

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60068-2-80**

Première édition  
First edition  
2005-05

---

---

**Essais d'environnement –**

**Partie 2-80:  
Essais – Essai Fi: Vibration –  
Mode mixte**

**Environmental testing –**

**Part 2-80:  
Tests – Test Fi: Vibration –  
Mixed mode**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60068-2-80:2005

## 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/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) 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 remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) 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/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) 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/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) 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

60068-2-80

Première édition  
First edition  
2005-05

---

---

**Essais d'environnement –**

**Partie 2-80:  
Essais – Essai Fi: Vibration –  
Mode mixte**

**Environmental testing –**

**Part 2-80:  
Tests – Test Fi: Vibration –  
Mixed mode**

© IEC 2005 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, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

X

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

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	6
INTRODUCTION .....	10
1 Domaine d'application .....	12
2 Références normatives .....	12
3 Termes et définitions .....	14
4 Exigences pour l'essai .....	24
4.1 Généralités .....	24
4.2 Mouvement de base .....	24
4.3 Mouvement de l'axe transversal .....	24
4.4 Fixation .....	26
4.5 Systèmes de mesure .....	26
5 Exigences pour les essais en mode mixte .....	28
5.1 Tolérances de vibration – Bruit .....	30
5.2 Tolérances de vibration – Sinus .....	36
5.3 Stratégie de contrôle .....	38
5.4 Etude de la réponse aux vibrations .....	40
6 Sévérités .....	40
6.1 Vibrations aléatoires bande large .....	42
6.2 Bandes étroites aléatoires .....	42
6.3 Profils du balayage sinus .....	44
7 Préconditionnement .....	46
8 Mesures initiales .....	46
9 Essais .....	46
9.1 Généralités .....	46
9.2 Etude initiale de la réponse aux vibrations .....	48
9.3 Faible excitation pour l'égalisation avant l'essai .....	50
9.4 Essai de vibrations en mode mixte .....	50
9.5 Etude finale de la réponse aux vibrations .....	52
10 Mesures intermédiaires .....	52
11 Rétablissement .....	52
12 Mesures finales .....	52
13 Informations à fournir dans la spécification particulière .....	52
14 Informations à fournir dans le rapport d'essai .....	54
Annexe A (informative) Informations générales sur le mode mixte .....	58
Annexe B (informative) Guide .....	70
Bibliographie .....	82

## CONTENTS

FOREWORD .....	7
INTRODUCTION .....	11
1 Scope .....	13
2 Normative references .....	13
3 Terms and definitions .....	15
4 Requirements for testing .....	25
4.1 General .....	25
4.2 Control systems .....	25
4.3 Basic motion .....	25
4.4 Cross axis motion .....	25
4.5 Mounting .....	27
4.6 Measuring systems .....	27
5 Requirements for testing mixed mode .....	29
5.1 Vibration tolerances – Random .....	31
5.2 Vibration tolerances – Sine .....	37
5.3 Control strategy .....	39
5.4 Vibration response investigation .....	41
6 Severities .....	41
6.1 Broadband random vibration .....	43
6.2 Random narrowbands .....	43
6.3 Sine tones .....	45
7 Preconditioning .....	47
8 Initial measurements .....	47
9 Testing .....	47
9.1 General .....	47
9.2 Initial vibration response investigation .....	49
9.3 Low-level excitation for equalization prior to testing .....	51
9.4 Mixed mode testing .....	51
9.5 Final vibration response investigation .....	53
10 Intermediate measurements .....	53
11 Recovery .....	53
12 Final measurements .....	53
13 Information to be given in the relevant specification .....	53
14 Information to be given in the test report .....	55
Annex A (informative) Mixed mode general information .....	59
Annex B (informative) Guidance .....	71
Bibliography .....	83

Figure 1 – Limites pour la densité spectrale d'accélération (voir également 5.1.1) ..... 28

Figure 2 – Excitation stochastique, représentation de l'écrêtage du signal et de la densité de probabilité gaussienne (normale)..... 30

Figure 3 – Exactitude statistique de la densité spectrale d'accélération en fonction des degrés de liberté pour différents niveaux de confiance..... 32

Figure 4 – Distribution (densité de probabilité) des signaux sinus, sinus sur bruit et aléatoire ..... 34

Figure 5 – Vitesse de balayage sinusoïdale recommandée en tant que fonction du rapport de puissance en sinus sur bruit dépendant de  $E_{sor}$  ..... 46

Figure A.1 – Sinus à 160 Hz ..... 62

Figure A.2 – Sinus à 380 Hz ..... 64

Figure A.3 – Autocorrélation – Sinus à 160 Hz..... 64

Tableau A.1 – Détermination d'une onde sinusoïdale par calcul APD ..... 66

Tableau A.2 – Détermination d'une onde sinusoïdale par calcul d'autocorrélation ..... 68

WEI SSTE  
GB标准

Figure 1 – Boundaries for acceleration spectral density (see also 5.1.1) .....	29
Figure 2 – Stochastic excitation, representation of signal clipping and Gaussian (normal) probability .....	31
Figure 3 – Statistical accuracy of acceleration spectral density versus degrees of freedom for different confidence levels .....	33
Figure 4 – Distribution (probability density) of sine, sine-on-random and random signals .....	35
Figure 5 – Recommended sinusoidal sweep rate as a function of power ratio for sine on random depending on $E_{sor}$ .....	47
Figure A.1 – Sine at 160 Hz .....	63
Figure A.2 – Sine at 380 Hz .....	65
Figure A.3 – Auto correlation – Sine at 160 Hz .....	65
Table A.1 – Determination of sine wave with APD calculation .....	67
Table A.2 – Determination of sine wave with autocorrelation calculation .....	69

WEISSSTECH  
GB标准

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

### Partie 2-80: Essais – Essai Fi: Vibration – Mode mixte

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de 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 60068-2-80 a été établie par le comité d'études 104 de la CEI: Conditions, classification et essais d'environnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
104/363/FDIS	104/368/RVD

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

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## ENVIRONMENTAL TESTING –

## Part 2-80: Tests – Test Fi: Vibration – Mixed mode

## FOREWORD

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

International Standard IEC 60068-2-80 has been prepared by IEC technical committee 104: Environmental conditions, classification and methods of test.

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

FDIS	Report on voting
104/363/FDIS	104/368/RVD

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

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

Cette norme constitue la Partie 2-80 de la CEI 60068 qui comportent les parties principales suivantes, présentées sous le titre général *Essais d'environnement*:

Partie 1: Généralités et guide

Partie 2: Essais

Partie 3: Documentation d'accompagnement et guide

Partie 4: Renseignements destinés aux rédacteurs de spécification

Partie 5: Guide pour la rédaction des méthodes d'essais

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

WEISSSTECH  
GB标准

This standard forms Part 2-80 of IEC 60068 which consists of the following major parts, under the general title *Environmental testing*:

Part 1: General and guidance

Part 2: Tests

Part 3: Supporting documentation and guidance

Part 4: Information for specification writers

Part 5: Guide to drafting of test methods

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

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

WEISSSTECH  
GB标准

## INTRODUCTION

La présente méthode d'essais de vibrations en mode mixte exige l'asservissement numérique des vibrations aléatoires large bande et des techniques associées à la combinaison de vibrations sinusoïdales et/ou de vibrations aléatoires bande étroite spécifiées sur une base aléatoire bande large.

La présente norme est destinée à une application générale aux composants, matériel et autres produits, désignés ci-après «spécimens», lorsqu'une simulation des réponses à bande large de nature complexe est nécessaire pour les spécimens.

La méthode d'essai est principalement basée sur l'utilisation d'un générateur de vibrations servo-hydraulique ou électrodynamique relié à un système asservi informatisé fonctionnant comme un système d'essais de vibrations.

Il est important de souligner que les essais en mode mixte exigent toujours un certain niveau d'expertise technique et il est recommandé que le fournisseur comme l'acheteur soient informés. L'auteur de la spécification concernée est censé sélectionner la procédure d'essai et les valeurs de sévérité adaptées au spécimen et à son utilisation.

WEI SSTECH  
GB标准

## INTRODUCTION

This method for mixed mode vibration testing requires the digital control of broadband random vibrations and techniques associated with the combination of sinusoidal vibration and/or specified narrowband random with a broadband random background.

This standard is intended for general application to components, equipment and other products, hereinafter referred to as "specimens", when simulation is required of broadband responses of a complex nature for the specimens.

The test method is based primarily on the use of an electrodynamic or a servo-hydraulic vibration generator with an associated computer based control system used as a vibration testing system.

It is emphasized that mixed mode testing always demands a certain degree of engineering judgement and both supplier and purchaser should be fully aware of this fact. The writer of the relevant specification is expected to select the testing procedure and the values of severity appropriate to the specimen and its use.

WEISSSTECH  
GB标准

## ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

### Partie 2-80: Essais – Essai Fi: Vibration – Mode mixte

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60068 est destinée à une application générale aux essais des spécimens lorsqu'une simulation d'excitation de vibrations complexes et mixtes est nécessaire.

L'objectif de l'essai est de prouver l'adéquation du spécimen à résister aux excitations spécifiées en mode mixte sans provoquer de dégradation inacceptable de ses performances fonctionnelles et/ou structurelles. Cet essai est particulièrement utile pour adapter des environnements en mode mixte à l'environnement réel lorsque les données mesurées sont disponibles.

L'essai permet également de révéler les effets accumulés des contraintes induites par les vibrations aléatoires, combinées sinus et/ou bruit, ainsi que la faiblesse et la dégradation mécaniques qui en résultent au niveau de la performance spécifiée, et d'utiliser ces informations associées aux spécifications particulières pour évaluer l'acceptabilité des spécimens. Dans certains cas, la présente norme peut également servir à prouver la robustesse mécanique des spécimens.

La présente norme s'applique à des spécimens qui peuvent être soumis à des vibrations aléatoires et/ou à une combinaison de vibrations aléatoires et déterministes dues à l'environnement de transport ou à l'environnement réel, par exemple dans les avions ou les véhicules spatiaux ou dans les éléments du conteneur de transport lorsque celui-ci est considéré comme partie intégrante du spécimen.

Bien qu'elle soit principalement destinée aux spécimens électrotechniques, la présente norme ne se limite pas à ces derniers et peut être utilisée dans d'autres domaines le cas échéant.

#### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050(300):2001, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Mesures et appareils de mesure électriques et électroniques –*  
*Partie 311: Termes généraux concernant les mesures*  
*Partie 312: Termes généraux concernant les mesures électroniques*  
*Partie 313: Types d'appareils électriques de mesure*  
*Partie 314: Termes spécifiques selon le type d'appareil*

CEI 60068-1:1988, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*

CEI 60068-2-6:1995, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 60068-2-47:1999, *Essais d'environnement – Partie 2-47: Méthodes d'essai – Fixation de composants, matériels et autres articles pour essais dynamiques de vibrations, d'impacts et autres essais similaires*

## ENVIRONMENTAL TESTING –

### Part 2-80: Tests – Test Fi: Vibration – Mixed mode

#### 1 Scope

This part of IEC 60068 is intended for general application for testing specimens when simulation is required of vibration excitation of a complex and mixed nature.

The purpose of the test is to demonstrate the adequacy of the specimen to resist the specified mixed mode excitation without unacceptable degradation of its functional and/or structural performance. It is particularly useful for tailoring mixed mode environments where measured data are available for the real life environment.

The test also helps reveal the accumulated effects of stress induced by random vibration, mixed with sine and/or random, and the resulting mechanical weakness and degradation in specified performances, and to use this information, in conjunction with the relevant specification, to assess the acceptability of specimens. In some cases, this standard may also be used to demonstrate the mechanical robustness of specimens.

This standard is applicable to specimens which may be subjected to vibration of a random and/or a combination of random and deterministic nature resulting from transportation or real life environments, for example in aircraft, space vehicles and for items in their transportation container when the latter may be considered as part of the specimen itself.

Although primarily intended for electrotechnical specimens, this standard is not restricted to such specimens and may be used in other fields where desired.

#### 2 Normative references

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

IEC 60050(300):2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Electrical and electronic measurements and measuring instruments –*

*Part 311: General terms relating to measurements*

*Part 312: General terms relating to electrical measurements*

*Part 313: Types of electrical measuring instruments*

*Part 314: Specific terms according to the type of instrument*

IEC 60068-1:1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-6:1995, *Environmental testing – Part 2-6: Tests -Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-47:1999, *Environmental testing – Part 2-47: Test methods – Mounting of components, equipment and other articles for vibration, impact and similar dynamic tests*

CEI 60068-2-64:1993, *Essais d'environnement – Partie 2-64: Méthodes d'essai – Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande (asservissement numérique) et guide*

CEI 60068-3-8:2003, *Essais d'environnement – Partie 3-8: Documentation d'accompagnement et lignes directrices – Sélection d'essais de vibrations*

CEI 60068-5-2:1990, *Essais d'environnement – Partie 5-2: Guide pour la rédaction des méthodes d'essais – Termes et définitions*

ISO 2041:1990, *Vibrations et chocs – Vocabulaire*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants sont généralement définis dans l'ISO 2041, la CEI 60050(300), la CEI 60068-1, la CEI 60068-2-6, CEI 60068-2-64 et la CEI 60068-5-2. Lorsqu'une définition tirée de l'une de ces sources est indiquée pour la commodité du lecteur, les dérivations sont indiquées, de même que les exceptions à ces définitions.

Les termes et définitions supplémentaires suivants s'appliquent également.

#### 3.1

##### **mouvement de l'axe transversal**

mouvement effectué dans une direction autre que celle de l'excitation externe, généralement spécifié sur les deux axes orthogonaux

#### 3.2

##### **mouvement réel**

mouvement représenté par le signal à large bande renvoyé par le transducteur du point de référence

#### 3.3

##### **point de fixation**

partie du spécimen en contact avec le montage d'essai ou la table de vibration à un endroit auquel le spécimen est normalement attaché lors de son utilisation

NOTE Si le montage s'effectue avec une pièce de la structure réelle de fixation, les points de fixation considérés sont ceux de la structure et non ceux du spécimen.

#### 3.4

##### **point de contrôle**

##### 3.4.1

##### **contrôle en un seul point**

méthode de contrôle utilisant le signal du transducteur au point de référence pour maintenir ce dernier au niveau de vibration spécifié

##### 3.4.2

##### **contrôle multipoint**

méthode de contrôle utilisant les signaux du transducteur de chaque point de contrôle. Les signaux sont soit soumis à une moyenne arithmétique continue, soit traités à l'aide de techniques de comparaison, en fonction de la spécification particulière, voir aussi 3.9

#### 3.5

##### **$g_n$**

accélération normale due à la gravité terrestre qui varie en fonction de l'altitude et de la latitude géographique

NOTE Pour les besoins de la présente norme, la valeur de  $g_n$  est arrondie au nombre entier immédiatement supérieur, à savoir 10 m/s<sup>2</sup>.

IEC 60068-2-64:1993, *Environmental testing – Part 2-64: Test methods – Test Fh: Vibration, broadband random (digital control) and guidance*

IEC 60068-3-8:2003, *Environmental testing – Part 3-8: Supporting documentation and guidance – Selecting amongst vibration tests*

IEC 60068-5-2:1990, *Environmental testing – Part 5-2: Guide to drafting of test methods – Terms and definitions*

ISO 2041:1990, *Vibration and shock – Vocabulary*

### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions are generally defined in ISO 2041, IEC 60050(300), IEC 60068-1, IEC 60068-2-6, IEC 60068-2-64 and IEC 60068-5-2. Where, for the convenience of the reader, a definition from one of those sources is included here, the derivation is indicated and departures from the definitions in those sources are also indicated.

The additional terms and definitions that follow are also applicable.

#### 3.1

##### **cross axis motion**

motion not in the direction of the external stimulus, generally specified in the two orthogonal axes

#### 3.2

##### **actual motion**

motion represented by the wideband signal returned from the reference point transducer

#### 3.3

##### **fixing point**

part of the specimen in contact with the fixture or vibration table at a point where the specimen is normally fastened in service

NOTE If a part of the real mounting structure is used as the fixture, the fixing points are taken as those of the mounting structure and not of the specimen.

#### 3.4

##### **control point**

##### 3.4.1

##### **single point control**

control method using the signal from the transducer at the reference point in order to maintain this point at the specified vibration level

##### 3.4.2

##### **multipoint control**

control method using the signals from each of the transducers at the check points. The signals are either continuously averaged arithmetically or processed by using comparison techniques, depending upon the relevant specification, see also 3.9

#### 3.5

##### **$g_n$**

standard acceleration due to the earth's gravity, which itself varies with altitude and geographical latitude

NOTE For the purposes of this standard, the value of  $g_n$  is rounded up to the nearest whole number, i.e. 10 m/s<sup>2</sup>.

### 3.6

#### **points de mesure**

points spécifiques sur lesquels les données sont collectées pour la réalisation de l'essai. Il existe trois types de points, comme défini ci-dessous

#### 3.6.1

##### **point de vérification**

point situé sur le montage, la table de vibration ou le spécimen, aussi près que possible d'un de ses points de fixation, et, dans tous les cas, solidement relié au spécimen

NOTE 1 Un grand nombre de points de vérification sont utilisés pour garantir que les exigences de l'essai sont remplies.

NOTE 2 S'il existe au maximum quatre points de fixation, ils sont tous utilisés comme points de vérification. S'il en existe plus de quatre, quatre points de fixation représentatifs seront définis comme points de vérification dans la spécification particulière

NOTE 3 Dans des cas particuliers, pour des spécimens complexes ou de grande taille par exemple, les points de vérification seront déterminés par la spécification particulière s'ils sont éloignés des points de fixation.

NOTE 4 Si un grand nombre de petits spécimens sont fixés sur un seul montage d'essai, ou dans le cas d'un petit spécimen qui aurait de nombreux points de fixation, un point de vérification unique (le point de référence) peut être choisi pour la dérivation du signal de contrôle. Ce signal est alors associé au montage d'essai et non aux points de fixation du ou des spécimens. Cette procédure n'est valable que si la fréquence de résonance la plus basse du montage d'essai chargé est bien supérieure à la fréquence la plus haute de l'essai.

#### 3.6.2

##### **point de référence**

point choisi parmi les points de vérification et dont le signal est utilisé pour maîtriser l'essai de façon à remplir les exigences de la présente norme

#### 3.6.3

##### **point de référence fictif**

point obtenu manuellement ou automatiquement à partir de points de vérification multiples et utilisé pour maîtriser l'essai de façon à remplir les exigences de la présente norme

#### 3.6.4

##### **points de réponse**

points spécifiques du spécimen sur lesquels les données sont collectées pour les besoins de l'étude de la réponse aux vibrations

NOTE Ces points ne sont ni des points de vérification ni des points de référence

### 3.7

#### **axes privilégiés de l'essai**

trois axes orthogonaux qui correspondent aux axes les plus vulnérables du spécimen

### 3.8

#### **fréquence d'échantillonnage**

nombre des valeurs intermédiaires de magnitude relevées chaque seconde pour enregistrer ou représenter un historique sous forme numérique

### 3.9

#### **stratégies de contrôle multipoint**

méthode de calcul du signal de contrôle de référence lors du contrôle multipoint. Les stratégies suivantes de contrôle en domaine fréquentiel sont possibles, voir aussi 3.4.2

#### 3.9.1

##### **moyenne**

processus définissant la valeur de contrôle comme moyenne arithmétique des valeurs du signal, voir aussi 3.31, à chaque fréquence de plusieurs points de vérification

### 3.6

#### **measuring points**

specific points at which data are gathered for conducting the test. These points are of three types, as defined below

#### 3.6.1

##### **check point**

point located on the fixture, on the vibration table or on the specimen as close as possible to one of its fixing points, and in any case rigidly connected to it

NOTE 1 A number of check points are used as a means of ensuring that the test requirements are satisfied.

NOTE 2 If four or fewer fixing points exist, each is used as a check point. If more than four fixing points exist, four representative fixing points will be defined in the relevant specification to be used as check points.

NOTE 3 In special cases, for example for large or complex specimens, the check points will be prescribed by the relevant specification if not close to the fixing points.

NOTE 4 Where a large number of small specimens are mounted on one fixture, or in the case of a small specimen where there are a number of fixing points, a single check point (that is the reference point) may be selected for the derivation of the control signal. This signal is then related to the fixture rather than to the fixing points of the specimen(s). This procedure is only valid when the lowest resonance frequency of the loaded fixture is well above the upper frequency of the test.

#### 3.6.2

##### **reference point**

point, chosen from the check points, signal of which is used to control the test, such that the requirements of this standard are satisfied

#### 3.6.3

##### **fictitious reference point**

point derived from multiple check points either manually or automatically, the result of which is used to control the test, so that the requirements of this standard are satisfied

#### 3.6.4

##### **response points**

specific points on the specimen from which data is gathered for the purpose of the vibration response investigation

NOTE These points are not check or reference points

### 3.7

#### **preferred testing axes**

three orthogonal axes that correspond to the most vulnerable axes of the specimen

### 3.8

#### **sampling frequency**

number of discrete magnitude values taken per second to record or represent a time-history in a digital form

### 3.9

#### **multipoint control strategies**

method for calculating the reference control signal when using multipoint control. The following frequency domain control strategies are available, see also 3.4.2

#### 3.9.1

##### **averaging**

process of determining the control value as the arithmetic average of the signal value, see also 3.31, of each frequency at more than one check point

### 3.9.2

#### **extrêmes**

processus définissant la valeur de contrôle comme la valeur minimale ou maximale des valeurs du signal, voir aussi 3.31, à chaque fréquence provenant de chaque point de vérification.

### 3.10

#### **MAX/SUM**

sévérités bruit sur bruit pour définir la valeur ASD (voir 3.14) des bandes étroites

NOTE MAX désigne la valeur maximale de la valeur ASD de base ou de la valeur ASD à bande étroite, SUM désigne la somme des deux valeurs ASD.

### 3.11

#### **facteur de crête**

rapport de la valeur de crête à la valeur efficace d'une onde complexe en mode mixte

[ISO 2041]

### 3.12

#### **stratégie de superposition**

stratégie définissant la méthode de calcul de la densité spectrale d'accélération de référence de chaque ligne de fréquences à partir des profils du balayage sinus et de l'ASD aléatoire

### 3.13

#### **largeur de bande à –3 dB**

##### **B**

largeur de bande de fréquences entre deux points dans une fonction de réponse en fréquence égale à 0,708 de la réponse maximale lorsqu'elle est associée à un pic de résonance unique

### 3.14

#### **densité spectrale d'accélération**

##### **ASD**

valeur quadratique moyenne de la partie d'un signal d'accélération transmis par un filtre à bande étroite d'une fréquence centrale, par largeur de bande unitaire, dans la mesure où la largeur de bande tend vers zéro et où le temps de moyennage tend vers l'infini

### 3.15

#### **erreur systématique (de justesse)**

pour un signal aléatoire, erreur systématique dans l'estimation de la densité spectrale d'accélération due à la résolution en fréquence finie utilisée en pratique. Pour un signal sinusoïdal, erreur systématique dans l'estimation de l'amplitude de la composante sinusoïdale d'un signal en mode mixte due au temps de moyennage

### 3.16

#### **densité spectrale d'accélération de contrôle**

densité spectrale d'accélération mesurée au point de référence ou au point fictif

### 3.17

#### **boucle du système asservi**

somme des actions suivantes:

- numérisation de l'onde analogique en mode mixte du signal dérivé du point de référence;
- réalisation des traitements nécessaires;
- génération d'une onde analogique de commande en mode mixte modifiée vers l'amplificateur de puissance du système de vibrations (voir également l'Article B.1)

**3.9.2****extremal**

process of determining the control value as the maximum or minimum of the signal value, see also 3.31, of each frequency from each check point

**3.10****MAX/SUM**

random-on-random severities in order to define the ASD (see 3.14) value of the narrow bands

NOTE MAX means the maximum of either the background or narrow band ASD values, SUM means adding the two ASD values.

**3.11****crest factor**

ratio of the peak value to the r.m.s. value of the complex mixed-mode waveform

[ISO 2041]

**3.12****super positional strategy**

strategy which defines the method for calculating the reference acceleration spectral density at each frequency line from the sine tones and the random ASD

**3.13****–3 dB bandwidth****B**

frequency bandwidth between two points in a frequency response function which is 0,708 of the maximum response when associated with a single resonance peak

**3.14****acceleration spectral density****ASD**

mean-square value of that part of an acceleration signal passed by a narrowband filter of a centre frequency, per unit bandwidth, to the extent that the bandwidth approaches zero and the averaging time approaches infinity

**3.15****bias error**

for the random signal, systematic error in the estimate of the acceleration spectral density due to the finite frequency resolution used in practice. For the sinusoidal signal, systematic error in the estimate of the amplitude of the sinusoidal component within the mixed mode signal due to the averaging time

**3.16****control acceleration spectral density**

acceleration spectral density measured at the reference point or the fictitious point

**3.17****control system loop**

sum of the following actions:

- digitizing the analogue mixed mode waveform of the signal derived from the reference point;
- performing the necessary processing;
- producing an updated analogue mixed mode drive waveform to the vibration system power amplifier (see also Clause B.1)

### 3.18

#### **écrêtage du signal de commande**

limitation de la valeur maximale du signal de commande, exprimée comme un facteur de crête

### 3.19

#### **gamme de fréquences efficace (voir également la Figure 1)**

gamme comprise entre la fréquence réelle inférieure à  $f_1$  et la fréquence réelle supérieure à  $f_2$ , en raison de la pente initiale et de la pente finale

### 3.20

#### **erreur de densité spectrale d'accélération**

différence entre la densité spectrale d'accélération spécifiée et la densité spectrale d'accélération de contrôle

### 3.21

#### **égalisation**

minimisation de l'erreur de densité spectrale d'accélération

### 3.22

#### **pente finale (voir également la Figure 1)**

partie de la densité spectrale d'accélération spécifiée supérieure à  $f_2$

### 3.23

#### **résolution en fréquence**

largeur des intervalles de fréquence, en hertz, dans la densité spectrale d'accélération

NOTE Elle est égale à la réciproque de la longueur de chacun des échantillons selon lesquels l'enregistrement est divisé pour calculer la densité spectrale d'accélération mesurée dans l'analyse numérique. Le nombre de lignes de fréquences est égal au nombre d'intervalles d'une gamme de fréquences donnée.

### 3.24

#### **densité spectrale d'accélération mesurée**

estimation de la vraie densité spectrale d'accélération lue sur l'écran de l'analyseur, modifiée de la valeur de l'erreur instrumentale, de l'erreur aléatoire ou de l'erreur systématique

### 3.25

#### **pente initiale (voir également la Figure 1)**

partie de la densité spectrale d'accélération spécifiée inférieure à  $f_1$

### 3.26

#### **erreur instrumentale**

erreur associée à chaque élément analogique fourni au système asservi et aux éléments analogiques du système asservi

### 3.27

#### **erreur aléatoire**

erreur variant d'une estimation de la densité spectrale d'accélération à une autre en raison de la limitation, dans la pratique, du temps de moyennage et de la largeur de bande du filtre

### 3.28

#### **enregistrement**

regroupement de points de données espacés à intervalles réguliers dans le domaine temporel et utilisés dans le calcul de la Transformée de Fourier rapide

**3.18****drive signal clipping**

limitation of the maximum value of the drive signal, expressed as a crest factor

**3.19****effective frequency range (see also Figure 1)**

range from the actual frequency below  $f_1$  to the actual frequency above  $f_2$  due to initial and final slopes

**3.20****error acceleration spectral density**

difference between the specified acceleration spectral density and the control acceleration spectral density

**3.21****equalization**

minimization of the error acceleration spectral density

**3.22****final slope (see also Figure 1)**

part of the specified acceleration spectral density above  $f_2$

**3.23****frequency resolution**

width of the frequency intervals in the acceleration spectral density in hertz

NOTE It is equal to the reciprocal of the length of each of the samples into which the record is partitioned in order to calculate the indicated acceleration spectral density in digital analysis. The number of frequency lines is equal to the number of intervals in a given frequency range.

**3.24****indicated acceleration spectral density**

estimate of the true acceleration spectral density read from the analyser presentation corrupted by the instrument error, the random error and the bias error

**3.25****initial slope (see also Figure 1)**

part of the specified acceleration spectral density below  $f_1$

**3.26****instrument error**

error associated with each analogue item of the input to the control system and control system analogue items

**3.27****random error**

error changing from one estimate to another of the acceleration spectral density because of the limitation of averaging time and filter bandwidth in practice

**3.28****record**

collection of equally spaced data points in the time domain that are used in the calculation of the Fast Fourier Transform

**3.29**  
**reproductibilité**

étroitesse de l'accord entre les résultats des mesures de même valeur de même quantité pour lesquels les mesures individuelles ont été réalisées

- selon différentes méthodes,
- avec différents instruments de mesure,
- par différents observateurs,
- dans différents laboratoires,
- avec de longs intervalles de temps par rapport à la durée d'une mesure simple,
- dans des conditions d'utilisation différentes des instruments utilisés.

NOTE Le terme «reproductible» s'applique également si seules certaines conditions citées précédemment sont prises en compte.

[CEI 60050(300)]

**3.30**  
**valeur efficace**

la valeur efficace (valeur r.m.s.) d'un spectre plat sur un intervalle compris entre  $f_1$  et  $f_2$  (voir Figure 1) est la racine carrée de la moyenne du carré de la fonction sur l'intervalle

NOTE Dans cette méthode d'essai, les valeurs efficaces d'accélération, de vitesse et de déplacement peuvent être calculées uniquement pour le contenu bruit ou pour le contenu en mode mixte Sinus sur Bruit (SsB) et Bruit sur Bruit (BsB), voir B.2.4.

**3.31**  
**valeur du signal**

pour la composante aléatoire du signal en mode mixte, cette valeur se réfère à la valeur de la densité spectrale d'accélération et pour la composante sinusoïdale de ce même signal, à la valeur d'amplitude

**3.32**  
**écart-type**

$\sigma$

dans la théorie sur les vibrations, la valeur moyenne d'une vibration est égale à zéro. Ainsi, pour un historique aléatoire, l'écart-type est égal à la valeur efficace

**3.33**  
**exactitude statistique**

rapport de la vraie densité spectral d'accélération à la densité spectrale d'accélération mesurée.

NOTE Se réfère uniquement à la partie bruit du signal en mode mixte.

**3.34**  
**degrés statistiques de liberté**

pour l'estimation de la densité spectrale d'accélération des données aléatoires par une technique de moyennage des temps, le nombre efficace des degrés statistiques de liberté est obtenu à partir de la résolution en fréquence et du temps efficace de moyennage

**3.35**  
**cycle de balayage**

traversée de la gamme de fréquences spécifiée dans chaque direction, de 5 Hz à 500 Hz à 5 Hz par exemple.

NOTE Contrairement au «cycle de balayage», un balayage implique un passage dans une seule direction, vers le haut ou vers le bas.

[CEI 60068-2-6]

### 3.29 reproducibility

the closeness of the agreement between the results of measurements of the same value of the same quantity where the individual measurements are made

- by different methods,
- with different measuring instruments,
- by different observers,
- in different laboratories,
- after intervals of time which are long compared with the duration of a single measurement,
- under different customary conditions of use of the instruments employed.

NOTE The term “reproducible” also applies to the case where only certain of the preceding conditions are taken into account.

[IEC 60050(300)]

### 3.30 root-mean-square value

the root-mean-square value (r.m.s. value) of a flat spectrum over an interval between  $f_1$  and  $f_2$  (see Figure 1), is the square root of the average of the squared values of the function over the interval

NOTE In this test method, the r.m.s. values of acceleration, velocity and displacement can be calculated for the random content only or for the mixed mode Sine on Random (SoR) and Random on Random (RoR), see B.2.4.

### 3.31 signal value

for the random component of the mixed mode signal, it refers to the acceleration spectral density value and for the sinusoidal component of the mixed mode signal, it refers to the amplitude value

### 3.32 standard deviation

$\sigma$

in vibration theory, the mean value of vibration is equal to zero. Therefore for a random time history, the standard deviation is equal to the r.m.s. value

### 3.33 statistical accuracy

ratio of true acceleration spectral density to indicated acceleration spectral density

NOTE Refers to the random portion only of the mixed mode signal.

### 3.34 statistical degrees of freedom

for estimation of acceleration spectral density of random data with a time-averaging technique, the effective number of statistical degrees of freedom is derived from the frequency resolution and the effective averaging time

### 3.35 sweep cycle

traverse of the specified frequency range once in each direction, for example 5 Hz to 500 Hz to 5 Hz

NOTE In contrast to ‘sweep cycle’ one sweep denotes a sweep in one direction only, either up or down.

[IEC 60068-2-6]

### 3.36

#### **vitesse de balayage**

vitesse à laquelle la fréquence sinusoïdale est modifiée, en octave par minute ou en hertz par seconde

### 3.37

#### **vraie densité spectrale d'accélération**

densité spectrale d'accélération de l'onde aléatoire agissant sur le spécimen

## 4 Exigences pour l'essai

### 4.1 Généralités

Les caractéristiques s'appliquent à l'ensemble du système d'essai de vibrations chargé pour l'essai qui comprend, pour les systèmes d'essai électrodynamique et servo-hydraulique, un amplificateur de puissance, un montage d'essai chargé et un système asservi.

Les mouvements de base et de l'axe transversal décrits ci-dessous doivent être vérifiés soit avant de lancer l'essai, soit durant l'essai en utilisant une voie d'entrée supplémentaire du contrôleur. La spécification particulière doit fixer les niveaux d'essai d'investigation et les procédures à utiliser.

La méthode d'essai normalisée comporte la séquence de test suivante et doit être appliquée à chaque axe mutuellement perpendiculaire de l'éprouvette:

- a) Une étude initiale de la réponse aux vibrations, avec une excitation aléatoire ou sinusoïdale faible. Voir également 5.4 et 9.2.
- b) L'excitation en mode mixte comme essai de contrainte ou essai en charge.
- c) Une étude finale de la réponse aux vibrations (voir également 9.5) pour comparer les résultats avec ceux de l'étude initiale et détecter d'éventuelles défaillances mécaniques dues à une modification du comportement dynamique.

Cependant, la spécification particulière peut renoncer à l'exigence concernant l'étude des réponses, ou une partie de celles-ci, si le comportement dynamique de l'éprouvette est connu ou sans intérêt.

### 4.2 Systèmes asservis

Des lots spécifiques de contrôles logiciels sont nécessaires au système asservi qui peut analyser et contrôler les essais pour lesquels une combinaison d'excitations ou de spécifications bruit sur bruit ou sinus sur bruit est nécessaire.

### 4.3 Mouvement de base

Le mouvement de base des points de fixation du spécimen doit être rectiligne, les points de fixation étant déterminés par la spécification particulière et ayant des mouvements globalement identiques. S'il est difficile d'obtenir des mouvements globalement identiques, un contrôle multipoint doit alors être effectué.

Les caractéristiques du mouvement de base doivent en principe être une distribution gaussienne pour l'onde aléatoire et une forme sinusoïdale pour les composantes périodiques.

### 4.4 Mouvement de l'axe transversal

Il convient que le mouvement de l'axe transversal soit vérifié soit avant que le test n'ait commencé par une étude bruit ou une étude sinus à un niveau déterminé par la spécification particulière, soit durant l'essai en utilisant une voie de contrôle supplémentaire.

**3.36****sweep rate**

rate at which the sinusoidal frequency is varied, either in octaves per minute or hertz per second

**3.37****true acceleration spectral density**

acceleration spectral density of the random waveform acting on the specimen

**4 Requirements for testing****4.1 General**

The characteristics apply to the complete vibration testing system, which for an electro-dynamic and a servo-hydraulic testing system includes the power amplifier, vibrator and loaded test fixture and control system.

The basic and cross axis motions described below shall be checked either before starting the test or during testing by using an additional input monitor channel of the controller. The relevant specification shall state the investigation test levels and procedures to be used.

The standardized test method consists of the following test sequence and shall be applied in each of the mutually perpendicular axes of the test specimen:

- a) An initial vibration response investigation, with low level sinusoidal or random excitation, see also 5.4 and 9.2.
- b) The mixed mode excitation as the load or stress test.
- c) A final vibration response investigation (see also 9.5) to compare the results with the initial one and to detect possible mechanical failures due to a change of the dynamic behaviour.

However, the relevant specification may renounce the requirement for a response investigation, or part thereof, if the dynamic behaviour of the test specimen is known or not of interest.

**4.2 Control systems**

Special software control packages are required for the control system which have the capability of analysing and controlling tests where a mixture of random on random or sine on random excitations/specifications is required.

**4.3 Basic motion**

The basic motion of the fixing points of the specimen, which shall be prescribed by the relevant specification and have substantially identical motions, shall be rectilinear. If substantially identical motions are difficult to achieve, then multipoint control shall be used.

The characteristics of the basic motion shall be nominally a Gaussian distribution for the random waveform and sinusoidal for the periodic components.

**4.4 Cross axis motion**

Cross axis motion should be checked either before the test is applied by conducting a sine or random investigation at a level prescribed by the relevant specification or during testing by utilizing an additional monitoring channel.

La valeur du signal à chaque fréquence aux points de vérification d'un axe perpendiculaire à l'axe spécifié ne doit pas dépasser les valeurs du signal au-dessus de 500 Hz et au-dessous de 500 Hz elle ne doit pas dépasser  $-3$  dB des valeurs du signal spécifié. Le total de l'accélération efficace sur tout axe perpendiculaire à l'axe spécifié ne doit pas dépasser 50 % de la valeur efficace pour l'axe spécifié. Par exemple, pour un petit spécimen, la valeur du signal du mouvement transversal admissible peut être limitée de façon à ne pas dépasser  $-3$  dB du mouvement de base, si la spécification particulière la détermine ainsi.

Il peut être difficile d'obtenir de telles valeurs à certaines fréquences ou sur des spécimens de grande taille ou de masse importante. Aussi dans les cas où la spécification particulière exige des sévérités avec une grande gamme dynamique, il peut être aussi difficile d'obtenir de telles valeurs. Dans ces cas-là, la spécification particulière doit indiquer laquelle des deux exigences suivantes s'applique:

- a) le mouvement de l'axe transversal supérieur au mouvement spécifié ci-dessus doivent être contrôlés et indiqués dans le rapport d'essai;
- b) le mouvement de l'axe transversal n'a pas besoin d'être contrôlé.

#### 4.5 Fixation

Le spécimen doit être fixé conformément à la CEI 60068-2-47. Dans tous les cas, les valeurs de la courbe de transmissibilité choisie à partir de la CEI 60068-2-47 doivent être mises au carré avant multiplication dans le cadre du spectre ASD ou multipliées directement pour les amplitudes sinusoïdales.

#### 4.6 Systèmes de mesure

Les caractéristiques du système de mesure doivent être telles qu'il est possible de déterminer que la valeur vraie de la vibration mesurée sur l'axe choisi au point de référence se situe dans la plage de tolérance requise pour l'essai.

La réponse en fréquence du système global de mesure, qui comprend le transducteur, le conditionneur de signal et les dispositifs d'acquisition et de traitement des données, produit un effet significatif sur la précision des mesures. La gamme de fréquences du système de mesure doit s'étendre depuis au minimum 0,5 fois la fréquence la plus basse ( $f_1$ ) jusqu'à 2,0 fois la fréquence la plus haute ( $f_2$ ) de la gamme de fréquences de l'essai, voir aussi la Figure 1. La réponse en fréquence du système de mesure doit être uniforme entre  $\pm 5$  % dans cette gamme de fréquences.

The signal value of each frequency at the check points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed the specified signal values above 500 Hz and below 500 Hz shall not exceed –3 dB of the specified signal values. The total r.m.s. acceleration in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed 50 % of the r.m.s. value for the specified axis. For example for a small specimen, the signal value of the permissible cross motion may be limited such that it does not exceed –3 dB of the basic motion, if so prescribed by the relevant specification.

At some frequencies or with large-size or high-mass specimens it may be difficult to achieve these. Also in those cases where the relevant specification requires severities with a large dynamic range it may also be difficult to achieve these. In such cases the relevant specification shall state which of the following requirements applies:

- a) cross axis motion in excess of that specified above shall be monitored and stated in the test report;
- b) cross axis motion need not be monitored.

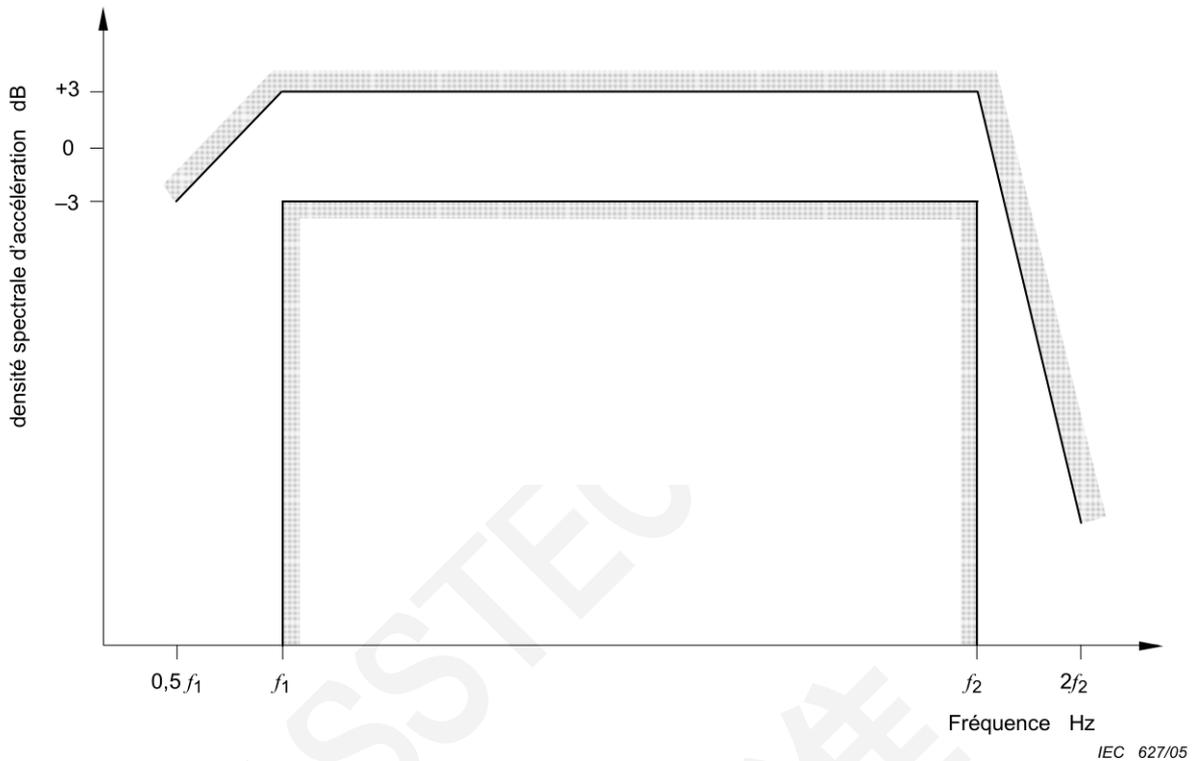
#### **4.5 Mounting**

The specimen shall be mounted in accordance with IEC 60068-2-47. In any case, the transmissibility curve chosen from IEC 60068-2-47 shall be squared before multiplication with the ASD spectrum or multiplied direct for the sine amplitudes.

#### **4.6 Measuring systems**

The characteristics of the measuring system shall be such that it can be determined that the true value of the vibration as measured in the intended axis at the reference point is within the tolerance required for the test.

The frequency response of the overall measuring system, which includes the transducer, the signal conditioner and the data acquisition and processing device, has a significant effect on the accuracy of the measurements. The frequency range of the measuring system shall extend from at least 0,5 times the lowest frequency ( $f_1$ ) to 2,0 times the highest frequency ( $f_2$ ) of the test frequency range, see also Figure 1. The frequency response of the measuring system shall be flat within  $\pm 5$  % in this frequency range.



**Figure 1 – Limites pour la densité spectrale d'accélération**  
(voir également 5.1.1)

## 5 Exigences pour les essais en mode mixte

La présente norme fournit des méthodes d'essai pour appliquer des vibrations aléatoires en combinaison avec des vibrations aléatoires bande étroite, des vibrations sinusoïdales, ou les deux. Les composantes aléatoires bande étroite et sinusoïdales peuvent être balayées sur une gamme de fréquences définie selon la spécification particulière. Les essais en mode mixte doivent tenir compte des éléments suivants.

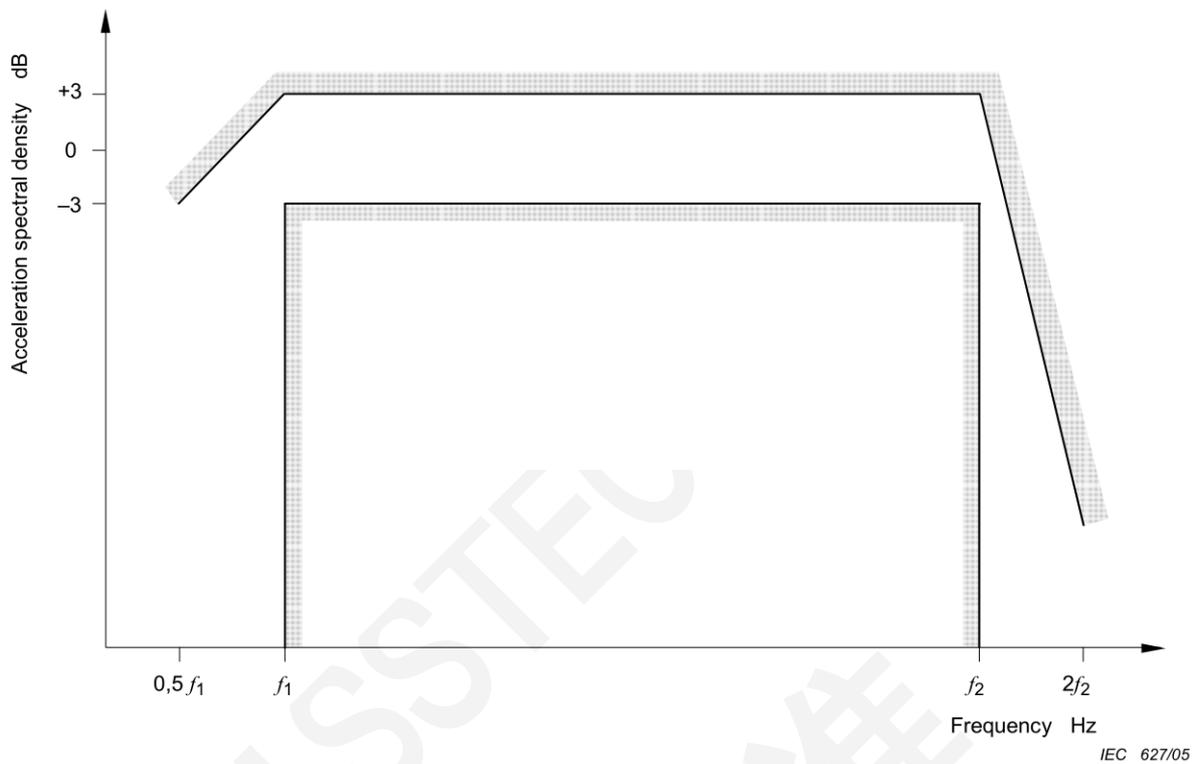
La spécification particulière doit fixer si les profils aléatoires de bande étroite sont les niveaux spectraux maximum (MAX) ou s'ils doivent être ajoutés au profil spectral de base (SUM).

Le spectre d'accélération peut être soit

- a) un spectre d'accélération de superposition au bruit bande large, bruit bande étroite et sinus pour les systèmes asservis où la forme de l'onde sinusoïdale est générée sur des lignes spectrales de Fourier,

ou

- b) un spectre d'accélération de superposition au bruit bande large et bande étroite avec un profil de balayage sinus indépendant, ceci pour les systèmes asservis où la forme de l'onde sinusoïdale est générée en continu dans le domaine de fréquence.



**Figure 1 – Boundaries for acceleration spectral density**  
(see also 5.1.1)

## 5 Requirements for testing mixed mode

This standard provides test methods for applying random vibration in combination with either narrow band random, sinusoidal vibration, or both. The narrow band random and the sinusoidal components may be swept over a defined frequency range as defined in the relevant specification. Mixed mode testing shall take into account the following.

The relevant specification shall state whether the narrow band random profiles are the maximum (MAX) spectral levels or shall be added to the background spectral profile (SUM).

The acceleration spectrum can either be

- a) a super positional acceleration spectrum of the broadband random, the narrow band random and the sine tones for control systems where the sine wave is generated at the Fourier spectral lines,

or

- b) a super positional acceleration spectrum of the broadband random and the narrow band random with an independent sine tones, that is for control systems where the sine wave is generated continuously in the frequency domain.

## 5.1 Tolérances de vibration – Bruit

### 5.1.1 Points de vérification et de référence

La densité spectrale d'accélération mesurée pour l'axe requis au point de référence et aux points de vérification entre  $f_1$  et  $f_2$  à la Figure 1 doit être de  $\pm 3$  dB, autorisant une erreur instrumentale, en se référant à la densité spectrale d'accélération spécifiée. L'erreur aléatoire et l'erreur systématique ne sont pas prises en compte dans les tolérances. Il est possible de calculer l'erreur aléatoire.

La valeur efficace d'accélération entre  $f_1$  et  $f_2$ , calculée ou mesurée, doit être de  $\pm 10$  % de la valeur efficace associée à la densité spectrale d'accélération spécifiée. Ces valeurs sont valables à la fois pour le point de référence et pour le point de référence fictif.

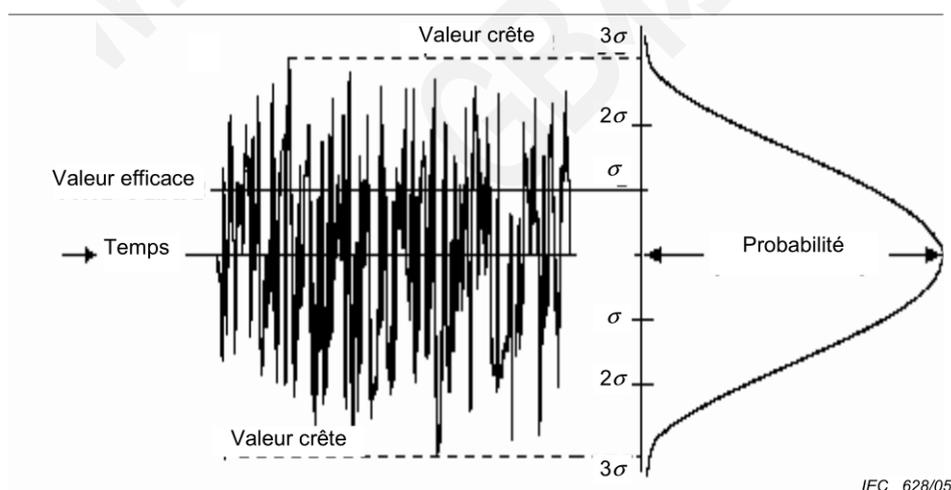
Il peut être difficile d'obtenir de telles valeurs à certaines fréquences ou sur des spécimens de grande taille ou de masse importante. Dans ces cas-là, on s'attend à ce que la spécification particulière détermine une tolérance plus large.

La pente initiale doit être supérieure à  $+6$  dB/octave et la pente finale doit être de  $-24$  dB/octave ou plus (voir également B.2.3).

Pour les essais en bruit bande étroite balayée, les tolérances de la spécification d'essai des composantes balayées doivent être les mêmes que pour la composante bande large. Cependant, ces tolérances peuvent être difficiles à obtenir à certaines vitesses de balayage. Les exigences de tolérance pour ces composantes doivent donc être indiquées dans la spécification particulière.

### 5.1.2 Distribution

Les valeurs instantanées de l'accélération au point de référence doivent avoir une distribution proche de la distribution normale (gaussienne) présentée à la Figure 2. Une validation doit être effectuée lors de l'étalonnage du système normal. Se référer à la Figure 4 pour les signaux en mode mixte avec des ondes sinusoïdales.



**Figure 2 – Excitation stochastique, représentation de l'écrêtage du signal et de la densité de probabilité gaussienne (normale)**

La valeur de l'écrêtage du signal de commande doit être au moins de 2,5 (voir aussi 3.18). Le facteur de crête de l'onde d'accélération au point de référence doit être étudié pour s'assurer que le signal contient des pics d'au moins 3 fois la valeur efficace spécifiée, sauf mention contraire de la spécification particulière.

## 5.1 Vibration tolerances – Random

### 5.1.1 Check and reference points

The indicated acceleration spectral density in the required axis at the reference point and check points between  $f_1$  and  $f_2$  in Figure 1 shall be within  $\pm 3$  dB allowing for the instrument error, referred to the specified acceleration spectral density. The random error and the bias error are not included in the tolerances. The random error can be calculated.

The r.m.s. value of acceleration, computed or measured, between  $f_1$  and  $f_2$ , shall be within  $\pm 10$  % of the r.m.s. value associated with the specified acceleration spectral density. These values are valid for both the reference point and fictitious reference point.

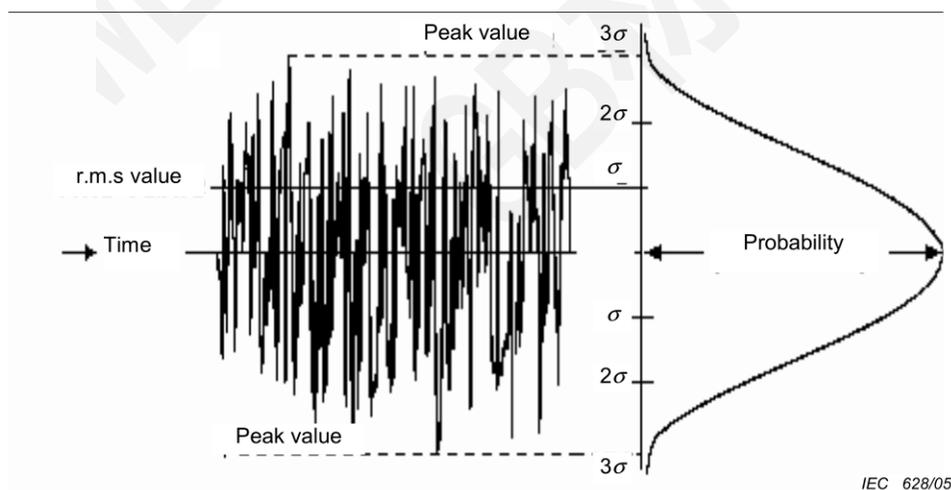
At some frequencies or with large-size or high-mass specimens, it may be difficult to achieve these values. In such cases it is expected that the relevant specification will prescribe a wider tolerance.

The initial slope shall be not less than +6 dB/octave and the final slope shall be  $-24$  dB/octave or steeper (see also B.2.3).

For swept narrow band random tests the tolerances on the swept components of the test specification shall be the same as for the wide band component. However, at some sweep rates, these tolerances may not be achievable. Therefore, the tolerance requirements for these components shall be stated in the relevant specification.

### 5.1.2 Distribution

The instantaneous acceleration values at the reference point shall have an approximately normal (Gaussian) distribution as given in Figure 2. A validation shall be performed during normal system calibration. For mixed mode signals, with sine waves, see Figure 4.



**Figure 2 – Stochastic excitation, representation of signal clipping and Gaussian (normal) probability**

The drive signal clipping shall have a value of at least 2,5 (see also 3.18). The crest factor of the acceleration waveform at the reference point shall be examined to ensure that the signal contains peaks of at least 3 times the specified r.m.s value, unless otherwise prescribed by the relevant specification.

Si le contrôle est effectué sur un point de référence fictif, l'exigence pour le facteur de crête s'applique à tous les points de vérification utilisés pour former la densité spectrale d'accélération de contrôle.

La densité de probabilité pour le point de référence doit être calculée sur une durée de 2 min au début, au milieu et à la fin de l'essai.

### 5.1.3 Exactitude statistique

L'exactitude statistique se détermine à partir des degrés statistiques de liberté  $N_d$  et du niveau de confiance (voir également la Figure 3). Les degrés statistiques de liberté sont obtenus par la formule:

$$N_d = 2 B_e \times T_a \tag{1}$$

où

$B_e$  désigne la résolution en fréquence;

$T_a$  désigne le temps efficace de moyennage;

$N_d$  ne doit pas être inférieur à 120, sauf mention contraire de la spécification particulière.

Si la spécification particulière fixe les niveaux de confiance à obtenir durant l'essai, il est recommandé d'utiliser la Figure 3 pour calculer la précision statistique.

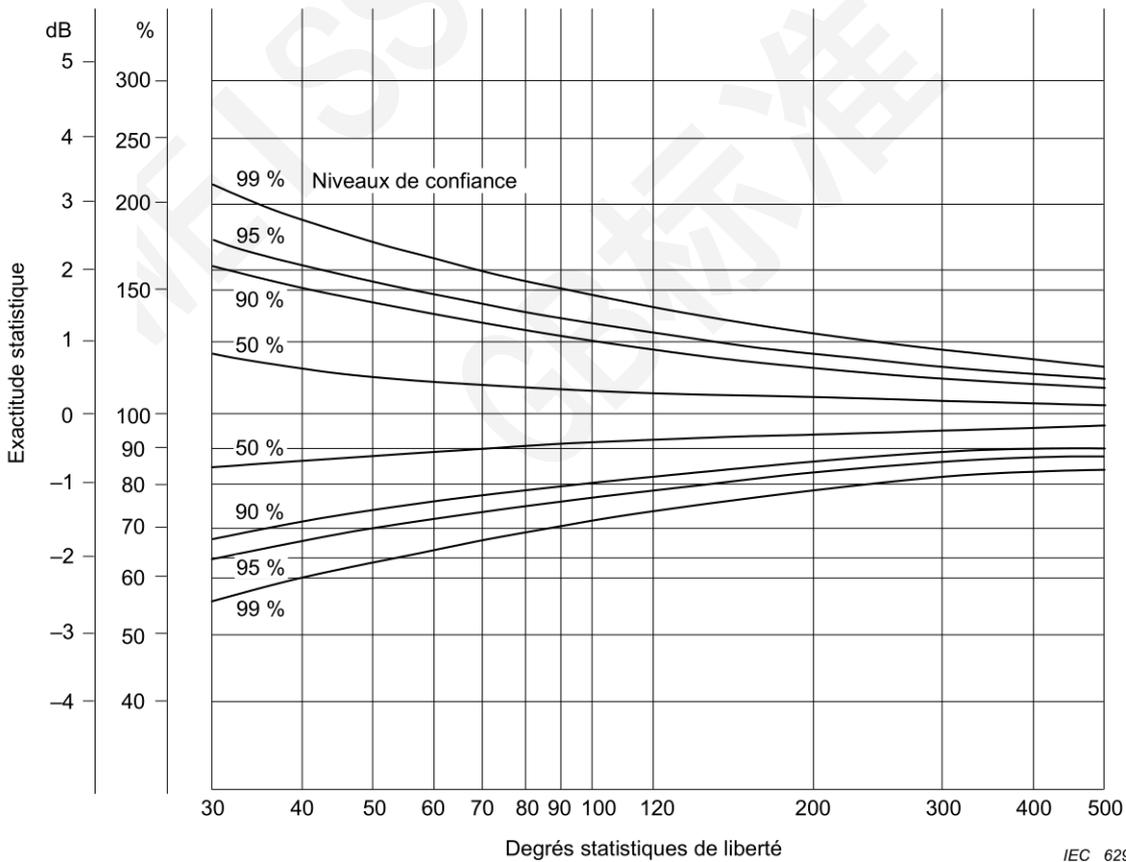


Figure 3 – Exactitude statistique de la densité spectrale d'accélération en fonction des degrés de liberté pour différents niveaux de confiance

If a fictitious reference point is used for control, the requirement for the crest factor applies to all the check points used to form the control acceleration spectral density.

The probability density function shall be computed for the reference point for a duration of 2 min at the beginning, middle and end of the test duration.

**5.1.3 Statistical accuracy**

The statistical accuracy is determined from the statistical degrees of freedom  $N_d$  and the confidence level (see also Figure 3). The statistical degrees of freedom are given by:

$$N_d = 2B_e \times T_a \tag{1}$$

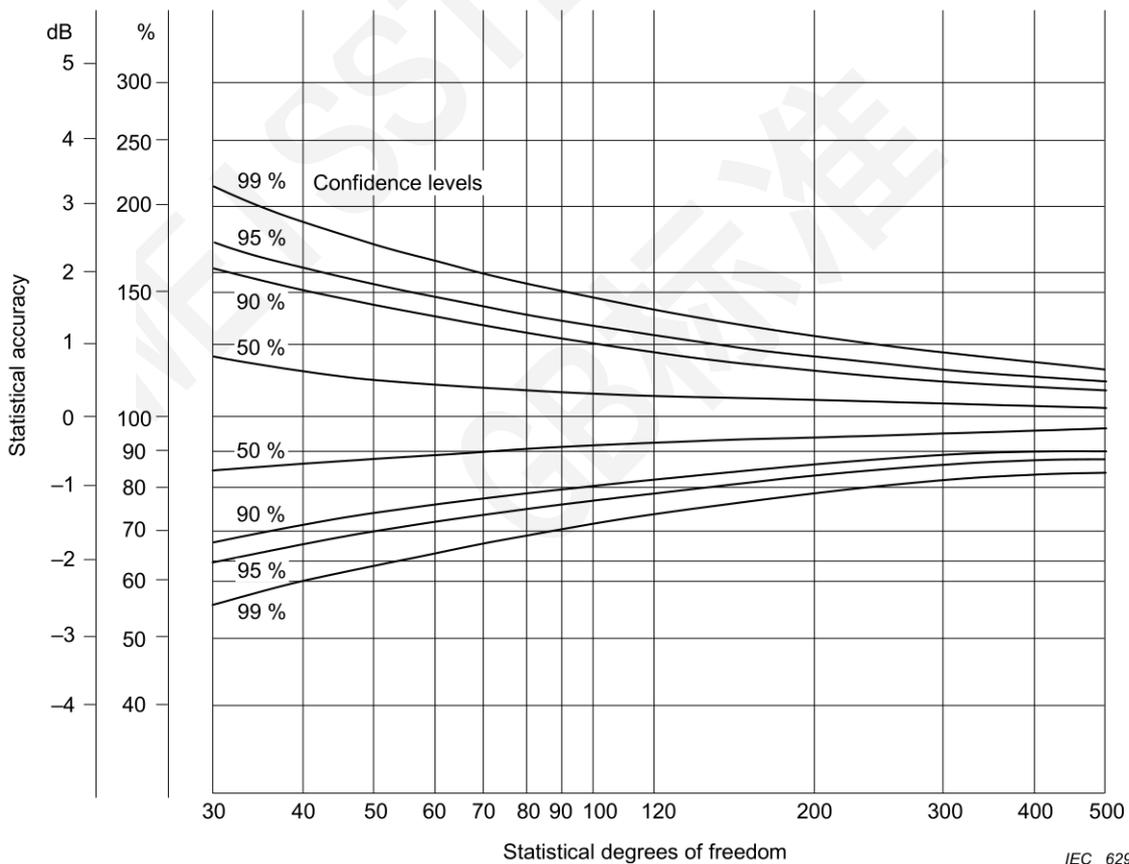
where

$B_e$  is the frequency resolution;

$T_a$  is the effective averaging time;

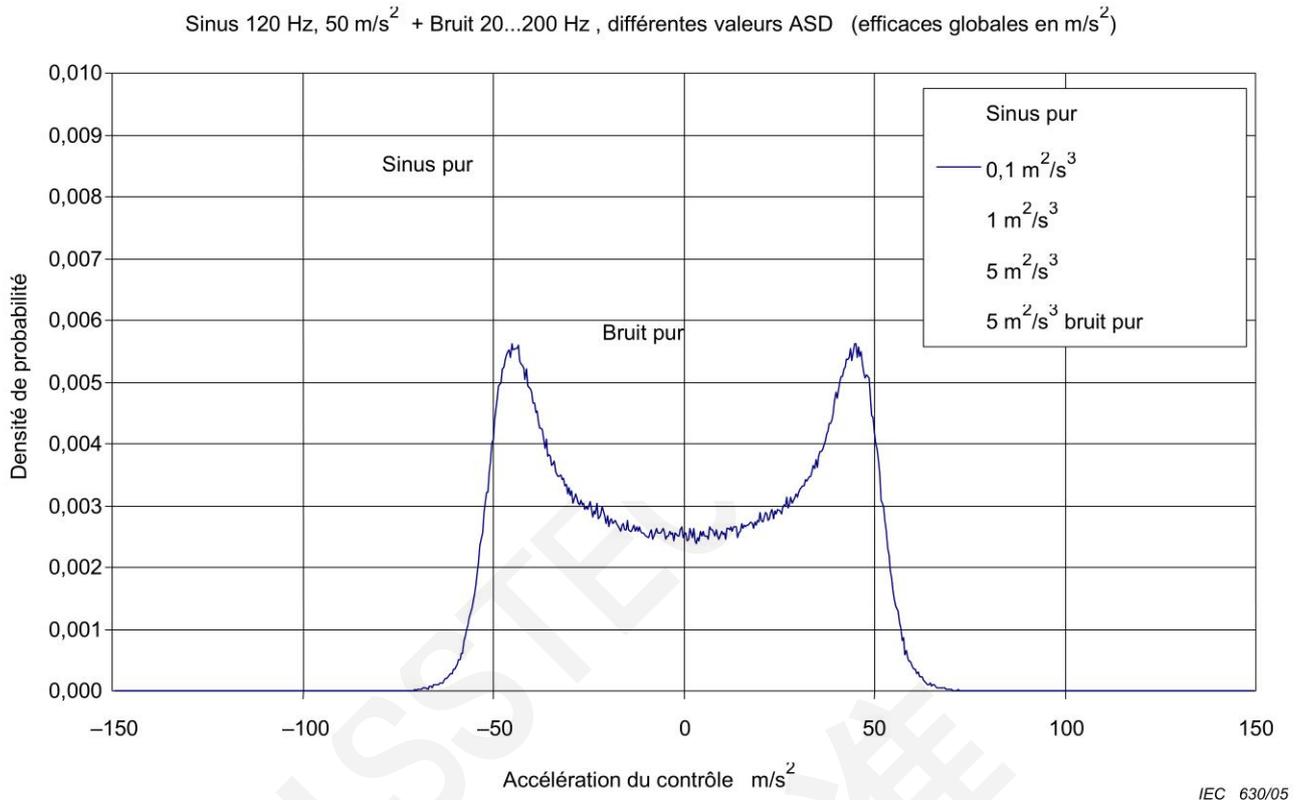
$N_d$  shall not be less than 120, unless otherwise specified by the relevant specification.

If the relevant specification states confidence levels to be met during the test, Figure 3 should be used to calculate statistical accuracy.



**Figure 3 – Statistical accuracy of acceleration spectral density versus degrees of freedom for different confidence levels**

IEC 629/05



**Figure 4 – Distribution (densité de probabilité) des signaux sinus, sinus sur bruit et aléatoire**

### 5.1.4 Résolution en fréquence

La résolution en fréquence  $B_e$  Hz nécessaire pour minimiser la différence entre les valeurs vraie et mesurée de la densité spectrale d'accélération doit être choisie en divisant la gamme de fréquences du régulateur numérique par le nombre de raies spectrales ( $n$ ).

$$B_e = f_{haute}/n \tag{2}$$

où

$f_{haute}$  désigne la gamme de fréquences du régulateur numérique de vibration en hertz et supérieure à  $2f_2$ , c'est-à-dire  $f_{haute} \geq 2f_2$ , voir Figure 1;

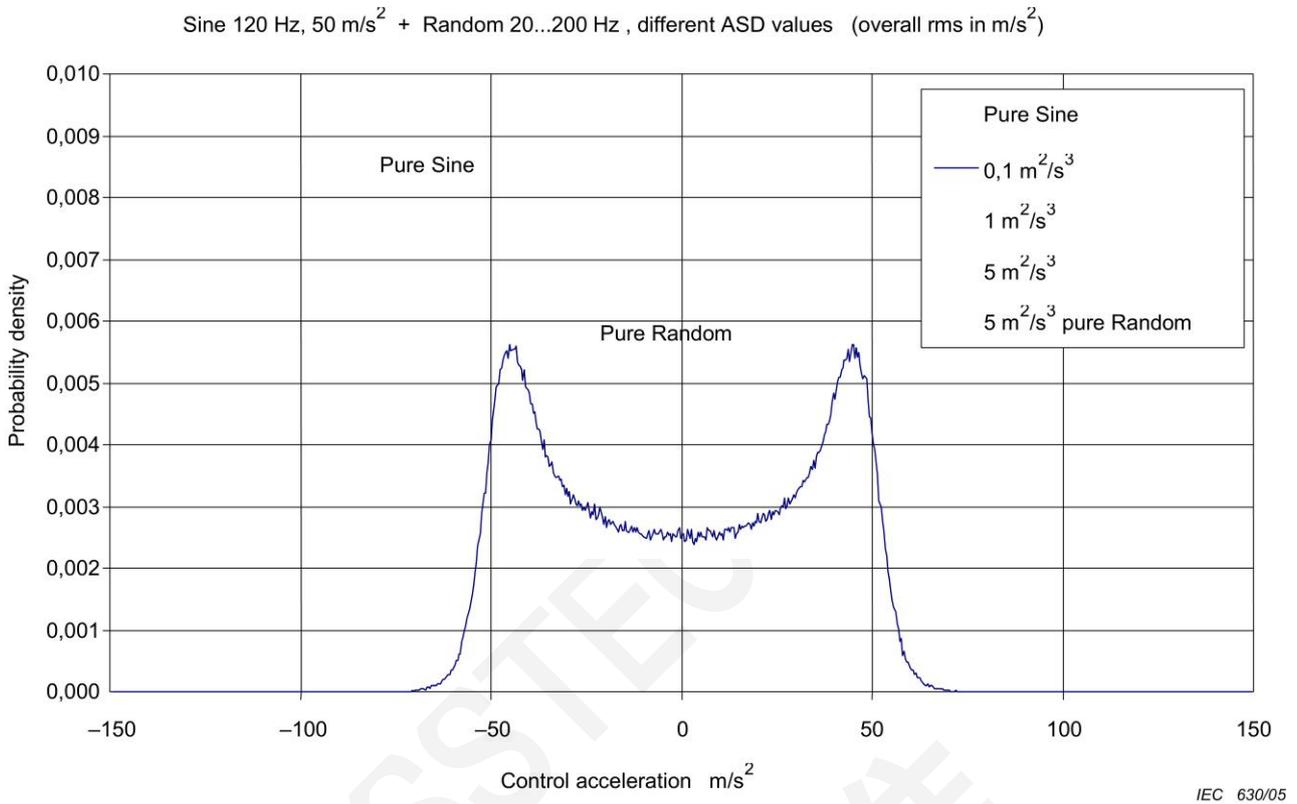
$n$  désigne le nombre de raies spectrales également réparties sur la largeur de bande de fréquences de  $f_{haute}$ .

La résolution en fréquence doit être indiquée dans la spécification particulière (voir également l'Article 13, point h).

#### 5.1.4.1 Bruit sur bruit

$B_e$  doit être déterminé tel que:

- au moins une ligne de fréquences coïncide avec la fréquence  $f_1$  à la Figure 1 et la première ligne de fréquences se situe à  $0,5 f_1$ ;
- ou deux lignes de fréquences définissent la pente initiale de la première bande étroite de balayage.



**Figure 4 – Distribution (probability density) of sine, sine-on-random and random signals**

#### 5.1.4 Frequency resolution

The frequency resolution  $B_e$  Hz necessary to minimize the difference between the true and the indicated acceleration spectral density shall be selected by taking the digital controller frequency range divided by the number of spectral lines ( $n$ ).

$$B_e = f_{\text{high}}/n \quad (2)$$

where

$f_{\text{high}}$  is the frequency range of the digital vibration controller in hertz and should be greater than  $2f_2$ , that is  $f_{\text{high}} \geq 2f_2$ , see Figure 1;

$n$  number of spectral lines equally spread over the frequency bandwidth to  $f_{\text{high}}$ .

The frequency resolution shall be given in the relevant specification, (see also Clause 13, item h).

##### 5.1.4.1 Random on random

$B_e$  shall be chosen such that:

- as a minimum a frequency line coincides with the frequency  $f_1$  in Figure 1 and the first frequency line is at 0,5 of  $f_1$ ;
- also that two frequency lines define the initial slope of the first sweeping narrowband.

Si ces deux valeurs sont différentes, alors la plus petite sera retenue pour  $B_e$ .

NOTE Il existe un juste milieu entre obtenir une valeur  $B_e$  plus précise, entraînant une durée de contrôle de la boucle plus courte, et une meilleure définition du spectre bruit sur bruit. De même, des vitesses de balayage plus rapides peuvent impliquer une résolution en fréquence plus élevée pour conserver un contrôle sur les largeurs de bandes balayées.

#### 5.1.4.2 Sinus sur bruit

$B_e$  doit être pris tel que:

un minimum auquel une ligne de fréquences coïncide avec la fréquence  $f_1$  à la Figure 1 et la première ligne de fréquences est à 0,5 de  $f_1$ .

Il est recommandé que le balayage sinus soit aussi continu que possible. Pour les systèmes asservis où la génération de l'onde sinusoïdale passe d'une ligne de fréquences à la suivante, il est recommandé que  $B_e$  soit inférieur à 0,1 % de  $f_{haute}$ .

### 5.2 Tolérances de vibration – Sinus

#### 5.2.1 Point de référence

Pour les essais sinus sur bruit balayé, l'amplitude sinusoïdale est généralement estimée à l'aide d'un filtre suiveur numérique. Le filtre suiveur réduira également la partie bruit du signal. Cependant, la valeur estimée de l'amplitude sinusoïdale inclut des apports provenant de la partie bruit du signal autour de la fréquence sinusoïdale. Aussi, plus le rapport de la valeur ASD du signal aléatoire au carré de la valeur efficace sinusoïdale (ci-après désigné «rapport de puissance») est élevé, plus l'erreur aléatoire produite sera grande. Une diminution de la largeur de bande du filtre suiveur permettra de réduire l'erreur aléatoire. Cependant, une largeur de bande plus étroite pour le filtre suiveur implique un plus grand nombre de moyennes.

Lorsqu'un spécimen a des résonances étroites à facteur de qualité élevé, l'utilisation d'un grand nombre de moyennes entraîne une erreur systématique plus importante. L'erreur systématique est la différence entre l'amplitude sinusoïdale moyenne et la réponse vraie.

Les tolérances de vibration pour les profils du balayage sinus lors des essais sinus sur bruit balayé doivent être plus importantes que l'erreur globale regroupant les erreurs aléatoire, systématique, instrumentale et de contrôle.

La Figure 5 présente la vitesse de balayage recommandée en tant que fonction du rapport de puissance d'après les hypothèses suivantes:

- utilisation d'un filtre suiveur numérique par l'intégration de Fourier;
- utilisation de moyennes exponentielles pour estimer l'amplitude sinusoïdale;
- rapport d'amortissement d'un spécimen égal à 0,01;
- $E_{sor}$  est l'erreur globale regroupant les erreurs aléatoire et systématique, les autres erreurs telles que les erreurs instrumentale et de contrôle ne sont pas prises en compte;
- la valeur mesurée de l'erreur globale est prise comme écart-type.

L'erreur totale  $E_t$  est exprimée par l'équation (3):

$$E_t = K \sqrt{E_{sor}^2 + E_i^2 + E_c^2} \quad (3)$$

If this gives two different values then the smallest  $B_e$  shall be chosen.

NOTE There is a compromise between having a finer  $B_e$ , resulting in a slower loop control time and better definition of the RoR spectrum. Also faster sweep rates for the sweeping bands may require a greater frequency resolution in order to maintain control over the sweeping bandwidths.

#### 5.1.4.2 Sine on random

$B_e$  shall be chosen such that:

as a minimum, a frequency line coincides with the frequency  $f_1$  in Figure 1 and the first frequency line is at 0,5 of  $f_1$ .

The sine sweep should where possible be continuous. For control systems where the sine wave generation jumps from one frequency line to the next,  $B_e$  should be less than 0,1 %  $f_{\text{high}}$ .

### 5.2 Vibration tolerances – Sine

#### 5.2.1 Reference point

For swept sine on random testing, a digital tracking filter is normally employed to estimate the sinusoidal amplitude. A tracking filter will also reduce the random portion of the signal. However, the estimated value of the sinusoidal amplitude includes contributions from the random portion of the signal around sinusoidal frequency. Also, the larger the ratio of random signal ASD value to the square value of the sinusoidal r.m.s., hereinafter referred to as the “power ratio”, the greater will be the random error produced. A reduction in the bandwidth of the tracking filter will make the random error smaller. However, a narrower bandwidth for the tracking filter requires a larger number of averages.

When the specimen has sharp, high quality resonances, using a larger number of averages produces a larger bias error. The bias error is the difference between the averaged sine amplitude and the true response.

Vibration tolerances for the sine tones in swept sine on random testing shall be larger than the combined error of the random error, bias error, control error and instrument error.

Figure 5 shows the recommended sweep rate as a function of power ratio with the following assumptions:

- using digital tracking filter by Fourier integration;
- using exponential averaging to estimate the sinusoidal amplitude;
- damping ratio of a specimen is 0,01;
- $E_{\text{sor}}$  is a combined error of random error and bias error, other errors such as control error and instrument error are not included;
- indicated value of combined error is assumed as standard deviation.

The total error  $E_t$  is expressed in equation (3):

$$E_t = K \sqrt{E_{\text{sor}}^2 + E_i^2 + E_c^2} \quad (3)$$

où

- $K$  est égal à 2 si on utilise 2 écarts types;
- $E_i$  désigne l'erreur instrumentale comme écart type;
- $E_c$  désigne l'erreur de contrôle comme écart type.

## 5.2.2 Tolérances de fréquence

Les tolérances de fréquence suivantes s'appliquent:

- pour les fréquences de balayage
  - ±1 Hz de 5 Hz à 50 Hz,
  - ±2 % au-delà de 50 Hz;
- pour les fréquences fixes
  - ±2 %.

## 5.3 Stratégie de contrôle

### 5.3.1 Contrôle en un seul point/multipoint

Lorsque le contrôle multipoint est spécifié ou nécessaire, la stratégie de contrôle doit être précisée.

La spécification particulière doit indiquer s'il faut effectuer un contrôle en un seul point ou un contrôle multipoint. Si le contrôle multipoint est préconisé, la spécification particulière doit indiquer si la valeur moyenne des signaux aux points de vérification ou la valeur du signal en un point sélectionné (celui qui présente la plus grande amplitude par exemple) doit être contrôlée au niveau spécifié.

NOTE S'il n'est pas possible d'effectuer un contrôle en un seul point, alors le contrôle multipoint doit être réalisé sur la moyenne ou les valeurs extrêmes des signaux aux points de vérification. Quel que soit le cas de contrôle multipoint considéré, le point contrôlé est le point de référence fictif. La méthode utilisée doit être indiquée dans le rapport d'essai.

Les stratégies suivantes sont possibles.

#### 5.3.1.1 Stratégie de la moyenne

Cette méthode permet de calculer la valeur de contrôle à partir du signal de chaque point de vérification. Une valeur de contrôle composée est établie en calculant la moyenne arithmétique de la valeur du signal à chaque fréquence depuis les points de vérification. Cette moyenne arithmétique de la valeur du signal est alors comparée à la valeur spécifiée du signal à chaque fréquence.

#### 5.3.1.2 Stratégie de la moyenne pondérée

La valeur de contrôle à chaque fréquence  $a_c$  est établie en calculant la moyenne des valeurs des signaux provenant des points de vérifications  $a_1$  à  $a_n$  en fonction de leur pondération  $w_1$  à  $w_n$ :

$$a_c = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \dots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \dots + w_n) \quad (4)$$

Cette stratégie de contrôle permet à différents signaux des points de vérification de contribuer en proportions plus ou moins importantes à la valeur de contrôle à chaque fréquence.

where

$K$  is 2 when using 2 sigma deviation;

$E_i$  is an instrument error as standard deviation;

$E_c$  is a control error as standard deviation.

### 5.2.2 Frequency tolerances

The following frequency tolerances apply:

- for swept frequencies
  - ±1 Hz from 5 Hz to 50 Hz,
  - ±2 % above 50 Hz;
- for fixed frequencies
  - ±2 %.

## 5.3 Control strategy

### 5.3.1 Single/multipoint control

When multipoint control is specified or necessary, the control strategy shall be specified.

The relevant specification shall state whether single point or multipoint control shall be used. If multipoint control is prescribed, the relevant specification shall state whether the average value of the signals at the check points or the value of the signal at a selected point (for example, that with the largest amplitude) shall be controlled to the specified level.

NOTE If it is not possible to achieve single point control, then multipoint control shall be used by controlling the average or extreme value of the signals at the check points. In either of these cases of multipoint control, the point is a fictitious reference point. The method used shall be stated in the test report.

The following strategies are available.

#### 5.3.1.1 Averaging strategy

In this method, the control value is computed from the signal from each check point. A composite control value is formed by arithmetically averaging the signal value of each frequency from the check points. This arithmetically averaged control value is then compared with the specified signal value of each frequency.

#### 5.3.1.2 Weighted averaging strategy

The control value of each frequency  $a_c$  is formed by averaging the signal value from the check points  $a_1$  to  $a_n$  according to their weighting  $w_1$  to  $w_n$ :

$$a_c = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \dots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \dots + w_n) \quad (4)$$

This control strategy offers the possibility that different check point signals contribute a different portion to the control value of each frequency.

### 5.3.1.3 Stratégie des extrêmes

Cette méthode permet de calculer la valeur de contrôle composée à partir des valeurs extrêmes maximale (MAX) ou minimale (MIN) de la valeur de contrôle à chaque ligne de fréquence, mesurée à chaque point de vérification. Cette stratégie produira une valeur de contrôle à chaque fréquence qui représente l'enveloppe des valeurs de signal en fonction de la fréquence à chaque point de vérification (MAX) ou une limite inférieure de celle-ci (MIN).

### 5.3.2 Contrôle de références multiples

Si la spécification particulière le précise, des spectres de références multiples peuvent être définis pour différents points de vérification, points de mesure ou types de variables contrôlées, pour les essais de vibrations à force limitée par exemple.

Lorsqu'un contrôle de références multiples est préconisé, une des deux stratégies de contrôle suivantes doit être précisée:

- de limitation: tous les signaux de contrôle doivent être inférieurs à leur spectre de référence;
- de remplacement: tous les signaux de contrôle doivent être supérieurs à leur spectre de référence.

### 5.4 Etude de la réponse aux vibrations

Les exigences pour l'excitation sinusoïdale sont fournies par l'Essai Fc (CEI 60068-2-6). Celles pour l'excitation aléatoire sont fournies par l'Essai Fh (CEI 60068-2-64). Voir également la CEI 60068-3-8.

## 6 Sévérités

La sévérité des essais est déterminée par la combinaison des paramètres suivants:

- la gamme de fréquences des essais,
- la densité spectrale d'accélération à bande large,
- la forme de la courbe de densité spectrale d'accélération,
- les bandes étroites bruit,
- les profils du balayage sinus,
- la vitesse de balayage,
- la durée des essais.

Chaque paramètre doit être déterminé par la spécification particulière. Ils doivent être

- a) sélectionnés à partir des valeurs fournies de 6.1 à 6.3 ou,
- b) déduits de l'environnement connu si cela permet d'obtenir des valeurs considérablement différentes.

NOTE Il est recommandé d'apporter une attention particulière lors de la définition du niveau aléatoire et du niveau sinusoïdal à partir des données mesurées puisque les techniques employées pour la réduction des données peut affecter sérieusement les amplitudes des différents signaux. Voir aussi la CEI 60068-3-8.

### 5.3.1.3 Extremal strategy

In this method, a composite control value is computed from the maximum (MAX) or the minimum (MIN) extreme values of the signal value of each frequency line measured at each check point. This strategy will produce a control value of each frequency that represents the envelope of the signal values as a function of frequency from each check point (MAX) or a lower limit of the signal values as a function of frequency from each check point (MIN).

### 5.3.2 Multi-reference control

If specified by the relevant specification, multiple reference spectra may be defined for different check points or measuring points or different types of controlled variables, for example, for force limited vibration testing.

When multi-reference control is specified, the control strategy shall be prescribed by one of the following:

- limiting: all control signals have to be beneath their appropriate reference spectrum;
- superseding: all control signals have to be above their appropriate reference spectrum.

### 5.4 Vibration response investigation

The requirements for sinusoidal excitation are given in Test Fc (IEC 60068-2-6) and those for random excitation are given in Test Fh (IEC 60068-2-64). See also IEC 60068-3-8.

## 6 Severities

The test severity is determined by a combination of the following parameters:

- test frequency range;
- broadband acceleration spectral density;
- shape of acceleration spectral density curve;
- random narrowbands;
- sine tones;
- sweep rate;
- duration of testing.

Each parameter shall be prescribed by the relevant specification. They shall be

- a) chosen from the values given in 6.1 to 6.3 or,
- b) derived from the known environment if this gives significantly different values.

NOTE Care should be exercised when determining levels of random and sinusoidal levels from measured data since the data reduction techniques employed could seriously affect the amplitudes of the different signals. See also IEC 60068-3-8.

## 6.1 Vibrations aléatoires bande large

### 6.1.1 Gamme de fréquences des essais

La gamme de fréquences des essais doit être indiquée dans la spécification particulière en sélectionnant les limites de fréquences aussi proches que possible des séries suivantes: ... 1; 2; 5; 10; 20; 50 ... La limite inférieure de fréquence  $f_1$  doit commencer au minimum à 1 Hz et la limite supérieure  $f_2$  doit s'arrêter au maximum à 5 000 Hz.

### 6.1.2 Densité spectrale d'accélération à bande large

La densité spectrale d'accélération entre  $f_1$  et  $f_2$  (Figure 1) doit être indiquée dans la spécification particulière en sélectionnant les valeurs en  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$  ou  $\text{m}^2/\text{s}^3$  aussi proches que possible des séries suivantes: ... 1; 2; 5; 10 .... La valeur la plus basse est de 0,01 et la valeur la plus haute est de 100.

NOTE Pour ceux qui voudraient continuer à fournir des valeurs en  $g_n$ , la valeur de  $g_n$  est définie à  $10 \text{ m/s}^2$  pour les besoins de la présente norme.

### 6.1.3 Forme de la courbe de densité spectrale d'accélération

Le présent essai spécifie un spectre de densité spectrale d'accélération avec une section horizontale (voir la Figure 1). Dans des cas particuliers, il peut être utile de spécifier une courbe de densité spectrale d'accélération de forme spécifique, et dans ces cas-là, la spécification particulière doit définir la forme comme fonction de la fréquence. Les différents niveaux et leurs gammes de fréquences correspondantes, c'est-à-dire les points d'arrêt, doivent être sélectionnés lorsque cela est possible parmi les valeurs fournies en 6.1.1 et 6.1.2. De plus, la spécification particulière doit définir les pentes entre les niveaux.

### 6.1.4 Durée de l'essai

La durée de l'essai doit être indiquée dans la spécification particulière en sélectionnant des valeurs aussi proches que possible des séries suivantes: ... 1; 2; 5; 10....., en minutes (heures, ou jours), avec une tolérance de +5 %.

## 6.2 Bandes étroites aléatoires

La spécification particulière doit préciser le nombre de bandes étroites aléatoires à ajouter à la densité spectrale d'accélération de base.

Pour chaque bande étroite, elle doit indiquer:

- a) la largeur de bande des bandes étroites, devant se situer entre 0,5 % au minimum et 10 % au maximum de la largeur de bande aléatoire de base. Il est recommandé que la limite basse ne soit pas inférieure à deux résolutions en fréquence;
- b) la fréquence de début/fin de balayage;
- c) la vitesse de balayage en octave/min ou Hz/s,  
ou  
la durée de balayage pour un cycle de balayage;
- d) le nombre de cycles de balayage ou la largeur des bandes étroites;
- e) si le balayage est logarithmique ou linéaire;
- f) la direction initiale, haut/bas pour chaque bande;
- g) la précision du spectre de chaque bande étroite dans les limites de la largeur de bande,  $f_1$  à  $f_2$ ;
- h) le choix de la stratégie SUM ou MAX pour toutes les bandes étroites lorsqu'elles sont associées à la valeur de la densité spectrale d'accélération de base.

## 6.1 Broadband random vibration

### 6.1.1 Test frequency range

The test frequency range shall be given in the relevant specification by selecting the frequency limits as close as possible to the following series: ... 1; 2; 5; 10; 20; 50 ... The lower frequency limit  $f_1$  shall start with 1 Hz at the lowest and the upper frequency limit  $f_2$  shall stop with 5 000 Hz at the highest.

### 6.1.2 Broadband acceleration spectral density

The acceleration spectral density in (Figure 1), between  $f_1$  and  $f_2$  shall be given in the relevant specification by selecting the values in  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$  or  $\text{m}^2/\text{s}^3$ , as close as possible to the following series: ... 1; 2; 5; 10... The lowest value is 0,01 and the highest value is 100.

NOTE For those wishing to continue giving values in  $g_n$ , the value of  $10 \text{ m/s}^2$  is ascribed to  $g_n$  for the purposes of this standard.

### 6.1.3 Shape of acceleration spectral density curve

This test specifies an acceleration spectral density spectrum with a flat horizontal portion (see Figure 1). In special cases, it may be appropriate to specify a shaped acceleration spectral density curve and in these cases the relevant specification shall prescribe the shape as a function of frequency. The different levels and their corresponding frequency ranges, that are the break points, shall be selected wherever possible from the values given in 6.1.1 and 6.1.2. Additionally, the relevant specification shall prescribe the slopes between the levels.

### 6.1.4 Test duration

The duration of testing shall be given in the relevant specification by selecting values as close as possible to the following series: ... 1; 2; 5; 10..., in minutes (or hours or days), with a tolerance of +5 %.

## 6.2 Random narrowbands

The relevant specification shall specify the number of random narrowbands to be added to the background acceleration spectral density.

It needs to state the following for each narrowband:

- a) bandwidth of narrowbands, as a minimum this should be 0,5 % and not more than 10 % of the background random bandwidth. The lower limit shall not be less than two frequency resolutions;
- b) start/end frequency of sweep;
- c) sweep rate in octaves/min or Hz/s,  
or  
sweep time for one sweep cycle;
- d) number of sweep cycles or duration of narrowbands;
- e) whether the sweep is log/lin;
- f) initial direction, up/down for each band;
- g) specified spectrum of each narrowband within the limits of the bandwidth,  $f_1$  to  $f_2$ ;
- h) chosen SUM or MAX strategy for all narrowbands when combined with the background acceleration spectral density value.

### 6.3 Profils du balayage sinus

La spécification particulière doit préciser le nombre de profils du balayage sinus à ajouter à la densité spectrale d'accélération à bande large.

Elle doit indiquer:

- a) l'existence ou non d'une relation harmonique entre les fréquences, et leur relation de phase;

NOTE La relation de phase est pour la sortie du contrôleur; la relation de phase des signaux d'accélération sera changée par la fonction de transfert du générateur de vibration et/ou le montage d'essai et le spécimen.

- b) la fréquence de début/fin du balayage;
- c) la vitesse de balayage en octave/min ou Hz/s,  
ou  
la durée de balayage pour un cycle de balayage;

NOTE Il est recommandé d'utiliser une vitesse de balayage aussi faible que possible selon 5.2.1 et la Figure 5. Des vitesses de balayage trop élevées peuvent entraîner un manque de précision dans le contrôle du profil du balayage sinus.

- d) la direction initiale, haut/bas, ainsi que le temps de démarrage et d'arrêt de chaque fréquence;
- e) l'amplitude de chaque profil par rapport à chaque fréquence;
- f) le nombre de cycles de balayage ou la durée du profil de balayage;
- g) si le balayage est logarithmique ou linéaire;
- h) les fréquences des sinusoïdes fixes;
- i) l'amplitude des sinusoïdes fixes.

Dans certains cas, il est possible que le balayage des sinusoïdes ne s'effectue pas sur une gamme de fréquences: il n'est alors pas nécessaire de spécifier les paramètres décrits aux points b), c), d), f) et g) de 6.3. La spécification particulière doit indiquer la méthode à utiliser.

### 6.3 Sine tones

The relevant specification shall specify the number of sine tones to be added to the broadband acceleration spectral density.

It shall state:

- a) whether they are harmonically related to each other or not and their phase relationship;

NOTE The phase relationship is for the output from the controller; the phase relationship of acceleration signals will be changed by the transfer function of the vibration generator and/or the fixture and specimen.

- b) start/end frequency of sweep;

- c) sweep rate in octaves/min or Hz/s,

or

sweep time for one sweep cycle;

NOTE It is recommended to use a sweep rate that is as slow as possible according to 5.2.1 and Figure 5. A result of high sweep rates is that the sine tone may not be controlled accurately enough.

- d) initial direction, up/down, as well as the on/off time for each tone;

- e) amplitude of each tone versus frequency;

- f) number of sweep cycles or duration of tones;

- g) whether the sweep is log/lin;

- h) frequencies of fixed sinusoids;

- i) amplitude of fixed sinusoids.

In certain cases the sinusoids may not be swept over a frequency range and in this case the parameters in items b), c), d), f) and g) of 6.3 need not be specified. The relevant specification shall state which method to use.

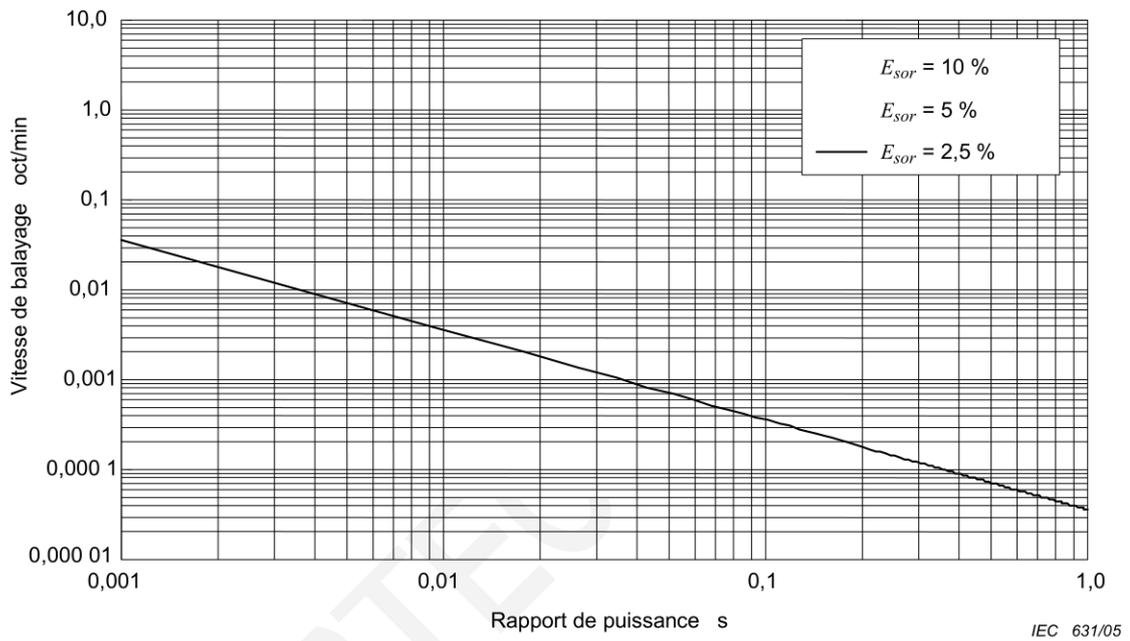


Figure 5 – Vitesse de balayage sinusoïdale recommandée en tant que fonction du rapport de puissance en sinus sur bruit dépendant de  $E_{sor}$

## 7 Préconditionnement

La spécification particulière doit demander un préconditionnement et en préciser alors les conditions.

## 8 Mesures initiales

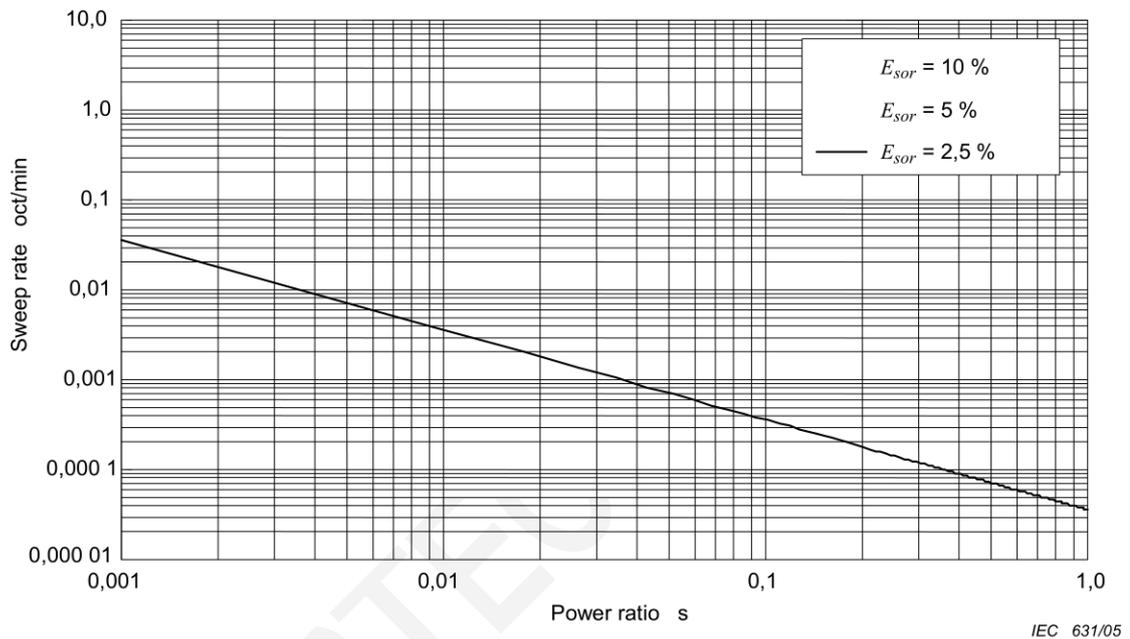
Le spécimen doit être soumis aux vérifications visuelles, dimensionnelles et fonctionnelles ainsi qu'à toute autre vérification recommandée par la spécification particulière.

## 9 Essais

### 9.1 Généralités

Les essais se déroulent selon la séquence déterminée par la spécification particulière. Les différentes étapes sont les suivantes:

- l'étude initiale de la réponse aux vibrations, si préconisée;
- une faible excitation pour l'égalisation avant l'essai;
- l'essai de vibrations en mode mixte;
- l'étude finale de la réponse aux vibrations, si préconisée.



**Figure 5 – Recommended sinusoidal sweep rate as a function of power ratio for sine on random depending on  $E_{sor}$**

## 7 Preconditioning

The relevant specification shall call for preconditioning and shall then prescribe the conditions.

## 8 Initial measurements

The specimen shall be submitted to visual, dimensional and functional checks and any others as prescribed by the relevant specification.

## 9 Testing

### 9.1 General

Testing follows the sequence prescribed by the relevant specification. The different steps are as follows:

- initial vibration response investigation, if prescribed;
- low-level excitation for equalization prior to testing;
- mixed mode vibration testing;
- final vibration response investigation, if prescribed.

Le spécimen doit être excité alternativement sur chaque axe privilégié de l'essai, sauf mention contraire de la spécification particulière. L'ordre d'essai de ces axes n'est pas important, sauf s'il est précisé dans la spécification particulière. Si le spécimen ne doit être testé que dans sa position normale de fonctionnement, cela doit être précisé dans la procédure correspondante.

La valeur de contrôle à chaque fréquence au point de référence doit être déduite d'un point de vérification si le contrôle effectué est un contrôle en un seul point, ou de plusieurs points de vérification si c'est un contrôle multipoint.

Dans ce dernier cas, la spécification particulière doit indiquer si

- la valeur moyenne du signal à chaque point de vérification (contrôle par la moyenne),
- la valeur moyenne pondérée des signaux aux points de vérification (contrôle par la moyenne pondérée),
- ou les valeurs extrêmes maximum ou minimum à chaque fréquence de l'ensemble des points de vérification (contrôle extrême)

doivent être contrôlés au niveau spécifié.

Dans tous ces cas de contrôle multipoint, le spectre de contrôle devient un spectre fictif sans référence à un point de vérification existant.

Une procédure spéciale est nécessaire si un spécimen fonctionnant habituellement avec des isolateurs de vibrations doit être testé sans ces derniers, voir aussi la CEI 60068-2-47.

## 9.2 Etude initiale de la réponse aux vibrations

Lorsque la spécification particulière le précise, la réponse dynamique doit être étudiée au moins pour un point du spécimen à la gamme de fréquences définie. Il est recommandé que le nombre et la position des points de réponse soient clairement définis dans la spécification particulière.

L'étude de la réponse aux vibrations doit être réalisée avec des vibrations sinusoïdales ou aléatoires dans une gamme de fréquences de l'essai et selon un niveau d'essai tel que précisé dans la spécification particulière. Se référer à la CEI 60068-2-6 pour les vibrations sinusoïdales et à la CEI 60068-2-64 pour l'excitation par vibrations aléatoires. Voir également la CEI 60068-3-8 pour plus d'informations et pour connaître les avantages et les inconvénients de chaque méthode.

L'étude de la réponse aux vibrations doit être menée après sélection d'un niveau d'essai pour que la réponse du spécimen reste inférieure à celle obtenue lors de l'essai en mode mixte tout en restant à un niveau suffisamment élevé pour détecter les fréquences critiques.

L'étude de la réponse avec une excitation sinusoïdale doit être menée à une vitesse de balayage logarithmique inférieure à un octave par minute, vitesse qui pourra être réduite si cela permet de déterminer de façon plus précise les caractéristiques de la réponse aux vibrations. Eviter les paliers excessifs.

L'étude de la réponse aux vibrations aléatoires doit être menée en tenant compte du fait que la durée de l'essai doit être suffisamment longue pour minimiser les variations stochastiques de la réponse. Il est à noter que la résolution en fréquence sera suffisamment élevée pour déterminer les pics de réponse de façon adéquate (largeur de bande à  $-3$  dB la plus étroite) et il est recommandé que la largeur de bande à  $-3$  dB la plus étroite contienne au moins cinq raies spectrales.

The specimen shall be excited in each of the preferred testing axes in turn, unless otherwise prescribed by the relevant specification. The order of the testing along these axes is not important, unless prescribed by the relevant specification. If the specimen shall only be tested in its normal service position, it shall be prescribed by the relevant procedure.

The control value of each frequency at the reference point shall be derived from one check point if single-point control is used or from a number of check points where multipoint control is utilized.

In the latter case, the relevant specification shall state whether

- the averaged value of the signal of each check point (average control),
- the weighted average value of the signals at the check points (weighted average control),
- or the maximum or minimum extreme values of each frequency of all check points (extremal control)

shall be controlled to the specified level.

In either of these cases of multipoint control, the control spectrum becomes a fictitious one without a reference to an existing check point.

Special action is necessary when a specimen normally intended for use with vibration isolators needs to be tested without them, see also IEC 60068-2-47.

## 9.2 Initial vibration response investigation

When prescribed by the relevant specification, the dynamic response for at least one point on the specimen in the defined frequency range shall be investigated. The number and position of the response points should be clearly defined in the relevant specification.

The vibration response investigation may be performed with sinusoidal or random vibration in a test frequency range and with a test level as prescribed by the relevant specification. Reference is made to IEC 60068-2-6 for sinusoidal vibration and to IEC 60068-2-64, for random vibration excitation. See also IEC 60068-3-8 for more information and the advantages and disadvantages of each method.

The response investigation shall be carried out with a test level selected so that the response of the specimen remains less than during mixed mode testing but at a sufficiently high level to detect critical frequencies.

The response investigation with sinusoidal excitation shall be carried out with a logarithmic sweep rate not higher than one octave per minute, but it may require to be decreased if more precise determination of the response characteristics can thereby be obtained. Undue dwell should be avoided.

The response investigation with random vibration shall be carried out taking into account that the time of the test shall be long enough to minimize stochastic variations in the response. It should be noted that the frequency resolution will need to be sufficiently high to determine adequately the response peaks (narrowest –3 dB bandwidth), and it is recommended that at least five spectral lines are contained within the narrowest –3 dB bandwidth.

Le spécimen doit être en mode de fonctionnement lors de cette étude si la spécification particulière le demande. Si les caractéristiques des vibrations mécaniques ne peuvent pas être évaluées parce que le spécimen est en mode de fonctionnement, une étude supplémentaire de la réponse aux vibrations doit être effectuée lorsqu'il sera à l'arrêt. Lors de cette étape, le spécimen doit être examiné pour déterminer les fréquences critiques qui doivent alors être indiquées dans le rapport d'essai.

### 9.3 Faible excitation pour l'égalisation avant l'essai

Avant de réaliser l'essai de vibration en mode mixte au niveau spécifié, une excitation aléatoire préliminaire à de faibles niveaux sur le spécimen réel peut être nécessaire pour égaliser le signal et pour effectuer l'analyse préliminaire. Il est important, à ce stade, que le niveau de densité spectrale d'accélération appliquée soit maintenu au minimum.

Les durées autorisées pour l'excitation aléatoire préliminaire sont les suivantes:

Moins de -12 dB du niveau efficace d'accélération spécifié:	pas de limite de temps.
De -12 dB à -6 dB du niveau efficace d'accélération spécifié:	moins de 1,5 fois l'exposition spécifiée.
De -6 dB à 0 dB du niveau efficace d'accélération spécifié:	moins de 10 % de l'exposition spécifiée.

La durée de l'excitation aléatoire préliminaire ne doit pas être déduite de la durée d'exposition spécifiée pour les essais de vibration en mode mixte.

### 9.4 Essai de vibrations en mode mixte

#### 9.4.1 Généralités

Dans certains cas, l'environnement vibratoire est caractérisé par une excitation quasi-périodique provenant de structures et mécanismes alternatifs ou tournants tels que des pales de rotor, des trains d'atterrissage, des hélices, des pistons, des tirs au canon, etc. Lorsque cette forme d'excitation est prédominante, la vibration du palier de la source est appropriée. La stabilisation de la source se caractérise par une vibration à bande large, avec superposition d'une vibration aléatoire ou sinusoïdale bande étroite de niveau supérieur.

#### 9.4.2 Essai en bruit sur bruit

La vibration aléatoire bande étroite de la fréquence de balayage combinée à la vibration aléatoire bande large se définit comme une ou plusieurs bandes étroites de vibrations aléatoires balayées sur une gamme de fréquences et superposées à une base de vibrations aléatoires bande large.

Les paramètres décrits en 6.1 et 6.2 définissent la sévérité des vibrations composées d'une vibration bande étroite balayée superposée à une base bruit bande large.

Dans certains cas, la vibration aléatoire bande étroite peut ne pas être balayée sur une largeur de bande définie: ce type de vibration est alors essentiellement le même que l'application des vibrations aléatoires bande large définie dans la CEI 60068-2-64. La spécification particulière doit indiquer la méthode à utiliser.

#### 9.4.3 Essai en sinus sur bruit

La vibration sinusoïdale de la fréquence balayée combinée à la vibration aléatoire bande large se définit comme une ou plusieurs sinusoïdes balayées sur une gamme de fréquences et superposées à une vibration aléatoire.

The specimen shall be in functioning mode during this investigation if required by the relevant specification. Where the mechanical vibration characteristics cannot be assessed because the specimen is functioning, an additional vibration response investigation with the specimen not functioning shall be carried out. During this stage, the specimen shall be examined in order to determine the critical frequencies, which shall then be stated in the test report.

### 9.3 Low-level excitation for equalization prior to testing

Prior to mixed mode vibration testing at the specified level, a preliminary random excitation at lower levels with the real specimen may be necessary to equalize the signal and for preliminary analysis. It is important that at this stage the level of the acceleration spectral density applied is kept to a minimum.

The permitted durations for preliminary random excitation are the following:

Below –12 dB of the specified acceleration r.m.s. level:	no time limit.
From –12 dB to –6 dB of the specified acceleration r.m.s. level:	not more than 1,5 times the specified exposure.
Between –6 dB and 0 dB of the specified acceleration r.m.s. level:	not more than 10 % of the specified exposure.

The duration of the preliminary random excitation shall not be subtracted from the specified duration of exposure for mixed mode vibration testing.

### 9.4 Mixed mode testing

#### 9.4.1 General

In certain cases, the vibration environment is characterized by quasi-periodic excitation from reciprocating or rotating structures and mechanisms, such as rotor blades, gears, propellers, pistons, gunfire and so on. When this form of excitation predominates, source dwell vibration is appropriate. Source dwell is characterized by broadband vibration, with higher level narrowband random, or sinusoidal vibration superimposed.

#### 9.4.2 Testing with random on random

Swept frequency narrowband random on wideband random vibration is defined as one or more narrowbands of random swept over a frequency range and superimposed on a background of wide band random vibration.

A composite vibration severity of swept narrowband vibration superimposed on a wideband random background is defined by the parameters in 6.1 and 6.2.

In certain cases the narrowband random may not be swept over a defined bandwidth, in which case this type of vibration is essentially the same as the wide band random vibration application defined in IEC 60068-2-64. The relevant specification shall state which method to use.

#### 9.4.3 Testing with sine on random

Swept frequency sinusoidal vibration on wideband random vibration is defined as one or more sinusoids swept over a frequency range and superimposed on random vibration.

Les paramètres décrits en 6.1 et 6.3 définissent la sévérité des vibrations composées de composantes sinusoïdales de la fréquence balayée sur une base bruit.

Dans certains cas, il est possible que le balayage des sinusoïdes ne s'effectue pas sur une certaine gamme de fréquences: il n'est alors pas nécessaire de spécifier les paramètres décrits aux points b), c) d), f) et g) de 6.3. La spécification particulière doit indiquer la méthode à utiliser.

#### 9.4.4 Essai en sinus sur bruit sur bruit

Il s'agit en fait d'une combinaison de 9.4.2 et 9.4.3. La spécification particulière doit indiquer les combinaisons requises.

#### 9.5 Etude finale de la réponse aux vibrations

Si la spécification particulière a demandé une étude initiale de la réponse aux vibrations, il se peut qu'elle demande une étude supplémentaire à la fin des essais en mode mixte pour déterminer si des modifications ont eu lieu ou si des défaillances se sont déclarées depuis l'étude initiale. L'étude finale de la réponse aux vibrations doit alors être réalisée de la même manière, aux mêmes points de réponse et d'après les mêmes paramètres que l'étude initiale. La spécification particulière doit indiquer la procédure à suivre si les deux études révèlent des résultats différents.

### 10 Mesures intermédiaires

Lorsque la spécification particulière le précise, le spécimen doit être en fonctionnement lors des essais en mode mixte déterminés et ses performances doivent être vérifiées.

### 11 Rétablissement

Lorsque la spécification particulière le précise, il est parfois nécessaire de prévoir du temps entre les essais et les mesures finales pour permettre au spécimen de revenir aux conditions dans lesquelles il était lors des mesures initiales, comme la température par exemple.

### 12 Mesures finales

Le spécimen doit être soumis aux vérifications visuelles, dimensionnelles et fonctionnelles ainsi qu'à toute autre vérification recommandée par la spécification particulière.

La spécification particulière doit fournir les critères devant déterminer l'acceptation ou le rejet du spécimen.

### 13 Informations à fournir dans la spécification particulière

Lorsque l'essai est traité dans une spécification applicable, les détails suivants doivent y être indiqués dans la mesure où ils s'appliquent, en prêtant une attention particulière aux éléments marqués d'un astérisque (\*) puisqu'ils sont toujours nécessaires.

	Article ou paragraphe
a) Mouvement de base*	4.3
b) Points de fixation*	4.3
c) Mouvement de l'axe transversal	4.4
d) Fixation du spécimen*	4.5
e) Tolérances	5.1 et 5.2

A composite vibration severity, consisting of swept frequency sinusoidal components on a random background, is defined by the parameters of 6.1 and 6.3.

In certain cases the sinusoids may not be swept over a frequency range and in this case the parameters in items b), c), d), f) and g) of 6.3 need not be specified. The relevant specification shall state which method to use.

#### 9.4.4 Testing with sine on random on random

Effectively this is some combination of 9.4.2 and 9.4.3. The relevant specification shall state which combinations are required.

#### 9.5 Final vibration response investigation

If the relevant specification has prescribed an initial response investigation, it may also require an additional vibration response investigation on completion of the mixed mode testing, in order to determine whether changes or failures have occurred since the initial vibration response investigation. The final response investigation shall then be performed in the same manner at the same response points and with the same parameters as used for the initial vibration response investigation. The relevant specification shall state what action is to be taken if different results are obtained in the two investigations.

### 10 Intermediate measurements

When prescribed by the relevant specification, the specimen shall function during the prescribed mixed mode tests and its performance shall be checked.

### 11 Recovery

It is sometimes necessary, when prescribed by the relevant specification, to provide a period of time after testing and before final measurements to allow the specimen to reach the same conditions, for example of temperature, as existed for the initial measurements.

### 12 Final measurements

The specimen shall be submitted to visual, dimensional and functional checks and any others as prescribed by the relevant specification.

The relevant specification shall provide the criteria upon which the acceptance or rejection of the specimen shall be based.

### 13 Information to be given in the relevant specification

When this test is included in a relevant specification, the following details shall be given in so far as they are applicable, paying particular attention to the items marked with an asterisk (\*) as this information is always required.

	Clause or subclause
a) Basic motion*	4.3
b) Fixing points*	4.3
c) Cross axis motion	4.4
d) Mounting of the specimen*	4.5
e) Tolerances	5.1 et 5.2

f) Facteur de crête/écrêtage du signal de commande*	5.1.2
g) Exactitude statistique	5.1.3
h) Résolution en fréquence	5.1.4
i) Gamme de fréquences des essais*	6.1.1
j) Densités spectrales d'accélération à bande large*	6.1.2
k) Forme de la courbe de densité spectrale d'accélération*	6.1.3
l) Durée de l'exposition*	6.1.4
m) Bandes étroites aléatoires	6.2
n) Profils du balayage sinus et vitesse de balayage	6.3
o) Préconditionnement	7
p) Mesures initiales*	8
q) Contrôle multipoint	9.1
r) Axes d'essai privilégiés	9.1
s) Etudes initiale et finale de la réponse aux vibrations	9.2 et 9.5
t) Vérification fonctionnelle et de performances	9.4
u) Mesures intermédiaires	10
v) Rétablissement	11
w) Mesures finales*	12

#### 14 Informations à fournir dans le rapport d'essai

Le rapport d'essai doit présenter au moins les informations suivantes:

- 1) Client (nom et adresse)
- 2) Laboratoire d'essai (nom et adresse)
- 3) Identification du rapport d'essai (date de parution, numéro unique d'identification)
- 4) Dates de l'essai
- 5) Type d'essai (SsB, BsB, SsBsB)
- 6) Objectif de l'essai (essai de développement, qualification, etc.)
- 7) Norme de l'essai, édition (procédure d'essai applicable)
- 8) Description de l'éprouvette (identifiant unique, dessin, photo, quantité, etc.)
- 9) Fixation de l'éprouvette (identifiant du montage d'essai, dessin, photo, etc.)
- 10) Performances des appareils d'essai (mouvement transversal, etc.)
- 11) Système de mesures, emplacement des capteurs (description, dessin, photo, etc.)
- 12) Incertitude des systèmes de mesure (données d'étalonnage, dernière date, date suivante)
- 13) Stratégie de contrôle (contrôle multipoint, contrôle de références multiples, stratégie MIN ou MAX)
- 14) Mesures initiales, intermédiaires et finales

f) Crest factor/drive signal clipping*	5.1.2
g) Statistical accuracy	5.1.3
h) Frequency resolution	5.1.4
i) Test frequency range*	6.1.1
j) Broadband acceleration spectral densities*	6.1.2
k) Shape of acceleration spectral density curve*	6.1.3
l) Duration of exposure*	6.1.4
m) Random narrowbands	6.2
n) Sine tones and sweep rate	6.3
o) Preconditioning	7
p) Initial measurements*	8
q) Multipoint control	9.1
r) Preferred testing axes	9.1
s) Initial and final vibration response investigation	9.2 et 9.5
t) Performance and functional check	9.4
u) Intermediate measurements	10
v) Recovery	11
w) Final measurements*	12

#### 14 Information to be given in the test report

As a minimum the test report shall show the following information:

- 1) Customer (name and address)
- 2) Test laboratory (name and address)
- 3) Test report identification (date of issue, unique number)
- 4) Test dates
- 5) Type of test (SoR, RoR, SoRoR)
- 6) Purpose of the test (development test, qualification, etc)
- 7) Test standard, edition (relevant test procedure)
- 8) Test specimen description (unique identity, drawing, photo, quantity, etc)
- 9) Mounting of test specimen (fixture identity, drawing, photo, etc)
- 10) Performance of test apparatus (cross motion, etc)
- 11) Measuring system, sensor location (description, drawing, photo, etc)
- 12) Uncertainties of measuring system (calibration data, last and next date)
- 13) Control strategy (multipoint control, multireference control, SUM or MAX strategy)
- 14) Initial, intermediate or final measurements

- |   |  |
|---|--|
| 15) Sévérités demandées                                 | (d'après les spécifications d'essai)                       |
| 16) Sévérités de l'essai, avec documentation            | (points de mesure, degrés de liberté, spectres de l'essai) |
| 17) Résultats de l'essai                                | (commentaires sur le statut de l'éprouvette)               |
| 18) Observations lors de l'essai et actions entreprises |  |
| 19) Résumé de l'essai                                   |  |
| 20) Responsable de l'essai                              | (nom et signature)   |
| 21) Diffusion   | (liste des personnes qui recevront le rapport)             |

NOTE Un journal d'essai sera tenu lorsque l'essai fait l'objet d'un suivi, comme par exemple, un historique des essais réalisés avec les paramètres utilisés, les observations et les actions entreprises, ainsi que les feuilles de données des mesures effectuées. Ce journal peut être joint au rapport d'essai.

WEISSSTECH  
GB标准

- 15) Required severities (from test specification)
- 16) Test severities with documentation (measuring points, degrees of freedom, test spectra)
- 17) Test results (comment on status of test specimen)
- 18) Observations during testing and actions taken
- 19) Summary of test
- 20) Test manager (name and signature)
- 21) Distribution (list of those receiving report)

NOTE A test log should be written for the testing where the test is documented as, for example, a chronological list of test runs with test parameters, observations during testing and actions taken and data sheets on measurements made. The test log can be attached to the test report.

WEISSSTECH  
GB标准

## **Annexe A** (informative)

### **Informations générales sur le mode mixte**

#### **A.1 Bruit sur bruit et sinus sur bruit**

##### **A.1.1 Débat général**

Les nombreux problèmes de traitement des signaux étudiés dans la CEI 60068-2-6 (sinusoïdale), la CEI 60068-2-64 (aléatoire) et la CEI 60068-3-8 mis à part, il faut savoir qu'il en existe d'autres spécifiques aux signaux contenant la combinaison d'une onde aléatoire à une onde aléatoire fixe ou balayée et/ou une onde sinusoïdale. Les systèmes d'asservissement numérique actuellement disponibles sur le marché permettent de réaliser des stratégies très complexes qui ne se limitent pas à une combinaison bruit sur bruit ou sinus sur bruit, mais qui permettent une combinaison des deux. De plus, les profils du balayage sinus balayé peuvent se croiser et peuvent également couper les bandes aléatoires de balayage. Hormis les mathématiques très complexes nécessaires à la réalisation de ces fonctions, ce système présente des limitations fondamentales du processus d'ensemble qui n'ont encore pas de solution.

##### **A.1.2 Bruit bande étroite fréquence fixe sur bruit bande large**

Ce type de vibrations est dans l'ensemble le même que les vibrations aléatoires large bande traitées dans la CEI 60068-2-64 et ne nécessite pas l'utilisation d'autres techniques spécifiques.

Les tolérances sont également les mêmes sur la partie de bande étroite du spectre, bien que certaines précisions soient nécessaires pour les parties du spectre sur lesquelles a lieu le passage de la bande large vers la bande étroite. Si cela ne se produit que sur une ou deux raies spectrales et que l'écart entre les deux valeurs ASD est trop important, alors les tolérances doivent peut-être être ajustées pour permettre la réalisation de l'essai et il est conseillé de les noter dans le rapport d'essai.

##### **A.1.3 Bruit bande étroite fréquence balayée sur bruit large bande**

Le problème principal se produit si la vitesse de balayage pour les bandes étroites est trop rapide et que les durées de la boucle de contrôle sont longues, alors le spectre persiste, c'est-à-dire que l'énergie d'une raie spectrale est distribuée aux raies adjacentes entraînant la perte de la forme rectangulaire de la bande de balayage. Dans ce cas, le contrôle ne sera pas concluant et le système asservi peut interrompre l'essai s'il détecte trop de raies spectrales en dehors de la tolérance.

Au fur et à mesure que le système asservi met à jour la valeur ASD de contrôle, la moyenne d'un certain nombre d'intervalles de temps est calculée, par exemple de façon exponentielle, avec les valeurs antérieures pour apporter de la stabilité au système asservi. Le nombre de degrés de liberté pris en compte est généralement déterminé par certains facteurs de moyenne et plus ce nombre est élevé, plus le temps de réponse aux modifications (hors densité spectrale d'accélération de contrôle) gagne en stabilité.

Lors du balayage de la bande étroite, les valeurs antérieures prises en compte dans l'algorithme de traitement peuvent contenir des valeurs élevées. Cela peut entraîner une perte de contrôle puisque ces valeurs élevées déclenchent les conditions d'abandon. Pour éviter de tels problèmes, il est recommandé que le facteur de pondération soit réduit, ce qui permet de prendre en compte moins de moyennes et de réduire le temps de réponse de la boucle de contrôle. Cependant, si le facteur de moyenne est trop réduit, alors la boucle de contrôle peut devenir instable et le contrôle est à nouveau perdu.

## **Annex A** (informative)

### **Mixed mode general information**

#### **A.1 Random-on-random and sine-on-random**

##### **A.1.1 General discussion**

Apart from the many signal-processing issues discussed in both IEC 60068-2-6 (sine) and IEC 60068-2-64 (random) and IEC 60068-3-8, there are a number of specific ones to be aware of when dealing with a signal containing a mixture of random together with either static or sweeping random and/or sinusoidal waveforms. The digital control systems currently on the market enable very complex strategies to be performed, such as not just random nor sine on random, but a mixture of both random and sine on random. Furthermore, the sweeping sine tones can cross each other and, in turn, crosses the sweeping random bands. Apart from the very complex mathematics required for performing these functions, there are some basic limitations to the overall process for which a compromise solution must be sought.

##### **A.1.2 Fixed frequency narrowband random on wideband random**

This type of vibration is essentially the same as the wideband random vibration discussed in IEC 60068-2-64 and no extra special techniques are required.

The tolerances are also the same over the narrowband part of the spectrum, although some consideration may have to be given to those parts of the spectrum where the transition from the broadband to the narrowband occurs. If this is only over one or two spectral lines and the range between the two ASD values is too great, then the tolerances may have to be adjusted to allow the test to run and these should be recorded in the test report.

##### **A.1.3 Swept frequency narrowband random on wideband random**

The main problem occurs here if the sweep rate for the narrowbands is too fast and the control loop times are long; then spectral smearing will occur, that is, energy from one spectral line will be distributed into adjacent lines and the rectangular shape of the sweeping band will be lost. In this case control will not be good and the control system may abort the test if it detects too many spectral lines out of tolerance.

As the control system updates the control ASD, a number of time frames are averaged, for example exponentially, with previous values in order to give stability to the control system. The number of degrees of freedom (DOF) taken into account is usually determined by some averaging factor and the larger this number, the longer the response time to any change (with the exception of the controlled acceleration spectral density) becomes more stable.

As the narrowband sweeps, previous values being taken into account by the processing algorithm may contain high values. This can result in control being lost since these high values trip the abort conditions. To overcome such problems, the averaging factor should be reduced resulting in fewer averages being considered and the control loop response time shortened. However, if the averaging factor is reduced too much then the control loop may become unstable and control lost again.

Un compromis adapté pour ces paramètres doit donc être trouvé au cas par cas.

Aussi, si l'équipement approprié est disponible au laboratoire d'essai, il peut être utile de noter le signal horaire au point de contrôle de façon à ce qu'une analyse post traitement puisse être réalisée grâce aux puissantes techniques et routines qui peuvent être appliquées à l'analyse spectrale, comme l'exécution simultanée par exemple. Cela ne modifie pas les niveaux obtenus lors de l'essai, mais montrera néanmoins de façon plus détaillée les résultats obtenus et les conclusions du rapport d'essai.

#### A.1.4 Vibration sinusoïdale fréquence fixe sur bruit bande large

Séparer l'onde sinusoïdale de la combinaison complexe sinus et bruit relève du défi. Cela n'est peut-être pas très difficile si le rapport de l'amplitude sinusoïdale à la valeur efficace aléatoire est grand. Ce rapport réduisant l'exactitude du sinus, l'extraction de l'onde peut en souffrir et les résultats ci-dessous en apportent la preuve.

Trois types de systèmes modernes d'asservissement numérique ont été utilisés lors de cette étude. Les paramètres d'essai pour chaque système asservi sont les suivants:

##### Bruit:

Gamme de fréquences:	10 – 2 000 Hz
Niveau ASD:	0,005 / 0,01 / 0,05 $g_n^2/Hz$ (plat)
Résolution en fréquence:	1 Hz (ou maximum disponible)
Degré de liberté	120 (ou maximum disponible)

##### Sinus:

Niveau:	5 g
Fréquence:	20 / 160 / 380 Hz

Chaque combinaison d'un niveau ASD et d'une fréquence sinus est enregistrée pendant au moins 60 s à une fréquence sinus constante.

La sortie du système asservi (fonctionnant en boucle fermée) est connectée à un enregistreur numérique et enregistré à une fréquence d'échantillonnage de 12,5 kHz. Les données sont transférées vers un ordinateur qui calcule le spectre ASD. Les paramètres d'analyse sont les suivants:

Gamme de fréquences:	10 – 2 000 Hz
Résolution en fréquence:	1 Hz
Degré de liberté:	120
Intervalle de temps:	60 s

Des exemples de tracés des spectres ASD obtenus pour un système asservi à différentes fréquences sinus sont présentés sur les Figures A.1 et A.2.

Le Tableau A.1 liste trois valeurs ASD autour de la fréquence centrale pour chaque mesure. A partir de ces valeurs, une magnitude efficace a été calculée et un écart par rapport à la valeur théorique a été ajouté en pourcentage dans la dernière colonne. Cet écart peut servir de paramètre pour la qualité du niveau sinus du signal. Dans ce cas, aucun commentaire ne peut être effectué sur la «forme» de l'onde sinusoïdale car seules les valeurs efficaces sont comparées.

Pour obtenir des informations sur la périodicité observée de l'onde sinusoïdale du signal, une fonction d'autocorrélation est appliquée à chaque signal sur un segment de 5 s. Des exemples de tracés sont présentés sur la Figure A.3 pour deux niveaux différents de base aléatoire.

Therefore, a suitable compromise has to be found for these parameters for each individual situation.

Also if the appropriate equipment is available in the test laboratory, it may be beneficial to record the time signal from the control point such that off-line analysis can take place invoking the powerful techniques and routines that can be applied to spectral analysis, for example, overlap processing. This will not change the test levels that were achieved during the test but will nevertheless demonstrate in more detail what was achieved and can be included in the test report.

#### A.1.4 Fixed frequency sinusoidal vibration on wideband random

Separating out the sinusoidal waveform from the complex mixture of sine and random presents a challenge. This may not be too difficult if the ratio of the sine amplitude to the random r.m.s. value is large. As this ratio reduces the accuracy of the sine, extraction may suffer and the results below demonstrate this point.

Three types of modern digital control systems were used for the investigation. The test parameters for each control system were as follows:

##### Random:

Frequency range:	10 – 2000 Hz
ASD level:	0,005 / 0,01/0,05 $g_n^2$ /Hz (flat)
Frequency resolution:	1 Hz (or maximum available)
Degree of freedom:	120 (or maximum available)

##### Sine:

Level:	5 g
Frequency:	20 / 160 / 380 Hz

Each combination of ASD level and sine frequency was recorded for a minimum of 60 s at constant sine frequency.

The output of the control system (working in closed loop) was connected to a digital tape recorder and recorded with a sampling frequency of 12,5 kHz. The data were transferred to a computer and ASD spectra were calculated. The analysis parameters were as follows:

Frequency range:	10 – 2 000 Hz
Frequency resolution:	1 Hz
Degree of freedom:	120
Time period:	60 s

Example plots of the resulting ASD spectra for one control system at different sine frequencies are shown in Figures A.1 and A.2.

In Table A.1 three ASD values around the centre frequency were listed for each measurement. From these values an r.m.s. magnitude was calculated and a deviation from the theoretical value in per cent added in the last column. This deviation may serve as a parameter for the quality of the sine level in the signal. In this case, no statement can be given concerning the 'shape' of the sine wave because only r.m.s. values are compared.

In order to gain some information on how periodic the sine wave in the signal appeared, an autocorrelation function was applied to a 5 s segment of each signal. Example plots are shown in Figure A.3 for two different random background levels.

La valeur au carré de l'amplitude après exactement cinq périodes sinusoïdales a donc pu être lue grâce à la fonction d'autocorrélation, puis listée dans le Tableau A.2 pour chaque mesure. Un écart par rapport à la valeur théorique a été calculé en pourcentage dans la dernière colonne.

Ces valeurs ne s'appliquent que lorsque la fréquence sinus est fixe et qu'elle se situe sur une ligne FFT (Transformée de Fourier rapide). Pour les fréquences autonomes, il est possible qu'il y ait une perte du spectre pouvant aller jusqu'à 17 % du pic sinus lorsque la fréquence sinus se situe à distance égale des lignes FFT. Cependant, cette perte est une erreur systématique pour laquelle il existe des moyens, bien que complexes, de le corriger.

### A.1.5 Vibration sinusoïdale fréquence balayée sur bruit bande large

Cette combinaison est soumise aux mêmes problèmes que ceux traités en A.1.4. De plus, si le profil de balayage sinus est balayé, de nouvelles erreurs pouvant être importantes peuvent alors surgir, principalement en raison des algorithmes de moyennage ASD qui ne sont utilisés que pour les composantes aléatoires du signal. Cette technique ne permet pas d'estimer de façon virtuelle l'amplitude sinusoïdale de balayage. Il peut donc être nécessaire d'analyser et de présenter les profils du balayage sinus séparément.

### A.1.6 Vibration sinusoïdale fréquence fixe et balayée et bruit bande étroite sur bruit bande large

Ce mode d'essai représente une situation très complexe, accentuée par le fait que les profils du balayage sinus peuvent non seulement se croiser, mais qu'ils peuvent également croiser les composantes aléatoires bande étroite de balayage.

Il est recommandé de n'appliquer ce mode d'essai qu'en dernier recours et uniquement avec des ingénieurs très bien formés et ayant une grande expérience. Dans le cas inverse, la validité de l'essai et sa reproductibilité pourraient être mis en doute sans difficulté.

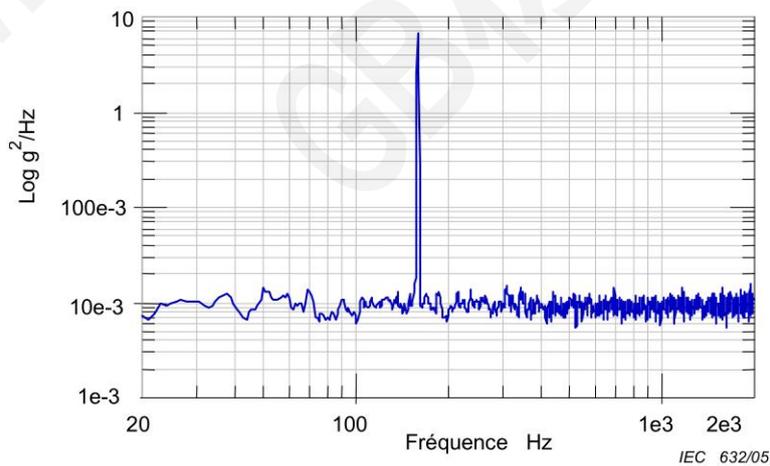


Figure A.1 – Sinus à 160 Hz

Then the amplitude squared value after exactly five sine periods was read from the auto-correlation function and listed in Table A.2 for each measurement. A deviation from the theoretical value in per cent was calculated in the last column.

These values apply only when the sine frequency is fixed and is exactly on a fast fourier transform (FFT) line. For off-line frequencies there is a spectral leakage loss that can be as high as 17 % of the sine peak where the sine frequency is half way between FFT lines. However, leakage is a systematic error and there are ways, albeit complex, to correct for it.

#### A.1.5 Swept frequency sinusoidal vibration on wideband random

Similar issues apply to this combination as discussed in A.1.4. Furthermore, if the sine tone is sweeping, then additional and possibly significant errors may occur mainly because of the ASD averaging algorithms which are only intended for the random signal components. It is virtually impossible to estimate the sweeping sine amplitude using this technique. It may therefore be necessary to analyse and show the sine tones separately.

#### A.1.6 Fixed and swept frequency sinusoidal vibration and narrowband random on wideband random

This mode of testing represents a very complex situation, compounded by the fact that not only can the sine tones cross each other, but can also cross the sweeping narrowband random components.

It is recommended that this mode of testing be performed as a last resort, and only then by very experienced and knowledgeable test engineers. Otherwise, the validity of the test and its reproducibility can easily be called into question.

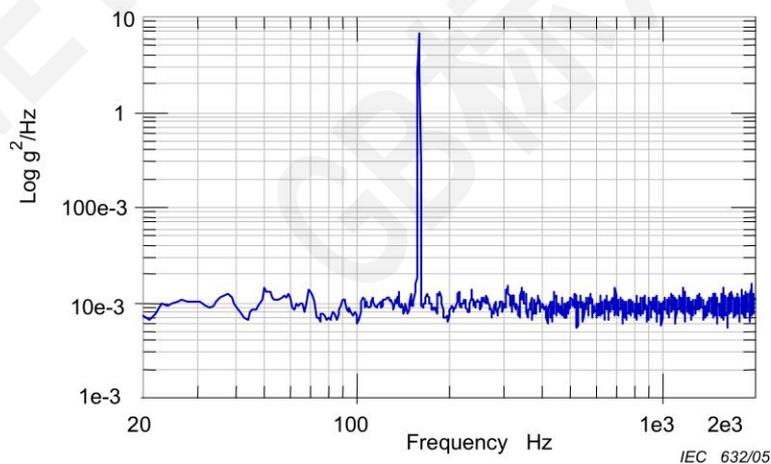


Figure A.1 – Sine at 160 Hz

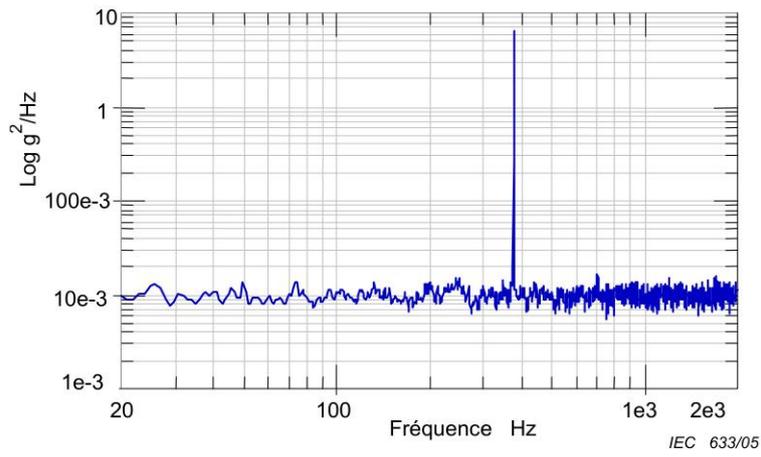
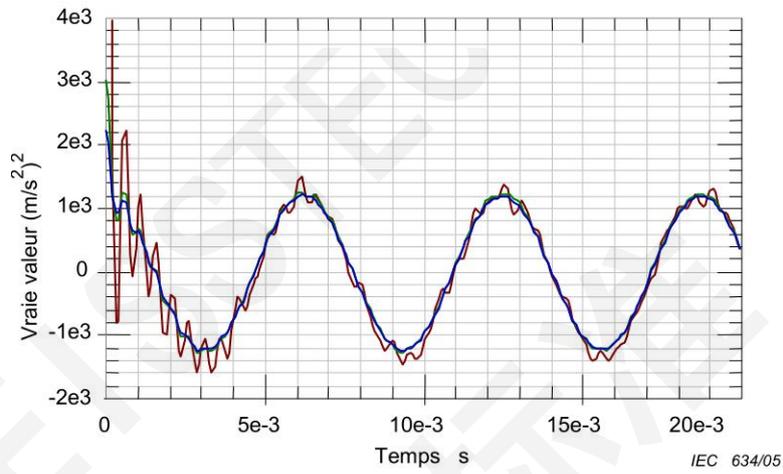


Figure A.2 – Sinus à 380 Hz



**Légende**

- $0,01g_n^2/Hz$ , pic  $5g_n$  — (red line)
- $0,005g_n^2/Hz$ , pic  $5g_n$  — (blue line)

Figure A.3 – Autocorrélation – Sinus à 160 Hz

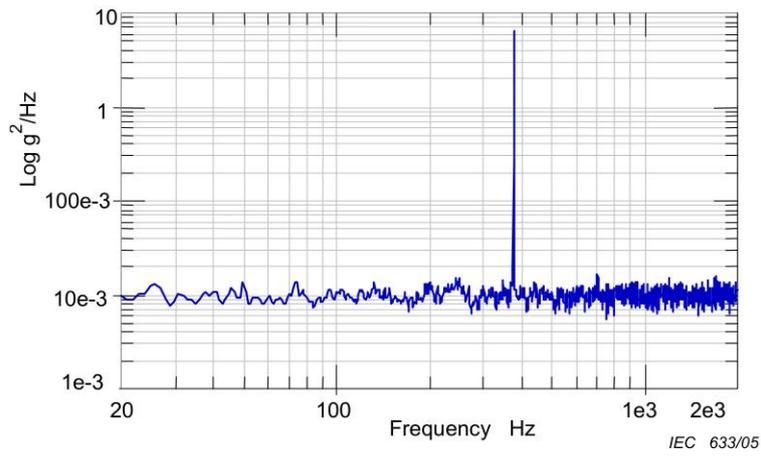
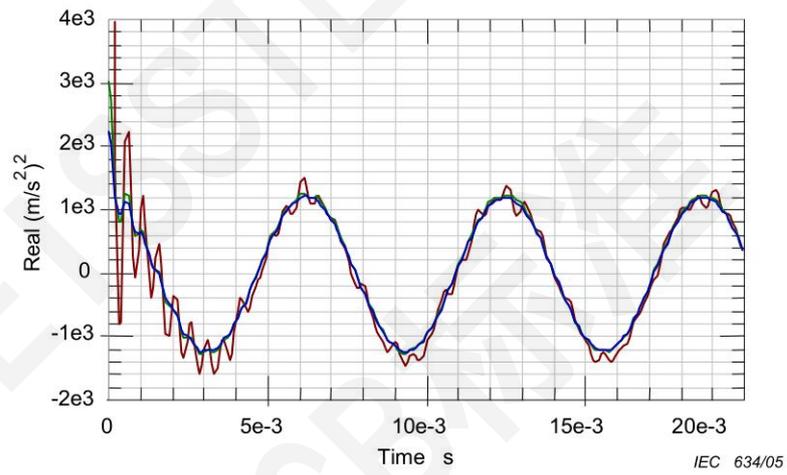


Figure A.2 – Sine at 380 Hz



**Key**

0,01  $g_n^2$ /Hz, 5  $g_n$  peak ————

0,005  $g_n^2$ /Hz, 5  $g_n$  peak ————

Figure A.3 – Auto correlation – Sine at 160 Hz

**Tableau A.1 – Détermination d'une onde sinusoïdale par calcul APD**

Système asservi	Type de signal: Pic sinus sur bruit $5 g_n - g_n^2/\text{Hz}$	F Hz	$g_n$ efficace	Ecart %
1	0,005	20	3,56	0,6
1	Idem	160	3,56	0,7
1	Idem	380	3,56	0,6
1	0,01	20	3,54	0,1
1	Idem	160	3,57	0,9
1	Idem	380	3,54	0,2
1	0,05	20	3,6	1,8
1	Idem	160	3,58	1,1
1	Idem	380	3,56	0,6
2	0,005	20	3,49	-1,2
2	Idem	160	3,52	-0,4
2	Idem	380	3,51	-0,7
2	0,01	20	3,49	-1,3
2	Idem	160	3,52	-0,4
2	Idem	380	3,53	-0,3
2	0,05	20	3,55	0,5
2	Idem	160	3,53	0
2	Idem	380	3,51	-0,7
3	0,005	20	3,51	-0,8
3	Idem	160	3,53	-0,2
3	Idem	380	3,54	0,1
3	0,01	20	3,5	-1
3	Idem	160	3,54	0,2
3	Idem	380	3,52	-0,5
3	0,05	20	3,52	-0,4
3	Idem	160	3,51	-0,6
3	Idem	380	3,58	1,4
	Pic sinus $5 g_n$ , synthétique		3,53	-0,2
	Pic sinus $5 g_n$ , théorique		3,54	0,0

Table A.1 – Determination of sine wave with APD calculation

Control system	Signal type: Sine $5g_{n\text{pk}}$ on random $g_n^2/\text{Hz}$	F Hz	$g_n$ r.m.s.	Deviation %
1	0,005	20	3,56	0,6
1	ditto	160	3,56	0,7
1	ditto	380	3,56	0,6
1	0,01	20	3,54	0,1
1	ditto	160	3,57	0,9
1	ditto	380	3,54	0,2
1	0,05	20	3,6	1,8
1	ditto	160	3,58	1,1
1	ditto	380	3,56	0,6
2	0,005	20	3,49	-1,2
2	ditto	160	3,52	-0,4
2	ditto	380	3,51	-0,7
2	0,01	20	3,49	-1,3
2	ditto	160	3,52	-0,4
2	ditto	380	3,53	-0,3
2	0,05	20	3,55	0,5
2	ditto	160	3,53	0
2	ditto	380	3,51	-0,7
3	0,005	20	3,51	-0,8
3	ditto	160	3,53	-0,2
3	ditto	380	3,54	0,1
3	0,01	20	3,5	-1
3	ditto	160	3,54	0,2
3	ditto	380	3,52	-0,5
3	0,05	20	3,52	-0,4
3	ditto	160	3,51	-0,6
3	ditto	380	3,58	1,4
	Sine $5g_{n\text{peak}}$ , synthetic		3,53	-0,2
	Sine $5g_{n\text{peak}}$ , theoretical		3,54	0,0

**Tableau A.2 – Détermination d'une onde sinusoïdale par calcul d'autocorrélation**

Système asservi	Type de signal: Pic sinus sur bruit $5 g_n - g_n^2/\text{Hz}$	F Hz	T s	$A^2(g_n^2)$ à $5 \cdot T$	Ecart %
1	0,005	20	0,05	12,45	-0,4
1	idem	160	0,00624	12,71	1,7
1	idem	380	0,00264	12,65	1,2
1	0,01	20	0,05	12,67	1,4
1	idem	160	0,00624	12,88	3,0
1	idem	380	0,00264	13,11	4,9
1	0,05	20	0,05	13,37	7,0
1	idem	160	0,00624	11,98	-4,2
1	idem	380	0,00264	13,23	5,8
2	0,005	20	0,05	12,0	-4,0
2	idem	160	0,00624	12,32	-1,4
2	idem	380	0,00264	12,19	-2,5
2	0,01	20	0,05	11,97	-4,2
2	idem	160	0,00624	12,85	2,8
2	idem	380	0,00264	12,3	-1,6
2	0,05	20	0,05	12,33	-1,4
2	idem	160	0,00624	11,69	-6,5
2	idem	380	0,00264	13,23	5,8
3	0,005	20	0,05	12,14	-2,9
3	idem	160	0,00624	12,3	-1,6
3	idem	380	0,0028	12,33	-1,4
3	0,01	20	0,05	12,21	-2,3
3	idem	160	0,00624	12,47	-0,2
3	idem	380	0,0028	12,07	-3,4
3	0,05	20	0,05	12,01	-3,9
3	idem	160	0,00624	13,63	9,0
3	idem	380	0,0028	10,71	-14,3
	Pic sinus $5 g_n$ , synthétique	20	0,05	12,37	-1,0
	Idem	160	0,00624	12,48	-0,2
	Idem	360	0,00277	12,49	-0,1
	Idem	380	0,00262	12,49	-0,1
	Pic sinus $5 g_n$ , théorique	20	0,05	12,5	0
	idem	160	0,00625	12,5	0
	idem	360	0,00278	12,5	0
	idem	380	0,00263	12,5	0

Table A.2 – Determination of sine wave with autocorrelation calculation

Control system	Signal type: Sine $5 g_n$ pk on random $g_n^2$ /Hz	F Hz	T s	$A^2(g_n^2)$ at $5 \cdot T$	Deviation %
1	0,005	20	0,05	12,45	-0,4
1	ditto	160	0,00624	12,71	1,7
1	ditto	380	0,00264	12,65	1,2
1	0,01	20	0,05	12,67	1,4
1	ditto	160	0,00624	12,88	3,0
1	ditto	380	0,00264	13,11	4,9
1	0,05	20	0,05	13,37	7,0
1	ditto	160	0,00624	11,98	-4,2
1	ditto	380	0,00264	13,23	5,8
2	0,005	20	0,05	12,0	-4,0
2	ditto	160	0,00624	12,32	-1,4
2	ditto	380	0,00264	12,19	-2,5
2	0,01	20	0,05	11,97	-4,2
2	ditto	160	0,00624	12,85	2,8
2	ditto	380	0,00264	12,3	-1,6
2	0,05	20	0,05	12,33	-1,4
2	ditto	160	0,00624	11,69	-6,5
2	ditto	380	0,00264	13,23	5,8
3	0,005	20	0,05	12,14	-2,9
3	ditto	160	0,00624	12,3	-1,6
3	ditto	380	0,0028	12,33	-1,4
3	0,01	20	0,05	12,21	-2,3
3	ditto	160	0,00624	12,47	-0,2
3	ditto	380	0,0028	12,07	-3,4
3	0,05	20	0,05	12,01	-3,9
3	ditto	160	0,00624	13,63	9,0
3	ditto	380	0,0028	10,71	-14,3
	Sine $5 g_n$ pk, synthetic	20	0,05	12,37	-1,0
	ditto	160	0,00624	12,48	-0,2
	ditto	360	0,00277	12,49	-0,1
	ditto	380	0,00262	12,49	-0,1
	Sine $5 g_n$ pk, theoretical	20	0,05	12,5	0
	ditto	160	0,00625	12,5	0
	ditto	360	0,00278	12,5	0
	ditto	380	0,00263	12,5	0

## Annexe B (informative)

### Guide

#### B.1 Introduction générale

La reproductibilité n'est pas un élément simple à obtenir. En raison de la nature statistique du signal aléatoire, de la réponse complexe du spécimen et des erreurs provenant du processus d'analyse, il est impossible de prévoir avec certitude si la vraie densité spectrale d'accélération de l'entrée aléatoire du spécimen correspondra, dans la mesure d'un ensemble de tolérances prédéfini, à la densité spectrale d'accélération mesurée pour le spécimen. Une analyse longue et complexe est nécessaire après l'essai car l'estimation simultanée est impossible.

Il est possible que les performances des équipements d'asservissement numérique des vibrations plus à même d'être utilisés pour les essais de vibrations aléatoires et en mode mixte soient semblables. Grâce à certains paramètres de l'équipement d'asservissement des vibrations qui peuvent être sélectionnés, un calcul préliminaire peut être effectué pour estimer l'exactitude statistique en fonction de la différence entre les densités spectrales d'accélération vraie et mesurée. Celui-ci ne tient pas compte d'autres sources d'incertitudes telles que définies dans la ISO/CEI 17025 qui se réfère à l'ENV 13005, Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure. Ces paramètres, dépendants les uns des autres, peuvent donc être choisis de façon à obtenir une similarité optimale entre les deux densités spectrales d'accélération.

L'égalisation de la densité spectrale d'accélération spécifiée nécessite plusieurs répétitions de la boucle de contrôle, la durée de celle-ci dépendant de plusieurs facteurs comme la configuration matérielle, la fonction de transfert total du système, la forme de la densité spectrale d'accélération spécifiée, l'algorithme de contrôle et les paramètres d'essai, qui peuvent être réglés avant l'essai. Les paramètres d'essai applicables sont la fréquence d'analyse maximale, la résolution en fréquence et l'écrêtage du signal de commande.

L'algorithme de contrôle de la vibration aléatoire implique un compromis entre l'exactitude du contrôle et la durée de la boucle de contrôle qui est affectée par exemple par le nombre d'enregistrements par boucle. Une forte exactitude du contrôle nécessite plus de données d'entrée et donc des durées de boucles plus longues et une réponse plus lente aux modifications dynamiques de la densité spectrale d'accélération réelle. La résolution en fréquence a également une grande influence sur les erreurs et la durée de la boucle. Généralement, une largeur de bande de résolution étroite apporte une meilleure exactitude du contrôle mais une durée de boucle plus longue. L'optimisation des paramètres d'essai mentionnés est nécessaire pour minimiser l'écart entre les densités spectrales d'accélération vraie et mesurée.

Une étude de la réponse aux vibrations fournit les informations essentielles sur l'interaction entre le spécimen et le vibreur. Par exemple, cette étude peut révéler une amplification excessive de la vibration sur le montage d'essai ou une résonance coïncidente entre le montage et le spécimen.

La présente annexe, en règle générale, se concentre sur les problèmes associés à la partie aléatoire du signal en mode mixte. Pour les problèmes relatifs à la partie sinusoïdale du signal en mode mixte, il faut se référer à la CEI 60068-2-6, et plus particulièrement à l'Annexe A pour le balayage, les vitesses de balayage et les filtres suiveurs.

## **Annex B** (informative)

### **Guidance**

#### **B.1 General introduction**

To achieve reproducibility is not easy. Because of the statistical nature of the random signal, the complex response of the specimen and the errors arising from the analysing process, it is not possible to predict with certainty whether the true acceleration spectral density of the random input at the specimen will match the indicated acceleration spectral density at the specimen within a predefined set of tolerances. A complex, time-consuming analysis after the test is required as estimation on line is not possible.

The performance of most digital vibration control equipment likely to be employed for random and mixed mode vibration testing can be expected to be similar. Using some selectable parameters of the vibration control equipment, a preliminary calculation can be made to estimate the statistical accuracy associated with the difference between the indicated and the true acceleration spectral density. This does not take into account other sources of uncertainty as defined in ISO/IEC 17025 which refers to ENV 13005, the Guide to the Expression of Uncertainty-of-Measurement. These parameters, which are dependent on each other, can therefore be chosen so that an optimum similarity between the two acceleration spectral densities is achieved.

Equalization of the specified acceleration spectral density requires several repetitions of the control loop, the duration depending on several factors, such as hardware configuration, total system transfer function, shape of the specified acceleration spectral density, control algorithm and test parameters, which can be adjusted prior to the test. The relevant test parameters are the maximum analysing frequency, the frequency resolution and drive signal clipping.

The control algorithm of the random vibration involves a compromise between control accuracy and control loop time, which is affected, for example, by the number of records per loop. High control accuracy requires more input data and therefore longer loop times and slower response to dynamic changes in the actual acceleration spectral density. Also, the frequency resolution has great influence on the errors and the loop time. Normally, a narrow resolution bandwidth yields a higher control accuracy but a longer control loop time. In order to minimize the deviation between the true and the indicated acceleration spectral density at the specimen, optimization of the mentioned test parameters is required.

A vibration response investigation gives essential information about the specimen/vibrator interaction. For example, this investigation could reveal excessive test fixture vibration amplification or coincident resonance between fixture and specimen.

This annex, in general, concentrates on the issues associated with the random portion of the mixed mode signal. For issues concerning the sinusoidal part of the mixed mode signal, reference is made to IEC 60068-2-6 and in particular to Annex A for such issues as sweeping, sweep rates and tracking filters.

## B.2 Exigences pour les essais

### B.2.1 Contrôle en un seul point et contrôle multipoint

Les exigences pour les essais sont confirmées par la valeur du signal calculée d'après le signal en mode mixte mesuré au point de référence.

Pour des spécimens stables ou de petite taille, pour des essais de composants par exemple, ou si l'influence dynamique du spécimen est faible et que le montage d'essai est stable à la gamme de fréquences de l'essai, alors un seul point de vérification sera nécessaire et il deviendra le point de référence.

Dans le cas de spécimens complexes ou de grande taille, des équipements ayant des points de fixation très espacés par exemple, ce sera l'un des points de vérification ou un point fictif qui sera désigné comme point de référence. La densité spectrale d'accélération pour un point fictif est calculée d'après les signaux en mode mixte mesurés aux points de vérification. Il est recommandé d'utiliser un point fictif pour les spécimens complexes et/ou de grande taille (voir 3.6.3).

#### B.2.1.1 Contrôle en un seul point

Les mesures sont effectuées en un point de référence et la valeur de contrôle à chaque fréquence est directement comparée à la valeur à chaque fréquence spécifiée.

#### B.2.1.2 Contrôle multipoint

Lorsque le contrôle multipoint est préconisé, ou nécessaire, deux stratégies de contrôle en domaine fréquentiel sont possibles.

##### B.2.1.2.1 Stratégie de la moyenne

Cette méthode permet de calculer la valeur de contrôle à partir du signal de chaque point de vérification. Une valeur de signal composée est établie en calculant la moyenne arithmétique de la valeur du signal à chaque fréquence de ces points.

Cette moyenne arithmétique de la valeur à chaque fréquence est alors comparée à la valeur à chaque fréquence spécifiée.

##### B.2.1.2.2 Stratégie des extrêmes

Cette méthode permet de calculer une valeur de contrôle composée à partir des valeurs extrêmes maximales de chaque fréquence de la valeur du signal mesurée à chaque point de vérification.

Cette méthode est également appelée stratégie «du maximum» car elle fournit des valeurs qui représentent l'enveloppe des valeurs à toutes les fréquences de chaque point de vérification.

## B.2.2 Distribution

### B.2.2.1 Distribution des valeurs instantanées

La distribution des valeurs instantanées du signal aléatoire de commande utilisé au cours de l'essai est la distribution gaussienne (ou normale) et se définit par l'équation suivante:

$$p(\chi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2(\chi/\sigma)^2} \quad (\text{B.1})$$

## B.2 Requirements for testing

### B.2.1 Single-point and multipoint control

The test requirements are confirmed by the signal value computed from the mixed mode signal measured at the reference point.

For stiff or small-size specimens, for example in component testing, or if it is known that the dynamic influence of the specimen is low and the test fixture is stiff in the test frequency range there need only be one check point which then becomes the reference point.

In the case of large or complex specimens, for example equipment with well spaced fixing points, either one of the check points, or a fictitious point is specified for reference. For a fictitious point, the acceleration spectral density is computed from mixed mode signals measured at the check points. It is recommended that for large and/or complex specimens a fictitious point is used (see 3.6.3).

#### B.2.1.1 Single-point control

Measurements are made at one reference point and the control value of each frequency is directly compared with the specified value of each frequency.

#### B.2.1.2 Multi-point control

When multi-point control is specified, or necessary, two frequency domain control strategies are available.

##### B.2.1.2.1 Averaging strategy

In this method the control value is computed from the signal of each check point. A composite signal value is found by arithmetically averaging the signal value of each frequency of these check points.

The arithmetically averaged value of each frequency is then compared to the specified value of each frequency.

##### B.2.1.2.2 Extremal strategy

In this method a composite control value is computed from the maximum extreme value of each frequency of the signal value measured at each check point.

This method is also called 'maximum' strategy, because it produces values which represent the envelope of the values of all frequencies of each check point.

## B.2.2 Distribution

### B.2.2.1 Distribution of instantaneous values

The distribution of the instantaneous values of the random drive signal employed during the testing is known as the normal or Gaussian distribution, and is defined by the equation:

$$p(\chi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2(\chi/\sigma)^2} \quad (\text{B.1})$$

où

$p(\chi)$  est la densité de probabilité;

$\sigma$  est la valeur efficace du signal de commande = écart-type;

$\chi$  est la valeur instantanée du signal aléatoire de commande.

La valeur moyenne de l'historique du signal aléatoire de commande est considérée comme égale à zéro.

La densité de probabilité normale en bruit-sur-bruit et bruit-sur-bruit-bande-étroite est présentée à la Figure 2. La densité de probabilité normale en sinus sur bruit est présentée à la Figure 4.

### B.2.2.2 Facteur de crête

Le facteur de crête caractérise la distribution du signal (de contrôle) d'excitation par le rapport de la valeur maximale instantanée à la valeur efficace (voir également la Figure 2).

Le facteur de crête ne peut s'appliquer qu'au signal de commande de la sortie du système d'asservissement numérique des vibrations puisque l'onde aléatoire au point de vérification peut être modifiée par des non-linéarités dans le système, c'est-à-dire l'amplificateur de puissance, le vibreur, le montage d'essai et le spécimen. Ces non-linéarités sur une large bande de fréquences sont généralement incontrôlables.

Le facteur de crête requis par la présente norme doit être supérieur à 2,5 (voir également 5.1.2). Pour des amplitudes aléatoires normalement distribuées, si le facteur d'écrtage du signal de commande utilisé est de 2,5, environ 99 % de toutes les valeurs de commande instantanées sont appliquées à l'amplification de puissance.

### B.2.3 Pente initiale et pente finale

La présente norme demande une densité spectrale d'accélération plate ou de forme particulière spécifiée entre  $f_1$  et  $f_2$  (voir la Figure 1). Cependant, un essai pratique ne peut avoir lieu qu'avec une pente initiale et une pente finale. Pour que la valeur efficace de l'accélération reste le plus proche possible des valeurs spécifiées, il est recommandé que les pentes soient aussi fortes que possible. Normalement, il est recommandé que la pente initiale soit de 6 dB/octave. Si le niveau de densité spectrale d'accélération à  $f_1$  est élevé et s'il faut réduire les amplitudes de déplacement pour respecter les moyens du laboratoire d'essais, alors la pente initiale peut être augmentée. Voir le point c) de B.2.4 pour calculer les amplitudes aléatoires de déplacement.

En général, l'équipement d'asservissement numérique des vibrations présente une gamme dynamique de l'ordre de 8 dB entre deux lignes de fréquences adjacentes pour la densité spectrale d'accélération. Pour obtenir une pente plus forte, il peut être nécessaire d'utiliser une résolution en fréquence  $B_e$  plus étroite que celle définie initialement. Si cela n'est pas possible, ou si la pente maximale obtenue ne produit pas la réduction de déplacement attendue, la valeur négative de tolérance de la densité spectrale d'accélération devra peut-être être modifiée dans la gamme étroite de fréquences.

Ces problèmes ne s'appliquent pas à la pente finale qui est définie comme étant exclue de cette partie de la densité spectrale d'accélération spécifiée au-dessus de  $f_2$ . Il est recommandé que cette pente soit de -24 dB/octave ou plus forte.

### B.2.4 Calcul des valeurs efficaces d'accélération, de vitesse et de déplacement

La valeur efficace totale d'accélération, de vitesse et de déplacement pour la gamme de fréquences effective est égale à la racine carrée de la somme des valeurs quadratiques moyennes dans les sous-gammes de fréquences correspondantes qui comprennent un niveau de densité spectrale d'accélération ( $S$ ), une gamme de fréquences et une pente ( $M$ ).

where

$p(\chi)$  is the probability density;

$\sigma$  is the r.m.s. value of the drive signal = standard deviation;

$\chi$  is the instantaneous random drive signal value.

The mean value of the random drive signal time history is assumed to be zero.

The normal probability density function for random-on-random and narrowband random-on-random is shown in Figure 2. The normal probability density function for sine on random is shown in Figure 4.

### **B.2.2.2 Crest factor**

The crest factor characterizes the distribution of the excitation (control) signal by the ratio of the maximum of the instantaneous value to the r.m.s. value (see also Figure 2).

The crest factor can only be applied to the digital vibration control system output drive signal, since non-linearities in the system, that is power amplifier, vibrator, test fixture and specimen, may modify the random waveform at the check point. These non-linearities over a wide frequency band are generally beyond any control.

The crest factor is required by this standard to be not less than 2,5 (see also 5.1.2). For normally distributed random amplitudes, if the drive signal clipping factor of 2,5 is used, approximately 99 % of all instantaneous drive values are applied to the power amplifier.

### **B.2.3 Initial and final slope**

This standard calls for a shaped or flat acceleration spectral density that is specified between  $f_1$  and  $f_2$  (see Figure 1). However, a practical test can only be run with an initial and final slope. In order to keep the r.m.s value of acceleration as close as possible to the specified values, the slopes should be as steep as possible. Normally, the initial slope should be 6 dB/octave. In circumstances where the acceleration spectral density level at  $f_1$  is high, and it is necessary to reduce displacement amplitudes to be compatible with vibration facility capabilities, then the initial slope may be increased. In order to calculate the random displacement amplitudes see item c) of B.2.4.

In general, digital vibration control equipment has a dynamic range for the acceleration spectral density of the order of 8 dB between two adjacent frequency lines. To achieve a steeper slope, it may be necessary to employ a narrower frequency resolution  $B_e$  than originally defined. If this is not possible, or the maximum achievable slope does not produce the required reduction in displacement, the negative acceleration spectral density tolerance value may need to be modified in the lower frequency range.

These problems do not apply to the final slope which is defined not as that part of the specified acceleration spectral density above  $f_2$ . This slope should be equal to  $-24$  dB/octave or steeper.

### **B.2.4 Calculation of r.m.s. values of acceleration, velocity and displacement**

The total r.m.s. value of acceleration, velocity and displacement for the effective frequency range is the square root of the sum of the mean square values in the corresponding frequency sub-ranges which contain an acceleration spectral density level ( $S$ ), frequency range and slope ( $M$ ).

Ces valeurs quadratiques moyennes peuvent être calculées d'après les équations suivantes, avec  $S$  en  $(m/s^2)^2/Hz$  et  $M$  en dB/octave.

a) Valeur quadratique moyenne d'accélération  $a^2$  en  $(m/s^2)^2$

$$\text{Pour } M \neq -3 \quad a^2 = \frac{3S_{n+1}}{M+3} * \left[ f_{n+1} - f_n \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (B.2)$$

$$\text{Pour } M = -3 \quad a^2 = (S_{n+1}) * (f_{n+1}) * \left[ \ln \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right) \right] \quad (B.3)$$

$$\text{Pour } M = 0 \quad a^2 = S_n * (f_{n+1} - f_n) \quad (B.4)$$

b) Valeur quadratique moyenne de vitesse  $v^2$  en  $(m/s)^2$

$$\text{Pour } M \neq 3 \quad v^2 = \left( \frac{1}{2\pi} \right)^2 * \frac{3S_{n+1}}{M-3} * \left[ \frac{1}{f_{n+1}} - \frac{1}{f_n} * \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (B.5)$$

$$\text{Pour } M = 3 \quad v^2 = \left( \frac{1}{2\pi} \right)^2 * \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}} * \left[ \ln \left( \frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (B.6)$$

c) Valeur quadratique moyenne de déplacement  $d^2$  en  $mm^2$

$$\text{Pour } M \neq 9 \quad d^2 = \left( \frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 * \frac{3S_{n+1}}{M-9} * \left[ \frac{1}{f_{n+1}^3} - \frac{1}{f_n^3} * \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (B.7)$$

$$\text{Pour } M = 9 \quad d^2 = \left( \frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 * \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}^3} * \left[ \ln \left( \frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (B.8)$$

NOTE Dans les Equations (B.2), (B.5) et (B.7),  $\ln$  désigne le logarithme népérien.

Ces équations sont basées sur des droites des tracés log-log. La pente  $M$  dans cette application est définie telle que:

$$M = 3 \frac{\log \left( \frac{S_{n+1}}{S_n} \right)}{\log \left( \frac{f_{n+1}}{f_n} \right)} \quad (B.9)$$

pour les signaux en mode mixte;

les valeurs efficaces d'accélération:

$$r.m.s.MM = \sqrt{r.m.s.R^2 + r.m.s.S^2} \quad (B.10)$$

These mean square values can be calculated from the following equations with  $S$  in  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$  and  $M$  in dB/octave.

a) Mean square value of acceleration  $a^2$  in  $(\text{m/s}^2)^2$

$$\text{For } M \neq -3 \quad a^2 = \frac{3S_{n+1}}{M+3} * \left[ f_{n+1} - f_n \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (\text{B.2})$$

$$\text{For } M = -3 \quad a^2 = (S_{n+1}) * (f_{n+1}) * \left[ \ln \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right) \right] \quad (\text{B.3})$$

$$\text{For } M = 0 \quad a^2 = S_n * (f_{n+1} - f_n) \quad (\text{B.4})$$

b) Mean square value of velocity  $v^2$  in  $(\text{m/s})^2$

$$\text{For } M \neq 3 \quad v^2 = \left( \frac{1}{2\pi} \right)^2 * \frac{3S_{n+1}}{M-3} * \left[ \frac{1}{f_{n+1}} - \frac{1}{f_n} * \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (\text{B.5})$$

$$\text{For } M = 3 \quad v^2 = \left( \frac{1}{2\pi} \right)^2 * \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}} * \left[ \ln \left( \frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (\text{B.6})$$

c) Mean square value of displacement  $d^2$  in  $\text{mm}^2$

$$\text{For } M \neq 9 \quad d^2 = \left( \frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 * \frac{3S_{n+1}}{M-9} * \left[ \frac{1}{f_{n+1}^3} - \frac{1}{f_n^3} * \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (\text{B.7})$$

$$\text{For } M = 9 \quad d^2 = \left( \frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 * \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}^3} * \left[ \ln \left( \frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (\text{B.8})$$

NOTE In Equations (B.2), (B.5) and (B.7),  $\ln$  is the natural logarithm.

These equations are based on straight lines on log-log plots. The slope  $M$  for this application is defined as:

$$M = 3 \frac{\log \left( \frac{S_{n+1}}{S_n} \right)}{\log \left( \frac{f_{n+1}}{f_n} \right)} \quad (\text{B.9})$$

for mixed mode signals;

r.m.s. values of acceleration:

$$r.m.s._{MM} = \sqrt{r.m.s._R^2 + r.m.s._S^2} \quad (\text{B.10})$$

la valeur d'amplitude d'accélération:

$$Amp_{MM} = CF \cdot r.m.s. R + Amp_S \quad (B.11)$$

où

*CF* est le facteur de crête – 3 en règle générale (il s'agit de la valeur généralement indiquée dans les spécifications d'essai pour le niveau d'écrêtage de l'onde aléatoire);

*MM* désigne le mode mixte;

*R* désigne le bruit;

*S* désigne le sinus.

### B.3 Procédures d'essai

Lorsque l'essai sert simplement à démontrer la capacité du spécimen à résister et à fonctionner aux niveaux d'excitation appropriés, il est recommandé que l'essai ne dure que le temps nécessaire à prouver que cette exigence est respectée sur la gamme de fréquences spécifiée. Lorsqu'il s'agit de démontrer la capacité d'un élément à résister aux effets cumulatifs des vibrations, ainsi que de la déformation mécanique et de fatigue par exemple, l'essai devrait durer suffisamment longtemps pour accumuler les cycles de contraintes nécessaires, bien que cela puisse entraîner des durées dépassant les chiffres indiqués en 6.1.4.

Pour les essais d'endurance d'un équipement généralement fixé sur des isolateurs, les isolateurs sont habituellement en place. Si l'essai ne peut pas être effectué avec les isolateurs appropriés, si par exemple l'équipement est installé avec un autre équipement sur un support commun, il sera testé sans les isolateurs, avec une sévérité différente spécifiée. Il est recommandé que la sévérité soit déterminée en tenant compte de la transmissibilité du système d'isolation sur chaque axe utilisé pour l'essai. Lorsque les caractéristiques des isolateurs ne sont pas connues, se référer à B.4.1.

La spécification particulière peut demander un essai supplémentaire en retirant ou en bloquant les isolateurs placés à l'extérieur pour démontrer que le spécimen atteint le niveau minimal acceptable de résistance structurelle. Dans ce cas, il est recommandé d'appliquer la sévérité précisée dans la spécification particulière.

### B.4 Equipement utilisé habituellement avec des isolateurs de vibrations

#### B.4.1 Facteurs de transmissibilité pour les isolateurs

La CEI 60068-2-47 fournit une description complète de ce qui est à faire dans les situations où il est recommandé que les essais soient conduits avec des isolateurs sans qu'ils soient disponibles pour l'essai.

#### B.4.2 Influence de la température

Il est important de noter que certains isolateurs contiennent des matériaux sensibles à la température. Si la fréquence fondamentale de résonance du spécimen sur les isolateurs se situe dans la gamme de fréquences de l'essai, il faut être prudent en déterminant la durée pendant laquelle les excitations doivent être appliquées. Cependant, dans certaines circonstances, il peut être raisonnable d'appliquer une excitation en continu sans laisser de temps pour le rétablissement. Si la distribution réelle du temps d'excitation de cette fréquence fondamentale de résonance est connue, il est recommandé qu'une simulation soit tentée. Si la distribution réelle du temps n'est pas connue, il est recommandé qu'une surchauffe excessive soit évitée en limitant les périodes d'excitation ce qui implique une certaine expertise technique.

amplitude value of acceleration:

$$Amp_{MM} = CF \cdot r.m.s._R + Amp_S \quad (B.11)$$

where

*CF* is the crest factor – normally 3 (this is the value normally specified by test specifications for the clipping level of the random waveform);

*MM* is mixed mode;

*R* is random;

*S* is sine.

### B.3 Testing procedures

Where the test is simply to demonstrate the ability of a specimen to survive and operate at the appropriate excitation levels, the test need only continue for a duration sufficient to demonstrate this requirement over the specified frequency range. In cases where the ability of an item to withstand the cumulative effects of vibration is to be demonstrated, for example fatigue and mechanical deformation, the test should be of a sufficient duration to accumulate the necessary stress cycles, although this may give a duration outside the values in 6.1.4.

For endurance testing of an equipment normally mounted on isolators, the isolators are usually fitted. If it is not possible to perform the test with the appropriate isolators, for example if the equipment is installed together with other equipment on a common mounting device, the equipment may be tested without them with a prescribed different severity. The severity should be determined by taking into account the transmissibility of the isolating system in each axis used for the test. When the characteristics of the isolators are not available, reference should be made to B.4.1.

The relevant specification may require an additional test on a specimen with the external isolators removed or blocked in order to demonstrate that minimum acceptable structural resistance has been achieved. In this case, the severity to be applied should be prescribed by the relevant specification.

### B.4 Equipment normally used with vibration isolators

#### B.4.1 Transmissibility factors for isolators

IEC 60068-2-47 provides a full description of what to do for situations where testing should be conducted with isolators but they are not available for test.

#### B.4.2 Temperature effect

It is important to note that many isolators contain material which is temperature dependent. If the fundamental resonance frequency of the specimen on the isolators is within the test frequency range, caution needs to be exercised in deciding the length of time for which any excitation should be applied. However, under some circumstances it may be unreasonable to apply excitation continuously without permitting recovery. If the actual time distribution of excitation of this fundamental resonance frequency is known, an attempt should be made to simulate it. If the actual time distribution is not known, excessive overheating should be avoided by limiting the periods of excitation in a manner that will require engineering judgement.

## **B.5 Sévérités de l'essai**

La gamme de fréquences, la densité spectrale d'accélération au bruit bande large et les amplitudes sinusoïdales ou la densité spectrale d'accélération au bruit bande étroite données ont été sélectionnés de façon à couvrir un vaste éventail d'applications. Lorsqu'un élément n'est utilisé que dans une application, il est préférable de baser la sévérité sur les caractéristiques de vibrations de l'environnement réel, si celles-ci sont connues.

Lorsque cela est possible, il est recommandé que la sévérité de l'essai appliquée au spécimen soit liée à l'environnement auquel le spécimen sera soumis lors de son transport ou de son fonctionnement, ou aux exigences de conception si l'objectif de l'essai est d'évaluer la robustesse mécanique.

Lors de la détermination de la sévérité de l'essai, il faut envisager le besoin éventuel de conserver une marge de sécurité adaptée entre celle-ci et l'environnement réel.

Pour différentes conditions d'environnement, des spectres d'entrée type peuvent être élaborés d'après différentes spécifications telles que les normes MIL-STD 810F, ISO 16750, RTCA/DO-160 ou d'après des normes internes de sociétés des secteurs automobile et électronique.

## **B.6 Performances de l'équipement**

Le cas échéant, il est recommandé que les spécimens fonctionnent de façon représentative de ses conditions d'utilisation tout au long de l'essai ou lors d'étapes appropriées de celui-ci.

Pour les spécimens sur lesquels les vibrations peuvent influencer les fonctions de mise en route et d'arrêt, en interférant par exemple avec l'utilisation d'un relais, il est recommandé que son utilisation soit répétée de façon à prouver son bon fonctionnement sur la gamme de fréquences durant l'essai.

Si l'essai ne doit démontrer que la résistance des spécimens, il est recommandé que leurs performances fonctionnelles soient évaluées après la réalisation de l'essai de vibrations.

## **B.7 Mesures initiales et finales**

L'objectif des mesures initiales et finales est de comparer des paramètres spécifiques pour évaluer l'effet des vibrations sur le spécimen.

Les mesures peuvent porter sur des caractéristiques structurelles ou fonctionnelles, mécaniques et électroniques, aussi bien que sur des exigences visuelles.

## **B.5 Test severities**

The frequency range, acceleration spectral density of the broadband random and sine amplitudes or the acceleration spectral density of the narrowband random given have been selected to cover a wide range of applications. When an item is for use in one application only, it is preferable to base the severity on the vibration characteristics of the real environment, if known.

Wherever possible, the test severity applied to the specimen should be related to the environment to which the specimen will be subjected, during either transportation or operation or to the design requirements if the object of the test is to assess mechanical robustness.

When determining the test severity, consideration should be given to the possible need to allow an adequate safety margin between it and the conditions of the real environment.

For several environmental conditions, standard input spectra can be derived from different specifications such as MIL-STD 810F, ISO 16750, RTCA/DO-160 and internal specifications of the automobile and electronic companies.

## **B.6 Equipment performance**

When appropriate, specimens should be operated either throughout the test or at appropriate phases of the test, in a manner representative of their functioning conditions.

For specimens in which vibration may influence the switch-on and switch-off function, for example interfering with the operation of a relay, such functioning should be repeated to demonstrate a satisfactory performance in this respect during the test.

If the test is to demonstrate survival only, the functional performance of specimens should be assessed after the completion of the vibration test.

## **B.7 Initial and final measurements**

The purpose of the initial and final measurements is to compare particular parameters in order to assess the effect of vibration on the specimen.

The measurements may include, as well as visual requirements, electrical and mechanical operational and structural characteristics.

## Bibliographie

- [1] ISO/IEC 17025:1999, *Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*
- [2] ENV 13005:1999, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*
- [3] MIL-STD 810F: *Test method standard for environmental engineering considerations and laboratory tests*
- [4] ISO 16750 (toutes les parties), *Spécifications d'environnement et essais de l'équipement électrique et électronique*
- [5] RTCA/DO-160D:1997, *Environmental conditions and test procedures for airborne equipment*

WEISSSTECH  
GB标准

## Bibliography

- [1] ISO/IEC 17025:1999, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*
- [2] ENV 13005:1999, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*
- [3] MIL-STD 810F: *Test method standard for environmental engineering considerations and laboratory tests*
- [4] ISO 16750 (all parts), *Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment*
- [5] RTCA/DO-160D:1997, *Environmental conditions and test procedures for airborne equipment*

WEISSSTECH  
GB标准

WEISSSTECH  
GB标准



**Standards Survey**

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

**International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé  
1211 Genève 20  
Switzerland

or

Fax to: **IEC/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  
1211 GENEVA 20  
Switzerland



**Q1** Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)  
.....

**Q2** Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent
- librarian
- researcher
- design engineer
- safety engineer
- testing engineer
- marketing specialist
- other.....

**Q3** I work for/in/as a:  
(tick all that apply)

- manufacturing
- consultant
- government
- test/certification facility
- public utility
- education
- military
- other.....

**Q4** This standard will be used for:  
(tick all that apply)

- general reference
- product research
- product design/development
- specifications
- tenders
- quality assessment
- certification
- technical documentation
- thesis
- manufacturing
- other.....

**Q5** This standard meets my needs:  
(tick one)

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

**Q6** If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date
- standard is incomplete
- standard is too academic
- standard is too superficial
- title is misleading
- I made the wrong choice
- other .....

**Q7** Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
- (2) below average,
- (3) average,
- (4) above average,
- (5) exceptional,
- (6) not applicable

- timeliness.....
- quality of writing.....
- technical contents.....
- logic of arrangement of contents .....
- tables, charts, graphs, figures.....
- other .....

**Q8** I read/use the: (tick one)

- French text only
- English text only
- both English and French texts

**Q9** Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembe  
1211 Genève 20  
Suisse

ou

Télécopie: **CEI/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  
1211 GENÈVE 20  
Suisse



**Q1** Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (ex. 60601-1-1)  
.....

**Q2** En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction? (cochez tout ce qui convient)  
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

**Q3** Je travaille: (cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/ certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

**Q4** Cette norme sera utilisée pour/comme (cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

**Q5** Cette norme répond-elle à vos besoins: (une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

**Q6** Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes: (cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s) .....

**Q7** Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres (1) inacceptable, (2) au-dessous de la moyenne, (3) moyen, (4) au-dessus de la moyenne, (5) exceptionnel, (6) sans objet

- publication en temps opportun .....
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique .....
- disposition logique du contenu .....
- tableaux, diagrammes, graphiques, figures .....
- autre(s) .....

**Q8** Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

**Q9** Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....



WEISSSTECH  
GB标准

WEISSSTECH  
GB标准

ISBN 2-8318-7967-1



9 782831 879673

---

ICS 19.040; 29.020

---