent requise. Une simple extrapolation linéaire est souvent appliquée mais la meilleure adaptation au mouvement de fibre peut occasionner des changements non linéaires au niveau de la sortie lumineuse.

c) Dépendance entre la température et la durée de vie

Pour des composants discrets tels que les diodes laser ou les photodiodes, la relation d'Arrhenius (équation B.1) peut être facilement utilisée pour décrire la dépendance entre la température et la durée de vie du composant, et donc pour estimer la durée de vie à la température normale de fonctionnement. La durée de vie moyenne (durée pour une défaillance d'usure à 50 %) pour chaque température d'essai d'endurance peut être utilisée pour estimer l'énergie d'activation.

La relation d'Arrhenius indique que, pour obtenir des défaillances lors d'un essai d'endurance court et pratique, il convient d'utiliser une température d'essai élevée. Cependant, avec les diodes et les modules laser, on doit veiller à la validité des prédictions de durée de vie réalisées à partir d'essais à température élevée. A température élevée, il existe un risque de défaillance occasionnée par un mécanisme d'énergie d'activation élevée, tandis qu'à température basse, un mécanisme d'énergie d'activation plus faible est susceptible de dominer. Par exemple, des défaillances associées à une métallisation et une liaison ont souvent des énergies d'activation élevées (>0,7 eV), tandis que la dégradation de la puce laser peut avoir une énergie d'activation plus faible.

Il convient donc de prendre des précautions lorsque l'on extrapole les résultats des essais à température élevée pour des températures normales de fonctionnement. Certains modules laser contiennent des matériaux organiques ou plastiques (par exemple, les passivations de photodiodes ou revêtements de fibre), ou des brasures à point de fusion faible, qui limitent la température supérieure à laquelle l'essai peut être réalisé.

a) Extrapolation of laser threshold or operating current

Almost all lasers exhibit a gradual increase in threshold current (and hence in the driving current required for a given light output) during life testing and normal operation. The life times of individual lasers can then be predicted by extrapolating the increase in current to some pre-determined failure criterion (for example 100 % increase). A widely used model, well adapted to life data, is the relation:

$$(I - I_0)/I_0 = At^n \quad (\text{B.2})$$

where

I is the operating current (or threshold current);

I_0 is the operating current, initial value;

t is the time;

A and n are constant.

Although a linear extrapolation ($n = 1$) is often used for simplicity, in general the exponent, n , has a value less than unity, for example 0,5. Allowances for initial changes may be necessary to enable long-term degradation trends to be modelled more accurately. Alternative models to equation (B.2) are acceptable, provided that they give a significantly better fit to presented data.

Using this relationship, the distribution of lifetimes at the life test temperature can be obtained. With well manufactured and screened lasers, a life test duration of several thousand hours will be required to obtain sufficient degradation for a good prediction of lifetime to be made.

b) Changes in laser module fibre output power

Laser modules are usually operated with the laser drive current controlled to maintain a constant monitor photodiode output. Under such conditions, any changes in alignment of the optical fibre/laser facet will result in changes in the fibre output power. The changes in fibre output power from laser transmitter modules is also usually very gradual, although very rapid failures have been observed.

Extrapolation of the changes observed during life test is therefore usually required. A simple linear extrapolation is often applied, but the best fit to the fibre movement can result in non-linear changes in light output.

c) Temperature dependence of lifetime

For discrete components such as laser diodes or photodiodes, the Arrhenius relationship (equation B.1) can readily be used to describe the temperature dependence of the component lifetime, and hence to estimate the lifetime at the normal operating temperature. The median life (time for 50 % wearout failure) at each life test temperature can be used in the estimation of the activation energy.

The Arrhenius relationship indicates that, to obtain failures in a conveniently short life test, a high test temperature should be used. However, with laser diodes and modules care shall be taken that the lifetime predictions made from high temperature tests are valid. At high temperatures there is a risk that failure will occur due to a high activation energy mechanism, whereas at lower activation energy mechanism might dominate. For example, failures associated with metallization and bonding often have high activation energies (>0,7 eV), whereas laser chip degradation can have a lower activation energy.

Care should therefore be taken when extrapolating the results of high-temperature life tests to normal operating temperatures. Some laser modules contain organic or plastic materials (for example photodiode passivations or fibre coatings), or low melting point solders, which limit the upper temperature at which testing can be performed.

Il est nécessaire de prendre des précautions lorsqu'on présuppose que l'énergie d'activation obtenue lors d'essais d'endurance à haute température de fonctionnement est applicable à des températures normales de fonctionnement. L'analyse des données d'essai d'endurance et l'analyse de défaillance des composants dégradés peut montrer si le même mécanisme de défaillance provoque des défaillances sur la gamme de températures d'essai d'endurance. Il convient que la répartition des durées de vie soit la même pour toutes les températures d'essai si un mécanisme de défaillance seulement est présent. Un essai d'endurance à long terme (10 000 h) à une température relativement basse (par exemple 50 °C) peut assurer que les résultats d'essai d'endurance à température élevée sont applicable à un fonctionnement normal.

d) Interprétation des résultats d'essai d'endurance sur des modules d'émetteur laser

Elle est plus complexe pour les raisons suivantes:

- i) différentes contraintes sont expérimentées par les divers composants constitutifs au cours des essais d'endurance;
- ii) sera nécessaire d'utiliser un certain nombre d'énergies d'activation différentes pour estimer la durée de vie du module dans des conditions de fonctionnement normales.

Si une valeur s'appliquant à l'énergie d'activation n'est pas disponible parmi les données d'essai d'endurance, on en fixe souvent une (une valeur par défaut doit être fixée d'un commun accord entre le client et l'ONS). Il convient de prendre des précautions lors de l'interprétation de prédictions de durée de vie fondées sur des valeurs présumées d'énergie d'activation.

Tableau B.10 – Valeurs d'énergie d'activation recommandées pour les prédictions de durée de vie (quand une valeur déterminée expérimentalement n'est pas disponible, c'est-à-dire des valeurs par défaut)

Composant/mécanisme de défaillance	Energie d'activation eV	Facteur d'accélération de T_{op} 70 °C à 25 °C
1) Défaillances dues à l'usure du diode laser		
a) hétérostructure enterrée	0,5	13
b) croissant enterré	0,3	4,6
c) guide d'onde nervuré	0,3	4,6
Stabilité de fibre du module laser	0,7	36
Courant d'obscurité de photodiode	0,7	36
2) Défaillances aléatoires		
Tous les composants	0,35	6

B.3.2 Prédiction du taux de défaillance

La variation du taux de défaillance en fonction du temps peut être représentée sous une forme simplifiée et généralisée par la «courbe en baignoire» présentée sur la figure A.2. Les composants optoélectroniques, et particulièrement les lasers, sont vulnérables aux défaillances prématurées, et le taux de défaillance prématurée peut être élevé si le vieillissement artificiel et la sélection ne sont pas appropriés. Au cours de la durée de vie utile, quand les défaillances aléatoires dominent, on présume que le taux de défaillance est constant. Le taux de défaillance commence alors à augmenter à nouveau tandis qu'un mécanisme de défaillance par usure générale provoque des défaillances. Au niveau des dispositifs, il n'est pas exclu que la défaillance par usure ait un effet significatif sur le taux de défaillance du système, la durée de vie utile du dispositif étant susceptible d'être inférieure à la durée de vie prévue du système.

Caution is needed when assuming that an activation energy obtained in high operating temperature life tests is applicable to normal operating temperatures. Analysis of life test data and failure analysis of degraded components can show whether the same failure mechanism is causing failures over the life test temperature range. The distribution of life times should be the same at all life test temperatures if only a single failure mechanism is present. A long-term (10 000 h) life test at a relatively low (for example 50 °C) temperature can give confidence that results of high-temperature life tests are relevant to normal operation.

d) Interpretation of life test results on laser transmitter modules

This is more complex due to:

- i) the different stresses experienced by the various constituent components during the life tests;
- ii) a number of different activation energies that need to be used in the estimation of the module life time under normal operating conditions.

If a value for the activation energy is not available from life test data, one is often assumed (a default value should be agreed with the customer and ONS). Caution should be taken when interpreting lifetime predictions based on assumed values of activation energy.

**Table B.10 – Recommended values of activation energy
for lifetime predictions
(when an experimentally determined value is not available,
i.e. default values)**

Component/failure mechanism	Activation energy eV	Acceleration factor from T_{op} 70 °C to 25 °C
1) Wearout failures on laser diodes:		
a) buried heterostructure	0,5	13
b) buried crescent	0,3	4,6
c) ridge waveguide	0,3	4,6
Laser module fibre stability	0,7	36
Photodiode dark current	0,7	36
2) Random failures		
All components	0,35	6

B.3.2 Failure rate prediction

The variation of failure rate with time can be represented in simplified and generalized form by the “bathtub curve” shown in figure A.2. Optoelectronic components, and particularly lasers, are vulnerable to early failures, and the early failure rate can be high if burn-in and screening are not adequate. During the useful life, where randomly occurring failures dominate, the failure rate is assumed constant. The failure rate then begins to increase again as general wear-out failure mechanism causes failures. With devices, wearout failure may have a significant effect on the system failure rate, as the devices useful life may be less than the expected system lifetime.

a) Taux de défaillance du composant dû à l'usure

On a utilisé la répartition log-normale, tout comme la répartition de Weibull, pour décrire la répartition des durées de vie du laser et du détecteur. La figure 3 fournit un exemple de tracé log-normal des durées de vie des lasers. On peut constater un étalement important des durées de vie et on peut montrer que le taux de défaillance dû à l'usure n'est pas constant. Il ne suffit donc pas de décrire simplement la durée de vie par le terme «MTTF», couramment utilisé, et il faut fournir deux paramètres, la durée de vie moyenne (durée pour une défaillance par usure de 50 %) ainsi que la dispersion (qui indique une mesure de l'étalement au niveau des durées de vie) pour permettre de déterminer le taux de défaillance en fonction du temps. La dispersion, sigma (σ) est égale à $\log_e(t_{50}/t_{16})$, où t_{50} représente la durée de vie moyenne et t_{16} le temps pour un taux de défaillance de 16 %.

La variation du taux de défaillance en fonction du temps dépend beaucoup de la valeur de la dispersion. Pour illustrer ce point, la figure A.4 indique le taux de défaillance en fonction du temps pour les composants présentant une répartition log-normale de la durée de vie pour une durée de vie moyenne de 106 h et des valeurs de dispersion comprises entre 0,5 et 2,0.

Le taux de défaillance par usure pour les composants présentant une répartition log-normale de la durée de vie peut être déterminé en utilisant des courbes Goldthwaite si la durée de vie moyenne et la dispersion sont connues.

Il convient d'estimer la durée de vie moyenne et la dispersion du point de vue de la taille d'échantillon, car la valeur est entièrement correcte quand la taille est infinie ou très importante. Un essai de fiabilité sur des échantillons finis ne donnera pas de résultats identiques et introduira une incertitude au niveau de la valeur. L'incertitude est liée à un niveau de fiabilité indiquant une probabilité que la vraie valeur soit comprise dans un certain intervalle. Le niveau de fiabilité est généralement exprimé par une valeur comprise entre 0 % et 100 %. La fonction de répartition log-normale est présumée pour la défaillance par usure dans le tableau 2. Les valeurs de $(t_{mp}/t_{mh})^{1/\sigma}$ où t_{mp} est la durée de vie médiane, et t_{mh} et σ , respectivement la durée de vie médiane et la dispersion estimées à partir des essais d'endurance, sont indiquées dans le tableau B.11. La durée de vie médiane t_{mp} est alors calculée, pour un niveau de confiance donné à partir des valeurs du tableau B.11.

Pour simplifier, il n'est pas exclu qu'un opérateur du système (SO) désire seulement connaître le moment où un pourcentage de défaillance donné surviendra, ou alternativement, le pourcentage de défaillance au cours de la durée de vie du système. Ces deux valeurs peuvent être estimées à partir de la répartition des durées de vie (comme dans l'exemple indiqué dans la figure B.3).

Le taux de défaillance à d'autres températures peut être calculé en utilisant l'énergie d'activation correspondant à la dépendance entre la température et la durée de vie, voir B.1.1, équation (B.1).

b) Taux de défaillance aléatoire

On doit traiter toutes les défaillances qui ne sont pas considérées comme intégrées à la répartition de l'usure principale soit comme des défaillances prématurées, soit comme des défaillances aléatoires. Pour un essai d'endurance sur des dispositifs entièrement sélectionnés, le nombre de défaillances prématurées est généralement réduit, et toutes les défaillances non dues à l'usure sont normalement considérées comme des défaillances aléatoires pour effectuer des calculs de taux de défaillance.

On présume que le taux de défaillance aléatoire est constant et les durées de vie des composants peuvent donc être décrites par la répartition exponentielle. Le taux de défaillance peut être estimé à partir du nombre total de défaillances du composant et du nombre total d'heures accumulées pour le composant au cours des essais d'endurance ou du fonctionnement sur le terrain. En outre, il est possible de fixer des limites de fiabilité pour cette estimation en supposant que, si une série d'échantillons provient d'une population dont le taux de défaillance est connu et qu'elle est soumise à des essais pendant un certain temps, alors le nombre total de défaillances observées satisfait à une répartition de Poisson, qu'il est admis d'arrondir par une répartition Chi au carré. Le tableau B.13 indique une classification relative à l'évaluation de la limite de fiabilité supérieure du taux de défaillance pour un nombre donné d'heures de composant, C, et de défaillances, n. La limite de fiabilité inférieure peut également être calculée au niveau de la défaillance aléatoire, mais peu de défaillances aléatoires ont été observées au cours d'essais de fiabilité réels ou sur le terrain. Dans une telle situation, la limite inférieure n'est pas réellement significative.

a) Component failure rate due to wear-out

Both log-normal and Weibull distribution have been used to describe the distribution of laser and detector lifetimes. An example of a log-normal plot of laser lifetimes is shown in figure A.3. It can be seen that there is a significant spread in lifetimes and it can be shown that the failure rate due to wear-out is not constant. Simply describing the lifetime by the commonly used term “MTTF” is therefore not sufficient, and two parameters, the median life (time for 50 % wear-out failure) and the dispersion (which gives a measure of the spread in lifetimes) are required to allow the failure rate to be determined as a function of time. The dispersion, sigma (σ), is equal to $\log_e(t_{50}/t_{16})$, where t_{50} is the median life and t_{16} is the time for 16 % failures.

The variation of the failure rate with time is very dependent on the value of the dispersion. To illustrate this point, figure A.4 shows the failure rate as a function of time for components having a log-normal lifetime distribution with a median life of 106 h and values of dispersion in the range 0,5 to 2,0.

The wear-out failure rate for components having a log-normal lifetime distribution can be determined using Goldthwaite curves if the median life and dispersion are known.

The estimated median life and the dispersion should be assessed from the viewpoint of sample size, because the values are correct when the size is infinite or very large. Reliability testing on finite samples will not give identical results and introduce an uncertainty to the value. The uncertainty is related to a confidence level indicating a probability that the true value is included in a certain range. The confidence level is usually expressed by a value between 0 % and 100 %. The log-normal distribution function is assumed for wear-out failure in table 2. The values of $(t_{mp}/t_{mh})^{1/\sigma}$ are indicated in table B.11, where t_{mp} is the median life, t_{mh} and σ are the median life and the dispersion estimated from life test data. The median life, t_{mp} , is, therefore, calculated by using table B.11 at a certain confidence level.

For simplicity, a system operator may only wish to know the time at which a given percentage of failures will occur, or alternatively, the percentage of failures which will occur during the system lifetime. Both these values can be estimated from the distribution of lifetime (as in the example shown in figure B.3).

The failure rate at other temperatures can be calculated using the activation energy for the lifetime temperature dependence, see B.1.1, equation (B.1).

b) Random failure rate

Any failures not considered to be part of the main wearout distribution, shall be treated as either early failures or random failures. With a life test of fully screened devices, the number of early failures is usually small, and all non-wearout failures are normally considered as random failures for the purpose of failure rate calculations.

The random failure rate is assumed to be constant, and component lifetimes can therefore be described by the exponential distribution. The failure rate can be estimated from the total number of component failures and total number of component hours accumulated during life tests or operation in the field. Furthermore, confidence limits can be placed on this, estimated by the hypothesis that if a series of samples are drawn from a population of known failure rate and tested for a certain time, then the total number of observed failures will satisfy a Poisson distribution, which may be approximated by a Chi square distribution. A tabulation for the evaluation of the upper confidence limit of the failure rate for a given number of component hours, C , and failures, n , is shown in table B.13. The lower confidence limit can also be calculated for random failure, but few random failures have been observed during actual reliability tests or in the field. In such a situation, the lower limit has no real significant meaning.

Tableau B.11 – Coefficient relatif aux niveaux maximal et minimal de durée de vie moyenne selon une répartition log-normale, $(t_{mp}/t_{mh})^{1/\sigma}$

Niveau de fiabilité	60 %		67 %		70 %		80 %		90 %	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
2	2,117	0,472	2,466	0,406	2,665	0,375	3,794	0,264	7,883	0,127
3	1,759	0,568	1,954	0,512	2,058	0,486	2,574	0,388	3,891	0,257
4	1,601	0,625	1,740	0,575	1,813	0,552	2,152	0,465	2,904	0,344
5	1,509	0,663	1,620	0,617	1,677	0,596	1,935	0,517	2,462	0,406
6	1,447	0,691	1,541	0,649	1,589	0,629	1,800	0,556	2,211	0,452
7	1,403	0,713	1,485	0,673	1,527	0,655	1,707	0,586	2,046	0,489
8	1,369	0,730	1,443	0,693	1,480	0,676	1,639	0,610	1,930	0,518
9	1,342	0,745	1,410	0,709	1,443	0,693	1,586	0,631	1,842	0,543
10	1,320	0,757	1,382	0,723	1,413	0,708	1,543	0,648	1,774	0,564
11	1,302	0,768	1,360	0,735	1,388	0,720	1,508	0,663	1,719	0,582
12	1,286	0,777	1,341	0,746	1,367	0,731	1,479	0,676	1,673	0,598
13	1,273	0,786	1,324	0,755	1,349	0,741	1,454	0,688	1,634	0,612
14	1,261	0,793	1,310	0,764	1,333	0,750	1,433	0,698	1,601	0,625
15	1,251	0,800	1,297	0,771	1,319	0,758	1,414	0,707	1,572	0,636
16	1,241	0,806	1,286	0,778	1,307	0,765	1,397	0,716	1,537	0,646
17	1,233	0,811	1,275	0,784	1,296	0,772	1,382	0,724	1,525	0,656
18	1,225	0,816	1,226	0,790	1,286	0,778	1,368	0,731	1,505	0,664
19	1,218	0,821	1,258	0,795	1,277	0,783	1,356	0,737	1,487	0,673
20	1,212	0,825	1,250	0,800	1,269	0,788	1,345	0,744	1,471	0,680
21	1,206	0,829	1,243	0,804	1,261	0,793	1,335	0,749	1,456	0,687
22	1,201	0,833	1,237	0,809	1,254	0,797	1,325	0,755	1,442	0,693
23	1,196	0,836	1,231	0,813	1,247	0,802	1,317	0,759	1,430	0,700
24	1,191	0,840	1,225	0,816	1,241	0,806	1,309	0,764	1,418	0,705
25	1,187	0,843	1,220	0,820	1,236	0,809	1,301	0,769	1,407	0,711
26	1,183	0,846	1,215	0,823	1,230	0,813	1,294	0,773	1,397	0,716
27	1,179	0,848	1,210	0,826	1,226	0,816	1,288	0,777	1,388	0,721
28	1,175	0,851	1,206	0,829	1,221	0,819	1,282	0,780	1,379	0,725
29	1,172	0,853	1,202	0,832	1,216	0,822	1,276	0,784	1,371	0,729
30	1,169	0,856	1,198	0,835	1,212	0,825	1,270	0,787	1,363	0,733
31	1,166	0,858	1,195	0,837	1,208	0,828	1,265	0,790	1,356	0,737
32	1,163	0,860	1,191	0,840	1,205	0,830	1,260	0,793	1,349	0,741
33	1,160	0,862	1,188	0,842	1,201	0,833	1,256	0,796	1,343	0,745
34	1,157	0,864	1,185	0,844	1,198	0,835	1,251	0,799	1,337	0,748
35	1,155	0,866	1,182	0,846	1,195	0,837	1,247	0,802	1,331	0,751
36	1,153	0,868	1,179	0,848	1,192	0,839	1,243	0,804	1,325	0,755
37	1,150	0,869	1,176	0,850	1,189	0,841	1,239	0,807	1,320	0,758
38	1,148	0,871	1,174	0,852	1,186	0,843	1,236	0,809	1,315	0,761
39	1,146	0,873	1,171	0,854	1,183	0,845	1,232	0,812	1,310	0,763
40	1,144	0,874	1,169	0,856	1,181	0,847	1,229	0,814	1,305	0,766
45	1,135	0,881	1,158	0,863	1,169	0,855	1,241	0,824	1,285	0,778
50	1,128	0,887	1,149	0,870	1,160	0,862	1,202	0,832	1,268	0,789
55	1,121	0,892	1,142	0,876	1,152	0,868	1,191	0,840	1,253	0,798
60	1,116	0,896	1,135	0,881	1,145	0,874	1,182	0,846	1,241	0,806
65	1,111	0,900	1,129	0,885	1,138	0,878	1,174	0,852	1,230	0,813
70	1,107	0,904	1,124	0,889	1,133	0,883	1,167	0,857	1,220	0,819
75	1,103	0,907	1,120	0,893	1,128	0,886	1,161	0,861	1,212	0,825
80	1,099	0,910	1,116	0,896	1,124	0,890	1,155	0,856	1,205	0,830
85	1,096	0,912	1,112	0,899	1,120	0,893	1,150	0,869	1,198	0,835
90	1,093	0,915	1,109	0,902	1,116	0,896	1,146	0,873	1,191	0,839
95	1,091	0,917	1,106	0,904	1,113	0,899	1,142	0,876	1,186	0,843
100	1,088	0,919	1,103	0,907	1,110	0,901	1,138	0,879	1,181	0,847

t_{mp} : durée de vie moyenne.
 σ : dispersion.
 t_{mh} : durée de vie moyenne estimée à partir des données d'essai.
 n : nombre d'échantillons.

Table B.11 – Coefficient for upper and lower level of median life in log-normal distribution, $(t_{mp}/t_{mh})^{1/\sigma}$

Confidence level	60 %		67 %		70 %		80 %		90 %	
	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
2	2,117	0,472	2,466	0,406	2,665	0,375	3,794	0,264	7,883	0,127
3	1,759	0,568	1,954	0,512	2,058	0,486	2,574	0,388	3,891	0,257
4	1,601	0,625	1,740	0,575	1,813	0,552	2,152	0,465	2,904	0,344
5	1,509	0,663	1,620	0,617	1,677	0,596	1,935	0,517	2,462	0,406
6	1,447	0,691	1,541	0,649	1,589	0,629	1,800	0,556	2,211	0,452
7	1,403	0,713	1,485	0,673	1,527	0,655	1,707	0,586	2,046	0,489
8	1,369	0,730	1,443	0,693	1,480	0,676	1,639	0,610	1,930	0,518
9	1,342	0,745	1,410	0,709	1,443	0,693	1,586	0,631	1,842	0,543
10	1,320	0,757	1,382	0,723	1,413	0,708	1,543	0,648	1,774	0,564
11	1,302	0,768	1,360	0,735	1,388	0,720	1,508	0,663	1,719	0,582
12	1,286	0,777	1,341	0,746	1,367	0,731	1,479	0,676	1,673	0,598
13	1,273	0,786	1,324	0,755	1,349	0,741	1,454	0,688	1,634	0,612
14	1,261	0,793	1,310	0,764	1,333	0,750	1,433	0,698	1,601	0,625
15	1,251	0,800	1,297	0,771	1,319	0,758	1,414	0,707	1,572	0,636
16	1,241	0,806	1,286	0,778	1,307	0,765	1,397	0,716	1,537	0,646
17	1,233	0,811	1,275	0,784	1,296	0,772	1,382	0,724	1,525	0,656
18	1,225	0,816	1,226	0,790	1,286	0,778	1,368	0,731	1,505	0,664
19	1,218	0,821	1,258	0,795	1,277	0,783	1,356	0,737	1,487	0,673
20	1,212	0,825	1,250	0,800	1,269	0,788	1,345	0,744	1,471	0,680
21	1,206	0,829	1,243	0,804	1,261	0,793	1,335	0,749	1,456	0,687
22	1,201	0,833	1,237	0,809	1,254	0,797	1,325	0,755	1,442	0,693
23	1,196	0,836	1,231	0,813	1,247	0,802	1,317	0,759	1,430	0,700
24	1,191	0,840	1,225	0,816	1,241	0,806	1,309	0,764	1,418	0,705
25	1,187	0,843	1,220	0,820	1,236	0,809	1,301	0,769	1,407	0,711
26	1,183	0,846	1,215	0,823	1,230	0,813	1,294	0,773	1,397	0,716
27	1,179	0,848	1,210	0,826	1,226	0,816	1,288	0,777	1,388	0,721
28	1,175	0,851	1,206	0,829	1,221	0,819	1,282	0,780	1,379	0,725
29	1,172	0,853	1,202	0,832	1,216	0,822	1,276	0,784	1,371	0,729
30	1,169	0,856	1,198	0,835	1,212	0,825	1,270	0,787	1,363	0,733
31	1,166	0,858	1,195	0,837	1,208	0,828	1,265	0,790	1,356	0,737
32	1,163	0,860	1,191	0,840	1,205	0,830	1,260	0,793	1,349	0,741
33	1,160	0,862	1,188	0,842	1,201	0,833	1,256	0,796	1,343	0,745
34	1,157	0,864	1,185	0,844	1,198	0,835	1,251	0,799	1,337	0,748
35	1,155	0,866	1,182	0,846	1,195	0,837	1,247	0,802	1,331	0,751
36	1,153	0,868	1,179	0,848	1,192	0,839	1,243	0,804	1,325	0,755
37	1,150	0,869	1,176	0,850	1,189	0,841	1,239	0,807	1,320	0,758
38	1,148	0,871	1,174	0,852	1,186	0,843	1,236	0,809	1,315	0,761
39	1,146	0,873	1,171	0,854	1,183	0,845	1,232	0,812	1,310	0,763
40	1,144	0,874	1,169	0,856	1,181	0,847	1,229	0,814	1,305	0,766
45	1,135	0,881	1,158	0,863	1,169	0,855	1,241	0,824	1,285	0,778
50	1,128	0,887	1,149	0,870	1,160	0,862	1,202	0,832	1,268	0,789
55	1,121	0,892	1,142	0,876	1,152	0,868	1,191	0,840	1,253	0,798
60	1,116	0,896	1,135	0,881	1,145	0,874	1,182	0,846	1,241	0,806
65	1,111	0,900	1,129	0,885	1,138	0,878	1,174	0,852	1,230	0,813
70	1,107	0,904	1,124	0,889	1,133	0,883	1,167	0,857	1,220	0,819
75	1,103	0,907	1,120	0,893	1,128	0,886	1,161	0,861	1,212	0,825
80	1,099	0,910	1,116	0,896	1,124	0,890	1,155	0,856	1,205	0,830
85	1,096	0,912	1,112	0,899	1,120	0,893	1,150	0,869	1,198	0,835
90	1,093	0,915	1,109	0,902	1,116	0,896	1,146	0,873	1,191	0,839
95	1,091	0,917	1,106	0,904	1,113	0,899	1,142	0,876	1,186	0,843
100	1,088	0,919	1,103	0,907	1,110	0,901	1,138	0,879	1,181	0,847

t_{mp} : median life.
 σ : dispersion.
 t_{mh} : median life estimated from life test data.
 n : sample number.

Tableau B.12 – Coefficient multiplicateur relatif aux niveaux maximal et minimal de dispersion

Niveau de fiabilité	60 %		67 %		70 %		80 %		90 %	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
2	1,497	0,557	1,665	0,527	1,754	0,513	2,178	0,466	3,122	0,409
3	1,411	0,656	1,525	0,627	1,583	0,613	1,850	0,566	2,384	0,506
4	1,349	0,708	1,437	0,680	1,482	0,667	1,679	0,621	2,055	0,562
5	1,307	0,741	1,380	0,714	1,416	0,702	1,576	0,658	1,869	0,601
6	1,276	0,764	1,339	0,739	1,371	0,728	1,506	0,685	1,749	0,630
7	1,253	0,782	1,309	0,758	1,337	0,747	1,455	0,707	1,664	0,653
8	1,234	0,797	1,285	0,773	1,310	0,763	1,416	0,724	1,601	0,672
9	1,219	0,808	1,266	0,786	1,289	0,776	1,385	0,738	1,551	0,688
10	1,207	0,818	1,250	0,797	1,271	0,787	1,360	0,750	1,511	0,701
11	1,196	0,827	1,237	0,806	1,256	0,796	1,339	0,761	1,478	0,713
12	1,187	0,834	1,225	0,814	1,243	0,805	1,321	0,770	1,451	0,723
13	1,179	0,841	1,215	0,821	1,232	0,812	1,305	0,778	1,427	0,733
14	1,172	0,846	1,206	0,827	1,223	0,818	1,292	0,786	1,407	0,741
15	1,165	0,851	1,198	0,833	1,214	0,824	1,280	0,792	1,389	0,748
16	1,160	0,856	1,191	0,838	1,206	0,830	1,269	0,798	1,373	0,755
17	1,155	0,860	1,185	0,843	1,199	0,834	1,260	0,804	1,358	0,762
18	1,150	0,864	1,179	0,847	1,193	0,839	1,251	0,809	1,345	0,767
19	1,146	0,868	1,174	0,851	1,187	0,843	1,243	0,813	1,334	0,773
20	1,142	0,871	1,169	0,854	1,182	0,847	1,236	0,818	1,323	0,778
21	1,138	0,874	1,164	0,858	1,177	0,850	1,229	0,822	1,314	0,782
22	1,135	0,877	1,160	0,861	1,172	0,854	1,223	0,826	1,305	0,787
23	1,131	0,880	1,156	0,864	1,168	0,857	1,217	0,829	1,296	0,791
24	1,128	0,882	1,153	0,867	1,164	0,860	1,212	0,832	1,289	0,795
25	1,126	0,885	1,149	0,869	1,161	0,862	1,207	0,835	1,282	0,798
26	1,123	0,887	1,146	0,872	1,157	0,865	1,202	0,838	1,275	0,802
27	1,121	0,889	1,143	0,874	1,154	0,867	1,198	0,841	1,269	0,805
28	1,118	0,891	1,140	0,876	1,151	0,869	1,194	0,844	1,263	0,808
29	1,116	0,893	1,138	0,878	1,148	0,872	1,190	0,846	1,257	0,811
30	1,114	0,895	1,135	0,880	1,145	0,874	1,186	0,849	1,252	0,814
31	1,112	0,896	1,133	0,882	1,142	0,876	1,183	0,851	1,247	0,817
32	1,110	0,898	1,130	0,884	1,140	0,878	1,180	0,853	1,243	0,819
33	1,108	0,899	1,128	0,886	1,138	0,879	1,177	0,855	1,238	0,822
34	1,107	0,901	1,126	0,887	1,136	0,881	1,174	0,857	1,234	0,824
35	1,105	0,902	1,124	0,889	1,133	0,883	1,171	0,859	1,230	0,826
36	1,103	0,904	1,122	0,890	1,131	0,884	1,168	0,861	1,226	0,828
37	1,102	0,905	1,121	0,892	1,129	0,886	1,166	0,863	1,223	0,831
38	1,101	0,906	1,119	0,893	1,128	0,887	1,163	0,865	1,219	0,833
39	1,099	0,907	1,117	0,895	1,126	0,889	1,161	0,866	1,216	0,835
40	1,098	0,908	1,116	0,896	1,124	0,890	1,159	0,868	1,213	0,836
45	1,092	0,914	1,109	0,902	1,117	0,896	1,149	0,875	1,199	0,845
50	1,087	0,918	1,103	0,906	1,110	0,901	1,140	0,881	1,187	0,852
55	1,083	0,922	1,098	0,911	1,105	0,906	1,133	0,886	1,177	0,858
60	1,079	0,925	1,093	0,914	1,100	0,909	1,127	0,891	1,169	0,864
65	1,076	0,928	1,089	0,918	1,096	0,913	1,121	0,895	1,161	0,869
70	1,073	0,930	1,086	0,921	1,092	0,916	1,117	0,898	1,155	0,873
75	1,071	0,933	1,083	0,923	1,089	0,919	1,112	0,901	1,149	0,877
80	1,068	0,935	1,080	0,926	1,086	0,921	1,109	0,904	1,144	0,881
85	1,066	0,937	1,078	0,928	1,083	0,923	1,105	0,907	1,139	0,884
90	1,064	0,938	1,075	0,930	1,081	0,926	1,102	0,910	1,135	0,887
95	1,063	0,940	1,073	0,931	1,078	0,927	1,099	0,912	1,131	0,890
100	1,061	0,942	1,071	0,933	1,076	0,929	1,096	0,914	1,127	0,892

Table B.12 – Multiplying coefficient for upper and lower level of dispersion

Confidence level	60 %		67 %		70 %		80 %		90 %	
	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
2	1,497	0,557	1,665	0,527	1,754	0,513	2,178	0,466	3,122	0,409
3	1,411	0,656	1,525	0,627	1,583	0,613	1,850	0,566	2,384	0,506
4	1,349	0,708	1,437	0,680	1,482	0,667	1,679	0,621	2,055	0,562
5	1,307	0,741	1,380	0,714	1,416	0,702	1,576	0,658	1,869	0,601
6	1,276	0,764	1,339	0,739	1,371	0,728	1,506	0,685	1,749	0,630
7	1,253	0,782	1,309	0,758	1,337	0,747	1,455	0,707	1,664	0,653
8	1,234	0,797	1,285	0,773	1,310	0,763	1,416	0,724	1,601	0,672
9	1,219	0,808	1,266	0,786	1,289	0,776	1,385	0,738	1,551	0,688
10	1,207	0,818	1,250	0,797	1,271	0,787	1,360	0,750	1,511	0,701
11	1,196	0,827	1,237	0,806	1,256	0,796	1,339	0,761	1,478	0,713
12	1,187	0,834	1,225	0,814	1,243	0,805	1,321	0,770	1,451	0,723
13	1,179	0,841	1,215	0,821	1,232	0,812	1,305	0,778	1,427	0,733
14	1,172	0,846	1,206	0,827	1,223	0,818	1,292	0,786	1,407	0,741
15	1,165	0,851	1,198	0,833	1,214	0,824	1,280	0,792	1,389	0,748
16	1,160	0,856	1,191	0,838	1,206	0,830	1,269	0,798	1,373	0,755
17	1,155	0,860	1,185	0,843	1,199	0,834	1,260	0,804	1,358	0,762
18	1,150	0,864	1,179	0,847	1,193	0,839	1,251	0,809	1,345	0,767
19	1,146	0,868	1,174	0,851	1,187	0,843	1,243	0,813	1,334	0,773
20	1,142	0,871	1,169	0,854	1,182	0,847	1,236	0,818	1,323	0,778
21	1,138	0,874	1,164	0,858	1,177	0,850	1,229	0,822	1,314	0,782
22	1,135	0,877	1,160	0,861	1,172	0,854	1,223	0,826	1,305	0,787
23	1,131	0,880	1,156	0,864	1,168	0,857	1,217	0,829	1,296	0,791
24	1,128	0,882	1,153	0,867	1,164	0,860	1,212	0,832	1,289	0,795
25	1,126	0,885	1,149	0,869	1,161	0,862	1,207	0,835	1,282	0,798
26	1,123	0,887	1,146	0,872	1,157	0,865	1,202	0,838	1,275	0,802
27	1,121	0,889	1,143	0,874	1,154	0,867	1,198	0,841	1,269	0,805
28	1,118	0,891	1,140	0,876	1,151	0,869	1,194	0,844	1,263	0,808
29	1,116	0,893	1,138	0,878	1,148	0,872	1,190	0,846	1,257	0,811
30	1,114	0,895	1,135	0,880	1,145	0,874	1,186	0,849	1,252	0,814
31	1,112	0,896	1,133	0,882	1,142	0,876	1,183	0,851	1,247	0,817
32	1,110	0,898	1,130	0,884	1,140	0,878	1,180	0,853	1,243	0,819
33	1,108	0,899	1,128	0,886	1,138	0,879	1,177	0,855	1,238	0,822
34	1,107	0,901	1,126	0,887	1,136	0,881	1,174	0,857	1,234	0,824
35	1,105	0,902	1,124	0,889	1,133	0,883	1,171	0,859	1,230	0,826
36	1,103	0,904	1,122	0,890	1,131	0,884	1,168	0,861	1,226	0,828
37	1,102	0,905	1,121	0,892	1,129	0,886	1,166	0,863	1,223	0,831
38	1,101	0,906	1,119	0,893	1,128	0,887	1,163	0,865	1,219	0,833
39	1,099	0,907	1,117	0,895	1,126	0,889	1,161	0,866	1,216	0,835
40	1,098	0,908	1,116	0,896	1,124	0,890	1,159	0,868	1,213	0,836
45	1,092	0,914	1,109	0,902	1,117	0,896	1,149	0,875	1,199	0,845
50	1,087	0,918	1,103	0,906	1,110	0,901	1,140	0,881	1,187	0,852
55	1,083	0,922	1,098	0,911	1,105	0,906	1,133	0,886	1,177	0,858
60	1,079	0,925	1,093	0,914	1,100	0,909	1,127	0,891	1,169	0,864
65	1,076	0,928	1,089	0,918	1,096	0,913	1,121	0,895	1,161	0,869
70	1,073	0,930	1,086	0,921	1,092	0,916	1,117	0,898	1,155	0,873
75	1,071	0,933	1,083	0,923	1,089	0,919	1,112	0,901	1,149	0,877
80	1,068	0,935	1,080	0,926	1,086	0,921	1,109	0,904	1,144	0,881
85	1,066	0,937	1,078	0,928	1,083	0,923	1,105	0,907	1,139	0,884
90	1,064	0,938	1,075	0,930	1,081	0,926	1,102	0,910	1,135	0,887
95	1,063	0,940	1,073	0,931	1,078	0,927	1,099	0,912	1,131	0,890
100	1,061	0,942	1,071	0,933	1,076	0,929	1,096	0,914	1,127	0,892

Tableau B.13 – Taux de défaillance pour une répartition exponentielle de la durée de vie

Nombre de défaillances	χ pour le niveau de fiabilité		
	60 %	90 %	99 %
0	1,83	4,61	9,21
1	4,05	7,78	13,28
2	6,21	10,65	16,81
3	8,35	13,36	20,09
4	10,47	15,99	23,21
5	12,58	18,55	26,22
6	14,68	21,06	29,14
7	16,78	23,54	32,00
8	18,87	25,99	34,81
9	20,95	28,41	37,57
10	23,03	30,81	40,29
11	25,11	33,20	42,98
12	27,17	35,56	45,64
13	29,25	37,91	48,28
14	31,32	40,26	50,89
15	33,38	42,59	53,48

Taux de défaillance = $\chi/2C$
 où
 C représente les heures accumulées du composant;
 χ représente la valeur pour un niveau de fiabilité donné.

Table B.13 – Failure rate for an exponential lifetime distribution

Number of failures	χ for confidence level		
	60 %	90 %	99 %
0	1,83	4,61	9,21
1	4,05	7,78	13,28
2	6,21	10,65	16,81
3	8,35	13,36	20,09
4	10,47	15,99	23,21
5	12,58	18,55	26,22
6	14,68	21,06	29,14
7	16,78	23,54	32,00
8	18,87	25,99	34,81
9	20,95	28,41	37,57
10	23,03	30,81	40,29
11	25,11	33,20	42,98
12	27,17	35,56	45,64
13	29,25	37,91	48,28
14	31,32	40,26	50,89
15	33,38	42,59	53,48

Failure rate = $\chi/2C$
where
C represents the accumulated component hours;
 χ is the value for a given confidence level.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.



Standards Survey

We at the IEC want to know how our standards are used once they are published.

The answers to this survey will help us to improve IEC standards and standard related information to meet your future needs

Would you please take a minute to answer the survey on the other side and mail or fax to:

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

Case postale 131

1211 Geneva 20

Switzerland

or

Fax to: CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

Case postale 131

1211 GENEVA 20

Switzerland

1. No. of IEC standard:
.....

2. Tell us why you have the standard. (check as many as apply). I am:
 the buyer
 the user
 a librarian
 a researcher
 an engineer
 a safety expert
 involved in testing
 with a government agency
 in industry
 other.....

3. This standard was purchased from?
.....

4. This standard will be used (check as many as apply):
 for reference
 in a standards library
 to develop a new product
 to write specifications
 to use in a tender
 for educational purposes
 for a lawsuit
 for quality assessment
 for certification
 for general information
 for design purposes
 for testing
 other.....

5. This standard will be used in conjunction with (check as many as apply):
 IEC
 ISO
 corporate
 other (published by.....)
 other (published by.....)
 other (published by.....)

6. This standard meets my needs (check one)
 not at all
 almost
 fairly well
 exactly

7. Please rate the standard in the following areas as (1) bad, (2) below average, (3) average, (4) above average, (5) exceptional, (0) not applicable:

- clearly written
- logically arranged
- information given by tables
- illustrations
- technical information

8. I would like to know how I can legally reproduce this standard for:
 internal use
 sales information
 product demonstration
 other.....

9. In what medium of standard does your organization maintain most of its standards (check one):
 paper
 microfilm/microfiche
 mag tapes
 CD-ROM
 floppy disk
 on line

9A. If your organization currently maintains part or all of its standards collection in electronic media, please indicate the format(s):
 raster image
 full text

10. In what medium does your organization intend to maintain its standards collection in the future (check all that apply):
 paper
 microfilm/microfiche
 mag tape
 CD-ROM
 floppy disk
 on line

10A. For electronic media which format will be chosen (check one)
 raster image
 full text

11. My organization is in the following sector (e.g. engineering, manufacturing)
.....

12. Does your organization have a standards library:
 yes
 no

13. If you said yes to 12 then how many volumes:
.....

14. Which standards organizations published the standards in your library (e.g. ISO, DIN, ANSI, BSI, etc.):
.....

15. My organization supports the standards-making process (check as many as apply):
 buying standards
 using standards
 membership in standards organization
 serving on standards development committee
 other.....

16. My organization uses (check one)
 French text only
 English text only
 Both English/French text

17. Other comments:
.....
.....
.....
.....
.....

18. Please give us information about you and your company
name:
job title:.....
company:
address:.....
.....
.....
No. employees at your location:.....
turnover/sales:.....



Enquête sur les normes

La CEI se préoccupe de savoir comment ses normes sont accueillies et utilisées.

Les réponses que nous procurera cette enquête nous aideront tout à la fois à améliorer nos normes et les informations qui les concernent afin de toujours mieux répondre à votre attente.

Nous aimerions que vous nous consacriez une petite minute pour remplir le questionnaire joint que nous vous invitons à retourner au:

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Case postale 131

1211 Genève 20

Suisse

Télécopie: IEC/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Case postale 131

1211 GENÈVE 20

Suisse

1. Numéro de la Norme CEI:
.....

2. Pourquoi possédez-vous cette norme? (plusieurs réponses possibles). Je suis:
 l'acheteur
 l'utilisateur
 bibliothécaire
 chercheur
 ingénieur
 expert en sécurité
 chargé d'effectuer des essais
 fonctionnaire d'Etat
 dans l'industrie
 autres

3. Où avez-vous acheté cette norme?
.....

4. Comment cette norme sera-t-elle utilisée? (plusieurs réponses possibles)
 comme référence
 dans une bibliothèque de normes
 pour développer un produit nouveau
 pour rédiger des spécifications
 pour utilisation dans une soumission
 à des fins éducatives
 pour un procès
 pour une évaluation de la qualité
 pour la certification
 à titre d'information générale
 pour une étude de conception
 pour effectuer des essais
 autres

5. Cette norme est-elle appelée à être utilisée conjointement avec d'autres normes? Lesquelles? (plusieurs réponses possibles):
 CEI
 ISO
 internes à votre société
 autre (publiée par))
 autre (publiée par))
 autre (publiée par))

6. Cette norme répond-elle à vos besoins?
 pas du tout
 à peu près
 assez bien
 parfaitement

7. Nous vous demandons maintenant de donner une note à chacun des critères ci-dessous (1, mauvais; 2, en-dessous de la moyenne; 3, moyen; 4, au-dessus de la moyenne; 5, exceptionnel; 0, sans objet)
 clarté de la rédaction
 logique de la disposition
 tableaux informatifs
 illustrations
 informations techniques

8. J'aimerais savoir comment je peux reproduire légalement cette norme pour:
 usage interne
 des renseignements commerciaux
 des démonstrations de produit
 autres

9. Quel support votre société utilise-t-elle pour garder la plupart de ses normes?
 papier
 microfilm/microfiche
 bandes magnétiques
 CD-ROM
 disquettes
 abonnement à un serveur électronique

9A. Si votre société conserve en totalité ou en partie sa collection de normes sous forme électronique, indiquer le ou les formats:
 format tramé (ou image balayée ligne par ligne)
 texte intégral

10. Sur quels supports votre société prévoit-elle de conserver sa collection de normes à l'avenir (plusieurs réponses possibles):
 papier
 microfilm/microfiche
 bandes magnétiques
 CD-ROM
 disquettes
 abonnement à un serveur électronique

10A. Quel format serait retenu pour un moyen électronique? (une seule réponse)
 format tramé
 texte intégral

11. A quel secteur d'activité appartient votre société? (par ex. ingénierie, fabrication)
.....

12. Votre société possède-t-elle une bibliothèque de normes?
 Oui
 Non

13. En combien de volumes dans le cas affirmatif?
.....

14. Quelles organisations de normalisation ont publié les normes de cette bibliothèque (ISO, DIN, ANSI, BSI, etc.):
.....

15. Ma société apporte sa contribution à l'élaboration des normes par les moyens suivants (plusieurs réponses possibles):
 en achetant des normes
 en utilisant des normes
 en qualité de membre d'organisations de normalisation
 en qualité de membre de comités de normalisation
 autres

16. Ma société utilise (une seule réponse)
 des normes en français seulement
 des normes en anglais seulement
 des normes bilingues anglais/français

17. Autres observations
.....
.....
.....
.....
.....
.....

18. Pourriez-vous nous donner quelques informations sur vous-mêmes et votre société?
nom
fonction.....
nom de la société
adresse.....
.....
.....
nombre d'employés.....
chiffre d'affaires:.....

Publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes n° 86

- 60793:— Fibres optiques.
- 60793-1 (1992) Partie 1: Spécification générique.
- 60793-1-1 (1995) Partie 1: Spécification générique – Section 1: Généralités.
- 60793-1-2 (1995) Partie 1: Spécification générique – Section 2: Méthodes de mesure des dimensions. Amendement 1 (1996).
- 60793-1-3 (1995) Partie 1: Spécification générique – Section 3: Méthodes de mesure des caractéristiques mécaniques. Amendement 1 (1996). Amendement 2 (1998).
- 60793-1-4 (1995) Partie 1: Spécification générique – Section 4: Méthodes de mesure des caractéristiques optiques et de transmission. Amendement 1 (1996). Amendement 2 (1998).
- 60793-1-5 (1995) Partie 1: Spécification générique – Section 5: Méthodes de mesure des caractéristiques d'environnement.
- 60793-2 (1992) Partie 2: Spécifications de produit. Amendement 1 (1995). Amendement 2 (1997).
- 60794:— Câbles à fibres optiques.
- 60794-1 (1996) Partie 1: Spécification générique.
- 60794-2 (1989) Deuxième partie: Spécifications de produit. Amendement 1 (1998).
- 60794-3 (1998) Partie 3: Câbles pour conduites, enterrés et aériens – Spécification intermédiaire.
- 60869:— Atténuateurs à fibres optiques.
- 60869-1 (1994) Partie 1: Spécification générique.
- 60869-1-1 (1994) Partie 1-1: Spécification particulière-cadre.
- 60874-0 (1988) Connecteurs pour fibres et câbles optiques. Partie zéro: Guide pour l'élaboration des spécifications intermédiaires.
- 60874-1 (1993) Partie 1: Spécification générique. Amendement 1 (1994).
- 60874-1-1 (1994) Partie 1-1: Spécification particulière cadre – Catégories d'environnement.
- 60874-2 (1993) Partie 2: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type F-SMA.
- 60874-3 (1993) Partie 3: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type CFO3.
- 60874-4 (1993) Partie 4: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type CFO4.
- 60874-5 (1993) Partie 5: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type BAM.
- 60874-6 (1993) Partie 6: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type LSA.
- 60874-7 (1993) Partie 7: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type FC.
- 60874-8 (1993) Partie 8: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type D.
- 60874-9 (1993) Partie 9: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques de type OF-2.
- 60874-10 (1992) Partie 10: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type BFOC/2,5.
- 60874-10-1 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).

(suite)

IEC publications prepared by Technical Committee No. 86

- 60793:— Optical fibres.
- 60793-1 (1992) Part 1: Generic specification.
- 60793-1-1 (1995) Part 1: Generic specification – Section 1: General.
- 60793-1-2 (1995) Part 1: Generic specification – Section 2: Measuring methods for dimensions. Amendment 1 (1996).
- 60793-1-3 (1995) Part 1: Generic specification – Section 3: Measuring methods for mechanical characteristics. Amendment 1 (1996). Amendment 2 (1998).
- 60793-1-4 (1995) Part 1: Generic specification – Section 4: Measuring methods for transmission and optical characteristics. Amendment 1 (1996). Amendment 2 (1998).
- 60793-1-5 (1995) Part 1: Generic specification – Section 5: Measuring methods for environmental characteristics.
- 60793-2 (1992) Part 2: Product specifications. Amendment 1 (1995). Amendment 2 (1997).
- 60794:— Optical fibre cables.
- 60794-1 (1996) Part 1: Generic specification.
- 60794-2 (1989) Part 2: Product specifications. Amendment 1 (1998).
- 60794-3 (1998) Part 3: Duct, buried and aerial cables – Sectional specification.
- 60869:— Fibre optic attenuators.
- 60869-1 (1994) Part 1: Generic specification.
- 60869-1-1 (1994) Part 1-1: Blank detail specification.
- 60874-0 (1988) Connectors for optical fibres and cables. Part 0: Guide for the construction of sectional specifications.
- 60874-1 (1993) Part 1: Generic specification. Amendment 1 (1994).
- 60874-1-1 (1994) Part 1-1: Blank detail specification – Environmental categories.
- 60874-2 (1993) Part 2: Sectional specification for fibre optic connector – Type F-SMA.
- 60874-3 (1993) Part 3: Sectional specification for fibre optic connector – Type CFO3.
- 60874-4 (1993) Part 4: Sectional specification for fibre optic connector – Type CFO4.
- 60874-5 (1993) Part 5: Sectional specification for fibre optic connector – Type BAM.
- 60874-6 (1993) Part 6: Sectional specification for fibre optic connector – Type LSA.
- 60874-7 (1993) Part 7: Sectional specification for fibre optic connector – Type FC.
- 60874-8 (1993) Part 8: Sectional specification for fibre optic connector – Type D.
- 60874-9 (1993) Part 9: Sectional specification for fibre optic connector – Type OF-2.
- 60874-10 (1992) Part 10: Sectional specification for fibre optic connector – Type BFOC/2,5.
- 60874-10-1 (1997) Part 10-1: Detail specification for fibre optic connector type BFOC/2,5 terminated to multimode fibre type A1.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 86 (suite)**

- 60874-10-2 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 60874-10-3 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 60874-11 (1993) Partie 11: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type OCCA-PC.
- 60874-12 (1993) Partie 12: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type OCCA-BU.
- 60874-13 (1993) Partie 13: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type CFO8.
- 60874-14 (1993) Partie 14: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type SC.
- 60874-14-1 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 60874-14-2 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 60874-14-3 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 60874-14-4 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 60874-14-5 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 60874-14-6 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 60874-14-7 (1997) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 60874-15 (1994) Partie 15: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type DS.
- 60874-16 (1994) Partie 16: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type MT.
- 60874-17 (1995) Partie 17: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type F-05 (verrouillage par friction).
- 60874-19 (1995) Partie 19: Spécification intermédiaire pour connecteur pour fibres optiques – Type SC-D(uplex).
- 60875:— Dispositifs de couplage pour fibres optiques.
- 60875-1 (1996) Partie 1: Spécification générique.
- 60875-1-1 (1996) Partie 1-1: Spécification particulière cadre.
- 60875-2 (1992) Partie 2: Spécification intermédiaire: Dispositifs de couplage ne dépendant pas de la longueur d'onde.
- 60875-3 (1992) Partie 3: Spécification intermédiaire: Dispositifs de couplage dépendant de la longueur d'onde.
- 60876:- Commutateurs à fibres optiques.
- 60876-1 (1994) Première partie: Spécification générique.
- 61073: — Epissures pour câbles et fibres optiques.
- 61073-1 (1994) Partie 1: Spécification générique – Matériel de montage et accessoires.
- 61073-2 (1993) Partie 2: Spécification intermédiaire de répartiteurs et boîtiers pour fibres et câbles optiques.
- 61073-3 (1993) Partie 3: Spécification intermédiaire – Epissures par fusion pour fibres et câbles optiques.
- 61073-4 (1994) Partie 4: Spécification intermédiaire – Epissures mécaniques pour fibres et câbles optiques.
- 61202: — Isolateurs pour fibres optiques.
- 61202-1 (1994) Partie 1 : Spécification générique.
- 61202-1-1 (1994) Partie 1-1: Spécification particulière cadre

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 86 (continued)**

- 60874-10-2 (1997) Part 10-2: Detail specification for fibre optic connector type BFOC/2,5 terminated to single-mode fibre type B1.
- 60874-10-3 (1997) Part 10-3: Detail specification for fibre optic adaptor type BFOC/2,5 for single and multimode fibre.
- 60874-11 (1993) Part 11: Sectional specification for fibre optic connector – Type OCCA-PC.
- 60874-12 (1993) Part 12: Sectional specification for fibre optic connector – Type OCCA-BU.
- 60874-13 (1993) Part 13: Sectional specification for fibre optic connector – Type CFO8.
- 60874-14 (1993) Part 14: Sectional specification for fibre optic connector – Type SC.
- 60874-14-1 (1997) Part 14-1: Detail specification for fibre optic connector type SC-PC standard terminated to multimode fibre type A1a, A1b.
- 60874-14-2 (1997) Part 14-2: Detail specification for fibre optic connector type SC-PC tuned terminated to single-mode fibre type B1.
- 60874-14-3 (1997) Part 14-3: Detail specification for fibre optic adaptor (simplex) type SC for single-mode fibre.
- 60874-14-4 (1997) Part 14-4: Detail specification for fibre optic adaptor (simplex) type SC for multimode fibre.
- 60874-14-5 (1997) Part 14-5: Detail specification for fibre optic connector type SC-PC untuned terminated to single-mode fibre type B1.
- 60874-14-6 (1997) Part 14-6: Detail specification for fibre optic connector type SC-APC 9° untuned terminated to single-mode fibre type B1.
- 60874-14-7 (1997) Part 14-7: Detail specification for fibre optic connector type SC-APC 9° tuned terminated to single-mode fibre type B1.
- 60874-15 (1994) Part 15: Sectional specification for fibre optic connector – Type DS.
- 60874-16 (1994) Part 16: Sectional specification for fibre optic connector – Type MT.
- 60874-17 (1995) Part 17: Sectional specification for fibre optic connector – Type F-05 (friction lock).
- 60874-19 (1995) Part 19: Sectional specification for fibre optic connector – Type SC-D(uplex).
- 60875:— Fibre optic branching devices.
- 60875-1 (1996) Part 1: Generic specification.
- 60875-1-1 (1996) Part 1-1: Blank detail specification.
- 60875-2 (1992) Part 2: Sectional specification: Non-wavelength selective branching device.
- 60875-3 (1992) Part 3: Sectional specification: Wavelength selective branching devices.
- 60876:— Fibre optic switches.
- 60876-1 (1994) Part 1: Generic specification.
- 61073: — Splices for optical fibres and cables.
- 61073-1 (1994) Part 1: Generic specification – Hardware and accessories.
- 61073-2 (1993) Part 2: Sectional specification for splice organizer and closures for optical fibres and cables.
- 61073-3 (1993) Part 3: Sectional specification – Fusion splices for optical fibres and cables.
- 61073-4 (1994) Part 4: Sectional specification – Mechanical splices for optical fibres and cables.
- 61202: — Fibre optic isolators.
- 61202-1 (1994) Part 1 : Generic specification.
- 61202-1-1 (1994) Part 1-1: Blank detail specification.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Etudes n° 86 (suite)**

- 61218 (1993) Fibres optiques – Guide de sécurité.
61269: — Jeux d'embouts pour fibres optiques.
61269-1 (1994) Partie 1: Spécification générique.
61269-1-1 (1994) Partie 1-1: Spécification particulière cadre.
61274: — Raccords pour fibres optiques.
61274-1 (1994) Partie 1: Spécification générique.
61274-1-1 (1994) Partie 1-1: Spécification particulière cadre.
61292-1 (1998) Fibres optiques — Paramètres des composants pour amplificateurs.
61300:— Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques – Méthodes fondamentales d'essais et de mesures.
61300-1 (1995) Partie 1: Généralités et guide.
61300-2-1 (1995) Partie 2-1: Essais – Vibrations (sinusoïdales).
61300-2-2 (1995) Partie 2-2: Essais – Durabilité de l'accouplement.
61300-2-3 (1995) Partie 2-3: Essais – Charge statique de cisaillement.
61300-2-4 (1995) Partie 2-4: Essais – Rétention de la fibre ou du câble.
61300-2-5 (1995) Partie 2-5: Essais – Torsion/rotation.
61300-2-6 (1995) Partie 2-6: Essais – Résistance à la traction du mécanisme de verrouillage.
61300-2-7 (1995) Partie 2-7: Essais – Moment de flexion.
61300-2-8 (1995) Partie 2-8: Essais – Secousses.
61300-2-9 (1995) Partie 2-9: Essais – Chocs.
61300-2-10 (1995) Partie 2-10: Essais – Résistance à la compression.
61300-2-11 (1995) Partie 2-11: Essais – Compression axiale.
61300-2-12 (1995) Partie 2-12: Essais – Impact.
61300-2-13 (1995) Partie 2-13: Essais – Accélération.
61300-2-14 (1997) Partie 2-14: Essais – Puissance d'entrée maximale.
61300-2-15 (1995) Partie 2-15: Essais – Robustesse du mécanisme de verrouillage aux efforts de torsion.
61300-2-16 (1995) Partie 2-16: Essais – Moisissures.
61300-2-17 (1995) Partie 2-17: Essais – Froid.
61300-2-18 (1995) Partie 2-18: Essais – Chaleur sèche – Résistance à haute température.
61300-2-19 (1995) Partie 2-19: Essais – Chaleur humide (essai continu).
61300-2-20 (1995) Partie 2-20: Essais – Séquence climatique.
61300-2-21 (1995) Partie 2-21: Essais – Essai cyclique composite de température et d'humidité.
61300-2-22 (1995) Partie 2-22: Essais – Variations de température.
61300-2-23 (1995) Partie 2-23: Essais – Étanchéité pour les boîtiers non pressurisés de dispositifs à fibres optiques.
61300-2-25 (1995) Partie 2-25: Essais – Résistance de l'étanchéité pour les boîtiers.
61300-2-26 (1995) Partie 2-26: Essais – Brouillard salin.
61300-2-27 (1995) Partie 2-27: Essais – Poussière – Ecoulement laminaire.
61300-2-28 (1995) Partie 2-28: Essais – Atmosphère industrielle (anhydride sulfureux).
61300-2-29 (1995) Partie 2-29: Essais – Basse pression atmosphérique.
61300-2-30 (1995) Partie 2-30: Essais – Rayonnement solaire.
61300-2-31 (1995) Partie 2-31: Essais – Rayonnement nucléaire.
61300-2-32 (1995) Partie 2-32: Essais – Résistance à la vapeur d'eau.
61300-2-33 (1995) Partie 2-33: Essais – Montage et démontage des boîtiers.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 86 (continued)**

- 61218 (1993) Fibre optic – Safety guide.
61269: — Fibre optic terminus sets.
61269-1 (1994) Part 1: Generic specification.
61269-1-1 (1994) Part 1-1: Blank detail specification.
61274: — Fibre optic adaptors.
61274-1 (1994) Part 1: Generic specification.
61274-1-1 (1994) Part 1-1: Blank detail specification.
61292-1 (1998) Fibre optics – Parameters of amplifier components.
61300:— Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures.
61300-1 (1995) Part 1: General and guidance.
61300-2-1 (1995) Part 2-1: Tests – Vibration (sinusoidal).
61300-2-2 (1995) Part 2-2: Tests – Mating durability.
61300-2-3 (1995) Part 2-3: Tests – Static shear load.
61300-2-4 (1995) Part 2-4: Tests – Fibre/cable retention.
61300-2-5 (1995) Part 2-5: Tests – Torsion/twist.
61300-2-6 (1995) Part 2-6: Tests – Tensile strength of coupling mechanism.
61300-2-7 (1995) Part 2-7: Tests – Bending moment.
61300-2-8 (1995) Part 2-8: Tests – Bump.
61300-2-9 (1995) Part 2-9: Tests – Shock.
61300-2-10 (1995) Part 2-10: Tests – Crush resistance.
61300-2-11 (1995) Part 2-11: Tests – Axial compression.
61300-2-12 (1995) Part 2-12: Tests – Impact.
61300-2-13 (1995) Part 2-13: Tests – Acceleration.
61300-2-14 (1997) Part 2-14: Tests – Maximum input power.
61300-2-15 (1995) Part 2-15: Tests – Torque strength of coupling mechanism.
61300-2-16 (1995) Part 2-16: Tests – Mould growth.
61300-2-17 (1995) Part 2-17: Tests – Cold.
61300-2-18 (1995) Part 2-18: Tests – Dry heat – High temperature endurance.
61300-2-19 (1995) Part 2-19: Tests – Damp heat (steady state).
61300-2-20 (1995) Part 2-20: Tests – Climatic sequence.
61300-2-21 (1995) Part 2-21: Tests – Composite temperature-humidity composite test.
61300-2-22 (1995) Part 2-22: Tests – Change of temperature.
61300-2-23 (1995) Part 2-23: Tests – Sealing for non-pressurized closures of fibre optic devices.
61300-2-25 (1995) Part 2-25: Tests – Sealing endurance for closures.
61300-2-26 (1995) Part 2-26: Tests – Salt mist.
61300-2-27 (1995) Part 2-27: Tests – Dust – Laminar flow.
61300-2-28 (1995) Part 2-28: Tests – Industrial atmosphere (sulphur di-oxide).
61300-2-29 (1995) Part 2-29: Tests – Low air pressure.
61300-2-30 (1995) Part 2-30: Tests – Solar radiation.
61300-2-31 (1995) Part 2-31: Tests – Nuclear radiation.
61300-2-32 (1995) Part 2-32: Tests – Water vapour permeation.
61300-2-33 (1995) Part 2-33: Tests – Assembly and disassembly of closures.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 86 (suite)**

- 61300-2-34 (1995) Partie 2-34: Essais – Résistance aux solvants et aux fluides contaminants.
- 61300-2-35 (1995) Partie 2-35: Essais – Rotation du câble.
- 61300-2-36 (1995) Partie 2-36: Essais – Inflammabilité (risques d'incendie).
- 61300-2-37 (1995) Partie 2-37: Essais – Efforts de flexion sur le câble pour les boîtiers.
- 61300-2-38 (1995) Partie 2-38: Essais – Étanchéité pour les boîtiers pressurisés de dispositifs à fibres optiques.
- 61300-2-39 (1997) Partie 2-39: Essais – Sensibilité aux champs magnétiques externes.
- 61300-2-41 (1998) Partie 2-41: Essais – Essai de sélection concernant l'affaiblissement des connecteurs à fibres optiques unimodales non angulaires accordées.
- 61300-3-1 (1995) Partie 3-1: Examens et mesures – Examen visuel
- 61300-3-2 (1995) Partie 3-2: Examens et mesures – Dépendance de la polarisation d'un dispositif pour fibres optiques monomodes.
- 61300-3-3 (1997) Partie 3-3: Examens et mesures – Contrôle de la variation de l'affaiblissement et de la puissance réfléchie (voies multiples).
- 61300-3-6 (1997) Partie 3-6: Examens et mesures – Puissance réfléchie.
Amendement 1 (1998).
- 61300-3-8 (1995) Partie 3-8: Examens et mesures – Immunité à l'éclairement extérieur.
- 61300-3-9 (1997) Partie 3-9: Télédiaphonie.
- 61300-3-10 (1995) Partie 3-10: Examens et mesures – Force de rétention du calibre.
- 61300-3-11 (1995) Partie 3-11: Examens et mesures – Force d'accouplement et de désaccouplement.
- 61300-3-12 (1997) Partie 3-12: Sensibilité à la polarisation de l'affaiblissement d'un composant à fibres optiques monomodes: Méthode de calcul matriciel.
- 61300-3-13 (1995) Partie 3-13: Examens et mesures – Stabilité de contrôle d'un interrupteur pour fibres optiques.
- 61300-3-14 (1995) Partie 3-14: Examens et mesures – Précision et répétabilité des positions d'affaiblissement d'un atténuateur variable.
- 61300-3-15 (1995) Partie 3-15: Mesures – Excentricité de la face terminale d'un embout poli convexe.
- 61300-3-16 (1995) Partie 3-16: Examens et mesures – Rayon de la face terminale des embouts polis sphériquement.
- 61300-3-17 (1995) Partie 3-17: Examens et mesures – Angle de la face terminale des embouts polis angulairement.
- 61300-3-18 (1995) Examens et mesures – Précision de clavetage d'un connecteur à face terminale angulaire.
- 61300-3-19 (1997) Partie 3-19: Influence de la polarisation sur la puissance réfléchie d'un composant à fibres optiques monomodes.
- 61300-3-22 (1997) Partie 3-22: Force de compression des embouts.
- 61300-3-25 (1997) Partie 3-25: Concentricité des embouts et des embouts avec fibre.
- 61300-3-26 (1997) Partie 3-26: Mesure de l'erreur d'alignement angulaire des embouts avec fibre.
- 61300-3-27 (1997) Partie 3-27: Méthode de mesure pour la localisation du trou sur une fiche de connecteur multivoies.
- 61300-3-34 (1997) Partie 3-34: Examens et mesures – Affaiblissement dû à l'accouplement de connecteurs quelconques.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 86 (continued)**

- 61300-2-34 (1995) Part 2-34: Tests – Resistance to solvents and contaminating fluids.
- 61300-2-35 (1995) Part 2-35: Tests – Cable nutation.
- 61300-2-36 (1995) Part 2-36: Tests – Flammability (fire hazard).
- 61300-2-37 (1995) Part 2-37: Tests – Cable bending for closures.
- 61300-2-38 (1995) Part 2-38: Tests – Sealing for pressurized closures of fibre optic devices.
- 61300-2-39 (1997) Part 2-39: Tests – Susceptibility to external magnetic fields.
- 61300-2-41 (1998) Part 2-41: Tests – Screen testing of attenuation of single-mode tuned non-angled optical fibre connectors.
- 61300-3-1 (1995) Part 3-1: Examinations and measurements – Visual examination.
- 61300-3-2 (1995) Part 3-2: Examinations and measurements – Polarization dependence of a single-mode fibre optic device.
- 61300-3-3 (1997) Part 3-3: Examinations and measurements – Monitoring change in attenuation and in return loss (multiple paths).
- 61300-3-6 (1997) Part 3-6: Examinations and measurements – Return loss.
Amendment 1 (1998).
- 61300-3-8 (1995) Part 3-8: Examinations and measurements – Ambient light susceptibility.
- 61300-3-9 (1997) Part 3-9: Far-end crosstalk.
- 61300-3-10 (1995) Part 3-10: Examinations and measurements – Gauge retention force.
- 61300-3-11 (1995) Part 3-11: Examinations and measurements – Engagement and separation forces.
- 61300-3-12 (1997) Part 3-12: Polarization dependence of attenuation of a single-mode fibre optic component: Matrix calculation method.
- 61300-3-13 (1995) Part 3-13: Examinations and measurements – Control stability of a fibre optic switch.
- 61300-3-14 (1995) Part 3-14: Examinations and measurements – Accuracy and repeatability of the attenuation setting of a variable attenuator.
- 61300-3-15 (1995) Part 3-15: Measurements – Eccentricity of a convex polished ferrule endface.
- 61300-3-16 (1995) Part 3-16: Examinations and measurements – Endface radius of spherically polished ferrules.
- 61300-3-17 (1995) Part 3-17: Examinations and measurements – Endface angle of angle polished ferrules.
- 61300-3-18 (1995) Part 3-18: Examinations and measurements – Keying accuracy of an angled endface connector.
- 61300-3-19 (1997) Part 3-19: Polarization dependence of return loss of a single-mode fibre optic component.
- 61300-3-22 (1997) Part 3-22: Ferrule compression force.
- 61300-3-25 (1997) Part 3-25: Concentricity of the ferrules and ferrules with fibre installed.
- 61300-3-26 (1997) Part 3-26: Measurement of the angular misalignment between fibre and ferrules axes.
- 61300-3-27 (1997) Part 3-27: Measurement method for the hole location of a multiway connector plug.
- 61300-3-34 (1997) Part 3-34: Examinations and measurements – Attenuation of random mated connectors.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Etudes n° 86 (suite)**

- 61300-3-39 (1997) Partie 3-39: Examens et mesures – Choix d'une fiche de référence pour connecteur optique PC pour la mesure de la rétrodiffusion et la prévision des performances de connecteurs quelconques.
- 61300-3-40 (1998) Partie 3-40: Examens et mesures – Rapport d'extinction d'un connecteur à fibre amorcée maintenant la polarisation (pm).
- 61313:— Ensembles de câbles et composants passifs à fibres optiques.
- 61313-1 (1995) Partie 1: Spécification générique: Agrément de savoir-faire.
- 61314:— Systèmes d'éclatement pour fibres et câbles optiques.
- 61314-1 (1995) Partie 1: Spécification générique.
- 61314-1-1 (1996) Partie 1-1: Spécification particulière-cadre – Catégories d'environnement 1, 2, 3, 5 et 99.
- 61315 (1995) Etalonnage des radiomètres pour sources fibrées.
- 61751 (1998) Modules laser utilisés pour les télécommunications – Evaluation de la fiabilité.
- 61754:— Interfaces de connecteurs pour fibres optiques.
- 61754-1 (1996) Partie 1: Généralités et guide.
- 61754-2 (1996) Partie 2: Famille de connecteurs de type BFOC/2,5.
- 61754-3 (1996) (Publiée en langue anglaise uniquement)
- 61754-4 (1997) Partie 4: Famille de connecteurs du type SC.
- 61754-5 (1996) (Publiée en langue anglaise uniquement)
- 61754-6 (1997) Partie 6: Famille de connecteurs de type MU.
- 61754-7 (1996) (Publiée en langue anglaise uniquement)
- 61754-8 (1996) Partie 8: Famille de connecteurs de type CF08.
- 61754-9 (1996) (Publiée en langue anglaise uniquement).
- 62007:— Dispositifs optoélectroniques à semiconducteurs pour application dans les systèmes à fibres optiques.
- 62007-1 (1997) Partie 1: Valeurs limites et caractéristiques essentielles.
- 62007-2 (1997) Partie 2: Méthodes de mesure.

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 86 (continued)**

- 61300-3-39 (1997) Part 3-39: Examinations and measurements – PC optical connector reference plug selection for measuring return loss and prediction of random mated connector performances.
- 61300-3-40 (1998) Examinations and measurements – Extinction ratio of a polarization maintaining (pm) fibre pigtailed connector.
- 61313:— Fibre optic passive components and cable assemblies.
- 61313-1 (1995) Part 1: Generic specification: Capability approval.
- 61314:— Fibre optic fan-outs.
- 61314-1 (1995) Part 1: Generic specification.
- 61314-1-1 (1996) Part 1-1: Blank detail specification – Environmental categories 1, 2, 3, 5 and 99.
- 61315 (1995) Calibration of fibre optic power meters.
- 61751 (1998) Laser modules used for telecommunication – Reliability assessment.
- 61754:— Fibre optic connector interfaces.
- 61754-1 (1996) Part 1: General and guidance.
- 61754-2 (1996) Part 2: Type BFOC/2,5 connector family.
- 61754-3 (1996) Part 3: Type LSA connector family.
- 61754-4 (1997) Part 4: Type SC connector family.
- 61754-5 (1996) Part 5: Type MT connector family.
- 61754-6 (1997) Part 6: Type MU connector family.
- 61754-7 (1996) Part 7: Type MPO connector family.
- 61754-8 (1996) Part 8: Type CF08 connector family.
- 61754-9 (1996) Part 9: Type DS connector family.
- 62007:— Semiconductor optoelectronic devices for fibre optic system applications.
- 62007-1 (1997) Part 1: Essential ratings and characteristics.
- 62007-2 (1997) Part 2: Measuring methods.

ISBN 2-8318-4299-9



9 782831 842998

ICS 31.260
