

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
62005-2**

Première édition  
First edition  
2001-03

---

---

---

**Fiabilité des dispositifs d'interconnexion  
et des composants passifs à fibres optiques –**

**Partie 2:  
Evaluation quantitative de la fiabilité en fonction  
d'essais de vieillissement accélérés –  
Température et humidité; régimes continus**

**Reliability of fibre optic interconnecting devices  
and passive components –**

**Part 2:  
Quantitative assessment of reliability  
based on accelerated ageing tests –  
Temperature and humidity; steady state**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 62005-2:2001

## **Numérotation des publications**

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## **Editions consolidées**

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

## **Informations supplémentaires sur les publications de la CEI**

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))**
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/catlg-f.htm](http://www.iec.ch/catlg-f.htm)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplaçées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/JP.htm](http://www.iec.ch/JP.htm)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## **Publication numbering**

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## **Consolidated editions**

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## **Further information on IEC publications**

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))**
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/catlg-e.htm](http://www.iec.ch/catlg-e.htm)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/JP.htm](http://www.iec.ch/JP.htm)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

# NORME INTERNATIONALE INTERNATIONAL STANDARD

CEI  
IEC  
**62005-2**

Première édition  
First edition  
2001-03

## **Fiabilité des dispositifs d'interconnexion et des composants passifs à fibres optiques –**

**Partie 2:  
Evaluation quantitative de la fiabilité en fonction  
d'essais de vieillissement accélérés –  
Température et humidité; régimes continus**

## **Reliability of fibre optic interconnecting devices and passive components –**

**Part 2:  
Quantitative assessment of reliability  
based on accelerated ageing tests –  
Temperature and humidity; steady state**

© IEC 2001 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)

IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

S

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

## SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS .....	4
INTRODUCTION .....	8
 Articles	
1 Domaine d'application .....	10
2 Références normatives.....	10
3 Guide sur les essais de défaillances par usure .....	10
3.1 Distribution de défaillances .....	10
3.2 Durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTF) .....	12
4 Matrice d'essai de durée de vie .....	14
5 Exemple pratique .....	18
5.1 Matrice des conditions d'essai.....	18
5.2 Analyse des résultats .....	18
5.3 Calcul de la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance .....	22
5.4 Calcul du facteur d'accélération de température .....	28
5.5 Calcul du facteur d'accélération de l'humidité .....	30
5.6 Extrapolation aux conditions en service .....	32
5.7 Calcul du taux de défaillance.....	34
6 Calculs du taux de défaillance aléatoire.....	38
7 Implications pour la fiabilité du système.....	40
 Figure 1 – Extrapolation des résultats pour la détermination de la durée de fonctionnement avant défaillance .....	20
Figure 2 – Tracé log-normal pour des dispositifs dans la condition d'essai C .....	26
Figure 3 – Tracé log-normal pour des dispositifs dans la condition d'essai E .....	26
Figure 4 – Ajustement de la courbe exponentielle pour MTF par rapport à 1/T .....	30
Figure 5 – Ajustement de courbe exponentielle pour MTF par rapport à $H_R^2$ .....	32
Figure 6 – Fiabilité de composant en service.....	36
 Tableau 1 – Humidité relative (%) à des conditions diverses de température d'humidité absolue .....	16
Tableau 2 – Matrice des conditions d'essai .....	18
Tableau 3 – Durée de fonctionnement avant défaillance (TTF) pour les dispositifs dans deux conditions d'essai de durée de vie .....	24
Tableau 4 – Durées moyennes de fonctionnement avant défaillance pour trois températures à 85 % $H_R$ .....	28
Tableau 5 – Durées moyennes de fonctionnement avant défaillance pour trois niveaux d'humidité à 85 °C .....	30
Tableau 6 – Durées moyennes de fonctionnement avant défaillance dans différentes conditions fondées sur des données d'un exemple pratique .....	34
Tableau 7 – Taux de défaillance calculés à 25 °C/85 % $H_R$ .....	36

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	5
INTRODUCTION .....	9
 Clause	
1 Scope .....	11
2 Normative references .....	11
3 Guidance on testing for wear out failures .....	11
3.1 Failure distribution .....	11
3.2 Median time to failure (MTF) .....	13
4 Life test matrix .....	15
5 Worked example .....	19
5.1 Test condition matrix.....	19
5.2 Analysis of results .....	19
5.3 Calculating median time to failure.....	23
5.4 Calculation of temperature acceleration factor .....	29
5.5 Calculation of humidity acceleration factor.....	31
5.6 Extrapolation to service conditions .....	33
5.7 Calculation of failure rate .....	35
6 Random failure rate calculations.....	39
7 Implications for system reliability .....	41
 Figure 1 – Extrapolation of results to determine time to failure .....	21
Figure 2 – Log-normal plot for devices in test condition C.....	27
Figure 3 – Log-normal plot for devices in test condition E.....	27
Figure 4 – Exponential curve fit for MTF versus $1/T$ .....	31
Figure 5 – Exponential curve fit for MTF versus $H_R^2$ .....	33
Figure 6 – Component reliability in service .....	37
 Table 1 – Relative humidity (%) at various temperature and absolute humidity conditions .....	17
Table 2 – Matrix of test conditions .....	19
Table 3 – Times to failure (TTF) for devices in two life test conditions .....	25
Table 4 – Median times to failure for three temperatures at 85 % $H_R$ .....	29
Table 5 – Median times to failure for three humidity levels at 85 °C .....	31
Table 6 – Median times to failure in different conditions based on worked example data.....	35
Table 7 – Calculated failure rates at 25 °C/85 % $H_R$ .....	37

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**FIABILITÉ DES DISPOSITIFS D'INTERCONNEXION  
ET DES COMPOSANTS PASSIFS À FIBRES OPTIQUES –****Partie 2: Evaluation quantitative de la fiabilité  
en fonction d'essais de vieillissement accélérés –  
Température et humidité; régimes continus****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, spécifications techniques, 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 62005-2 a été établie par le sous-comité 86B : Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86B/1438/FDIS	86B/1497/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RELIABILITY OF FIBRE OPTIC INTERCONNECTING DEVICES  
AND PASSIVE COMPONENTS –****Part 2: Quantitative assessment of reliability  
based on accelerated ageing tests –  
Temperature and humidity; steady state****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 specifications, 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 62005-2 has been prepared by subcommittee 86B: Fibre optic interconnecting devices and passive components, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

FDIS	Report on voting
86B/1438/FDIS	86B/1497/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

La CEI 62005 est composée des parties suivantes, présentées sous le titre général *Fiabilité des dispositifs d'interconnexion et des composants passifs à fibres optiques*:

- Partie 1: Guide d'introduction et définitions
- Partie 2: Evaluation quantitative de la fiabilité en fonction d'essais de vieillissement accélérés – Température et humidité; régimes continus
- Partie 3: Essais significatifs pour l'évaluation des modes et mécanismes de défaillance des composants passifs
- Partie 4: Sélection des produits
- Partie 5: Essais accélérés de fiabilité en milieu de service normalisé <sup>1)</sup>
- Partie 6: Utilisation des données de champs destinée à déterminer, spécifier et améliorer la fiabilité des composants <sup>1)</sup>
- Partie 7: Modélisation de la durée de vie contrainte <sup>1)</sup>

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2006. A cette date, la publication sera:

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

---

1) A l'étude.

IEC 62005 consists of the following parts, under the general title *Reliability of fibre optic interconnecting devices and passive components*

- Part 1: Introductory guide and definitions
- Part 2: Quantitative assessment of reliability based on accelerated ageing tests – Temperature and humidity; steady state
- Part 3: Relevant tests for evaluating failure modes and failure mechanisms for passive components
- Part 4: Product screening
- Part 5: Reliability accelerated tests to standardized service environments <sup>1)</sup>
- Part 6: Use of field data to determine, specify and improve component reliability <sup>1)</sup>
- Part 7: Life stress modelling <sup>1)</sup>

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2006. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62005-2:2001

---

1) Under consideration.

## INTRODUCTION

Des investigations menées sur des dispositifs passifs optiques tels que les séparateurs indiquent que leurs mécanismes de défaillance sont accélérés à la fois par la température et par l'humidité. Dans plusieurs des applications proposées, en particulier dans les lignes d'abonnés pour télécommunications, les dispositifs sont situés dans des environnements qui sont soumis à la fois à une température élevée et à une humidité potentiellement élevée. Des informations quant à l'effet d'accélération de la température et de l'humidité sont par conséquent essentielles pour s'assurer que les dispositifs sont propres à l'usage.

Un concepteur de système a une fiabilité cible globale pour un système qui peut être divisé en fiabilités cible pour tous les composants du système. L'emplacement d'un composant donné dans un réseau influencera la fiabilité cible. Si un défaut d'un composant ne provoque pas de perte de service, par exemple si le service passe à un dispositif de secours, la fiabilité cible de ce composant peut ne pas être aussi rigoureuse. Il existe cependant une seconde considération, outre la continuité de la fourniture du service, à savoir la «charge de maintenance». Il s'agit d'une mesure du temps passé à réparer un réseau; un prestataire de service aura la nécessité de s'assurer qu'il n'excède pas un niveau économique non viable. L'attribution de la fiabilité cible à des composants particuliers constitue un processus qui exige l'expérience du comportement des composants dans des environnements donnés. Il s'avère que la défaillance de composants optiques passifs est dominée par des mécanismes d'usure; de ce fait, le taux de défaillance n'est pas constant en fonction du temps. Cela signifie que l'information exigée concerne non seulement la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTF) mais aussi la répartition du taux de défaillance en fonction du temps.

L'exemple pratique proposé porte sur la température et l'humidité, mais il convient de garder en mémoire que d'autres facteurs, tels que les vibrations ou la présence de solvants organiques peuvent également réduire la durée de fonctionnement avant défaillance. Il est recommandé que le choix des essais appropriés de durée de vie repose sur une bonne compréhension des conditions dans lesquelles les dispositifs seront déployés ainsi que sur la connaissance des mécanismes de défaillance potentiels du dispositif. Certains mécanismes de défaillance peuvent ne pas être aisément accélérés par des conditions de contraintes type. Dans l'établissement des normes, il convient que cette partie de la CEI 62005 soit considérée comme la prescription minimale et que les autres normes à publier soient utilisées pour déterminer si des essais de contraintes complémentaires sont nécessaires.

La défaillance aléatoire constitue une complication supplémentaire. Il s'agit de défaillances d'un composant qui ne peuvent pas être imputées à un mécanisme d'usure. Par conséquent, les défaillances aléatoires interviennent à taux constant au sein d'un groupe de dispositifs et sont souvent désignées comme défaillances en régimes continus.

Il est à noter que le programme d'essai de durée de vie défini par cette norme s'avère être applicable aux dispositifs passifs fonctionnant dans des conditions où la température ambiante ne varie pas de  $\pm 15^{\circ}\text{C}$  par rapport à la valeur moyenne. Il est applicable uniquement aux dispositifs qui ont été prescrits selon la spécification de performance appropriée pour les conditions de service prévues.

Les dispositifs possédant des composants qui peuvent être désaccouplés ou des composants contenant des pièces qui reposent sur un mouvement mécanique pour fonctionner correctement nécessitent des essais de durée de vie supplémentaires pour s'assurer que le fonctionnement mécanique des composants demeure correct sur toute la durée de vie du composant. Le programme de durée de vie défini dans la présente partie de la CEI 62005 représente tout de même une partie significative des informations de fiabilité prescrites pour ces composants.

Des composants soumis à des plages plus larges de variation de température ou à d'autres contraintes supplémentaires telles que des vibrations exigent aussi des essais supplémentaires de durée de vie.

## INTRODUCTION

Investigations carried out on optical passive devices such as splitters indicate that their failure mechanisms accelerate with both temperature and humidity. In many of the proposed applications, particularly in the telecommunications local loop, devices are located in environments that are subject to both high temperature and potentially high humidity. Information about the accelerating effect of both temperature and humidity is therefore essential to ensure that the devices are fit for use.

A system designer has an overall target reliability for a system that can be divided into target reliabilities that cover all components in the system. The location of a particular component in a network will influence the target reliability. If a fault in a component does not cause loss of service, for example if the service switches to a back-up, the target reliability of that component may not be so stringent. There is however a second consideration, besides continuity of service provision, and that is the "maintenance burden". This is a measure of the time spent repairing a network and a service provider needs to ensure that this does not become economically non-viable. The allocation of target reliability to particular components is a process that requires experience of the behaviour of the components in particular environments. Failure of passive optical components appears to be dominated by wear out mechanisms; therefore, the failure rate is not constant with time. This means that information is required not only to provide the median time to failure (MTF) but also for the distribution of the failure rate with time.

A worked example which focuses on temperature and humidity is given but it should be remembered that other factors such as vibration or the presence of organic solvents may also reduce the time to failure. The choice of suitable life tests should be based on an understanding of the conditions in which the devices are deployed, together with knowledge of the potential failure mechanisms of the device. There may be some failure mechanisms that are not readily accelerated by typical stress conditions. In establishing standards, this part of IEC 62005 sets out the minimum requirements, while other standards to be published should be used to establish whether additional stress testing is required.

A further complication is random failure. These are failures that cannot be attributed to a wear-out mechanism. Random failures consequently occur at a constant rate in a population of devices and are often referred to as steady-state failures.

It should be noted that the life test programme defined by this standard has been found to be applicable to passive devices operating in conditions where the ambient temperature does not vary by more than  $\pm 15^{\circ}\text{C}$  from the mean value. It is only applicable to devices that have been specified according to the appropriate performance specification for the intended service conditions.

Devices that have dematable components or components that contain parts that rely on mechanical movement to perform correctly need additional life testing to ensure that the mechanical operation of the components remains correct throughout the lifetime of the component. The life test programme defined in this part of IEC 62005 still represents a significant part of the reliability information required for these components.

Components subjected to wider ranges of temperature variation or to other additional stresses such as vibration will also require additional life tests.

## FIABILITÉ DES DISPOSITIFS D'INTERCONNEXION ET DES COMPOSANTS PASSIFS À FIBRES OPTIQUES –

### Partie 2: Evaluation quantitative de la fiabilité en fonction d'essais de vieillissement accélérés – Température et humidité; régimes continus

#### **1 Domaine d'application**

La présente partie de la CEI 62005 fournit une base pour la définition des essais de fiabilité concernant les composants optiques passifs. Il prodigue des conseils sur les procédures d'essai de durée de vie, les calculs des taux de défaillance et la présentation des résultats. Outre le guide général, un exemple pratique est proposé pour présenter la méthode de calcul des taux de défaillance instantanée pour un dispositif au cours de sa durée de vie en service en fonction d'essais de durée de vie accélérée.

#### **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 partie de la CEI 62005. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 62005 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 62005-4:1999, *Fiabilité des dispositifs d'interconnexion et des composants passifs à fibres optiques – Partie 4 : Sélection des produits*

#### **3 Guide sur les essais de défaillances par usure**

##### **3.1 Distribution de défaillances**

D'après l'expérience, on peut souvent supposer qu'une distribution log-normale de durées de fonctionnement avant défaillance s'applique aux défaillances par usure des dispositifs optiques passifs. C'est-à-dire que le logarithme à la base e des durées de fonctionnement avant défaillance aura une distribution (gaussienne) normale. Le paramètre de dispersion,  $\sigma$ , est l'écart normalisé du logarithme à la base e des durées de fonctionnement avant défaillance. La distribution log-normale est la base des calculs présentés dans cette norme.

La fonction de distribution de probabilité pour une distribution log-normale est donnée par l'équation (1).

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln(t/t_m)}{\sigma}\right\}^2\right] \quad (1)$$

où

$t_m = t_{50}$  est la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTF), prise pour une panne de 50 % d'échantillons;

$\sigma$  est l'écart normalisé de  $\ln(t)$ .

## RELIABILITY OF FIBRE OPTIC INTERCONNECTING DEVICES AND PASSIVE COMPONENTS –

### Part 2: Quantitative assessment of reliability based on accelerated ageing tests – Temperature and humidity; steady state

#### **1 Scope**

This part of IEC 62005 provides a basis for defining reliability tests for passive optical components. It provides advice on life testing procedures, the calculation of failure rates and the presentation of results. In addition to such general guidance, a worked example illustrates the method of calculating the instantaneous failure rate for a device during its service lifetime, based on accelerated life tests.

#### **2 Normative references**

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 62005. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 62005 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 62005-4:1999, *Reliability of fibre optic interconnecting devices and passive components – Part 4: Product screening*

#### **3 Guidance on testing for wear out failures**

##### **3.1 Failure distribution**

Experience has shown that a log-normal distribution of times to failure can often be assumed to apply for wear-out failures of passive optical devices. That is to say that the log to the base e of the times to failure will have a normal (Gaussian) distribution. The dispersion parameter,  $\sigma$ , is the standard deviation of the logarithm to the base e of the times to failure. The log-normal distribution is the basis of the calculations shown in this standard.

The probability distribution function for a log-normal distribution is given by equation (1).

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln(t/t_m)}{\sigma}\right\}^2\right] \quad (1)$$

where

$t_m = t_{50}$  is the median time to failure (MTF), taken for 50 % of samples to fail;  
 $\sigma$  is the standard deviation of  $\ln(t)$ .

Dans certains cas, une distribution Weibull peut fournir une meilleure représentation de la distribution de défaillances. Les principes esquissés dans cet article sont tout de même valables, mais les calculs concernés par la détermination des taux de défaillance par usure sont différents. Lorsque des résultats expérimentaux indiquent qu'il existe plus d'un mécanisme de défaillance significatif, il convient que la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance et la dispersion soient consignées dans chaque cas.

L'information destinée à justifier les modèles d'extrapolation et les énergies d'activation utilisés dans les prédictions de fiabilité doit être fournie. Les rétroactions de champ doivent être groupées afin de servir de base pour les essais de vieillissement accélérés. Lorsque la rétroaction suggère que les taux de défaillance sont très différents de ceux qui étaient prévus, l'analyse de défaillance doit être réalisée pour permettre la modification en conséquence du programme de vieillissement accéléré.

Dans la présente norme, les taux de défaillance sont exprimés en FITs, où un FIT est défini comme une défaillance pour  $10^9$  dispositif-heures. Cette expression de taux de défaillance est d'une valeur plus grande dans l'évaluation de fiabilité du système que l'indication numérique MTF. En se plaçant dans la perspective du système, ce sont les défaillances précoces qui sont critiques. Le MTF fait référence à un temps pendant lequel la moitié des composants tombe en panne, ce qui, pris isolément, n'est d'aucune valeur lors du calcul de la fiabilité d'un système.

### 3.2 Durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTF)

Les essais accélérés sont prescrits pour démontrer la fiabilité à long terme des dispositifs optiques passifs. Les essais de durée de vie à température élevée et à forte humidité constituent la méthode la plus largement utilisée pour fournir des données de fiabilité dans un essai d'une durée raisonnable.

Pour la surconstriction thermique, la relation entre la durée de vie et la température est dérivée de la relation d'Arrhenius:

$$t_{50} = R_0 \exp (-E_A / kT) \quad (2)$$

où

$t_{50}$  est la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTF), utilisée pour une panne de 50 % des échantillons;

$R_0$  est le coefficient;

$k$  est la constante de Boltzmann ( $8,6 \times 10^{-5}$  eV/K);

$T$  est la température, en kelvins (K);

$E_A$  est l'énergie d'activation, exprimée en electronvolts (eV).

Il n'existe aucune relation universellement acceptée entre la durée de vie et l'humidité. Sauf preuve du contraire, l'expression suivante peut être utilisée:

$$t_{50} = R_0 \exp [-\eta H_R^2] \quad (3)$$

où

$\eta$  est le paramètre d'activation d'humidité;

$H_R$  est l'humidité relative, en pourcentage (%).

Lorsque les taux d'accélération sont connus, la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance peut être calculée à n'importe quelles températures de fonctionnement et d'humidité. Le taux de défaillance, comme fonction de temps, peut alors être calculé à condition que l'écart normalisé de la distribution log-normale soit connu.

In some cases, a Weibull distribution may provide a better representation of the failure distribution. The principles outlined in this clause are still valid, but the calculation involved in determining wear-out failure rates will be different. Where experimental results indicate that there is more than one significant failure mechanism, the median time to failure and dispersion should be reported in each case.

Information shall be provided to justify extrapolation models and activation energies used in reliability predictions. Field feedback shall be collated to support the basis for the accelerated ageing tests. Where feedback suggests that failure rates are very different to those predicted, failure analysis shall be carried out to allow the accelerated ageing programme to be modified appropriately.

Throughout this standard, failure rates are expressed in FITs, where one FIT is defined as one failure in  $10^9$  device-hours. This expression of failure rate is of more value in the assessment of system reliability than the MTF figure. From a system perspective, it is the early failures that are critical. The MTF refers to a time by which half of the components will have failed, which on its own is of no value in calculating the reliability of a system.

### 3.2 Median time to failure (MTF)

Accelerated testing is required to demonstrate the long-term reliability of optical passive devices. High temperature and humidity life testing is the most widely used method of providing reliability data in a test of reasonable duration.

For thermal over-stress, the association between lifetime and temperature is derived from the Arrhenius relationship:

$$t_{50} = R_0 \exp(-E_A / kT) \quad (2)$$

where

$t_{50}$  is the median time to failure (MTF), taken for 50 % of samples to fail;

$R_0$  is the coefficient;

$k$  is Boltzmann's constant ( $8.6 \times 10^{-5}$  eV/K);

$T$  is the temperature, in kelvins (K);

$E_A$  is the activation energy, expressed in electronvolts (eV).

There is no universally accepted relationship between lifetime and humidity. Unless there is evidence to the contrary, the following expression may be used:

$$t_{50} = R_0 \exp[-\eta H_R^2] \quad (3)$$

where

$\eta$  is the humidity activation parameter;

$H_R$  is the relative humidity, in per cent (%).

When the acceleration rates are known, the median time to failure can be calculated at any operating temperature and humidity. The failure rate as a function of time may then be calculated provided that the standard deviation of the log-normal distribution is known.

Il convient de choisir la quantité d'échantillons pour permettre la détermination de la distribution de durées de vie d'usure avec une précision suffisante. On recommande un nombre minimal de 25 composants pour chaque condition d'essai de durée de vie et des techniques d'échantillonnage aléatoire doivent être utilisées afin d'éliminer toute dépendance du lot pour le résultat.

La quantité d'échantillons à 25 composants dans chaque condition d'essai est considérée comme le minimum nécessaire pour obtenir des résultats significatifs. La relation entre le niveau de confiance et la quantité d'échantillons est complexe et le nombre de 25 est suggéré en se fondant sur l'expérience acquise en la matière pour des dispositifs type destinés à des environnements de service de télécommunications. Ce nombre ne serait pas approprié pour des dispositifs de fiabilité extrême pour applications sous-marines ou dans les satellites, pour lesquels une quantité d'échantillons d'essai de 200 dispositifs serait plus adaptée. Le niveau de confiance est affecté non seulement par la quantité d'échantillons mais aussi par des facteurs tels que la durée de l'essai, l'adaptation de l'extrapolation à la défaillance et la durée de vie utile en service prévue des dispositifs.

Il est possible que deux facteurs accélérant le vieillissement, lorsqu'ils sont appliqués ensemble, aboutissent à une durée de vie différente de celle qu'on attendrait des calculs basés sur chaque paramètre seul. Cela peut se présenter au travers d'interactions entre les différents mécanismes de dégradation. Dans l'exemple donné ci-dessus, on peut trouver que  $\eta$  n'est pas constant par rapport à  $T$ . Dans cette situation, il faut choisir un plus grand nombre de conditions d'essai afin d'acquérir une pleine compréhension de l'interaction.

Il est important de cerner le mécanisme de défaillance. La CEI 62005-3 énumère les modes typiques de défaillance pour une gamme de dispositifs optiques passifs et indique le mécanisme de défaillance habituellement associé au mode de défaillance observé. Elle fournit également des précisions sur les essais susceptibles d'être utilisés pour induire ces types de défaillance. Cette information est précieuse pour la conception des expériences permettant l'investigation des mécanismes de défaillance. Lorsque les mécanismes de défaillance clé sont compris, on peut choisir une gamme plus restreinte d'essais pour une extension des essais de durée de vie. Dans cette norme, on a supposé que les mécanismes de défaillance dominants ont été identifiés et qu'ils ont été observés en vue d'une l'accélération des défaillances par une température élevée et une humidité importante.

#### 4 Matrice d'essai de durée de vie

Le tableau 1 présente la relation entre l'humidité relative et l'humidité absolue en tant que fonction de température. Le choix des conditions d'essai sera influencé par le fait de savoir si l'humidité relative ou absolue constitue le facteur d'accélération de la défaillance. Les conditions d'essai doivent être choisies de sorte que deux conditions au moins aient comme constante l'humidité et que deux conditions au moins aient comme constante la température. Cela requiert un minimum de trois conditions.

Il convient de noter que le tableau 1 n'est pas destiné à montrer toutes les combinaisons éventuelles de température et d'humidité qui peuvent être utilisées pour les essais. Il est possible de choisir d'autres valeurs de température et d'humidité. L'équation suivante peut être utilisée pour calculer les valeurs de l'humidité relative à différents niveaux de température et d'humidité absolue.

$$H_R = H_A \frac{(273 + T)}{217 \times 10 \left( \frac{7,5 T}{237,3 + T} + 0,78571 \right)} \times 100 \% \quad (4)$$

The sample size should be chosen to allow the distribution of wear out lifetimes to be determined with sufficient accuracy. A minimum of 25 components for each life test condition is recommended and random sampling techniques shall be used to eliminate any batch dependency of the result.

The sample size of 25 components in each test condition is regarded as the minimum needed to obtain meaningful results. The relationship between the confidence level and the sample size is complex and 25 is a suggestion based on experience gained in this field for typical devices intended for telecommunications service environments. This number would not be adequate for extreme reliability devices intended for satellite or submarine applications where a test sample size of 200 devices would be more appropriate. The confidence level is affected not only by sample size but also by factors such as the duration of the test, the fit of the extrapolation to failure and the intended service life of the devices.

It is possible that two factors that accelerate ageing, when applied together, may result in a different lifetime to that which would be expected from calculations based on each parameter alone. This can arise through interactions between the different degradation mechanisms. In the example given above, it may be found that  $\eta$  is not constant with respect to  $T$ . In this situation, a greater number of test conditions must be chosen in order to gain a full understanding of the interaction.

It is important that the mechanism of failure is understood. IEC 62005-3 lists the typical modes of failure for a range of passive optical devices and states the mechanism of failure that is usually associated with the observed mode of failure. It also gives details of tests that may be used to induce these types of failure. This information is of value in designing experiments that allow investigation of failure mechanisms. When the key failure mechanisms are understood, a more restricted range of tests may be chosen for extended life testing. In this standard, it has been assumed that the dominant failure mechanisms have been identified and that these have been observed to be accelerated by high temperature and high humidity.

#### 4 Life test matrix

Table 1 shows the relationship between relative humidity and absolute humidity as a function of temperature. The choice of test conditions will be influenced by knowledge of whether relative or absolute humidity is the failure-accelerating factor. Test conditions shall be chosen so that at least two conditions have humidity as a constant and at least two conditions have temperature as a constant. This will require a minimum of three conditions.

It should be noted that table 1 is not intended to show all possible temperature and humidity combinations that may be used for testing. Other values of temperature and humidity may be chosen. The following equation may be used to calculate values of relative humidity at different temperature and absolute humidity levels:

$$H_R = H_A \frac{(273 + T)}{217 \times 10 \left( \frac{7,5 T}{237,3 + T} + 0,78571 \right)} \times 100 \% \quad (4)$$



where

$H_R$  is the relative humidity, in per cent (%);  
 $H_A$  is the absolute humidity, in grams per cubic metre ( $\text{g}/\text{m}^3$ );  
 $T$  is the temperature, in degrees Celsius ( $^\circ\text{C}$ ).

The constants 7.5, 237.3 and 0.785 71 are derived from the "Magnus formula" giving saturation vapour pressure over liquid water. Different constants apply over ice.

It will normally be necessary to choose more than three test conditions to obtain an accurate basis for a lifetime acceleration model. The use of three test conditions, as highlighted in the test matrix, is only acceptable if the acceleration of the failure rate follows the relationships to temperature and humidity that are described in clause 5.

If the relationship does not fit this model, it is possible that failure mechanisms be introduced which are not dominant at the normal operation conditions of the device. The only solution is to use lower test temperatures but this inevitably means that the test duration will be much longer. It may be necessary to avoid using a temperature that is higher than the maximum permitted temperature for the fibre or cable. However, higher temperatures can be used, provided that tests are carried out to determine the effect on the cable to check that this does not influence the result.

**Table 1 – Relative humidity (%) at various temperature and absolute humidity conditions**

## 5 Exemple pratique

Les valeurs dérivées dans cet exemple pratique n'existent qu'à titre d'illustration. L'expérience a montré, par exemple, qu'une grande variation entre les énergies d'activation de différents mécanismes de défaillance est courante. On a vu des valeurs comprises entre 0,4 eV et 1,2 eV pour les mécanismes de défaillance de dispositif passif et des valeurs extérieures à cette gamme sont possibles.

Cet exemple pratique démontre la façon dont une matrice d'essais peut être utilisée pour déterminer les facteurs d'accélération résultant de la température et de l'humidité relative. En utilisant ces facteurs, l'exemple montre la façon dont un taux de défaillance, en tant que fonction de temps, peut être calculé à n'importe quelle condition de service définie. Par cet exemple pratique, on suppose qu'il n'y a qu'un seul mécanisme de défaillance par usure et qu'il peut être modélisé avec une distribution de probabilité de défaillance log-normale.

### 5.1 Matrice des conditions d'essai

La matrice des essais en régimes continus figurant au tableau 2 sert d'exemple. Les trois premiers essais recherchent l'effet de l'humidité relative à température constante tandis que les trois derniers recherchent l'effet de température à humidité relative constante.

**Tableau 2 – Matrice des conditions d'essai**

Température °C	Humidité relative %	Echantillons	Identification de condition
85	45	25	A
85	65	25	B
85	85	25	C
75	85	25	D
65	85	25	E

### 5.2 Analyse des résultats

Il est nécessaire de sélectionner les critères de défaillance appropriés, fondés sur des prescriptions de système. Dans l'exemple suivant, on a utilisé un critère de défaillance unique d'un changement de 1 dB dans la perte d'insertion. Au cours de la période d'essais de durée de vie, il est peu probable que tous les échantillons atteignent le niveau de défaillance et il est nécessaire, habituellement, d'extrapoler les tendances au niveau de la défaillance.

Les méthodes d'extrapolation sont une source de variabilité qui aboutissent à différentes interprétations issues des mêmes ensembles de données. Les guides fournis ici ne tentent pas de donner un procédé mathématique normalisé pour l'extrapolation de la défaillance, étant donné qu'à maints égards, de tels procédés seraient inappropriés. Le niveau de confiance pour une extrapolation dépend de plusieurs facteurs tels que la durée de l'essai, les critères de défaillance et le nombre d'échantillons. En général, pour les composants optiques passifs, il convient qu'une extrapolation linéaire au critère de défaillance soit utilisée, sauf si un meilleur modèle peut se justifier à partir des données. Il apparaît fréquemment plus judicieux de fonder l'extrapolation sur les données issues de la dernière moitié de l'essai, puisqu'il apparaît souvent que les résultats issus des quelques premières centaines d'heures d'essais se modifient à un taux différent pour passer à la tendance qui en fin de compte devient établie.

## 5 Worked example

The values derived in this worked example are for illustration only. Experience has shown for example, that wide variation between the activation energies of different failure mechanisms is common. Values of between 0,4 eV and 1,2 eV have been seen for passive device failure mechanisms and values outside this range are possible.

This worked example demonstrates how a matrix of tests can be used to determine the acceleration factors resulting from temperature and relative humidity. Using these factors, the example shows how failure rate, as a function of time, can be calculated at any defined service condition. Throughout this worked example, it is assumed that there is just one wear-out failure mechanism and that it can be modelled with a log-normal failure probability distribution.

### 5.1 Test condition matrix

The matrix of steady-state tests shown in table 2 serves as an example. The first three tests investigate the effect of relative humidity at constant temperature while the last three investigate the effect of temperature at constant relative humidity.

**Table 2 – Matrix of test conditions**

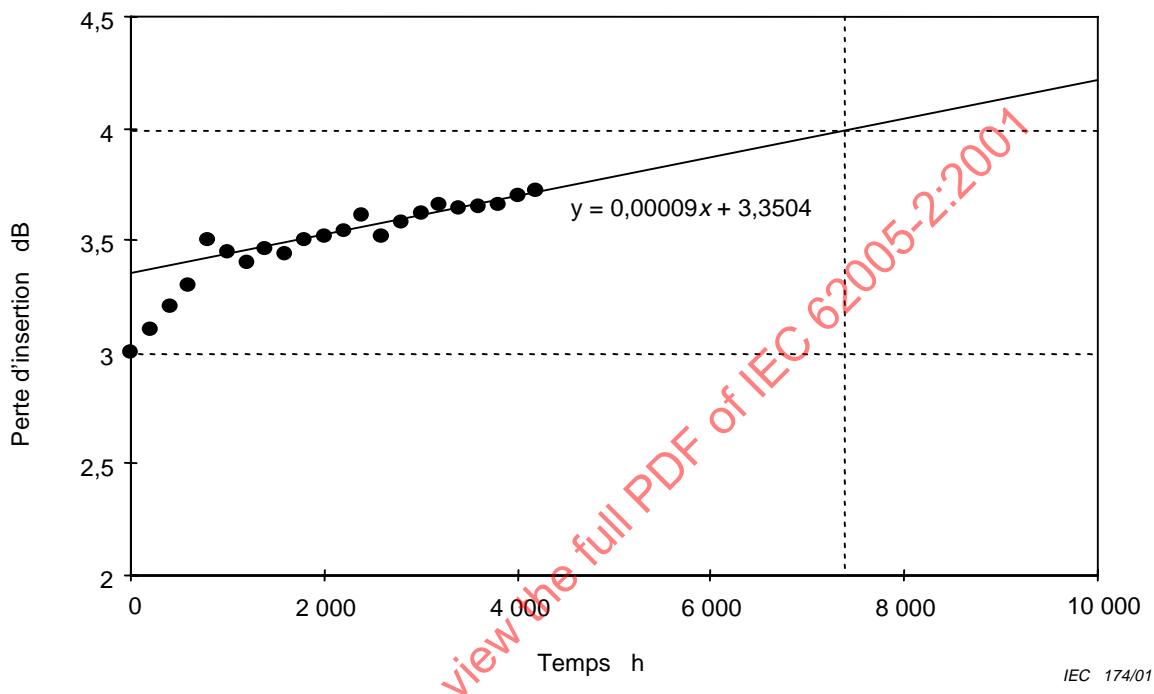
Temperature °C	Relative humidity %	Samples	Condition identification
85	45	25	A
85	65	25	B
85	85	25	C
75	85	25	D
65	85	25	E

### 5.2 Analysis of results

It is necessary to select appropriate failure criteria, based on system requirements. In the following example, a single failure criterion of a 1 dB change in insertion loss has been used. Over the period of the life tests, it is unlikely that all samples will reach the failure level and it will usually be necessary to extrapolate the trends to the failure level.

Methods of extrapolation are a source of variability which result in different interpretations from the same sets of data. The guidelines given here do not attempt to give a standardized mathematical process for extrapolating to failure since in many instances such a procedure would be inappropriate. The confidence level for an extrapolation will depend on several factors such as the duration of the test, the failure criteria and the number of samples. In general, for passive optical components, a linear extrapolation to the failure criterion should be used, unless a better model can be justified from the data. It is frequently found to be better to base the extrapolation on the data from the latter half of the test since it is often found that the results from the first few hundred hours of testing change at a different rate to the trend which eventually becomes established.

La figure 1 illustre les résultats obtenus pour la branche la moins favorable d'un dispositif dans la condition d'essai C ( $85^{\circ}\text{C}/85\% H_R$ ). La position est présentée après 4 200 h d'essais. Le dispositif n'est pas tombé en panne, mais l'extrapolation illustre que le critère de défaillance d'un changement de 1 dB est probablement atteint après 7 200 h d'essais. On peut s'apercevoir qu'une extrapolation a été choisie et qu'elle néglige les premiers résultats en se concentrant uniquement sur la tendance établie.

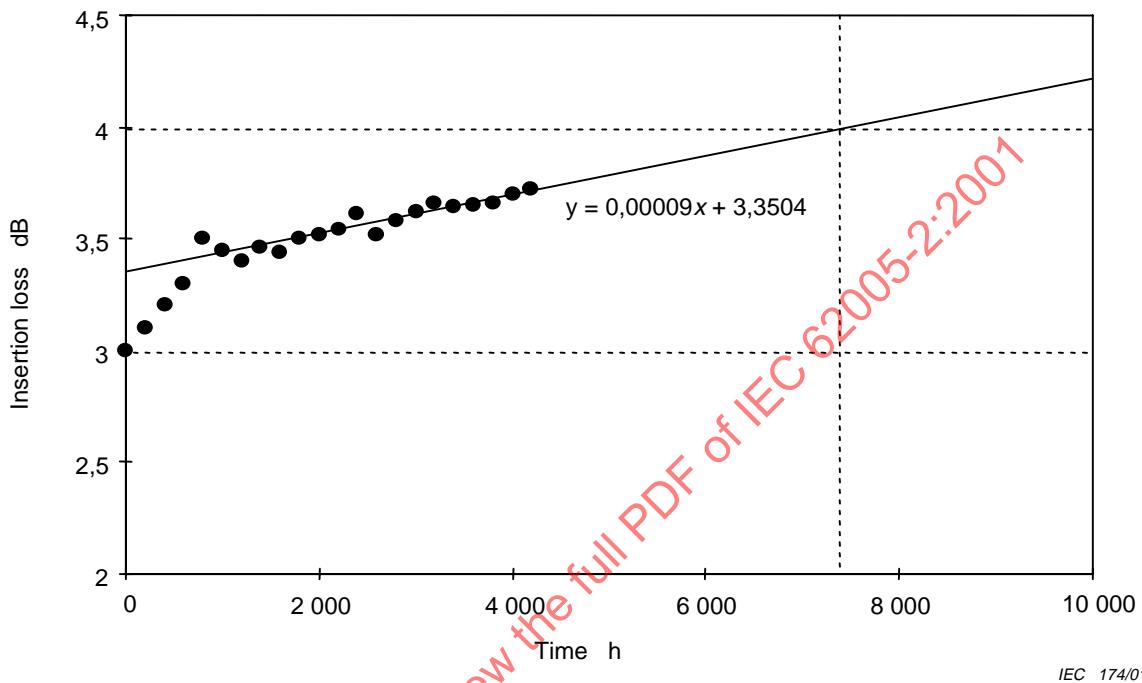


**Figure 1 – Extrapolation des résultats pour la détermination de la durée de fonctionnement avant défaillance**

Dans la plupart des cas, les changements de performance optique mesurés au cours des essais de durée de vie sont minimes, en particulier dans les essais de sévérité plus faibles. Cela signifie qu'il est habituellement nécessaire de mesurer les composants *in situ*, car les variations résultant du déplacement des composants d'un coffret d'essai vers un banc de mesure seraient plus grandes que la variation résultant des conditions d'essai de durée de vie. Le déplacement par rapport à la condition d'essai n'est pas souhaité non plus, car il existe souvent une récupération partielle de performance dépendante du temps qui masquerait toute dégradation graduelle de performance.

Il convient que la fréquence d'échantillonnage soit aussi élevée que possible. Au minimum, il convient que la mesure soit effectuée toutes les 200 h pour la condition d'essai la plus sévère et toutes les 500 h pour la condition d'essai la moins sévère. Il convient que l'on permette la continuation des essais le plus longtemps possible. Le temps nécessaire à la production des résultats pouvant être extrapolé à la défaillance dépend de la condition d'essai. Au minimum, il convient que l'essai dure pendant 2 500 h dans la condition d'essai la plus sévère et 5 000 h dans les conditions d'essai les moins sévères. Lors de la décision de la durée de l'essai et de la fréquence d'échantillonnage, l'objectif doit consister à permettre un temps suffisant pour qu'une tendance à la défaillance devienne établie et à posséder suffisamment de points de données pour fournir au moins six points sur lesquels baser une extrapolation au point de défaillance.

Figure 1 illustrates the results obtained for the worst leg of a device in test condition C ( $85^{\circ}\text{C}/85\% H_R$ ). This shows the position after 4 200 h of testing. The device has not failed but extrapolation illustrates that the failure criterion of a change of 1 dB is likely to be reached after 7 200 h of testing. It can be seen that an extrapolation has been chosen which disregards the earliest results and concentrates only on the established trend.



**Figure 1 – Extrapolation of results to determine time to failure**

In most cases, the changes in optical performance that are measured during life testing are very small, particularly in the lower severity tests. This means that it is usually necessary to measure the components *in situ*, since variations resulting from moving the components from the test cabinet to a measurement bench would be larger than the variation resulting from the life test condition. Removal from the test condition is also undesirable because there is often a time-dependent partial recovery of performance, which would mask any gradual degradation of performance.

The sampling frequency should be as high as possible. As a minimum, measurement should be carried out every 200 h for the most severe test condition and every 500 h for the least severe test condition. The tests should be allowed to continue for as long as possible. The time needed to produce results that may be extrapolated to failure depends on the test condition. As a minimum, the test should run for 2 500 h in the most severe test condition and 5 000 h in the least severe test conditions. When deciding the test duration and sampling frequency, the aim shall be to allow enough time for a trend to failure to become established and to have enough data points to give at least six points on which to base an extrapolation to the failure point.

Dans la grande majorité des applications en télécommunications, si un port de sortie ou d'entrée d'un dispositif subit une dégradation de performance au-delà du critère acceptable, le dispositif doit alors être changé même si les autres ports d'entrée et de sortie peuvent encore être fonctionnels. Il est par conséquent nécessaire de mesurer tous les trajets optiques à travers un composant et fonder la durée de fonctionnement avant défaillance sur le trajet le plus défavorable. A titre d'exemple, on peut citer un coupleur optique  $2 \times 16$ . Dans l'exemple proposé ici, si l'affaiblissement entre un des ports d'entrée et un des ports de sortie change de plus de 1 dB, alors le dispositif a atteint le point de défaillance, même si tous les autres trajets optiques ont changé de moins de 1 dB.

### 5.3 Calcul de la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance

Une fois établie la durée de fonctionnement avant défaillance de chaque dispositif, on calcule le temps mis pour que 50 % du groupe tombe en panne. Généralement, les statistiques log-normales fournissent une bonne adaptation aux données. Dans le tableau 3 figurent les résultats concernant les dispositifs dans les conditions d'essai de durée de vie C et E (voir tableau 2). Pour la condition d'essai C ( $85^{\circ}\text{C}/85\% H_R$ ), les temps de défaillance ont été dérivés pour chacun des 25 échantillons. Pour la condition d'essai E ( $65^{\circ}\text{C}/85\% H_R$ ) seuls 12 temps de défaillance ont pu être dérivés, car aucune tendance n'est devenue évidente pour servir de base à une extrapolation au temps de défaillance pour le restant des échantillons de cette condition d'essai. Les résultats de la condition d'essai D ( $75^{\circ}\text{C}/85\% H_R$ ) ne figurent pas ici. Ces résultats seraient utilisés pour vérifier l'adaptation du modèle Arrhenius.

In the vast majority of telecommunications applications, if any output or input port of a device suffers a performance degradation beyond the acceptable criterion, then the device shall be changed even though other input and output ports may still be functional. It is therefore necessary to measure all optical paths through a component and base the time to failure on the worst path. An example would be a  $2 \times 16$  branching device. In the example given here, if the attenuation between one of the input ports and one of the output ports changes by more than 1 dB, then the device will have reached the point of failure, even if all the other optical paths have changed by less than 1 dB.

### 5.3 Calculating median time to failure

Once the time to failure of each device under test has been established, the time for 50 % of the population to fail is calculated. Typically, log-normal statistics provide a good fit to the data. In table 3, the results for devices in life test conditions C and E (see table 2) are shown. For test condition C ( $85^{\circ}\text{C}/85\% H_R$ ) failure times were derived for all 25 samples. For test condition E ( $65^{\circ}\text{C}/85\% H_R$ ), only 12 failure times could be derived because no trend had become evident on which to base an extrapolation to failure time for the remainder of the samples in this test condition. The results for test condition D ( $75^{\circ}\text{C}/85\% H_R$ ) have not been shown here. These results would be used to verify the fit of the Arrhenius model.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62005-2:2001

**Tableau 3 – Durée de fonctionnement avant défaillance (TTF) pour les dispositifs dans deux conditions d'essai de durée de vie**

<b>Nombre de défaillances</b>	<b>Condition C</b> (85 °C/85 % $H_R$ )	<b>Condition E</b> (65 °C/85 % $H_R$ )
	<b>TTF</b> h	<b>TTF</b> h
1	1 200	6 500
2	2 000	12 500
3	3 900	13 000
4	4 200	18 000
5	4 300	21 000
6	4 500	22 000
7	4 750	22 500
8	4 800	26 000
9	5 600	26 500
10	6 300	26 700
11	7 200	33 000
12	7 600	34 000
13	8 000	Pas encore apparent
14	9 800	"
15	10 000	"
16	10 400	"
17	10 700	"
18	12 200	"
19	12 500	"
20	16 000	"
21	18 588	"
22	19 500	"
23	22 500	"
24	28 000	"
25	30 000	"

**NOTE** De façon typique, les données seraient traitées en utilisant la procédure suivante sur un tableau informatique.

- Entrer les durées de fonctionnement avant défaillance dans une colonne.
- Trier dans l'ordre ascendant.
- Prendre le logarithme naturel des durées de fonctionnement avant défaillance. Cette colonne donne les valeurs de l'axe y.
- Attribuer un nombre à chaque point de données (1, 2, 3.....N).
- Déterminer les valeurs de l'axe x en prenant l'inverse de la distribution cumulative normale standard. Il s'agit de  $\text{NORMSINV}(n/N+1)$  dans certains tableurs, où  $n$  est le nombre assigné et  $N$  est le nombre total d'échantillons à l'essai.
- Ajuster la ligne la plus appropriée en utilisant la méthode des moindres carrés. La ligne ajustée a la forme  $y = \sigma x + \ln(t_{50})$ , où  $\sigma$  est le paramètre de dispersion et  $t_{50}$  est la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance.

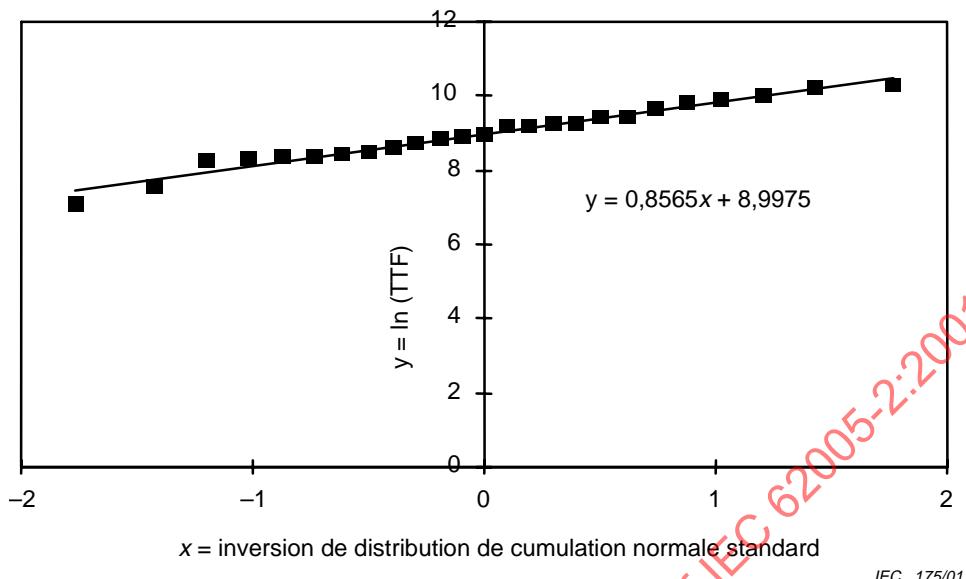
**Table 3 – Times to failure (TTF) for devices in two life test conditions**

Failure number	Condition C (85 °C/85 % $H_R$ )	Condition E (65 °C/85 % $H_R$ )
	TTF h	TTF h
1	1 200	6 500
2	2 000	12 500
3	3 900	13 000
4	4 200	18 000
5	4 300	21 000
6	4 500	22 000
7	4 750	22 500
8	4 800	26 000
9	5 600	26 500
10	6 300	26 700
11	7 200	33 000
12	7 600	34 000
13	8 000	Not yet apparent
14	9 800	"
15	10 000	"
16	10 400	"
17	10 700	"
18	12 200	"
19	12 500	"
20	16 000	"
21	18 588	"
22	19 500	"
23	22 500	"
24	28 000	"
25	30 000	"

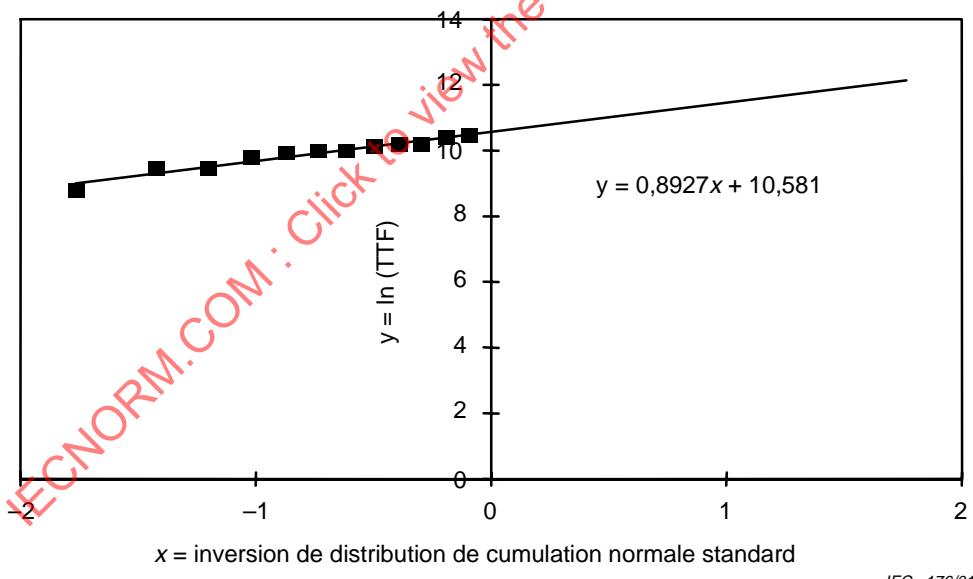
NOTE Typically, the data would be processed using the following procedure on a computer spreadsheet.

- Enter the times to failure in a column.
- Sort into ascending order.
- Take the natural log of the times to failure. This column gives the y-axis values.
- Assign a number to each data point (1, 2, 3.....N).
- Determine x-axis values by taking the inverse of the standard normal cumulative distribution. This is  $\text{NORMSINV}(n/N+1)$  in some spreadsheets, where  $n$  is the assigned number and  $N$  is the total number of samples under test.
- Fit a best-fit line using the method of least squares. The line fitted will have the form  $y = \sigma x + \ln(t_{50})$ , where  $\sigma$  is the dispersion parameter and  $t_{50}$  is the median time to failure.

La figure 2 illustre le tracé log-normal pour les dispositifs dans la condition d'essai C et la figure 3 illustre le tracé log-normal pour les dispositifs dans la condition d'essai E.



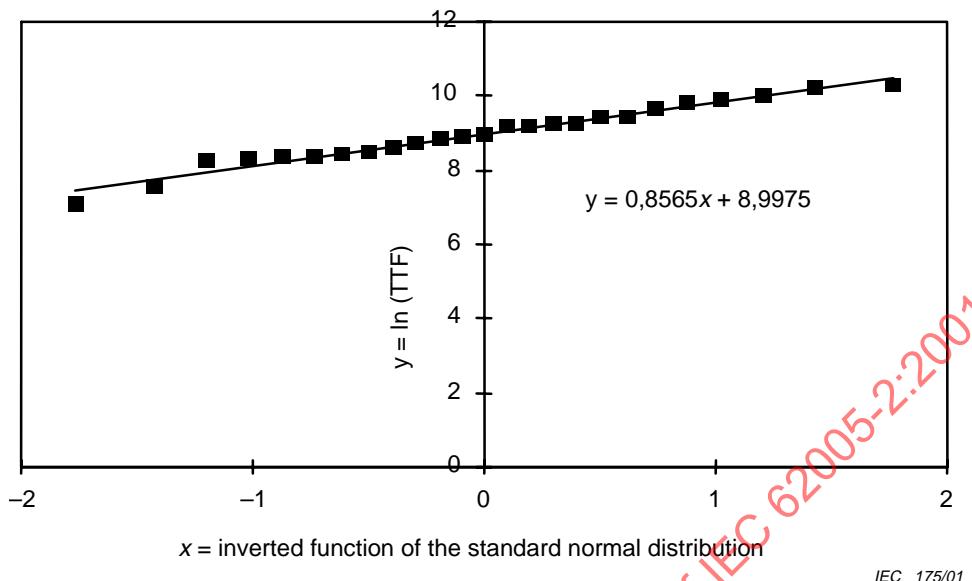
**Figure 2 – Tracé log-normal pour des dispositifs dans la condition d'essai C**



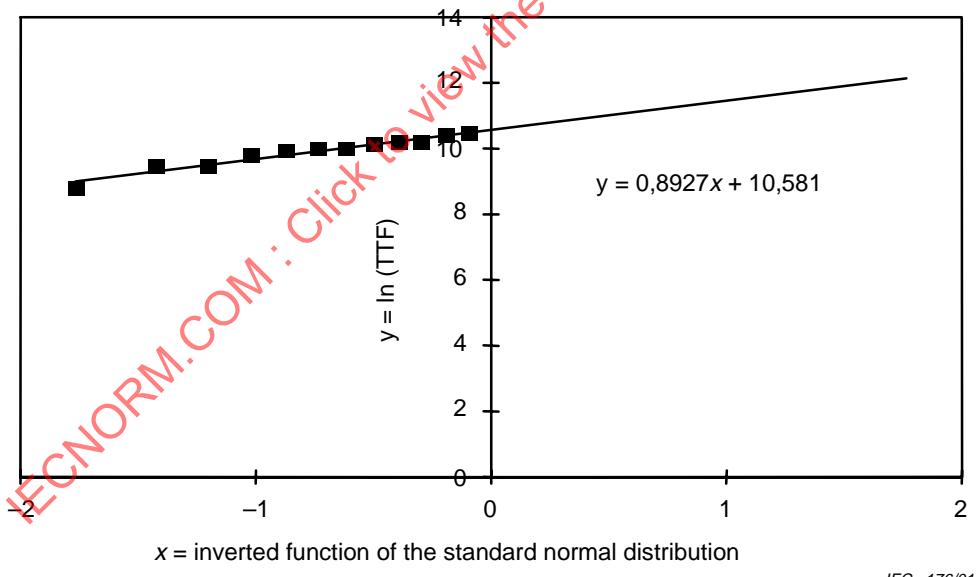
**Figure 3 – Tracé log-normal pour des dispositifs dans la condition d'essai E**

La durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTF) est le temps mis par 50 % des échantillons avant de tomber en panne. Pour les échantillons de la condition d'essai C, la MTF est exponentielle (8,9975), ce qui représente 8 082 h et, pour la condition d'essai E, la MTF est exponentielle (10,581) ce qui représente 39 379 h. Pour les besoins des calculs de taux de défaillance, une valeur de 8 000 h est prise pour la condition C et 39 300 h pour la condition E.

Figure 2 shows the log-normal plot for devices in test condition C and figure 3 shows the log-normal plot for devices in test condition E.



**Figure 2 – Log-normal plot for devices in test condition C**



**Figure 3 – Log-normal plot for devices in test condition E**

The median time to failure (MTF) is the time taken for 50 % of the samples to fail. For samples in test condition C, the MTF is exponential (8,9975) which is 8 082 h and, for test condition E, the MTF is exponential (10,581) which is 39 379 h. For the purpose of the failure rate calculations, a value of 8 000 h is taken for condition C and 39 300 h for condition E.

On s'attend à ce que le paramètre de dispersion soit similaire dans toutes les conditions d'essai de durée de vie et que le même paramètre de dispersion s'applique dans l'environnement de service. Si ces suppositions sont incorrectes, la première indication est un taux non prévu des défaillances précoces dans les essais de contrainte faible. S'il apparaît que le paramètre de dispersion varie de façon significative dans les différentes conditions d'essai, il peut survenir un problème avec le modèle concernant le mécanisme de défaillance qui a été supposé. Une analyse complémentaire révèle souvent qu'il existe plus d'un mécanisme de défaillance affectant les résultats et que les différents mécanismes de défaillance sont accélérés à des degrés divers par les conditions d'essai de durée de vie.

Un essai d'importance statistique peut être appliqué aux différences de paramètres de dispersion calculés de différentes conditions d'essai de durée de vie. Si les différences s'avèrent n'être pas significatives à un niveau de confiance acceptable (par exemple 90 %), on peut supposer que le paramètre de dispersion demeure constant sur une gamme de conditions qui comprend l'environnement du service. Si on trouve que les différences sont significatives, un modèle doit être appliqué qui relie le paramètre à la température et à l'humidité.

#### 5.4 Calcul du facteur d'accélération de température

Le tableau 4 illustre les durées moyennes de fonctionnement avant défaillance obtenues dans les conditions d'essai C, D et E.

**Tableau 4 – Durées moyennes de fonctionnement avant défaillance pour trois températures à 85 %  $H_R$**

Condition	Température	Température	Durées moyennes de fonctionnement avant défaillance
	°C	K	h
C	85	358	8 000
D	75	348	16 900
E	65	338	39 300

Dans le cas de la température, l'équation d'Arrhenius (équation (2)) fournit souvent un ajustement aux données. L'équation d'Arrhenius est uniquement valable lorsqu'un mécanisme de défaillance est concerné. Lorsque les données figurant dans le tableau 4 sont tracées en utilisant un tableur, on constate un ajustement acceptable au modèle d'Arrhenius. C'est ce que montre la figure 4 dans laquelle la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTF) est tracée par rapport à la réciproque de la température en kelvins. Etant donné que  $x$  est alors  $(1/T)$ , le multiplicateur de  $x$ , à partir de l'équation (2), est  $(E_A/k)$ .

L'ajustement de la courbe exponentielle aux données tracées est présenté dans la figure 4 et l'équation de cette courbe indique que le multiplicateur pour  $x$  est 9 622. La multiplication de celui-ci par la constante de Boltzman ( $8,6 \times 10^{-5}$  eV) donne l'énergie d'activation,  $E_A$ . L'énergie d'activation est par conséquent 0,8 eV/K.

It is anticipated that the dispersion parameter will be similar in all the life test conditions and that the same dispersion parameter will apply in the service environment. If these assumptions are incorrect, the first indication will be an unexpected rate of early failures in the low stress tests. If the dispersion parameter is found to vary significantly in the different test conditions, there may be a problem with the model for the failure mechanism that has been assumed. Further analysis will often reveal that there is more than one failure mechanism affecting the results and the different failure mechanisms are accelerated to different extents by the life test conditions.

A test of statistical significance can be applied to differences in the calculated dispersion parameters from different life test conditions. If the differences are found to be not significant at an acceptable confidence level (for example 90 %), it can be assumed that the dispersion parameter remains constant over a range of conditions which includes the service environment. If the differences are found to be significant, a model shall be applied which relates the parameter to temperature and humidity.

#### 5.4 Calculation of temperature acceleration factor

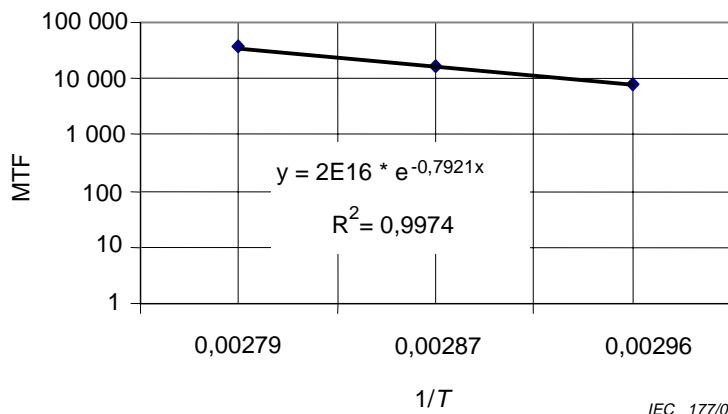
Table 4 shows the median times to failure that were obtained in test conditions C, D and E.

**Table 4 – Median times to failure for three temperatures at 85 %  $H_R$**

Condition	Temperature °C	Temperature K	Median time to failure h
C	85	358	8 000
D	75	348	16 900
E	65	338	39 300

In the case of temperature, the Arrhenius equation (equation (2)) often provides a fit to the data. The Arrhenius equation is only valid when one failure mechanism is involved. When the data given in table 4 is plotted using a spreadsheet, an acceptable fit to the Arrhenius model is seen. This is shown in figure 4 in which the median time to failure (MTF) is plotted against the reciprocal of the temperature in kelvins. Since  $x$  is then  $(1/T)$ , the multiplier of  $x$  is, from equation (2),  $(E_A/k)$ .

The exponential curve fit to the plotted data is shown in figure 4 and the equation of this curve indicates that the multiplier for  $x$  is 9 622. When this is multiplied by the Boltzmann constant ( $8,6 \times 10^{-5}$  eV), it gives the activation energy,  $E_A$ . The activation energy is therefore, 0,8 eV/K.



**Figure 4 – Ajustement de la courbe exponentielle pour MTF par rapport à 1/T**

Si les points ne donnent pas un bon ajustement à l'équation d'Arrhenius, des essais supplémentaires de durée de vie à un certain nombre de différentes températures sont prescrits pour résoudre la contribution de chaque mécanisme de défaillance. Il en résulte un nombre de courbes supérieur à un et cela permet aux énergies d'activation pour les différents mécanismes de défaillance d'être dérivées. S'il n'existe néanmoins aucune corrélation avec le modèle d'Arrhenius, alors un modèle différent aurait dû être trouvé.

### 5.5 Calcul du facteur d'accélération de l'humidité

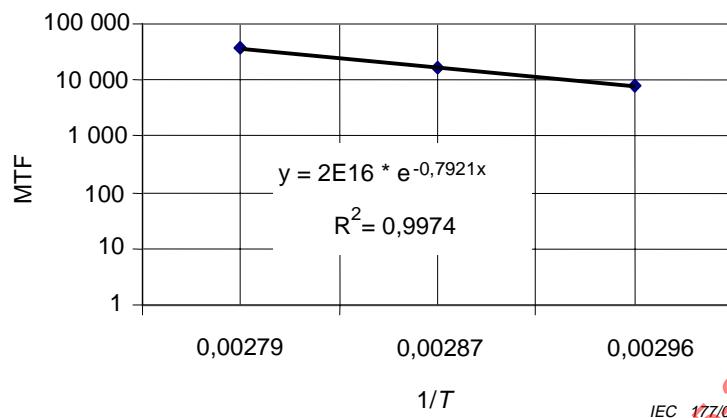
Il n'existe aucune fonction généralement acceptée pour l'accélération de la défaillance due à l'humidité mais dans plusieurs cas, il a été constaté qu'un ajustement adapté fondé sur l'humidité relative est donné par l'équation (3), où  $\eta$  est un paramètre d'activation d'humidité. Grâce à des connaissances supplémentaires du mécanisme de défaillance, on peut constater qu'il est plus judicieux d'utiliser l'humidité absolue.

Lorsque la relation n'est pas claire, il convient de choisir les conditions d'essai qui laissent ouverte l'option d'effectuer les calculs en utilisant soit l'humidité absolue soit l'humidité relative. Il s'est avéré que l'humidité relative fournit une meilleure corrélation dans le cas de dispositifs à semiconducteurs et optoélectroniques et cela peut de ce fait être également le cas avec les dispositifs optiques passifs. Une dépendance de la loi quadratique en fonction de l'humidité n'est pas non plus nécessairement applicable et un exposant non entier peut conduire à un meilleur ajustement.

S'agissant des dispositifs examinés dans cet exemple pratique, les résultats obtenus à partir des essais effectués dans les conditions A, B et C (voir le tableau 2) figurent au tableau 5. De même qu'avec les essais de températures, l'extrapolation est nécessaire pour les conditions de contraintes inférieures.

**Tableau 5 – Durées moyennes de fonctionnement avant défaillance pour trois niveaux d'humidité à 85 °C**

Condition	Humidité relative %	MTF h
A	45	12 000
B	65	4 000
C	85	1 000



**Figure 4 – Exponential curve fit for MTF versus  $1/T$**

If the points do not give a good fit to the Arrhenius equation, then further life tests at a number of different temperatures are required to resolve the contribution from each failure mechanism. This would result in more than one curve and allow the activation energies for the different failure mechanisms to be derived. If there were still no correlation with the Arrhenius model, then a different model would have to be found.

### 5.5 Calculation of humidity acceleration factor

There is no generally accepted function for failure acceleration due to humidity, but in many cases, it has been found that a suitable fit based on relative humidity is given by equation (3), where  $\eta$  is a humidity activation parameter. With further knowledge of the failure mechanism, it may be found that it is better to use absolute humidity.

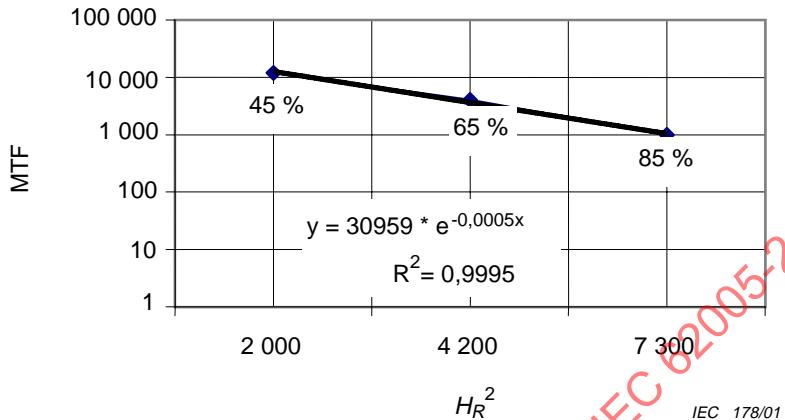
Where the relationship is not clear, test conditions should be chosen that leave open the option of making the calculations using either absolute or relative humidity. Relative humidity has been found to provide better correlation in the case of semi-conductor and opto-electronic devices and this may therefore also be the case with optical passive devices. A square law dependence on humidity is also not necessarily applicable and a non-integer exponent may lead to a better fit.

For the devices considered in this worked example, the results obtained from the tests carried out in conditions A, B and C (see table 5) are shown in table 5. As with the temperature tests, extrapolation is needed for the lower stress conditions.

**Table 5 – Median times to failure for three humidity levels at 85 °C**

Condition	Relative humidity %	MTF h
A	45	12 000
B	65	4 000
C	85	1 000

L'équation (3),  $t_{50} = R_0 \exp [-\eta H_R^2]$ , donne une relation entre le taux de défaillance et le carré de l'humidité relative qui s'est avéré fournir un modèle raisonnable pour certains composants. Si la valeur du taux de défaillance est tracée en tant que MTF par rapport au carré de l'humidité relative, un ajustement de la courbe exponentielle donne la valeur de  $\eta$  directement. Ce tracé est présenté à la figure 5, qui illustre également la courbe ajustée et l'équation de la courbe. Dans cet exemple, il apparaît que le modèle fournit un bon ajustement aux données mesurées et que la valeur de  $\eta$  présentée est de  $-5 \times 10^{-4}$ .



**Figure 5 – Ajustement de courbe exponentielle pour MTF par rapport à  $H_R^2$**

## 5.6 Extrapolation aux conditions en service

A présent que les valeurs pour  $E_A$  et  $\eta$  ont été calculées, il est possible de calculer la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance dans n'importe quelle condition de service souhaitée par comparaison à la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance dans une des conditions d'essai de durée de vie. En combinant les équations (2) et (3),

$$t_{50(1)} = t_{50(2)} \exp \left[ \left( \frac{E_A}{kT_1} - \frac{E_A}{kT_2} \right) + \eta \left( H_{R(\text{service})}^2 - H_{R(\text{test})}^2 \right) \right] \quad (5)$$

où

- $t_{50(1)}$  est la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance à  $T_1$  et  $H_{R1}$ ;
- $t_{50(2)}$  est la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance à  $T_2$  et  $H_{R2}$ ;
- $k$  est la constante de Boltzmann ( $8,6 \times 10^{-5}$  eV/K);
- $T_1$  est la température de service, en kelvins (K);
- $H_{R(\text{service})}$  est l'humidité relative en service, en pourcentage (%);
- $T_2$  est la température de l'essai de durée de vie, en kelvins (K);
- $H_{R(\text{test})}$  est l'humidité relative de l'essai de durée de vie, en pourcentage (%).

L'équation sera différente si on utilise une relation d'humidité différente.

Par exemple, sachant les données suivantes, où  $E_A$  et  $\eta$  ont été déterminés par l'expérience,

$T_2 = 358$  K (85 °C);

$H_{R(\text{test})} = 85$  %;

$t_2 = 8\ 000$  h;

$E_A = 0,8$  eV;

$\eta = -5 \times 10^{-4}$ .

Equation (3),  $t_{50} = R_0 \exp [-\eta H_R^2]$ , gives a relationship between failure rate and the square of the relative humidity that has been found to provide a reasonable model for some components. If the value of failure rate is plotted as the MTF versus the square of the relative humidity, an exponential curve fit gives the value of  $\eta$  directly. This plot is shown in figure 5, which also shows the fitted curve and the equation of the curve. In this instance, it is apparent the model provides a good fit to the measured data and the value of  $\eta$  is shown to be  $-5 \times 10^{-4}$ .

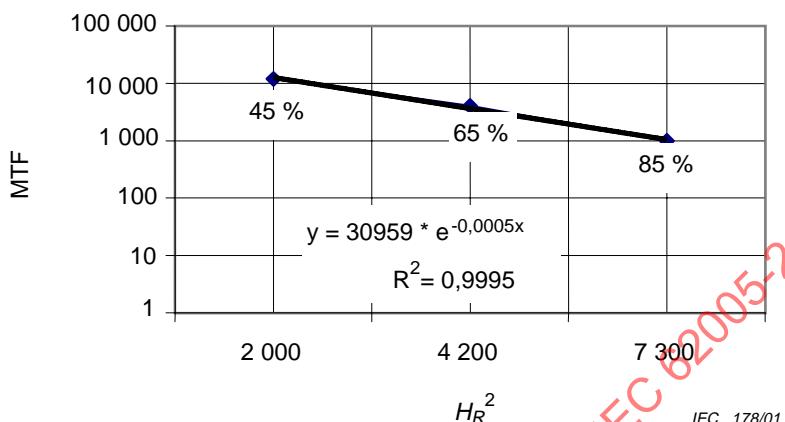


Figure 5 – Exponential curve fit for MTF versus  $H_R^2$

## 5.6 Extrapolation to service conditions

Now that values for  $E_A$  and  $\eta$  have been calculated it is possible to calculate the median time to failure at any desired service condition by comparison with the median time to failure at one of the life test conditions. Combining equations (2) and (3),

$$t_{50(1)} = t_{50(2)} \exp \left[ \left( \frac{E_A}{kT_1} - \frac{E_A}{kT_2} \right) + \eta \left( H_{R(\text{service})}^2 - H_{R(\text{test})}^2 \right) \right] \quad (5)$$

where

- $t_{50(1)}$  is the median time to failure at  $T_1$  and  $H_{R1}$ ;
- $t_{50(2)}$  is the median time to failure at  $T_2$  and  $H_{R2}$ ;
- $k$  is Boltzmann's constant ( $8,6 \times 10^{-5}$  eV/K);
- $T_1$  is the service temperature, in kelvins (K);
- $H_{R(\text{service})}$  is the service relative humidity, in per cent (%);
- $T_2$  is the life test temperature, in kelvins (K);
- $H_{R(\text{test})}$  is the life test relative humidity, in per cent (%).

The equation will be different if a different humidity relationship is used.

For example, given the following, where  $E_A$  and  $\eta$  have been determined by experiment,

$$T_2 = 358 \text{ K (} 85^\circ\text{C});$$

$$H_{R(\text{test})} = 85 \text{ \%};$$

$$t_2 = 8,000 \text{ h};$$

$$E_A = 0,8 \text{ eV};$$

$$\eta = -5 \times 10^{-4}.$$