

Publication 68-2-64 de la CEI
(Première édition - 1993)

Essais d'environnement

Partie 2: Méthodes d'essai
Essai Fh:
Vibrations aléatoires à large bande
(asservissement numérique) et guide

IEC Publication 68-2-64
(First edition - 1993)

Environmental testing

Part 2: Test methods
Test Fh:
Vibration, broad-band random
(digital control) and guidance

C O R R I G E N D U M 1

Page 56, tableau B.3

Remplacer le tableau existant par le nouveau tableau B.3 ci-dessous:

Tableau B.3 – Type de fenêtre et facteur W correspondant

Fonction fenêtre	Facteur W
Rectangle	1
Triangle	1,33
Hamming ($0,54 + 0,46 \cos \chi$)	1,36
Hanning ($0,5 + 0,5 \cos \chi$)	1,50
Blackman-Harris (4 termes)	2,00

Page 57, table B.3

Replace the existing table with the new table B.3 below:

Table B.3 – Type of window function and corresponding factor W

Window function	Factor W
Rectangle	1
Triangle	1,33
Hamming ($0,54 + 0,46 \cos \chi$)	1,36
Hanning ($0,5 + 0,5 \cos \chi$)	1,50
Blackman-Harris (4-term)	2,00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
68-2-64**

Première édition
First edition
1993-05

**PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION**

Essais d'environnement

Partie 2:
Méthodes d'essai
Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande
(asservissement numérique) et guide

Environmental testing

Part 2:
Test methods
Test Fh: Vibration, broad-band random
(digital control) and guidance



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 68-2-64: 1993

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

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

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

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

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

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
68-2-64**

Première édition
First edition
1993-05

**PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION**

Essais d'environnement

Partie 2:
Méthodes d'essai
Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande
(asservissement numérique) et guide

Environmental testing

Part 2:
Test methods
Test Fh: Vibration, broad-band random
(digital control) and guidance

© CEI 1993 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



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

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Objet	10
2 Références normatives	10
3 Définitions	12
4 Exigences pour l'épreuve	18
4.1 Généralités	18
4.2 Recherche et étude des fréquences critiques	20
4.3 Essai par excitation aléatoire	20
4.4 Fixation	24
5 Sévérités	24
5.1 Généralités	24
5.2 Gamme de fréquences d'essai	26
5.3 Densité spectrale d'accélération	26
5.4 Forme de la courbe de densité spectrale d'accélération	26
5.5 Durée de l'épreuve	26
6 Préconditionnement	26
7 Mesures initiales	28
8 Epreuve	28
8.1 Généralités	28
8.2 Recherche et étude des fréquences critiques	28
8.3 Excitation à bas niveau pour l'égalisation avant l'épreuve	30
8.4 Epreuve aux vibrations aléatoires	30
8.5 Mesures intermédiaires	32
8.6 Recherche et étude finales des fréquences critiques	32
9 Reprise	32
10 Mesures finales	32
11 Renseignements que doit donner la spécification particulière	32
Annexes	
A Recherche et étude des fréquences critiques	36
B Guide	44
C Correspondance entre valeurs de pourcentage et dB	68
Tableaux	
1 Résolution en fréquences – méthode 1	22
2 Facteur <i>a</i> et erreur de biais pour une fenêtre de pondération rectangulaire	24
3 Gamme de fréquences d'essai	26
B.1 Limites de fréquence de résonance pour une erreur de biais donnée pour 200 lignes de référence	46
B.2 Précision de la densité spectrale de l'accélération pour différents niveaux de confiance	54
B.3 Type de fenêtre et facteur <i>W</i> correspondant	56
C.1 Correspondance	68
Figures	72

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Object	11
2 Normative references	11
3 Definitions	13
4 Requirements for testing	19
4.1 General	19
4.2 Vibration response investigation	21
4.3 Testing with random excitation	21
4.4 Mounting	25
5 Severities	25
5.1 General	25
5.2 Test frequency range	27
5.3 Acceleration spectral density	27
5.4 Shape of acceleration spectral density curve	27
5.5 Duration of testing	27
6 Pre-conditioning	27
7 Initial measurements	29
8 Testing	29
8.1 General	29
8.2 Vibration response investigation	29
8.3 Low-level excitation for equalization prior to testing	31
8.4 Random vibration testing	31
8.5 Intermediate measurements	33
8.6 Final vibration response investigation	33
9 Recovery	33
10 Final measurements	33
11 Information to be given in the relevant specification	33
Annexes	
A Vibration response investigation	37
B Guidance	45
C Conversion between percentage values and dB	69
Tables	
1 Frequency resolution, method 1	23
2 Factor a and bias error for rectangular window function	25
3 Test frequency range	27
B.1 Lower resonance frequency limits for a given bias error for 200 frequency lines	47
B.2 Accuracy of acceleration spectral density versus degrees of freedom for different confidence levels	55
B.3 Type of window function and corresponding factor W	57
C.1 Conversion	69
Figures	73

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT

Partie 2: Méthodes d'essai Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande (asservissement numérique) et guide

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente Norme internationale a été établie par le sous-comité 50A: Essais de chocs et de vibrations, du comité d'études 50 de la CEI: Essais d'environnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote	Amendement au DIS	Rapport de vote
50A(BC)206	50A(BC)223	50A(BC)224	50A(BC)227

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Elle a le statut d'une publication fondamentale de sécurité, conformément au Guide CEI 104.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING

Part 2: Test methods
Test Fh: Vibration, broad-band random
(digital control) and guidance

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a world-wide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

This International Standard has been prepared by sub-committee 50A: Shock and vibration tests, of IEC technical committee 50: Environmental testing.

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

DIS	Report on Voting	Amendment to DIS	Report on Voting
50A(CO)206	50A(CO)223	50A(CO)224	50A(CO)227

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

It has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104.

La CEI 68 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: Essais d'environnement.

- Première partie: Généralités et guide
- Deuxième partie: Essais
- Troisième partie: Informations de base
- Quatrième partie: Renseignements destinés aux rédacteurs de spécifications – Résumés d'essais
- Partie 5: Guide pour la rédaction des méthodes d'essai

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

Les annexes B et C sont données uniquement à titre d'information.

IEC 68 consists of the following parts, under the general title: Environmental testing.

- Part 1: General and guidance
- Part 2: Tests
- Part 3: Background information
- Part 4: Information for specification writers – Test summaries
- Part 5: Guide to drafting of test methods

Annex A forms an integral part of this standard.

Annexes B and C are for information only.

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT

Partie 2: Méthodes d'essai

Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande (asservissement numérique) et guide

1 Objet

La présente Norme internationale a pour objet de décrire deux méthodes d'essai normalisées (méthode 1 et méthode 2) pour déterminer l'aptitude d'un spécimen à résister à des sévérités spécifiées de vibrations aléatoires à large bande. Aucune des deux méthodes ne peut être considérée comme plus sévère que l'autre, la différence étant principalement que la méthode 2 donne plus d'informations sur les paramètres de l'essai et est ainsi plus reproductible.

Elle permet de mettre en évidence les effets cumulés de contraintes induites par les vibrations aléatoires ainsi que les faiblesses mécaniques et les dégradations qui en résultent par rapport aux fonctionnalités spécifiées. Elle permet, de plus, d'utiliser ces informations en accord avec la spécification particulière pour déterminer si les spécimens sont acceptables ou pas. Dans certains cas, cette norme peut aussi être utilisée pour vérifier si la conception d'un spécimen est satisfaisante dans la mesure où sa robustesse mécanique est concernée, et/ou pour étudier son comportement dynamique.

Cette norme est applicable à des spécimens qui peuvent être soumis à des vibrations de nature stochastique dues au transport ou à l'environnement rencontré en service, par exemple, à bord d'avions et de véhicules spatiaux ou à bord de véhicules terrestres. Elle est destinée en premier lieu à des spécimens non emballés et à des objets dans leur emballage de transport lorsque celui-ci peut être considéré comme faisant partie du spécimen lui-même.

Bien qu'elle soit destinée en premier lieu à des produits électrotechniques, cette norme ne s'applique pas seulement à ceux-ci et peut être utilisée dans d'autres domaines, si on le désire.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 68. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 68 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(301, 302, 303): 1983, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Chapitre 301: Termes généraux concernant les mesures en électricité.

Chapitre 302: Instruments de mesurage électriques.

Chapitre 303: Instruments de mesurage électroniques. (Edition anticipée)

CEI 68, *Essais d'environnement*.

CEI 68-1: 1988, *Essais d'environnement – Première partie: Généralités et guide*.

INTRODUCTION

La présente Norme internationale pour l'essai de vibrations aléatoires à large bande est prévue pour des applications générales à des spécimens de produits électrotechniques qui peuvent être soumis à des vibrations de nature stochastique. Les méthodes et techniques de cette norme sont basées sur l'asservissement numérique des vibrations aléatoires. Il permet l'introduction de changements convenant à des cas individuels lorsque ceux-ci sont prescrits par la spécification particulière. Cette norme constitue une alternative à l'essai aux vibrations aléatoires par asservissement analogique, déjà établi (essai Fd, CEI 68-2-34 à 68-2-37).

Il convient de noter que l'essai aux vibrations aléatoires est un sujet complexe nécessitant une bonne connaissance des principes de base de l'essai et une grande habitude de l'interprétation technique des résultats.

Comparé à la plupart des autres essais, l'essai Fh est basé sur des techniques non pas déterministes mais statistiques. L'essai aux vibrations aléatoires à large bande est donc décrit en termes de probabilités et de moyennes statistiques.

L'annexe normative A fournit des exigences pour la recherche et l'étude des fréquences critiques.

Les rédacteurs de spécifications pourront trouver à l'article 11 une liste des renseignements à prendre en compte dans les spécifications et, en annexe B (informative), un guide.

L'annexe informative C donne, par références croisées, la conversion entre les valeurs de magnitude citées (en dB ou en pourcentages) et celles qui sont proposées en alternative.

INTRODUCTION

This standard for broad-band random vibration testing is intended for general application to specimens of electrotechnical products that may be subjected to vibrations of a stochastic nature. The methods and techniques in this standard are based on digital control of random vibration. It permits the introduction of variations to suit individual cases, if these are prescribed by the relevant specification. The standard provides an alternative to the established analogue versions of the random vibration wide-band tests (test Fd, IEC 68-2-34 to 68-2-37).

It should be noted that random vibration testing is a complex subject requiring both a good basic understanding of the philosophy of the test and the exercise of considerable engineering judgement.

Compared with most other tests, test Fh is not based on deterministic but on statistical techniques. Broad-band random vibration testing is therefore described in terms of probability and statistical averages.

Annex A is a normative annex giving the requirements for the vibration response investigation.

Specification writers will find in clause 11 a list of details to be considered for inclusion in specifications, and in annex B (informative), the guidance.

Annex C is an informative annex, cross-referenced to the relevant clauses, giving the conversion between the quoted values (in dB or percentages) and the values with the alternative magnitudes.

ENVIRONMENTAL TESTING

Part 2: Test methods

Test Fh: Vibration, broad-band random (digital control) and guidance

1 Object

The object of this International Standard is to provide two standard test methods (method 1 and method 2) for determining the ability of a specimen to withstand specified severities of broad-band random vibration. Neither test method can be considered more severe than the other, the difference being primarily that method 2 provides more information to quantify the applied test, and is therefore more reproducible.

It is also to reveal the accumulated effects of stress induced by random vibration, and the resulting mechanical weakness and degradation in specified performance 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 and/or to study their dynamic behaviour.

This standard is applicable to specimens which may be subjected to vibration of a stochastic nature resulting from transportation or operational environments, for example in aircraft, space vehicles and land vehicles. It is primarily intended for unpackaged specimens, and for items in their transportation container when the latter may be considered as part of the specimen itself.

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

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 68. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision and parties to agreements based on this part of IEC 68 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents listed below. Members of IEC and ISO maintain registers of current valid International Standards.

IEC 50(301, 302, 303): 1983, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

Chapter 301: General terms on measurements in electricity.

Chapter 302: Electrical measuring instruments.

Chapter 303: Electronic measuring instruments. (Advance edition)

IEC 68, *Environmental testing*.

IEC 68-1: 1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*.

CEI 68-2, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais.*

CEI 68-2-6: 1982, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Fc et guide: Vibrations (sinusoïdales).*

CEI 68-2-47: 1982, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Fixation de composants, matériels et autres articles pour essais dynamiques tels que chocs (Ea), secousses (Eb), vibrations (Fc et Fd) et accélération constante (Ga) et guide.*

CEI 721, *Classification des conditions d'environnement.*

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

3 Définitions

Les termes utilisés sont généralement ceux qui sont définis dans l'ISO 2041 ou dans les CEI 50(301, 302, 303), 68-1 ou 68-2-6. Lorsque, dans l'intérêt du lecteur, une définition émanant de l'une de ces sources est incluse ici, cette provenance est citée et les différences par rapport à ces définitions sont également indiquées.

Les termes et définitions supplémentaires qui suivent sont également applicables au domaine de la présente norme.

3.1 bande passante à -3 dB, B_p (ISO 2041 modifiée): Bande de fréquences entre deux points de la fonction de réponse en fréquence situés à 0,707 de la réponse maximale quand celle-ci est associée à un pic de résonance simple (voir 4.3.6.2).

3.2 densité spectrale d'accélération (ISO 2041 modifiée): Moyenne des carrés des valeurs de la partie d'un signal d'accélération après passage dans un filtre à bande étroite de fréquence centrale déterminée, par unité de largeur de bande, lorsque cette largeur de bande tend vers zéro et que la durée prise en compte pour le calcul de la moyenne tend vers l'infini (voir 4.3.4).

3.3 erreur de biais: Erreur systématique dans l'estimation de la densité spectrale d'accélération due à la résolution en fréquence finie utilisée en pratique (voir 4.3.6.2).

3.4 point de vérification: Point situé sur le bâti de fixation, sur la table vibrante ou sur le spécimen, aussi près que possible de l'un de ses points de fixation et qui, dans tous les cas, doit être rigidement lié à ce dernier (voir A.2.4.1).

NOTES

1 On peut être conduit à utiliser plusieurs points de vérification pour s'assurer que les exigences de l'essai sont satisfaites.

2 S'il n'y a pas plus de quatre points de fixation, chacun d'eux sera pris comme point de vérification. S'il y a plus de quatre points de fixation, la spécification particulière désignera les quatre points de fixation représentatifs à utiliser comme points de vérification.

3 Dans les cas particuliers, par exemple pour des spécimens complexes ou volumineux, la spécification particulière indiquera les points de vérification, s'ils ne sont pas à proximité des points de fixation.

4 Dans le cas d'un grand nombre de petits spécimens fixés sur un seul bâti, ou dans celui d'un petit spécimen ayant plusieurs points de fixation, on peut sélectionner, pour obtenir le signal de pilotage, un seul point de vérification (point de référence) qui sera lié au support plutôt qu'aux points de fixation du(des) spécimen(s). Cela n'est valable que lorsque la plus basse fréquence de résonance du support chargé est située nettement au-dessus de la limite supérieure de la fréquence de l'essai.

IEC 68-2, *Environmental testing – Part 2: Tests*.

IEC 68-2-6: 1982, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc and guidance: Vibration (sinusoidal)*.

IEC 68-2-47: 1982, *Environmental testing – Part 2: Tests – Mounting of components, equipment and other articles for dynamic tests including shock (Ea), bump (Eb), vibration (Fc and Fd) and steady-state acceleration (Ga) and guidance*.

IEC 721, *Classification of environmental conditions*.

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

3 Definitions

The terms used are generally defined in ISO 2041 or IEC 50 (301, 302, 303) and in IEC 68-1 or IEC 68-2-6. 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 for the purposes of this standard.

3.1 –3 dB bandwidth, B_r (ISO 2041 modified): Frequency bandwidth between two points in a frequency response function which is 0,707 of the maximum response when associated with a single resonance peak (see 4.3.6.2).

3.2 acceleration spectral density (ISO 2041 modified): Mean-square value of that part of an acceleration signal passed by a narrow-band filter of a centre frequency, per unit bandwidth, in the limit as the bandwidth approaches zero and the averaging time approaches infinity (see 4.3.4).

3.3 bias error: Systematic error in the estimate of the acceleration spectral density due to the finite frequency resolution used in practice (see 4.3.6.2).

3.4 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 (see A.2.4.1).

NOTES

- 1 A number of check-points are used as a means of ensuring that the test requirements are satisfied.
- 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.
- 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.
- 4 Where a large number of small specimens are mounted on one fixture, or in the case of a small specimen where there are several 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.

3.5 densité spectrale d'accélération d'asservissement: Densité spectrale d'accélération mesurée au point de référence (voir 4.3.3).

3.6 boucle d'asservissement: Somme des actions suivantes:

- numérisation de l'onde aléatoire analogique du signal provenant du point de référence;
- exécution des traitements nécessaires;
- production d'une onde aléatoire analogique résultante vers l'amplificateur de puissance du système de vibrations (voir B.1).

3.7 facteur de crête (ISO 2041): Rapport de la valeur de crête à la valeur efficace (moyenne quadratique) (voir 4.3.3).

3.8 taux d'amortissement: Rapport du coefficient d'amortissement réel au coefficient d'amortissement critique pour un système avec amortissement visqueux.

3.9 distorsion: (Définition identique à celle de l'article 3 de la CEI 68-2-6, mais non identique à celle de l'ISO 2041.)

$$\text{Distorsion } d = \frac{\sqrt{a_{\text{tot}}^2 - a_1^2}}{a_1} \times 100 \text{ (en pourcentage)}$$

où

a_1 est la valeur efficace de l'accélération sans distorsion, à la fréquence de pilotage;

a_{tot} est la valeur efficace totale de l'accélération appliquée, y compris a_1 .

3.10 écrêtage du signal d'excitation: Limitation de la valeur instantanée du signal d'excitation (voir 4.3.3).

3.11 bande de fréquences effectives: Bande allant d'une fréquence inférieure à f_1 à une fréquence supérieure à f_2 , compte tenu de la pente initiale et de la pente finale (voir la figure 2).

3.12 erreur sur la densité spectrale d'accélération: Différence entre la densité spectrale d'accélération spécifiée et la densité spectrale d'accélération d'asservissement.

3.13 égalisation: Minimisation de l'erreur sur la densité spectrale d'accélération.

3.14 pente finale: Partie de la densité spectrale d'accélération située au-dessus de f_2 (voir B.2.4).

3.15 résolution en fréquences: Largeur des intervalles de fréquence de la densité spectrale d'accélération exprimée en hertz. Elle est égale à l'inverse de la durée de l'acquisition numérique. Le nombre de raies de fréquence est égal au nombre d'intervalles dans une bande de fréquences donnée (voir 4.3.6).

3.16 « g_n »: Accélération «normalisée de la pesanteur (variable en fonction de l'altitude et de la latitude) (voir 5.3).

NOTE - Dans le cadre de la présente norme, la valeur de « g_n » est arrondie au nombre entier le plus proche, c'est-à-dire 10 m/s².

3.5 control acceleration spectral density: Acceleration spectral density measured at the reference point (see 4.3.3).

3.6 control system loop: Sum of the following actions:

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

3.7 crest factor (ISO 2041): Ratio of the peak value to the r.m.s. value (see 4.3.3).

3.8 damping ratio: Ratio of actual damping to critical damping in a system with viscous damping.

3.9 distortion: (Definition identical to that in clause 3 of IEC 68-2-6, not identical with ISO 2041 definition.)

$$\text{Distortion } d = \frac{\sqrt{a_{\text{tot}}^2 - a_1^2}}{a_1} \times 100 \text{ (per cent)}$$

where

a_1 is the r.m.s value of the acceleration at the driving frequency;

a_{tot} is the total r.m.s value of the applied acceleration, including a_1 .

3.10 drive signal clipping: Limitation of the instantaneous value of the drive signal (see 4.3.3).

3.11 effective frequency range: Range from the actual frequency below f_1 to the actual frequency above f_2 due to initial and final slopes (see figure 2).

3.12 error acceleration spectral density: Difference between the specified acceleration spectral density and the control acceleration spectral density.

3.13 equalization: Minimization of the error acceleration spectral density.

3.14 final slope: Part of the specified acceleration spectral density above f_2 (see B.2.4).

3.15 frequency resolution: Width of the frequency intervals in the acceleration spectral density in Hertz. It is equal to the reciprocal of the record length in digital analysis. The number of frequency lines is equal to the number of intervals in a given frequency range (see 4.3.6).

3.16 " g_n ": Standard acceleration due to the earth's gravity, which itself varies with altitude and geographical latitude (see 5.3).

NOTE - For the purposes of this standard, the value of g_n is rounded up to the nearest whole number, that is 10 m/s².

3.17 densité spectrale d'accélération indiquée: Estimation de la densité spectrale d'accélération vraie provenant de l'analyseur, entachée par les erreurs instrumentales, l'erreur aléatoire et l'erreur de biais (voir 4.3.6).

3.18 pente initiale: Partie de la densité spectrale d'accélération située au-dessous de f_1 (voir B.2.4).

3.19 erreur instrumentale: Erreur associée à chaque composant analogique présent à l'entrée du système d'asservissement et aux composants analogiques du système d'asservissement (voir B.2.3.2).

3.20 asservissement à partir de plusieurs points, technique de la moyenne: L'asservissement de la densité spectrale d'accélération est effectué à partir de la moyenne arithmétique des densités spectrales d'accélération provenant des points de vérification (voir B.2.1.2).

3.21 asservissement à partir de plusieurs points, technique des extrêmes: L'asservissement de la densité spectrale d'accélération est effectué à partir du maximum de la densité spectrale d'accélération à chaque fréquence, en plusieurs points de vérification (voir B.2.1.2).

3.22 axes d'essais préférentiels: Trois axes orthogonaux qui correspondent, dans la mesure du possible, aux axes les plus vulnérables du spécimen (voir 8.1).

3.23 erreur aléatoire: Erreur sur la densité spectrale d'accélération changeant d'une estimation à une autre, et provoquée par la limitation, en pratique, de la durée de calcul de la moyenne et de la bande passante du filtre (voir B.2.3.3).

3.24 acquisition: Collecte de points de donnée, également espacés dans le domaine du temps, qui seront utilisés dans le calcul de la Transformée de Fourier Rapide (voir B.1).

3.25 point de référence: Point choisi à partir des points de vérification dont on utilise le signal pour piloter l'essai afin de satisfaire aux prescriptions de la présente norme.

NOTE - Le point peut être un point de référence fictif (voir A.2.4.2).

3.26 reproductibilité [CEI 50 (301, 302, 303)]: Etrete de l'accord entre les résultats des mesurages de la même valeur de la même quantité, lorsque les mesurages individuels sont effectués:

- par différentes méthodes;
- avec différents instruments de mesure;
- par différents observateurs;
- dans différents laboratoires;
- après un intervalle de temps long vis-à-vis du temps d'un seul mesurage;
- sous différentes conditions usuelles d'utilisation des instruments employés.

NOTE - Le terme «reproductible» peut être aussi employé dans le cas où quelques-unes seulement des conditions précédentes sont prises en compte.

3.17 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 (see 4.3.6).

3.18 initial slope: Part of the specified acceleration spectral density below f_1 (see B.2.4).

3.19 instrument error: Error associated with each analogue item of the input to the control system and control system analogue items (see B.2.3.2).

3.20 multipoint control, averaging: Control acceleration spectral density formed from the arithmetic average of the acceleration spectral densities at more than one check-point (see B.2.1.2).

3.21 multipoint control, extremal: Control acceleration spectral density formed from the maximum of the acceleration spectral density of each frequency line at more than one check-point (see B.2.1.2).

3.22 preferred testing axes: Three orthogonal axes which correspond, as far as is practicable, to the most vulnerable axes of the specimen (see 8.1).

3.23 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 (see B.2.3.3).

3.24 record: Collection of equally spaced data points in the time domain that are used in the calculation of the Fast Fourier Transform (see B.1).

3.25 reference point: Point, chosen from the check-points, whose signal is used to control the test, so that the requirements of this standard are satisfied.

NOTE - The point may be a fictitious reference point (see A.2.4.2).

3.26 reproducibility [IEC 50 (301, 302, 303)]: 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.

3.27 points de réponse: Emplacements spécifiques du spécimen où les données sont collectées pour les besoins de la recherche et de l'étude des fréquences critiques. Ces points ne sont pas des points de vérification ou de référence (voir A.3.1).

3.28 valeur quadratique moyenne (ISO 2041 modifiée): La valeur quadratique moyenne (valeur efficace) d'une fonction à une seule variable dans un intervalle $f_1 - f_2$ est la racine carrée de la moyenne des carrés des valeurs de la fonction dans cet intervalle (voir 4.3.4).

NOTE - Dans cette méthode d'essai, les valeurs efficaces d'accélération, de vitesse et de déplacement sont calculées selon les formules données en B.2.5.

3.29 écart type σ (ISO 2041 modifiée): Dans le domaine des vibrations, la valeur moyenne est égale à zéro. L'écart type est alors égal à la valeur efficace.

3.30 précision statistique: Rapport de la densité spectrale d'accélération vraie à la densité spectrale d'accélération indiquée (voir 4.3.5).

3.31 degrés de liberté statistiques (ISO 2041 modifiée): Pour l'estimation de la densité spectrale d'accélération de données aléatoires à l'aide d'une technique de moyennes temporelles, le nombre réel de degrés de liberté statistiques est dérivé de la résolution en fréquence et de la durée réelle sur laquelle est calculée la moyenne (voir 4.3.5).

3.32 cycle de balayage (CEI 68-2-6): Parcours de la bande de fréquences spécifiée dans chaque sens, par exemple de 5 Hz à 500 Hz et retour à 5 Hz (voir A.2.5).

3.33 densité spectrale d'accélération vraie: Densité spectrale réelle de l'onde aléatoire agissant sur le spécimen (voir 4.3.6).

3.34 fenêtre de pondération (ISO 2041): Fonction limitée dans le temps, utilisée pour minimiser les erreurs en pondérant par calcul les points de données (voir 4.3.6.2).

4 Exigences pour l'épreuve

4.1 Généralités

Les caractéristiques requises s'appliquent au système complet de vibrations comprenant l'amplificateur de puissance, la table vibrante, le bâti de fixation, le spécimen et le système d'asservissement, le tout chargé, prêt à l'essai.

La présente norme donne deux méthodes d'essai.

Normalement, la méthode 1 utilise uniquement les vibrations aléatoires. Cependant, la spécification particulière peut exiger une recherche et une étude des fréquences critiques, soit par excitation sinusoïdale, soit par excitation aléatoire, avant, ou avant et à la fin, de l'essai aux vibrations aléatoires (voir 8.2 et 8.6).

La méthode 2 utilise une recherche et une étude des fréquences critiques, soit par excitation sinusoïdale, soit par excitation aléatoire, effectuées avant l'essai aux vibrations aléatoires, afin de rechercher la résonance possédant la plus étroite bande passante à -3 dB. Dans certains cas, la spécification particulière peut exiger une recherche et une étude des fréquences critiques supplémentaires (voir 8.6).

3.27 response points: Specific locations on the specimen at which data are gathered for the purpose of the vibration response investigation. These points are not check or reference points (see A.3.1).

3.28 root-mean-square value (ISO 2041 modified): The root-mean-square value (r.m.s. value) of a single-valued function over an interval between f_1 and f_2 is the square root of the average of the squared values of the function over the interval (see 4.3.4).

NOTE - In this test method, the r.m.s. values of acceleration, velocity and displacement can be calculated according to B.2.5.

3.29 standard deviation, σ (ISO 2041 modified): In vibration theory, the mean value of vibration is equal to zero. Therefore, the standard deviation is equal to the r.m.s. value.

3.30 statistical accuracy: Ratio of true acceleration spectral density to indicated spectral density (see 4.3.5).

3.31 statistical degrees of freedom (ISO 2041 modified): 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 (see 4.3.5).

3.32 sweep cycle (IEC 68-2-6): Traverse of the specified frequency range once in each direction, for example 5 Hz to 500 Hz to 5 Hz (see A.2.5).

3.33 true acceleration spectral density: Acceleration spectral density of the random waveform acting on the specimen (see 4.3.6).

3.34 window function (ISO 2041): Truncated function that is used for reducing the errors in processing weighted data points (see 4.3.6.2).

4 Requirements for testing

4.1 General

The required characteristics apply to the complete vibration system, which includes the power amplifier, vibrator, test fixture, specimen and control system when loaded for testing.

This standard provides for two test methods.

Method 1 normally uses only random vibration. However, the relevant specification may require a vibration response investigation, with either sinusoidal or random vibration excitation, before, or before and after, the random vibration (see 8.2 and 8.6).

Method 2 uses a vibration response investigation, with either sinusoidal or random vibration excitation, prior to the random vibration testing to search for the resonance with the narrowest -3 dB bandwidth. In certain circumstances, the relevant specification may require an additional vibration response investigation (see 8.6).

4.2 Recherche et étude des fréquences critiques

Les exigences concernant une excitation sinusoïdale et qui sont issues de celles de l'essai F_c (CEI 62-2-6), sont prescrites dans l'annexe normative A. Celles qui concernent une excitation aléatoire et qui sont issues de celles de l'essai aux vibrations aléatoires décrit en 4.3 sont également prescrites dans l'annexe A.

4.3 Essai par excitation aléatoire

4.3.1 Mouvement fondamental

Le mouvement fondamental des points de fixation du spécimen qui doivent être prescrits par la spécification particulière, et qui doivent avoir des mouvements sensiblement identiques, doit être rectiligne et de nature stochastique. Les valeurs instantanées de l'accélération doivent avoir une distribution normale (gaussienne). Si des mouvements sensiblement identiques ne peuvent pas être obtenus, on doit utiliser un asservissement à partir de plusieurs points.

4.3.2 Mouvement transversal

La densité spectrale d'accélération aux points de vérification, dans tout axe perpendiculaire à l'axe d'excitation, ne doit pas être supérieure à la valeur spécifiée de plus de 5 dB, et la valeur efficace de l'accélération associée ne doit pas être supérieure à 50 % de la valeur spécifiée pour le mouvement fondamental. Dans des cas spéciaux, par exemple pour les petits spécimens et si la spécification particulière le prescrit, la densité spectrale d'accélération du mouvement transversal admissible peut être limitée de façon à ne pas excéder le mouvement fondamental de plus de 3 dB.

A certaines fréquences, ou pour des spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut. Dans de tels cas, la spécification particulière doit dire laquelle des exigences suivantes s'applique:

- a) noter dans le rapport d'essai tout mouvement transversal dépassant les limites ci-dessus; ou
- b) ne pas contrôler le mouvement transversal s'il est réputé ne pas perturber le spécimen.

4.3.3 Distribution

La distribution des valeurs instantanées d'accélération au point de référence doit être normale (gaussienne) à l'intérieur des tolérances données à la figure 1. Avec la plupart des moyens d'essai de vibrations aléatoires, la distribution reste approximativement à l'intérieur de cette bande de tolérance. Une validation doit être réalisée durant la période de calibration normale du système (voir B.2.2).

Si un point de référence fictif est utilisé pour le pilotage, l'exigence sur la distribution s'applique à tous les points de vérification utilisés pour constituer la densité spectrale d'accélération d'asservissement.

Le facteur de crête ou l'écrêtage du signal d'excitation doit être prescrit par la spécification particulière et doit avoir une valeur d'au moins 2,5. L'onde d'accélération au point de vérification doit être examinée visuellement pour s'assurer de la présence de pics ayant une amplitude d'au moins 2,5 fois la valeur efficace spécifiée pour le signal.

4.2 *Vibration response investigation*

The requirements for sinusoidal excitation, which are derived from those of test Fc (IEC 68-2-6), are prescribed in the normative annex A. Those for random excitation, which are derived from those of random vibration testing in 4.3, are also prescribed in annex A.

4.3 *Testing with random excitation*

4.3.1 *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 and of a stochastic nature. The instantaneous acceleration shall have a normal (Gaussian) distribution. If substantially identical motions are difficult to achieve, then multipoint control shall be used.

4.3.2 *Transverse motion*

The acceleration spectral density at the check-points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed the specified value by more than 5 dB, and the associated r.m.s. acceleration value shall not exceed 50 % of that specified for the basic motion. In special cases, for example a small specimen, the acceleration spectral density of the permissible transverse motion may be limited so as not to exceed the basic motion by more than 3 dB, 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 values. In such cases, the relevant specification shall state which of the following applies:

- a) any transverse motion in excess of that given above shall be stated in the test report; or
- b) transverse motion which is known to offer no hazard to the specimen need not be monitored.

4.3.3 *Distribution*

The instantaneous acceleration values at the reference point shall have a normal (Gaussian) distribution within the tolerance band given in figure 1. For most random vibration testing systems, the distribution falls approximately within this tolerance band. A validation shall be performed during normal system calibration (see B.2.2).

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

The crest factor or drive signal clipping shall be prescribed by the relevant specification and shall have a value of at least 2,5. The acceleration waveform from the check-points shall be examined to ensure that the signal present contains peaks of at least 2,5 times the specified r.m.s value.

4.3.4 Tolérances sur les vibrations

La densité spectrale d'accélération indiquée, dans l'axe demandé, aux points de vérification et de référence, entre f_1 et f_2 de la figure 2, doit être égale à la densité spectrale d'accélération spécifiée à ± 3 dB près, du fait de l'erreur d'instrumentale (voir B.2.3.2). L'erreur aléatoire et l'erreur de biais ne sont pas comprises dans ces tolérances. L'erreur aléatoire peut être calculée (voir B.2.3.3). Quand la méthode 2 est utilisée, l'erreur de biais la plus forte permise doit être prescrite par la spécification particulière (voir 8.1 et B.2.3.4).

La valeur efficace de l'accélération calculée ou mesurée entre f_1 et f_2 , doit être égale à la valeur efficace associée à la densité spectrale de l'accélération spécifiée, à ± 10 % près. Ces valeurs sont applicables pour l'asservissement en un seul point et l'asservissement en plusieurs points.

A certaines fréquences, ou pour des spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut. Dans ces cas, il convient que la spécification particulière prescrive une tolérance plus large.

Les pentes initiale et finale ne doivent pas faire moins de +6 dB/octave ni plus de -24 dB/octave, respectivement. (Voir B.2.4).

4.3.5 Précision statistique

La précision statistique est déterminée à partir du nombre de degrés de liberté statistiques (N_d) comme suit:

$$N_d = 2B_e \times T_a \quad (1)$$

où

B_e est la résolution en fréquences et

T_a est la durée réelle sur laquelle est calculée la moyenne.

N_d ne doit pas être inférieur à 120 (voir aussi le tableau B.2 et la figure 6).

4.3.6 Résolution en fréquences

La résolution en fréquences, nécessaire pour minimiser la différence entre les densités spectrales d'accélération vraie et spécifiée, doit être à l'intérieur des limites données en 4.3.6.1 pour la méthode 1 ou en 4.3.6.2 pour le calcul à faire dans le cas de la méthode 2.

4.3.6.1 Méthode 1

La valeur maximale de la résolution en fréquences doit être choisie dans le tableau 1.

Tableau 1 – Résolution en fréquences, méthode 1

Gamme de fréquences		Limite supérieure de la valeur de la résolution en fréquences
f_1 Hz	f_2 Hz	
1	100	0,5
5	500	2,5
20	2 000	10
50	5 000	25

4.3.4 Vibration tolerances

The indicated acceleration spectral density in the required axis at the check and reference points between f_1 and f_2 in figure 2 shall be within ± 3 dB allowing for the instrument error, referred to the specified acceleration spectral density (see B.2.3.2). The random error and the bias error are not included in the tolerances. The random error can be calculated (see B.2.3.3). When using method 2 the highest permitted bias error shall be prescribed by the relevant specification (see 8.1 and B.2.3.4).

The r.m.s. value of acceleration, computed or measured, between f_1 and f_2 , shall be within ± 10 % of the r.m.s. value associated with the specified acceleration spectral density. These values are valid for both single-point and multipoint control.

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 and final slope shall be not less than +6 dB/octave and not more than -24 dB/octave respectively. (See B.2.4.)

4.3.5 Statistical accuracy

The statistical accuracy is determined from the statistical degrees of freedom (N_d) as follows:

$$N_d = 2B_e \times T_a \quad (1)$$

where

B_e is the frequency resolution; and

T_a is the effective averaging time.

N_d shall not be less than 120 (see also table B.2 and figure 6).

4.3.6 Frequency resolution

The frequency resolution necessary to minimize the difference between the true and the indicated acceleration spectral density shall be within the limits given in 4.3.6.1 for method 1, or in 4.3.6.2 for the calculation in the case of method 2.

4.3.6.1 Method 1

The maximum value of the frequency resolution shall be selected from table 1.

Table 1 – Frequency resolution, method 1

Test frequency range		Upper limit value of frequency resolution
f_1 Hz	f_2 Hz	
1	100	0,5
5	500	2,5
20	2 000	10
50	5 000	25

4.3.6.2 Méthode 2

La résolution en fréquences B_e doit être déduite de la recherche et de l'étude des fréquences critiques en choisissant la résonance qui a la plus petite bande passante à -3 dB: B_r (voir A.2.6 et A.3.1). La résolution en fréquences est alors calculée à partir de:

$$B_e = a \times B_r, \text{ où } a \text{ est inférieur à } 1 \quad (2)$$

Le facteur a tient compte de l'erreur de biais E_b et doit être déduit du tableau 2 (voir B.2.3.4).

Tableau 2 – Facteur a et erreur de biais pour une fenêtre de pondération rectangulaire

Erreur de biais E_b en dB	± 3	± 2	± 1	$\pm 0,5$
Facteur a	0,87	0,75	0,56	0,40
NOTE - Pour d'autres types de fenêtre de pondération, le facteur a doit être divisé par un facteur W pris dans le tableau B.3 (voir B.2.3.4).				

4.4 Fixation

Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, le spécimen doit être fixé selon les prescriptions de la CEI 68-2-6 qui se réfèrent à la CEI 68-2-47.

5 Sévérités

5.1 Généralités

La sévérité de l'essai est la résultante des paramètres suivants:

- gamme de fréquences;
- valeur de la densité spectrale d'accélération;
- forme de la densité spectrale d'accélération;
- durée de l'épreuve.

Les valeurs de chaque paramètre doivent être prescrites par la spécification particulière. Elles doivent être:

- a) choisies à partir des valeurs données de 5.2 à 5.5; ou
- b) dérivées d'un environnement connu si les valeurs sont significativement différentes; ou
- c) dérivées d'autres sources connues de données particulières (CEI 721, par exemple).

4.3.6.2 Method 2

The frequency resolution B_e shall be derived from the frequency response investigation by selecting the resonance with the narrowest -3 dB bandwidth B_r (see A.2.6 and A.3.1). The frequency resolution is then calculated from:

$$B_e = a \times B_r, \text{ where } a \text{ is less than } 1 \quad (2)$$

The factor a takes account of bias error E_b and shall be derived from table 2 (see B.2.3.4).

Table 2 – Factor a and bias error for rectangular window function

Bias error, E_b in dB	± 3	± 2	± 1	$\pm 0,5$
Factor a	0,87	0,75	0,56	0,40
NOTE - For other types of window function the factor a should be divided by the factor W taken from table B.3 (see B.2.3.4).				

4.4 Mounting

Unless otherwise prescribed by the relevant specification, the specimen shall be mounted in accordance with IEC 68-2-6, in which there is reference to IEC 68-2-47.

5 Severities

5.1 General

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

- test frequency range;
- value of acceleration spectral density;
- shape of acceleration spectral density;
- duration of testing.

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

- a) chosen from the values given in 5.2 to 5.5; or
- b) derived from the known environment if this gives significantly different values; or
- c) derived from other known sources of relevant data (for example IEC 721).

5.2 Gamme de fréquences d'essai

Si l'option a) de 5.1 est choisie, la gamme de fréquences de l'essai doit être sélectionnée parmi celles du tableau 3.

Tableau 3 – Gamme de fréquences d'essai

f_1 Hz	f_2 Hz
1	100
5	500
20	2 000
50	5 000

Les fréquences f_1 et f_2 et leurs relations avec la densité spectrale d'accélération sont indiquées dans la figure 2.

5.3 Densité spectrale d'accélération

Si l'option a) de 5.1 est choisie, la densité spectrale d'accélération (0 dB dans la figure 2) entre f_1 et f_2 doit être sélectionnée parmi les valeurs suivantes en $(\text{m/s}^2)/\text{Hz}$:

0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 50,0; 100,0.

NOTE - Pour ceux qui préfèrent les valeurs exprimées en g_r , celle-ci est prise égale à 10 m/s^2 dans le cadre de la présente norme.

5.4 Forme de la courbe de densité spectrale d'accélération

Cet essai spécifie une courbe de densité spectrale d'accélération comprenant une partie constante (figure 2). Dans certains cas, il peut être préférable de spécifier une courbe de densité spectrale d'accélération ayant une forme donnée. Dans de tels cas, la spécification particulière doit prescrire la forme en fonction de la fréquence. Les différents niveaux et les bandes de fréquences correspondantes, c'est-à-dire les points aux fréquences de transfert, doivent être, dans la mesure du possible, choisis parmi les valeurs données en 5.2 et 5.3. De plus, la spécification particulière doit prescrire les pentes entre ces niveaux.

5.5 Durée de l'épreuve

La durée suivant chaque axe doit être choisie parmi les valeurs suivantes données, en minutes, avec une tolérance de $^{+5}_0$ %:

1; 3; 10; 30; 100; 300.

6 Préconditionnement

La spécification particulière peut prescrire un préconditionnement; elle doit alors en préciser les conditions.

5.2 Test frequency range

If option a) of 5.1 is chosen, then the test frequency range shall be selected from table 3.

Table 3 – Test frequency range

f_1 Hz	f_2 Hz
1	100
5	500
20	2 000
50	5 000

Frequencies f_1 and f_2 and their relation to the acceleration spectral density are shown in figure 2.

5.3 Acceleration spectral density

If option a) of 5.1 is chosen, then the acceleration spectral density (0 dB in figure 2) between f_1 and f_2 shall be selected from the following values in $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$:

0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 50,0; 100,0.

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

5.4 Shape of acceleration spectral density curve

This test specifies an acceleration spectral density curve with a flat horizontal portion (see figure 2). 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 is the break points, shall be selected wherever possible from the values given in 5.2 and 5.3. Additionally, the relevant specification shall prescribe the slopes between the levels.

5.5 Duration of testing

The duration in each axis shall be selected from the following values, in minutes, with a tolerance of $^{+5}_0$ %:

1; 3; 10; 30; 100; 300.

6 Pre-conditioning

The relevant specification may call for pre-conditioning, and shall then prescribe the conditions.

7 Mesures initiales

Le spécimen doit être soumis aux vérifications visuelles, dimensionnelles et fonctionnelles prescrites par la spécification particulière (voir B.7).

8 Epreuve

8.1 Généralités

L'épreuve suit différentes voies suivant que la méthode 1 ou la méthode 2 est prescrite par la spécification particulière (voir la figure 8). Les étapes en sont:

Méthode 1

- recherche et étude initiales des fréquences critiques, si elles sont prescrites (voir 8.2);
- excitation à bas niveau pour l'égalisation avant l'épreuve (voir 8.3);
- épreuve aux vibrations aléatoires (voir 8.4);
- recherche et étude finales des fréquences critiques, si elles sont prescrites (voir 8.6).

Méthode 2

- recherche et étude initiales des fréquences critiques (voir 8.2);
- excitation à bas niveau pour l'égalisation avant l'épreuve (voir 8.3);
- épreuve aux vibrations aléatoires (voir 8.4);
- recherche et étude finales des fréquences critiques, si elles sont prescrites (voir 8.6).

Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, le spécimen doit être excité successivement suivant chacun des axes préférentiels d'essai. Sauf lorsque la spécification particulière le prescrit, l'ordre des essais selon ces axes n'a pas d'importance.

La densité spectrale d'accélération au point de référence doit être déterminée à partir d'un point de vérification si l'asservissement en un seul point est utilisé ou à partir du nombre de points de vérification dans le cas d'asservissement en plusieurs points. Dans ce dernier cas, la spécification particulière doit dire si la valeur moyenne des signaux recueillis aux points de vérification ou la valeur du signal recueilli en un point déterminé, par exemple celui qui a la plus forte amplitude, doit être asservie au niveau spécifié. Dans ces deux cas, le point devient un point fictif de référence.

Des dispositions particulières sont à prendre lorsqu'un spécimen, normalement utilisé avec amortisseurs de vibrations, est essayé sans eux (voir B.4).

8.2 Recherche et étude des fréquences critiques

Lorsque la méthode 1 est prescrite par la spécification particulière, une recherche et une étude des fréquences critiques ne sont pas exigées par cette méthode. Cependant, la spécification particulière peut prescrire une recherche et une étude des fréquences critiques avant, ou avant et à la fin, de l'essai aux vibrations aléatoires (voir 4.2 et annexe A).

7 Initial measurements

The specimen shall be submitted to the visual, dimensional and functional checks prescribed by the relevant specification (see B.7).

8 Testing

8.1 General

Testing follows different paths according to whether method 1 or method 2 is prescribed by the relevant specification (see figure 8). The steps are:

Method 1

- initial vibration response investigation, if prescribed (see 8.2);
- low-level excitation for equalization prior to testing (see 8.3);
- random vibration testing (see 8.4);
- final vibration response investigation, if prescribed (see 8.6).

Method 2

- initial vibration response investigation (see 8.2);
- low-level excitation for equalization prior to testing (see 8.3);
- random vibration testing (see 8.4);
- final vibration response investigation, if prescribed (see 8.6).

The specimen shall be vibrated 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.

The control acceleration spectral density 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 at the check-points or the value of the signal at a selected point, for example that with the highest magnitude, shall be controlled to the specified level. In either of these cases of multipoint control, the point becomes a fictitious reference point.

Special action is necessary when a specimen normally intended for use with vibration isolators needs to be tested without them (see B.4).

8.2 Vibration response investigation

When method 1 is prescribed by the relevant specification, a vibration response investigation is not required as part of the method. However, the relevant specification may prescribe a vibration response investigation either before, or before and after, the random vibration testing (see 4.2 and annex A).

Lorsque la méthode 2 est prescrite par la spécification particulière, on doit étudier le comportement du spécimen en vibration dans la gamme de fréquences de l'essai. La recherche et l'étude des fréquences critiques sont réalisées par une excitation sinusoïdale ou aléatoire dans la gamme de fréquences prescrite par la spécification particulière qui doit aussi définir les points de réponse sur le spécimen d'où doivent provenir les signaux (voir 4.2 et l'annexe A).

Lorsqu'une excitation sinusoïdale est utilisée, au moins un cycle de balayage dans la gamme de fréquences prescrite par la spécification particulière doit être effectué avec une amplitude d'accélération $\leq 10 \text{ m/s}^2$ ou une amplitude de déplacement de 5 mm, la valeur la plus faible étant prise en compte. L'amplitude de vibrations et la vitesse de balayage peuvent varier par rapport aux valeurs spécifiées si une détermination plus précise des caractéristiques de la réponse peut être ainsi obtenue. Il est conseillé d'éviter tout arrêt prolongé.

L'amplitude de vibrations peut aussi être réduite afin d'éviter au spécimen des contraintes plus fortes que celles que provoque l'essai de vibrations aléatoires, par exemple lorsque le spécimen est très sensible aux vibrations sinusoïdales.

Lorsqu'une excitation aléatoire est utilisée, la valeur efficace de l'accélération ne doit pas dépasser 25 % de la valeur spécifiée pour l'essai de vibrations aléatoires. La durée doit être aussi courte que possible mais assez longue pour analyser avec $N_d = 120$ degrés de liberté possibles (voir B.2.3.3 et la figure 6).

8.3 Excitation à bas niveau pour l'égalisation avant l'épreuve

Avant l'épreuve de vibrations aléatoires au niveau spécifié, il peut être nécessaire de soumettre le spécimen à une excitation aléatoire préliminaire à un niveau réduit afin d'égaliser le signal et de réaliser une analyse préliminaire. Il est important, à ce stade, que le niveau de densité spectrale d'accélération appliqué soit aussi réduit que possible.

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

- Au-dessous de -12 dB du niveau efficace spécifié, en g_n : pas de limite de durée.
- Entre -12 dB et -6 dB du niveau efficace spécifié, en g_n : inférieur à 1,5 fois la durée d'épreuve spécifiée.
- Entre -6 dB et 0 dB du niveau efficace spécifié, en g_n : inférieur à 10 % de la durée d'épreuve spécifiée.

La durée de l'excitation aléatoire préliminaire ne doit pas être déduite de la durée d'épreuve spécifiée.

8.4 Epreuve aux vibrations aléatoires

La spécification particulière doit choisir la gamme de fréquences appropriée (f_1 à f_2), le niveau de densité spectrale d'accélération, la forme de la densité spectrale d'accélération et la durée de l'épreuve. Lorsque la spécification particulière le prescrit, plusieurs mesures de la densité spectrale d'accélération et de la valeur efficace de l'accélération doivent être effectuées à des intervalles appropriés, soit pendant, soit après l'essai pour vérifier que la forme de l'onde aléatoire d'entrée est stable, et cela doit être noté dans le rapport d'essai.

When method 2 is prescribed by the relevant specification, the test frequency range shall be investigated in order to study the vibrational behaviour of the specimen. The vibration response investigation is performed with sinusoidal or random excitation as prescribed by the relevant specification, which shall also define the response points on the specimen from which the signals are derived (see 4.2 and annex A).

When sinusoidal excitation is used, at least one sweep cycle over the test frequency range prescribed by the relevant specification shall be performed with an acceleration amplitude $\leq 10 \text{ m/s}^2$ or a displacement amplitude of 5 mm, whichever is less. The vibration amplitude and the sweep rate may be varied from the specified values if more precise determination of the response characteristics can thereby be obtained. Undue dwell time should be avoided.

The vibration amplitude may also be reduced in order to prevent a higher stress on the specimen than during random vibration testing, for example when the specimen is very sensitive to sinusoidal vibration.

When random excitation is used, the r.m.s value of acceleration shall be not more than 25 % of the value specified to be used during the random vibration testing. The duration shall be as short as possible, but at least long enough to make an analysis with $N_d = 120$ possible degrees of freedom (see B.2.3.3 and figure 6).

8.3 *Low-level excitation for equalization prior to testing*

Prior to random 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 g_n r.m.s. level:	no time limit.
From -12 dB to -6 dB of the specified g_n r.m.s. level:	not more than 1,5 times the specified exposure.
Between -6 dB and 0 dB of the specified g_n 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 random vibration testing.

8.4 *Random vibration testing*

The relevant specification shall select the appropriate test frequency range (f_1 to f_2), the acceleration spectral density, the shape of the acceleration spectral density curve and the duration of exposure. When prescribed by the relevant specification, multiple measurements of the acceleration spectral density and of the r.m.s. value of acceleration, at the check-points, shall be made at appropriate intervals in order to verify that the random input waveform is stationary, and this shall be stated in the test report.

8.5 Mesures intermédiaires

Lorsque la spécification particulière le prescrit, le spécimen doit être en fonctionnement pendant un laps de temps donné au cours de l'épreuve et ses performances doivent être vérifiées (voir B.6).

8.6 Recherche et étude finales des fréquences critiques

Lorsque la méthode 2 est utilisée, et dans le cas de la méthode 1, si la spécification particulière a exigé la recherche et l'étude initiales des fréquences critiques, la spécification particulière peut également requérir une recherche et une étude supplémentaires des fréquences critiques à la fin de l'épreuve afin de déterminer si des changements ou des défaillances sont apparus depuis la recherche et l'étude initiales des fréquences critiques. La recherche et l'étude finales des fréquences critiques doivent être réalisées de la même manière, aux mêmes points de mesure et avec les mêmes paramètres que lors de la recherche et de l'étude initiales. La spécification particulière doit indiquer ce qu'il faut faire si des résultats différents sont obtenus lors de ces deux recherches.

9 Reprise

Il est parfois nécessaire de laisser s'écouler un certain temps après l'épreuve et avant les mesures finales pour permettre au spécimen de se retrouver dans les mêmes conditions qu'au début des mesures initiales en ce qui concerne la température. La spécification particulière doit alors prescrire les conditions de reprise.

10 Mesures finales

Le spécimen doit être soumis aux vérifications visuelles, dimensionnelles et fonctionnelles prescrites par la spécification particulière.

La spécification particulière doit donner les critères sur lesquels doit être fondée la décision d'acceptation ou de rejet du spécimen (voir B.7).

11 Renseignements que doit donner la spécification particulière

Lorsque cet essai est inclus dans une spécification particulière, les détails suivants doivent être donnés, pour autant qu'ils soient applicables, en faisant particulièrement attention aux points repérés par un astérisque (*) pour lesquels des renseignements doivent être donnés dans tous les cas.

8.5 *Intermediate measurements*

When prescribed by the relevant specification, the specimen shall be functioning during a prescribed time interval during the testing, and its performance shall be checked (see B.6).

8.6 *Final vibration response investigation*

When method 2 is applied, and in the case of method 1 if the relevant specification has prescribed an initial vibration response investigation, the relevant specification may also require an additional vibration response investigation on completion of the random vibration testing, in order to determine whether changes or failures have occurred since the initial vibration response investigation. The final vibration 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.

9 **Recovery**

It is sometimes necessary to provide a period of time after testing and before final measurements to allow the specimen to attain the same conditions, for example of temperature, as existed for the initial measurements. The relevant specification shall then prescribe the conditions for recovery.

10 **Final measurements**

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

The relevant specification shall provide the criteria upon which the acceptance or rejection of the specimen is to be based (see B.7).

11 **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.

	Articles et paragrophes
a) Recherche et étude initiales des fréquences critiques, méthode 1 (utilisant une excitation sinusoïdale ou aléatoire)	4.1, 8.2
b) Recherche et étude initiales des fréquences critiques, utilisant une excitation sinusoïdale ou aléatoire, méthode 2*	4.1, 8.2
c) Recherche et étude finales des fréquences critiques, méthode 1 et méthode 2	4.1, 8.6
d) Points de fixation*	4.3.1
e) Mouvement transversal	4.3.2
f) Facteur de crête* ou écrêtage du signal d'excitation*	4.3.3
g) Tolérances sur les vibrations	4.3.4
h) Erreur de biais permise (pour la méthode 2)*	4.3.4
i) Montage du spécimen	4.4
j) Gamme de fréquences de l'essai*	5.2, 8.4
k) Niveau de densité spectrale d'accélération*	5.3, 8.4
l) Forme de la courbe de densité spectrale d'accélération*	5.4, 8.4
m) Durée d'exposition*	5.5, 8.4
n) Préconditionnement	6
o) Mesures initiales*	7
p) Méthode 1 ou méthode 2*	8.1
q) Asservissement à partir de plusieurs points	8.1
r) Axes d'essai et ordre des essais	8.1
s) Points de mesure des réponses, méthode 2	8.2
t) Mesure multiple de la densité spectrale d'accélération	8.4
u) Mesures intermédiaires	8.5
v) Reprise	9
w) Mesures finales et critères d'acceptation* ou de rejet	10

	Clauses and subclauses
a) Initial vibration response investigation, method 1 (sinusoidal or random excitation)	4.1, 8.2
b) Vibration response investigation using sinusoidal or random excitation, method 2*	4.1, 8.2
c) Final vibration response investigation, method 1 and method 2	4.1, 8.6
d) Fixing points*	4.3.1
e) Transverse motion	4.3.2
f) Crest factor or drive signal clipping*	4.3.3
g) Vibration tolerances	4.3.4
h) Permitted bias error (for method 2)*	4.3.4
i) Mounting	4.4
j) Test frequency range*	5.2, 8.4
k) Acceleration spectral density level*	5.3, 8.4
l) Shape of acceleration spectral density curve*	5.4, 8.4
m) Duration of exposure*	5.5, 8.4
n) Pre-conditioning	6
o) Initial measurements*	7
p) Method 1 or method 2*	8.1
q) Multipoint control	8.1
r) Testing axes and order of testing	8.1
s) Response points, method 2	8.2
t) Multiple measurements of acceleration spectral density	8.4
u) Intermediate measurements	8.5
v) Recovery	9
w) Final measurements and acceptance or rejection criteria*	10

Annexe A (normative)

Recherche et étude des fréquences critiques

A.1 Introduction

La recherche et l'étude des fréquences critiques sont très utiles par la connaissance du comportement dynamique d'un spécimen et peuvent être nécessaires dans la méthode 1 s'il est demandé que des effets mécaniques ou structurels soient déterminés.

Pour un essai aux vibrations aléatoires réalisé selon la méthode 2, la recherche et l'étude des fréquences critiques sont également essentielles pour sélectionner la résonance possédant la plus étroite bande passante à -3 dB, B_r , pour permettre de déterminer la valeur limite de la résolution en fréquences, B_e , d'après l'équation (2).

Il est nécessaire de connaître les caractéristiques de la réponse en fréquences en diverses positions du spécimen afin d'éviter d'omettre une résonance structurelle du fait du choix d'un point de mesure qui pourrait se trouver sur un noeud de vibration pour un mode particulier de vibration. Par conséquent, les signaux qui seront utilisés pour déterminer B_r doivent être issus des points de mesure soigneusement choisis par la spécification particulière. Lorsqu'il n'est pas possible pour la spécification particulière de déterminer ces points de mesure, il est recommandé que le choix des emplacements structurels majeurs soit réalisé par l'ingénieur d'essai.

Il est très important que les moyens pour mesurer les effets sur les emplacements sélectionnés du spécimen n'affectent pas substantiellement le mouvement dynamique de ces emplacements ou de la structure dans son entier.

Il convient également de rappeler que, dans le cas de structures non linéaires, les fréquences de résonance peuvent varier selon le sens de variation de la fréquence d'excitation pendant le balayage. L'amplification peut aussi dépendre de l'amplitude de la vibration d'excitation.

Une recherche et une étude de fréquences critiques réalisées à l'issue de l'épreuve aux vibrations aléatoires peuvent être utiles pour identifier les résonances pour lesquelles les fréquences changent. De telles variations peuvent indiquer des changements dans les caractéristiques du spécimen ou qu'une rupture est survenue.

A.2 Vibrations sinusoïdales

Les exigences devant être satisfaites sont les suivantes; elles sont en accord avec celles de l'essai F_c (CEI 68-2-6).

A.2.1 *Mouvement fondamental*

Le mouvement fondamental doit être une fonction sinusoïdale du temps tel que les points de fixation du spécimen sur la table vibrante, qui doivent être prescrits par la spécification particulière, se déplacent sensiblement en phase et suivant des directions rectilignes et parallèles, compte-tenu des limitations de A.2.2, A.2.3 et A.2.4.

Annex A (normative)

Vibration response investigation

A.1 Introduction

Vibration response investigations are most useful for examining the dynamic behaviour of a specimen, and may be necessary for method 1 if mechanical or structural effects need to be determined.

For a random vibration test according to method 2, the response investigation is essential in order to select the resonance with the narrowest -3 dB bandwidth B_r to enable calculation of the limiting frequency resolution B_e given in equation (2).

It is necessary to obtain the frequency response characteristics of the test specimen from several locations to avoid missing a structural resonance due to the chosen response point being a nodal point for a particular mode of vibration. Therefore, the signals which are to be used to find B_r shall be derived from response points which should be carefully chosen by the relevant specification. Where it is not possible for the relevant specification to determine these response points, it is recommended that a number of structural locations are chosen by the test engineer.

It is very important that any measuring arrangements made to detect the effect upon the selected part of the specimen shall not substantially change the dynamic behaviour of that part and of the specimen as a whole.

It should be remembered that, in the case of non-linear resonances, the resonance frequencies will change depending on the direction of the frequency variation during the sweep. Also, the amplification may be dependent on the magnitude of the input vibration.

A vibration response investigation carried out after the random vibration testing can be used to identify changes in the frequency at which resonances occur. Such a variation may indicate that some change of specimen characteristics or failure has taken place.

A.2 Sinusoidal vibration

The requirements to be satisfied are the following, which are generally in accord with those of test Fc (IEC 68-2-6).

A.2.1 Basic motion

The basic motion shall be a sinusoidal function of time such that the fixing points of the specimen, which shall be prescribed by the relevant specification, move substantially in phase and in straight parallel lines, subject to the limitations imposed in A.2.2, A.2.3 and A.2.4.

A.2.2 *Mouvement transversal*

Le niveau maximal de vibrations du mouvement fondamental aux points de vérification et selon tout axe perpendiculaire à l'axe spécifié, ne doit pas dépasser 50 % de l'amplitude spécifiée jusqu'à 500 Hz ni 100 % pour les fréquences dépassant 500 Hz. Dans les cas spéciaux, par exemple pour les petits spécimens, l'amplitude du mouvement transversal toléré peut être limité à 25 % si la spécification particulière le prescrit.

A certaines fréquences ou pour des spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut. Dans de tels cas, la spécification particulière doit dire laquelle des exigences suivantes s'applique:

- a) noter dans le rapport d'essai tout mouvement transversal dépassant les limites ci-dessus;
- b) ne pas contrôler le mouvement transversal qui est réputé comme ne perturbant pas le spécimen.

A.2.3 *Distorsion*

La mesure de la distorsion d'accélération doit être faite sur le signal provenant du point de référence avec une bande passante d'analyse allant jusqu'à 5 000 Hz ou égale à cinq fois la fréquence d'excitation, la valeur la plus faible étant retenue. Cependant, cette fréquence maximale d'analyse peut être étendue à la plus haute fréquence d'essai pour un balayage ou au-delà, si la spécification particulière le prescrit.

La distorsion, comme définie en 3.9, ne doit pas dépasser 25 % du mouvement fondamental.

Lorsque l'excitation sinusoïdale est utilisée pour la recherche et l'étude des fréquences critiques (voir 8.2) et que la distorsion est forte, le système de mesure indique un niveau de vibrations incorrect puisqu'il contient la fréquence désirée et un grand nombre de fréquences parasites. Il en résulte, à cette fréquence, une amplitude plus faible que spécifiée. Jusqu'à la valeur de distorsion spécifiée, cette erreur peut être tolérée; cependant, au-dessus de cette valeur, il peut être nécessaire de rétablir le niveau de la composante fondamentale à son amplitude requise. Il y a plusieurs moyens pour ce faire mais il est recommandé d'utiliser un filtre de poursuite. Si le niveau de la composante fondamentale est rétabli, la contrainte voulue sera appliquée au spécimen, à la fréquence requise. Cependant, le niveau des fréquences parasites va augmenter lui aussi et il en résultera des contraintes supplémentaires. Si cela conduit à des contraintes exagérément élevées, il peut être préférable de modifier l'exigence sur le niveau de distorsion requis.

Dans le cas de spécimens grands ou complexes, où les valeurs de distorsion spécifiées ne peuvent pas être respectées en certains points de la gamme de fréquences et où il n'est guère possible d'utiliser un filtre de poursuite, il n'est pas nécessaire de rétablir l'amplitude de l'accélération, mais la distorsion doit être notée dans le rapport d'essai.

La spécification particulière peut demander que l'on note les valeurs de la distorsion définie ci-dessus ainsi que la gamme de fréquences concernée, qu'un filtre de poursuite ait été ou non utilisé.

A.2.2 *Transverse motion*

The maximum vibration amplitude of the fundamental motion at the check points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed 50 % of the specified amplitude up to 500 Hz or 100 % for frequencies above 500 Hz. In special cases, for example with small specimens, the amplitude of the permissible transverse motion may be limited to 25 %, if prescribed by the relevant specification.

At some frequencies, or with large-size or high-mass specimens, it may be difficult to achieve these values. In such cases, the relevant specification shall state which of the following applies:

- a) any transverse motion in excess of that given above shall be stated in the test report;
- b) transverse motion which is known to offer no hazard to the specimens need not be monitored.

A.2.3 *Distortion*

The acceleration distortion measurement shall be carried out on the signal from the reference point, and shall cover the frequencies up to 5 000 Hz or five times the driving frequency, whichever is the lesser. However, this maximum analysing frequency may be extended up to the upper test frequency for the sweep, or beyond, if specified in the relevant specification.

The distortion, as defined in 3.9, shall not exceed 25 % of the basic motion.

When sinusoidal excitation is used for the vibration response investigation (see 8.2) and the distortion is high, the measuring system will indicate a vibration level which is incorrect, since it contains the required frequency and many unwanted frequencies. This will result in a lower amplitude at the required frequency than is specified. Up to the distortion value specified, this error can be tolerated; however, above this value it may be necessary to restore the level of the fundamental to its required amplitude. This can be done in a number of ways but it is recommended that a tracking filter be used. If the level of the fundamental is restored, the specimen will be subjected to the intended stress at the required frequency. However, the unwanted frequencies will also increase and as a result there will be some additional stresses. If this gives rise to unrealistically high stresses, it may be more appropriate to modify the distortion level requirement.

In the case of large or complex specimens, where the specified values of distortion cannot be satisfied at some parts of the frequency range and it is impracticable to use a tracking filter, the acceleration need not be restored, and the distortion shall then be stated in the test report.

The relevant specification may require that the distortion together with the frequency range affected is noted, whether or not a tracking filter has been used.

A.2.4 Tolérances sur l'amplitude de la vibration

Le mouvement fondamental suivant l'axe requis, aux points de vérification et de référence, doit être égal à la valeur spécifiée avec les tolérances ci-après. Celles-ci comprennent les erreurs de mesure. Tout dépassement de ces tolérances doit être noté dans le rapport d'essai.

A.2.4.1 Points de vérification

La tolérance sur l'amplitude de la vibration en chaque point de vérification, avec un asservissement en un seul point, est de:

- ±25 % jusqu'à 500 Hz;
- ±50 % au-dessus de 500 Hz.

A.2.4.2 Point de référence

Normalement, l'essai est réalisé avec un asservissement en un seul point (voir B.2.1) et la tolérance au point de référence est de:

- ±15 %.

S'il est difficile de respecter les valeurs spécifiées, on peut utiliser l'asservissement à partir de plusieurs points, avec asservissement par la moyenne ou par la valeur extrême des signaux aux points de vérification. Dans ces cas d'asservissement à partir de plusieurs points, le point devient un point de référence fictif.

A.2.4.3 Fréquence

Les tolérances sur la fréquence sont les suivantes:

- ±20 % de 1 Hz à 5 Hz;
- ±1 Hz de 5 Hz à 50 Hz;
- ±2 % au-dessus de 50 Hz.

Quand il faut comparer des fréquences critiques avant et après l'épreuve, les tolérances suivantes doivent être respectées:

- ±10 % de 1 Hz à 5 Hz;
- ±0,5 Hz de 5 Hz à 100 Hz;
- ±0,5 % au-dessus de 100 Hz.

A.2.5 Balayage

En général, le balayage doit être continu et la fréquence doit varier exponentiellement en fonction du temps à une vitesse inférieure ou égale à une octave par minute sur toute la bande de fréquences de l'essai (voir 3.32).

NOTE - Avec un système d'asservissement numérique, il n'est pas strictement correct de parler de balayage «continu», mais la différence est pratiquement sans importance.

A.2.4 *Vibration tolerances*

The basic motion along the required axis at the check and reference points shall be equal to the specified values within the following tolerances. These tolerances include uncertainties of measurement. Failures to meet the tolerances shall be stated in the test report.

A.2.4.1 *Check-points*

The vibration tolerance on the amplitude at each check-point with single-point control is:

±25 % up to 500 Hz;

±50 % above 500 Hz.

A.2.4.2 *Reference point*

Usually the test is performed with single point control (see B.2.1) when the vibration tolerance on the amplitude at the reference point is:

±15 %.

If it is difficult to achieve the required value, multipoint control may be used by controlling the averaged or extremal value of the signals at the check-points. In either of these cases of multipoint control the point is a fictitious reference point.

A.2.4.3 *Frequency*

The tolerances are:

±20 % from 1 Hz to 5 Hz;

±1 Hz from 5 Hz to 50 Hz;

±2 % above 50 Hz.

If both initial and final vibration response investigations are performed, the following tolerances shall apply:

±10 % from 1 Hz to 5 Hz;

±0,5 Hz from 5 Hz to 100 Hz;

±0,5 % above 100 Hz.

A.2.5 *Sweeping*

Generally, sweeping shall be continuous with the frequency changing exponentially with time at a rate of not greater than 1 octave per minute over the whole test frequency range (see 3.32).

NOTE - With a digital control system it is not strictly correct to refer to the sweeping being "continuous", but the difference is of no practical significance.

A.2.6 Détermination de B_e , B_r

Durant le balayage, lors d'une excitation sinusoïdale, la courbe de la réponse en un point de réponse donné doit être tracée après division par le niveau d'excitation en vibrations. Cette courbe montre la résonance et la bande passante à -3 dB associée B_r . La fréquence de résonance ayant la plus étroite bande passante B_r doit être choisie pour la détermination de la résolution en fréquence B_e en accord avec l'équation (2). Ce traitement déterminera la résolution en fréquence minimale nécessaire pour détecter tous les pics et les creux de la densité spectrale de l'accélération au point de référence.

A.3 Excitation aléatoire

Les exigences de 4.3 doivent être suivies lorsque la recherche et l'étude des fréquences critiques sont réalisées par excitation aléatoire et il est recommandé que la densité spectrale de l'accélération du signal d'asservissement soit constante.

A.3.1 Détermination de B_e , B_r

La courbe de la densité spectrale de l'accélération en un point de réponse donné doit être tracée après division par la densité spectrale d'accélération d'excitation au point de référence. La racine carrée de cette courbe montre la résonance et la bande passante à -3 dB associée B_r .

La fréquence ayant la plus étroite bande passante B_r doit être choisie pour la détermination de la résolution en fréquence B_e , en accord avec l'équation (2).

Il convient de noter que la résolution en fréquence lors de cette recherche doit être suffisamment élevée pour déterminer convenablement la plus étroite bande passante à -3 dB, et il est recommandé d'obtenir un minimum de cinq lignes spectrales dans la plus étroite bande passante à -3 dB.

A.2.6 Calculation of B_e , B_r

During the sweep with sinusoidal excitation, the response at the prescribed response points shall be divided by the input vibration level and plotted. This curve will show the resonances and their associated -3 dB bandwidths B_r . The resonance with the narrowest B_r shall be chosen for the estimation of the frequency resolution B_e according to equation (2). This process will determine the frequency resolution, which is the minimum necessary to detect all peaks and notches of the indicated acceleration spectral density at the reference point.

A.3 Random excitation

The requirements of 4.3 shall be followed when conducting a response investigation with random excitation, and it is recommended that a flat acceleration spectral density input be used.

A.3.1 Calculation of B_e , B_r

The acceleration spectral density at the prescribed response points shall be divided by the acceleration spectral density input at the reference point and plotted. The square root of this curve, when plotted, will show the resonances and the associated -3 dB bandwidth B_r . The resonance with the narrowest B_r shall be chosen for the estimation of the frequency resolution B_e , according to equation (2).

It should be noted that the frequency resolution for this method of response investigation will need to be sufficiently high to determine adequately the narrowest -3 dB bandwidth, and it is recommended that at least five spectral lines are contained within the narrowest -3 dB bandwidth.

Annexe B (informative)

Guide

B.1 Introduction générale

Parvenir à la reproductibilité n'est pas facile. Du fait de la nature statistique du mouvement aléatoire, de la réponse complexe du spécimen et des erreurs apparaissant dans le processus d'analyse, il n'est pas possible de prévoir si la densité spectrale d'accélération vraie du signal d'entrée au spécimen sera proche de la densité spectrale d'accélération affichée et dans les tolérances pré-définies. Une analyse complexe et longue est nécessaire après l'essai car une estimation en temps réel n'est pas possible.

La performance de la plupart des matériels numériques de pilotage de vibrations, susceptibles d'être employés pour les essais aux vibrations aléatoires, peut être supposée comme similaire. En utilisant certains paramètres disponibles du matériel de pilotage, un calcul préliminaire peut être effectué pour estimer l'incertitude associée à la différence entre la valeur affichée et la valeur vraie de la densité spectrale d'accélération. Ces paramètres, dépendant les uns des autres, peuvent cependant être choisis afin qu'une similitude optimale soit obtenue entre les deux densités spectrales d'accélération.

L'égalisation de la densité spectrale d'accélération spécifiée nécessite de parcourir plusieurs fois la boucle d'asservissement, la durée dépendant de plusieurs facteurs, tels que la configuration du matériel, la fonction de transfert totale du système, la forme de la densité spectrale d'accélération spécifiée, l'algorithme d'asservissement et les paramètres d'essai qui peuvent être ajustés avant l'essai. Les paramètres d'essai concernés sont: la fréquence d'analyse maximale, la résolution en fréquence et l'écrtage du signal d'excitation.

L'algorithme d'asservissement pour les vibrations aléatoires implique un compromis entre la précision de l'asservissement et le temps de réponse de la boucle d'asservissement, qui est dépendant, par exemple, du nombre d'acquisitions par boucle. Un asservissement de haute précision nécessite un grand nombre de données d'entrée et donc une durée de la boucle plus élevée et une réponse plus lente à des changements dynamiques de la densité spectrale d'accélération effective. De même, la résolution en fréquences a une grande influence sur les erreurs et sur la durée de la boucle. Normalement, une résolution en fréquence très fine conduit à une grande précision d'asservissement et à une erreur de biais faible mais à une longue durée de la boucle d'asservissement, ce qui provoque une grande erreur aléatoire (voir B.2.3.3). Afin de diminuer l'écart entre les densités spectrales d'accélération réelle et affichée, l'optimisation des paramètres d'essai ci-dessus mentionnés est nécessaire.

La méthode 1 conduit à une plus faible probabilité d'obtention de reproductibilité que la méthode 2 (voir 1). Si la méthode 2 est utilisée, la recherche et l'étude des fréquences critiques donnent des renseignements essentiels sur l'interaction entre le spécimen et la table vibrante; par exemple, cette recherche peut faire apparaître une amplification excessive du bâti de fixation ou une coïncidence entre une résonance du spécimen et du bâti de fixation. Il est ainsi possible de choisir le bâti de fixation et les paramètres d'essai les plus appropriés pour parvenir à une bonne reproductibilité.

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 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 uncertainty associated with the difference between the indicated and the true acceleration spectral density. 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: maximum analysing frequency, 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 and small bias error but a longer control loop time. However, this may lead to a larger random error, but see B.2.3.3. In order to minimize the deviation between the true and the indicated acceleration spectral density at the specimen, optimization of the above-mentioned test parameters is required.

Method 1 gives a lower probability of achieving reproducibility as compared with method 2 (see 1). In the case of method 2, the 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. Thus it is possible to choose the most appropriate test fixture and test parameters in order to achieve reproducibility.

Une erreur très importante de biais peut survenir sur un spécimen à faible amortissement et à fréquence de résonance basse du fait de la faible résolution en fréquence de la méthode 1. Le tableau B.1 montre que si le spécimen a un taux d'amortissement de 0,1 et une fréquence de résonance inférieure à 3 % de f_2 (voir le tableau 3), l'erreur de biais sera de 3 dB ou plus. Dans de tels cas, il convient, soit que la spécification particulière prescrive un élargissement des tolérances, soit qu'elle recommande la méthode 2 afin d'assurer une erreur de biais faible pendant l'essai et une plus haute reproductibilité. Cependant, il est difficile de prédire les taux d'amortissement et les fréquences de résonance d'un spécimen comme indiqué dans le tableau B.1 sans qu'une recherche et une étude des fréquences critiques soient utilisées. Seuls des spécimens très petits et rigides pourront aisément convenir à des essais selon la méthode 1 sans recherche et étude des fréquences critiques.

Tableau B.1 – Limites de fréquence de résonance pour une erreur de biais donnée pour 200 lignes de fréquence

Taux d'amortissement	Fréquence de résonance (en pourcentage de f_2) pour des erreurs de biais de 3 dB et 6 dB	
	3 dB	6 dB
	%	%
0,005	62	51
0,01	35	29
0,05	7	6
0,1	3	2,5

B.2 Conditions de réalisation de l'essai

B.2.1 Asservissement à partir d'un seul point ou de plusieurs points

La satisfaction aux exigences de l'essai est validée par un calcul de la densité spectrale de l'accélération effectué à partir du signal aléatoire mesuré au point de référence.

Pour des spécimens rigides et de faibles dimensions, par exemple pour des essais de composants, il suffit d'un seul point de vérification qui devient alors le point de référence.

Dans le cas de spécimens grands ou complexes, par exemple de matériels ayant des points de fixation éloignés les uns des autres, il faut que soit spécifié comme point de référence, soit un des points de vérification, soit un point fictif. S'il s'agit d'un point fictif, la densité spectrale de l'accélération est calculée à partir des signaux aléatoires mesurés aux points de vérification. Il est recommandé que, pour les spécimens grands ou complexes, un point fictif soit utilisé (voir 3.4).

B.2.1.1 Asservissement à partir d'un seul point

Les mesures sont faites en un point de référence et la densité spectrale de référence de l'accélération indiquée est directement comparée à la densité spectrale de l'accélération spécifiée.

A very large bias error can occur for low damping ratio and low resonance frequency of a specimen with the small number of frequency lines of method 1. Table B.1 shows that if the test specimen has a damping ratio of 0,1, and a resonance frequency below 3 % of f_2 (see table 3), then the bias error will be 3 dB or more. In such cases, the relevant specification should either prescribe a wider tolerance, or recommend method 2 in order to ensure low bias errors in testing, and higher reproducibility. However, it is difficult to predict damping ratios and resonance frequencies of a specimen as related to table B.1, unless the frequency response investigation is performed. Only very small and stiff specimens will easily fit method 1 testing without a frequency response investigation.

Table B.1 – Lower resonance frequency limits for a given bias error for 200 frequency lines

Damping ratio	Resonance frequency (in percentage of f_2) for bias errors of 3 dB and 6 dB	
	3 dB	6 dB
	%	%
0,005	62	51
0,01	35	29
0,05	7	6
0,1	3	2,5

B.2 Requirements for testing

B.2.1 Single-point and multipoint control

The test requirements are confirmed by the acceleration spectral density computed from the random signal measured at the reference point.

For stiff or small-size specimens, for example in component testing, there need only be one check-point, which then becomes the reference point.

In the case of large or complex specimens, for example equipments 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 the random signals measured at the check-points. It is recommended that for large and/or complex specimens a fictitious point is used (see 3.4).

B.2.1.1 Single-point control

Measurements are made at one reference point and the indicated acceleration spectral density is directly compared with the specified acceleration spectral density.

B.2.1.2 Asservissement à partir de plusieurs points

Lorsqu'un asservissement en plusieurs points est spécifié, ou nécessaire, on peut choisir entre plusieurs techniques d'asservissement dans le domaine des fréquences.

B.2.1.2.1 Technique de la moyenne

Dans cette méthode, la densité spectrale de l'accélération est calculée à partir des signaux de chaque point de vérification. Une densité spectrale d'accélération composite est formée par la moyenne arithmétique des densités spectrales de l'accélération des points de vérification.

Cette moyenne arithmétique des densités spectrales de l'accélération est ensuite comparée à la densité spectrale de l'accélération spécifiée.

B.2.1.2.2 Technique des extrêmes

Dans cette méthode, la densité spectrale de l'accélération composite est calculée à partir des valeurs maximales de chaque raie de fréquence de la densité spectrale de l'accélération mesurée à chaque point de vérification.

Cette technique permet d'obtenir une densité spectrale de l'accélération qui représente l'enveloppe des densités spectrales de l'accélération de chaque point de vérification.

B.2.2 Distribution

B.2.2.1 Distribution des valeurs instantanées

La distribution des valeurs instantanées du signal d'excitation employé durant l'épreuve est appelée distribution normale, ou gaussienne, et est définie par l'équation:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\sigma} \right)^2} \quad (3)$$

où

$p(x)$ est la densité de probabilité;

σ est la valeur efficace du signal d'excitation: écart-type;

x est la valeur instantanée du signal d'excitation.

La valeur moyenne du signal temporel d'excitation est présumée être nulle.

La fonction de la densité de probabilité normale est présentée à la figure 3.

Le concept de distribution normale est théorique; dans la pratique, il n'est généralement pas possible d'obtenir des données réellement gaussiennes. La plupart des signaux ont une gamme de valeurs finie alors que les signaux à distribution normale ont nécessairement une gamme de valeurs infinie.

Parmi les raisons de supposer normale la distribution, on peut citer les suivantes.

- La distribution normale est bien définie. Cela facilite l'établissement d'un modèle pour une situation donnée et permet ensuite d'affirmer les conséquences sur le plan statistique.

B.2.1.2 *Multipoint control*

When multipoint control is specified or necessary, a choice of frequency domain control strategies is available.

B.2.1.2.1 *Averaging strategy*

In this method, the acceleration spectral density is computed from the signal from each check-point. A composite acceleration spectral density is formed by arithmetically averaging the acceleration spectral density from the check-points.

This arithmetically averaged acceleration spectral density is then compared with the specified acceleration spectral density.

B.2.1.2.2 *Extremal strategy*

In this method, a composite acceleration spectral density is computed from the maximum extreme values of each frequency line of the acceleration spectral density measured at each check-point.

This strategy will produce an acceleration spectral density that represents the envelope of the acceleration spectral density from each check-point.

B.2.2 *Distribution*

B.2.2.1 *Distribution of the instantaneous values*

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

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\sigma} \right)^2} \quad (3)$$

where

$p(x)$ is the probability density;

σ is the r.m.s. value of the drive signal = standard deviation;

x is the instantaneous drive signal value.

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

The normal probability density function is shown in figure 3.

The concept of the normal distribution is theoretical; in practice it is usually not possible to have truly normal data. Most signals have a finite range of values but normally distributed signals necessarily have an infinite range.

Among the reasons for assuming a normal distribution are the following.

- There is a large body of knowledge about the normal distribution. This makes it easy to establish a model of a given situation and then make statements about the resulting statistics.

- Le théorème de la limite centrale montre que la somme des variables de toute distribution tend vers une distribution normale si plusieurs d'entre elles sont additionnées ensemble. Le procédé de filtrage de signaux équivaut à additionner une quantité d'observations et tend ainsi à produire des signaux à distribution normale.
- Toute transformation linéaire d'une variable normale est elle-même normale.
- La distribution des valeurs instantanées des données mesurées pendant des vibrations aléatoires sur le terrain peut généralement être bien assimilée à une distribution normale.

B.2.2.2 *Facteur de crête*

Le facteur de crête, ou le niveau d'écîtage du signal, limite la valeur instantanée d'un processus aléatoire à large bande, comme l'indique la figure 4.

Le facteur de crête prescrit par cette norme ne doit pas être inférieur à 2,5 (voir 4.3.3). Pour une amplitude aléatoire à distribution normale, cela signifie que si l'on a un facteur de crête de 2,5, environ 99 % de toutes les valeurs instantanées d'accélération seront appliquées à l'amplificateur de puissance.

Cependant, lorsque la spécification particulière prescrit une densité spectrale de l'accélération plus élevée dans les basses fréquences, disons en dessous de 20 Hz, le déplacement de crête risque de dépasser les capacités du moyen d'essai. Dans ces cas, il peut être nécessaire de réduire le facteur de crête à un niveau qui conduise à des déplacements de crête acceptables.

Si l'on utilise une densité spectrale de l'accélération de forme donnée, qui possède un important contenu en basses fréquences comparé à celui des hautes fréquences, l'application d'un facteur de crête au moins égal à 2,5 peut alors conduire à une fonction de densité de probabilité non-gaussienne pour le signal d'excitation résultant. Deux lobes peuvent apparaître dans la fonction analogue à celle d'une onde sinusoïdale, (voir la figure 5).

Le facteur de crête peut être uniquement appliqué au signal d'excitation sortant d'un système numérique d'asservissement des vibrations, car les éléments non linéaires du système, c'est-à-dire l'amplificateur de puissance, le générateur de vibrations, le bâti de fixation et le spécimen, peuvent modifier l'onde aléatoire au point de vérification. Ces éléments non linéaires couvrant une large bande de fréquences, sont généralement non contrôlables.

B.2.3 *Tolérances*

B.2.3.1 *Tolérances sur les vibrations*

Lors de l'établissement des limites de tolérance sur la densité spectrale de l'accélération au point de référence, il convient que toutes les erreurs soient considérées lorsqu'elles participent à l'erreur totale. Afin de choisir les paramètres pour ajuster la précision statistique et d'analyse, il convient de savoir quelle erreur spécifique peut être affectée à:

- l'erreur d'instrumentation (voir B.2.3.2);
- l'erreur aléatoire (voir B.2.3.3);
- l'erreur de biais (voir B.2.3.4).

- The central limit theorem shows that the sum of variables of any distribution tends to be normally distributed if many of them are added together. The process of filtering signals turns out to be the equivalent of adding a number of observations and so tends to produce normally distributed signals.
- Any linear transformation of a normal variable is itself normal.
- The distribution of instantaneous values of random vibration data measured in the field can generally be well approximated to a normal distribution.

B.2.2.2 *Crest factor*

The crest factor, or the signal clipping level, limits the instantaneous value of a broadband random process (see figure 4).

The crest factor is required by this standard to be not less than 2,5 (see 4.3.3). For normally distributed random amplitudes this means that if a crest factor of 2,5 is used, then approximately 99 % of all instantaneous drive signal values are applied to the power amplifier.

However, where the relevant specification prescribes a higher acceleration spectral density in the low-frequency region, say below 20 Hz, peak displacements may exceed the capability of the vibration facility. In these cases it may be necessary to reduce the crest factor to an appropriate level in order to produce acceptable peak displacements.

If a shaped acceleration density curve is employed which has a considerable low-frequency content compared with the upper-frequency range, then applying a crest factor of not less than 2,5 may result in a non-normal probability density function for the resulting drive signal. Two tails may appear in the function similar to that for a sine wave (see figure 5).

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.

B.2.3 *Tolerances*

B.2.3.1 *Vibration tolerances*

When establishing the tolerance limits for the acceleration spectral density at the reference point, all errors should be considered which, when combined, represent the total error. In order to choose the parameters to control the statistical and the analysing accuracy, it should be known which specific value can be assigned to:

- instrument error (see B.2.3.2);
- random error (see B.2.3.3);
- bias error (see B.2.3.4).

Il convient d'établir un compromis pour les trois différents types d'erreurs. On donne quelques indications en B.2.3.2, B.2.3.3 et B.2.3.4 pour déterminer la contribution de chaque source individuelle à l'erreur totale.

B.2.3.2 Erreur instrumentale

C'est l'erreur associée au transducteur, au câble, à l'amplificateur, au filtre anti-repliement et à la chaîne de conversion analogique-numérique. Il convient de la soustraire des limites de tolérance totale spécifiées pour l'épreuve.

B.2.3.3 Erreur aléatoire

En traitant l'analyse des signaux aléatoires, il convient d'accorder une attention toute particulière à l'erreur aléatoire due à la longueur finie de la durée totale d'obtention de la moyenne temporelle (T_a).

En regardant la procédure d'estimation de la densité spectrale de l'accélération $G(f)$, l'erreur quadratique moyenne E de l'estimation $\bar{G}(f)$ est donnée par:

$$E \{ [\bar{G}(f) - G(f)]^2 \} = \text{Var} [\bar{G}(f)] + b^2 [\bar{G}(f)] \quad (4)$$

où

$E \{ \}$ est une estimation de l'erreur et une fonction d'erreur.

$\text{Var} [\bar{G}(f)]$ est la partie aléatoire de l'erreur quadratique moyenne.

$b^2 [\bar{G}(f)]$ est la partie biaisée de l'erreur quadratique moyenne.

En se référant maintenant à l'erreur aléatoire il vient:

$$\text{Var} [\bar{G}(f)] = \frac{G^2(f)}{B_e T_a} \quad (5)$$

et, par référence à l'erreur aléatoire normalisée,

$$E_r^2 = \frac{1}{B_e T_a} \quad (6)$$

où

E_r est la partie aléatoire de l'erreur d'estimation.

Il convient que la densité spectrale de l'accélération soit estimée par la Transformée de Fourier Rapide. Comme dans la plupart des équipements numériques de pilotage de vibrations, chaque raie de fréquences de la densité spectrale de l'accélération finale estimée aura une distribution d'échantillonnage en chi-carré. La partie aléatoire de l'erreur d'estimation devient:

$$E_r = \left(\frac{1}{n} \right)^{1/2} \quad (7)$$

où

n est le nombre de moyennes prises dans un échantillon de signal d'une durée T_a .

A compromise should be established for the three different types of errors. In B.2.3.2, B.2.3.3 and B.2.3.4, some indications are given of how to assign the contribution of each individual source to the total error.

B.2.3.2 Instrument error

This consists of the errors associated with the transducer, cable, amplifier, anti-aliasing filter and analogue to digital converter chain. It should be subtracted from the total tolerance limits specified for the test.

B.2.3.3 Random error

When dealing with the analysis of random signals, special attention should be given to the random error due to the finite length of the effective averaging time (T_a).

Looking at the procedure for estimating the acceleration spectral density $G(f)$, the mean square error E of the estimate $\bar{G}(f)$ is given by:

$$E \{ [\bar{G}(f) - G(f)]^2 \} = \text{Var} [\bar{G}(f)] + b^2 [\bar{G}(f)] \quad (4)$$

where

$E \{ \}$ is an estimate of the error and is an error function.

$\text{Var} [\bar{G}(f)]$ is the random part of the mean square error.

$b^2 [\bar{G}(f)]$ is the bias part of the mean square error.

Referring now to the random error it holds:

$$\text{Var} [\bar{G}(f)] = \frac{G^2(f)}{B_e T_a} \quad (5)$$

and with reference to the normalized random error:

$$E_r^2 = \frac{1}{B_e T_a} \quad (6)$$

where

E_r is the normalized random part of the mean square error.

Should the acceleration spectral density be estimated by the Fast Fourier Transform calculation, as in most digital vibration control equipments, each frequency line of the final estimated acceleration spectral density will have a sampling distribution of the chi-square function. The random portion of the estimation error becomes:

$$E_r = \left(\frac{1}{n} \right)^{1/2} \quad (7)$$

where

n is the number of averages taken from a sample of signals lasting T_a .

Ainsi, par l'intermédiaire de E_r , il est possible de trouver une relation entre le nombre de degrés de liberté statistiques $[N_d]$ et les paramètres d'analyse:

$$N_d = 2n = 2B_e T_a \quad (8)$$

Lorsqu'une détermination exponentielle de la moyenne est employée pour un très grand nombre d'itérations, N_d devient:

$$N_d = 2(2p - 1) \quad (9)$$

où

$1/p$ est le pourcentage de la dernière estimation contribuant à la détermination exponentielle de la moyenne.

Si l'estimation de la densité spectrale de l'accélération est calculée avec n moyennes linéaires par itération, la relation devient:

$$N_d = 2n (2p - 1) \quad (10)$$

Le tableau B.2 et la figure 6 donnent, pour différents niveaux de confiance, la précision estimée de la densité spectrale de l'accélération en fonction du nombre de degrés de liberté.

Tableau B.2 – Précision de la densité spectrale de l'accélération pour différents niveaux de confiance

Degrés de liberté N_d	Niveaux de confiance							
	50 %		90 %		95 %		99 %	
	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%
30	-0,64	86	-1,64	68	-1,95	64	-2,53	56
	0,86	122	2,10	162	2,52	179	3,38	217
62	-0,47	90	-1,18	76	-1,40	72	-1,83	66
	0,59	115	1,40	138	1,63	146	2,23	167
100	-0,38	91	-0,95	80	-1,12	77	-1,46	71
	0,45	111	1,08	128	1,29	135	1,71	148
120	-0,35	92	-0,87	82	-1,03	79	-1,35	73
	0,41	109	0,98	125	1,17	131	1,56	143
254	-0,25	94	-0,61	87	-0,72	85	-0,95	80
	0,27	106	0,66	116	0,79	120	1,04	127

B.2.3.4 Erreur de biais

En considérant à nouveau l'équation (4) de l'erreur quadratique moyenne, on constate que, non seulement l'erreur aléatoire mais aussi l'erreur de biais est directement liée à la résolution en fréquence B_e .

Certains aspects de la procédure de traitement des données doivent être connus car ils affectent directement la résolution en fréquence B_e et, par conséquent, l'erreur de biais E_b .

Thus, via E_r it is possible to find a relationship between the number of statistical degrees of freedom $[N_d]$ and the analysing parameters:

$$N_d = 2n = 2B_e T_a \quad (8)$$

When exponential averaging is used for a very high number of iterations, N_d becomes:

$$N_d = 2(2p - 1) \quad (9)$$

where

$1/p$ is the fractional part of the last estimate contributing to the exponential averaging.

If the estimate of the acceleration spectral density is performed with n linear averages per iteration the relation becomes:

$$N_d = 2n (2p - 1) \quad (10)$$

Table B.2 and figure 6 give the estimated accuracy of acceleration spectral density versus the number of degrees of freedom for different confidence levels.

Table B.2 – Accuracy of acceleration spectral density versus degrees of freedom for different confidence levels

Degrees of freedom N_d	Confidence level							
	50 %		90 %		95 %		99 %	
	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%
30	-0,64	86	-1,64	68	-1,95	64	-2,53	56
	0,86	122	2,10	162	2,52	179	3,38	217
62	-0,47	90	-1,18	76	-1,40	72	-1,83	66
	0,59	115	1,40	138	1,63	146	2,23	167
100	-0,38	91	-0,95	80	-1,12	77	-1,46	71
	0,45	111	1,08	128	1,29	135	1,71	148
120	-0,35	92	-0,87	82	-1,03	79	-1,35	73
	0,41	109	0,98	125	1,17	131	1,56	143
254	-0,25	94	-0,61	87	-0,72	85	-0,95	80
	0,27	106	0,66	116	0,79	120	1,04	127

B.2.3.4 Bias error

Looking back at the expression (4) of the mean square error, not only the random error but also the bias error is directly related to the frequency resolution B_e .

Certain features of the data processing procedure require to be known since they directly affect the frequency resolution B_e and consequently the bias error E_b .

Par une approximation du premier ordre, l'erreur de biais normalisée est donnée par:

$$E_b = \frac{B_e^2}{24} \times \frac{G''(f)}{G(f)} \quad (11)$$

où

$G''(f)$ est la dérivée seconde de la densité spectrale de l'accélération par rapport à la fréquence.

L'équation (11) aboutit à:

$$E_b = \frac{1}{12} \times \left(\frac{B_e}{B_r} \right)^2 \times rW \quad (12)$$

où

r est la fonction du rapport entre la masse résonnante du spécimen et la masse totale restante en mouvement, la fréquence propre et le facteur de qualité du système résonnant;

W est le facteur «fonction fenêtre» qui sera déterminé par le système d'asservissement des vibrations.

Le traitement par fonction fenêtre est un des principaux moyens du traitement de données affectant la résolution en fréquence effective.

Lorsqu'une densité spectrale de l'accélération est calculée, le calcul de la moyenne est fait sur des enregistrements traités par une fonction fenêtre. Cela peut aboutir à une résolution en fréquence effective dépendant du type de fenêtre utilisé.

Dans le tableau B.3, la valeur du facteur «fonction fenêtre» W est donnée pour quelques fonctions fenêtre.

Tableau B.3 – Type de fenêtre et facteur W correspondant

Fonction fenêtre	Facteur W
Rectangle	1
Triangle	1,33
Hamming (0,54 + 0,46 cos χ)	1,36
Hamming (0,5 + 0,5 cos χ)	1,50
Blackman-Harris (4 termes)	2,00

B.2.4 Pentés initiale et finale

La présente norme fait appel à une densité spectrale de l'accélération constante, spécifiée entre f_1 et f_2 (voir la figure 2). Cependant, en pratique, un essai ne peut être réalisé qu'avec des pentes initiale et finale. Afin de garder la valeur efficace d'accélération aussi proche que possible de la valeur spécifiée, il convient que les pentes soient aussi fortes que possible.

Il convient, normalement, que la pente initiale soit de 6 dB/octave ou plus. Cette valeur peut être augmentée lorsque le niveau de densité spectrale de l'accélération à f_1 est élevé et où il est nécessaire de réduire l'amplitude de déplacement pour être compatible avec les possibilités du moyen d'essai. Afin de calculer l'amplitude de déplacement aléatoire, se reporter à B.2.5 (c).

As a first order approximation, the normalized bias error is given by

$$E_b = \frac{B_e^2}{24} \times \frac{G''(f)}{G(f)} \quad (11)$$

where

$G''(f)$ is the second derivative of acceleration spectral density with respect to frequency.

Equation (11) leads to

$$E_b = \frac{1}{12} \times \left(\frac{B_e}{B_r} \right)^2 \times rW \quad (12)$$

where

r is the function of the ratio between the resonant mass of the specimen and the remaining total moving mass, the natural frequency and the Q factor of the resonant system;

W is the window function factor and will be dependent upon the vibration control system.

The windowing process is one of the principal data processing features affecting the effective frequency resolution.

When an acceleration spectral density is calculated, the averaging process is performed on windowed records. This will lead to an effective frequency resolution which depends on the type of window.

In table B.3, the value of the window function factor, W , is given for some typical window functions.

Table B.3 – Type of window function and corresponding factor W

Window function	Factor W
Rectangle	1
Triangle	1,33
Hammng (0,54 + 0,46 cos χ)	1,36
Hammng (0,5 + 0,5 cos χ)	1,50
Blackman-Harris (4-term)	2,00

B.2.4 Initial and final slope

This standard calls for a flat acceleration spectral density that is specified between f_1 and f_2 (see figure 2). 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 or steeper. 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 B.2.5 (c).

En général, le matériel d'asservissement numérique des vibrations a une dynamique de densité spectrale de l'accélération de 8 dB entre deux lignes de fréquence adjacentes. Pour obtenir une pente plus forte, il peut être nécessaire d'employer une résolution en fréquence B_e plus étroite que définie à l'origine par la méthode 1 ou la méthode 2. Si cela n'est pas possible ou si la pente maximale que l'on puisse obtenir ne produit pas la réduction du déplacement requise, la valeur de la tolérance inférieure de la densité spectrale d'accélération peut devoir être modifiée dans la gamme des fréquences basses.

Ces difficultés ne s'appliquent pas à la pente finale qui est définie comme faisant partie de la densité spectrale de l'accélération au-dessus de f_2 , la dernière fréquence de transfert définie. Normalement, il convient que cette pente soit d'au moins –24 dB/octave.

B.2.5 Calcul de la valeur efficace de l'accélération, de la vitesse et du déplacement

La valeur efficace totale de l'accélération, de la vitesse et du déplacement pour la bande de fréquences effective est la racine carrée de la somme des carrés des valeurs efficaces élémentaires dans les sous-gammes de fréquences correspondantes qui contient un niveau de densité spectrale d'accélération (S), une gamme de fréquences et une pente (M).

Ces valeurs efficaces élémentaires peuvent être calculées à partir des équations suivantes (voir la figure 7 pour la référence à la notation n et $n + 1$) avec S en $(m/s^2)^2 / Hz$.

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

$$\text{Pour } M \neq -3: A^2 = \frac{3 S_{n+1}}{M + 3} \times \left[f_{n+1} - f_n \left(\frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (13)$$

$$\text{Pour } M = -3: A^2 = (S_{n+1}) \times (f_{n+1}) \times \left[\ln \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (14)$$

$$\text{Pour } M = 0: A^2 = S_n (f_{n+1} - f_n) \quad (15)$$

b) Valeur efficace de la vitesse en $(m/s)^2$

$$\text{Pour } M \neq 3: V^2 = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \times \frac{3 S_{n+1}}{M - 3} \times \left[\frac{1}{f_{n+1}} - \frac{1}{f_n} \times \left(\frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (16)$$

$$\text{Pour } M = 3: V^2 = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \times \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}} \times \left[\ln \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (17)$$

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 by method 1 or method 2. 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 as that part of the specified acceleration spectral density above f_2 . This slope should be equal to or steeper than -24 dB/octave.

B.2.5 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 subranges which contains an acceleration spectral density level (S), frequency range and slope (M).

These mean square values can be calculated from the following equations (see figure 7 for reference to subscripts n and $n + 1$) with S in $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$.

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

$$\text{For } M \neq -3: \quad A^2 = \frac{3 S_{n+1}}{M + 3} \times \left[f_{n+1} - f_n \left(\frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (13)$$

$$\text{For } M = -3: \quad A^2 = (S_{n+1}) \times (f_{n+1}) \times \left[\ln \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (14)$$

$$\text{For } M = 0: \quad A^2 = S_n (f_{n+1} - f_n) \quad (15)$$

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

$$\text{For } M \neq 3: \quad V^2 = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \times \frac{3 S_{n+1}}{M - 3} \times \left[\frac{1}{f_{n+1}} - \frac{1}{f_n} \times \left(\frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (16)$$

$$\text{For } M = 3: \quad V^2 = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \times \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}} \times \left[\ln \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (17)$$

c) Valeur efficace du déplacement en mm²

$$\text{Pour } M \neq 9: D^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 \times \frac{3 S_{n+1}}{M-9} \times \left[\frac{1}{f_{n+1}^3} - \frac{1}{f_n^3} \times \left(\frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (18)$$

$$\text{Pour } M = 9: D^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 \times \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}^3} \times \left[\ln \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (19)$$

NOTE - Dans les équations 14, 17 et 19, ln est le logarithme népérien.

Ces équations sont basées sur des pentes droites en tracé log-log. La pente M, pour cette application, est définie comme étant:

$$M = 3 \frac{\log \left(\frac{S_{n+1}}{S_n} \right)}{\log \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right)} \quad (20)$$

B.3 Déroulement de l'essai

Un diagramme montrant le déroulement de l'essai est donné en figure 8.

Des renseignements pour la réalisation de l'épreuve de recherche et d'étude des fréquences critiques par excitation sinusoïdale ou aléatoire sont donnés dans l'annexe A.

Lorsque l'essai a simplement pour but de montrer l'aptitude du spécimen à supporter des vibrations d'amplitude appropriée et à pouvoir fonctionner en leur présence, il suffit que l'essai dure assez longtemps pour en faire la démonstration dans la gamme de fréquences spécifiée. Dans les cas où il faut démontrer qu'un spécimen est apte à supporter les effets cumulés des vibrations, par exemple fatigue et déformation mécaniques, il convient que l'essai dure assez longtemps pour atteindre le nombre de cycles de contraintes nécessaire, bien que cela puisse conduire à des valeurs de durée situées en dehors de celles définies en 5.5.

Pour l'épreuve d'endurance d'un matériel normalement monté sur des amortisseurs, ces derniers sont habituellement montés. S'il n'est guère possible de faire l'essai avec les amortisseurs appropriés, par exemple si le matériel est installé avec d'autres matériels dans un bâti de montage commun, on fera l'essai sans amortisseurs mais à une sévérité différente qui doit être spécifiée. Il convient que la sévérité soit déterminée en tenant compte de la transmissibilité du système amortisseur selon chaque axe requis pour l'essai. Quand on ne connaît pas les caractéristiques des amortisseurs, il convient de faire référence à B.4.1.

La spécification particulière peut prescrire un essai supplémentaire sur un spécimen dont les amortisseurs extérieurs ont été enlevés ou bloqués de façon à démontrer qu'un minimum acceptable de résistance de la structure a été atteint. Dans ce cas, il convient que la spécification particulière indique la sévérité à appliquer.

c) Mean square value of displacement in mm²

$$\text{For } M \neq 9: \quad D^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 \times \frac{3 S_{n+1}}{M-9} \times \left[\frac{1}{f_{n+1}^3} - \frac{1}{f_n^3} \times \left(\frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \quad (18)$$

$$\text{For } M = 9: \quad D^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 \times \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}^3} \times \left[\ln \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \quad (19)$$

NOTE - In equations 14, 17 and 19, 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:

$$M = 3 \frac{\log \left(\frac{S_{n+1}}{S_n} \right)}{\log \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right)} \quad (20)$$

B.3 Testing procedures

A flow chart showing the testing procedures is given in figure 8.

Details for conducting vibration response investigations by sine or random excitation are given in annex A.

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 5.5.

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 known, 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 Matériels normalement utilisés avec amortisseurs de vibrations

B.4.1 Facteurs de transmissibilité pour les amortisseurs

Quand un spécimen est normalement monté sur amortisseurs, mais que ceux-ci ne sont pas disponibles et que l'on ne connaît pas leurs caractéristiques, il faut modifier le niveau d'accélération efficace spécifié pour le spécimen sans amortisseurs de façon à appliquer au spécimen une vibration plus proche de la réalité. Il est alors recommandé que ce nouveau niveau soit déterminé en utilisant les valeurs données par les courbes de la figure 9.

- a) La courbe A se rapporte à un type d'amortisseur à haute résilience, sous charge, et dont la fréquence propre, pour un seul degré de liberté, ne dépasse pas 10 Hz.
- b) La courbe B se rapporte à un type d'amortisseur de résilience moyenne, sous charge, et dont la fréquence propre, comme ci-dessus, se situe entre 10 Hz et 20 Hz.
- c) La courbe C se rapporte à un type d'amortisseur de faible résilience, sous charge, et dont la fréquence propre, comme ci-dessus, se trouve dans la gamme de 20 Hz à 35 Hz.

La courbe B est déduite de mesures de vibrations faites sur un matériel typique d'avion placé sur un bâti entièrement métallique, fortement amorti et ayant une fréquence propre d'environ 15 Hz pour un seul degré de liberté.

Peu d'informations étaient disponibles pour les amortisseurs représentés par les courbes A et C. Elles ont été déduites de la courbe B par extrapolation en prenant des fréquences propres de 8 Hz et 25 Hz, respectivement.

On estime que ces courbes de transmissibilité constituent l'enveloppe des caractéristiques de transmissibilité qui ont une bonne probabilité d'exister dans une installation à modes couplés. C'est pourquoi le fait d'utiliser ces courbes permet de tenir compte des niveaux de vibration apparaissant à la périphérie du spécimen sous l'effet combiné des mouvements de translation et de rotation.

Il convient de choisir, sur la figure 9, la courbe de transmissibilité la mieux adaptée. Dans le cas où une excitation aléatoire est prescrite, il convient de multiplier, pour chaque fréquence, la densité spectrale d'accélération spécifiée par le carré des valeurs tirées de cette courbe.

La densité spectrale d'accélération qui en résulte peut conduire à des niveaux d'épreuve impossibles à reproduire en laboratoire. Dans ce cas, il convient d'ajuster ces niveaux de telle sorte que la courbe de densité spectrale d'accélération soit au mieux respectée dans toute la gamme de fréquences. Il est important que les valeurs réelles soient notées dans le rapport d'essai.

B.4.2 Effet de la température

Il est important de noter que beaucoup d'amortisseurs contiennent des matériaux dont les caractéristiques dépendent de la température. Si la fréquence de résonance fondamentale du spécimen sur ses amortisseurs tombe à l'intérieur de la gamme de fréquences de l'essai, il y a lieu de faire attention quand on définira la durée de l'épreuve d'endurance à effectuer. Dans certains cas cependant, il peut être déraisonnable d'appliquer au spécimen une excitation continue sans lui accorder quelque répit. Si l'on sait comment se

B.4 Equipment normally used with vibration isolators

B.4.1 Transmissibility factors for isolators

When a specimen would normally be mounted on isolators, but they are not available and their characteristics are unknown, it is necessary to modify the specified test level for the specimen without isolators in such a way as to provide a more realistic vibration input to the specimen. It is recommended that this modified value be derived by using the curves in figure 9 described below.

- a) Curve A relates to a type of loaded isolator of high resilience having a natural frequency, when considering a single degree of freedom, not exceeding 10 Hz.
- b) Curve B relates to a type of loaded isolator of medium resilience having a natural frequency, as qualified above, in the range 10 Hz to 20 Hz.
- c) Curve C relates to a type of loaded isolator of low resilience having a natural frequency, as qualified above, in the range of 20 Hz to 35 Hz.

Curve B is derived from vibration measurements made on typical aircraft equipment fitted with highly damped all-metal mountings, having a natural frequency of approximately 15 Hz considering a single degree of freedom.

Very little data was available for isolators represented by Curves A and C. These were derived by extrapolation from Curve B, considering natural frequencies of 8 Hz and 25 Hz respectively.

The transmissibility curves have been estimated to envelop the transmissibility characteristics likely to arise in an installation in which modes are coupled. The use of these curves, therefore, makes an allowance for the vibration levels arising at the periphery of a specimen from the combined effects of translational and rotational motions.

The most appropriate transmissibility curve should be selected from figure 9. In the case where random excitation is prescribed, the specified acceleration spectral density should be multiplied for each frequency by the square of the values taken from this curve.

The resulting acceleration spectral density may lead to test levels which might be impossible to reproduce in the laboratory. In this case, the level should be adjusted in such a way that the maximum possible acceleration spectral density is achieved over the whole frequency range. It is important that the actual values are stated in the test report.

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

répartit effectivement dans le temps l'excitation de cette fréquence de résonance fondamentale, il y a lieu d'essayer de la reproduire. Si l'on ignore cette répartition dans le temps, il convient alors d'éviter les surchauffes excessives en limitant les périodes d'excitation selon le jugement de l'ingénieur.

B.5 Sévérités de l'essai

B.5.1 Sélection des sévérités de l'essai

La gamme de fréquences et les niveaux de densité spectrale d'accélération donnés ont été choisis de manière à couvrir les réponses en fréquence correspondant à une large gamme d'utilisation. Quand un produit n'est destiné qu'à une seule application, il vaut mieux baser la sévérité sur les caractéristiques vibratoires de l'environnement réel, si elles sont connues (voir B.5.2).

Chaque fois que possible, il est recommandé que la sévérité de l'essai appliquée au spécimen soit en relation avec l'environnement auquel le spécimen sera soumis durant, soit son transport, soit son fonctionnement opérationnel, ou avec les exigences de conception si le but de l'essai est d'estimer sa robustesse mécanique intrinsèque.

Lorsque l'on détermine la sévérité de l'essai, il convient de tenir compte de l'éventuel besoin de ménager une marge de sécurité appropriée entre la sévérité et les conditions de l'environnement réel.

En général, les essais de courte durée donnent des résultats à faible niveau de confiance. Aussi, il convient de sélectionner une résolution en fréquence B_e et une durée sur laquelle est calculée la moyenne temporelle T_a appropriée afin de minimiser l'erreur de biais et l'erreur aléatoire.

B.5.2 Exemples de sévérités d'essai typiques employées pour diverses applications

La CEI 721 énumère des conditions d'environnement pour diverses applications. Il convient de rappeler qu'il y aura des cas où les sévérités réelles différeront de celles que propose la CEI 721.

B.6 Fonctionnement du matériel

Quand c'est possible, il est recommandé de faire fonctionner les spécimens, soit pendant tout l'essai, soit à des moments appropriés au cours de l'essai, d'une manière représentative des conditions de fonctionnement.

Pour des spécimens sur lesquels les vibrations peuvent influencer les fonctions de mise en service et de mise hors service, par exemple interférant avec le branchement d'un relai, il convient que de telles manoeuvres soient répétées pour démontrer le respect des performances sur la totalité de la gamme de fréquences de l'essai.

Si l'essai a pour seul but de démontrer l'intégrité des spécimens, il est recommandé que les performances de fonctionnement soient vérifiées après la fin de l'essai d'endurance aux vibrations.

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 Test severities

B.5.1 *Selection of test severities*

The frequency range and acceleration spectral density levels 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 (see B.5.2).

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.

In general, the shorter duration tests will give low confidence level results. Therefore, special consideration should be given to the selection of the frequency resolution B_e and effective averaging time T_a to minimize the random and bias errors.

B.5.2 *Examples of test severities typically employed for various applications*

IEC 721 lists environmental conditions for various applications. It should be remembered that there will be instances where the real severities differ from those listed in IEC 721.

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 over the frequency range of 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 Mesures initiales et finales

Le but des mesures initiales et finales est de comparer entre eux certains paramètres pour apprécier l'effet des vibrations sur le spécimen.

Au même titre que les examens visuels, les mesures peuvent comprendre des vérifications de caractéristiques de fonctionnement électriques et mécaniques, et des caractéristiques structurelles (voir 7 et 10).

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 (see 7 and 10).

Annexe C (informative)

Correspondance entre valeurs de pourcentage et dB

Les valeurs de magnitude indiquées dans cette norme sont données en pourcentage ou en dB. Cela est la conséquence d'une pratique commune vieille de plusieurs années. Dans le but de faciliter le travail des utilisateurs de cette norme qui souhaitent suivre une pratique différente, le tableau C.1 donne les moyens de procéder à la conversion des valeurs indiquées dans les différents paragraphes. Ce tableau tient compte des différents types de magnitude (tension/puissance) et du coefficient de pondération (positif/négatif) pour chaque cas séparé.

Tableau C.1 – Correspondance

Références au texte	Magnitude	
	Spécifiée en % ou en dB	Equivalente en dB ou en %
3.1	–3 dB	70,7 %
4.1	–3 dB	70,7 %
4.3.2	+5 dB 50 % +3 dB	320 % –6 dB 200 %
4.3.4	+3 dB –3 dB +10 % –10 %	+200 % 50 % +0,8 dB –1,0 dB
4.3.6.2 Tableau 2	–3 dB +3 dB –3 dB +2 dB –2 dB +1 dB –1 dB +0,5 dB –0,5 dB	70,7 % 200 % 50 % 158 % 63 % 126 % 79 % 112 % 89 %
5.3	0 dB	100 %
8.2	25 %	–12 dB
8.3	–12 dB –6 dB 0 dB	25 % 50 % 100 %
A.1	–3 dB	70,7 %
A.2.2	50 % 100 % 25 %	–6 dB 0 dB –12 dB
A.2.3	25 %	–12 dB
A.2.4.1	+25 % –25 % +50 % –50 %	+1,9 dB –2,5 dB +3,5 dB –6 dB

(Suite à la page 70)

Annex C (informative)

Conversion between percentage values and dB

The values of magnitude in this standard are given in percentages or in decibels. This follows the common practice established over a number of years. For the benefit of users of this standard who may wish to follow a different practice, table C.1 gives the conversion related to particular clauses. It takes account of the different types of magnitude (voltage/power) and the special weighting (positive/negative) for each separate case.

Table C.1 – Conversion

Clause reference	Unit of magnitude	
	Specified in % or dB	Equivalent to dB or %
3.1	-3 dB	70,7 %
4.1	-3 dB	70,7 %
4.3.2	+5 dB 50 % +3 dB	320 % -6 dB 200 %
4.3.4	+3 dB -3 dB +10 % -10 %	+200 % 50 % +0,8 dB -1,0 dB
4.3.6.2 Table 2	-3 dB +3 dB -3 dB +2 dB -2 dB +1 dB -1 dB +0,5 dB -0,5 dB	70,7 % 200 % 50 % 158 % 63 % 126 % 79 % 112 % 89 %
5.3	0 dB	100 %
8.2	25 %	-12 dB
8.3	-12 dB -6 dB 0 dB	25 % 50 % 100 %
A.1	-3 dB	70,7 %
A.2.2	50 % 100 % 25 %	-6 dB 0 dB -12 dB
A.2.3	25 %	-12 dB
A.2.4.1	+25 % -25 % +50 % -50 %	+1,9 dB -2,5 dB +3,5 dB -6 dB

(Continued on page 71)

Tableau C.1 (fin)

Références au texte	Magnitude	
	Spécifiée en % ou en dB	Equivalente en dB ou en %
A.2.4.2	+15 % -15 %	+1,2 dB -1,4 dB
B.1	3 % +3 dB	-30,5 dB 200 %
Tableau B.1	+3 dB +6 dB	200 % 400 %
B.2.3.3, Tableau B.2	50 % 90 % 95 % 99 %	-6 dB -0,9 dB -0,5 dB -0,1 dB
B.2.4	8 dB	630 %
Figure 2	+3 dB 0 dB -3 dB	+200 % 100 % 50 %

Table C.1 (concluded)

Clause reference	Unit of magnitude	
	Specified in % or dB	Equivalent to dB or %
A.2.4..2	+15 % -15 %	+1,2 dB -1,4 dB
B.1	3 % +3 dB	-30,5 dB 200 %
Table B.1	+3 dB +6 dB	200 % 400 %
B.2.3.3, Table B.2	50 % 90 % 95 % 99 %	-6 dB -0,9 dB -0,5 dB -0,1 dB
B.2.4	8 dB	630 %
Figure 2	+3 dB 0 dB -3 dB	+200 % 100 % 50 %

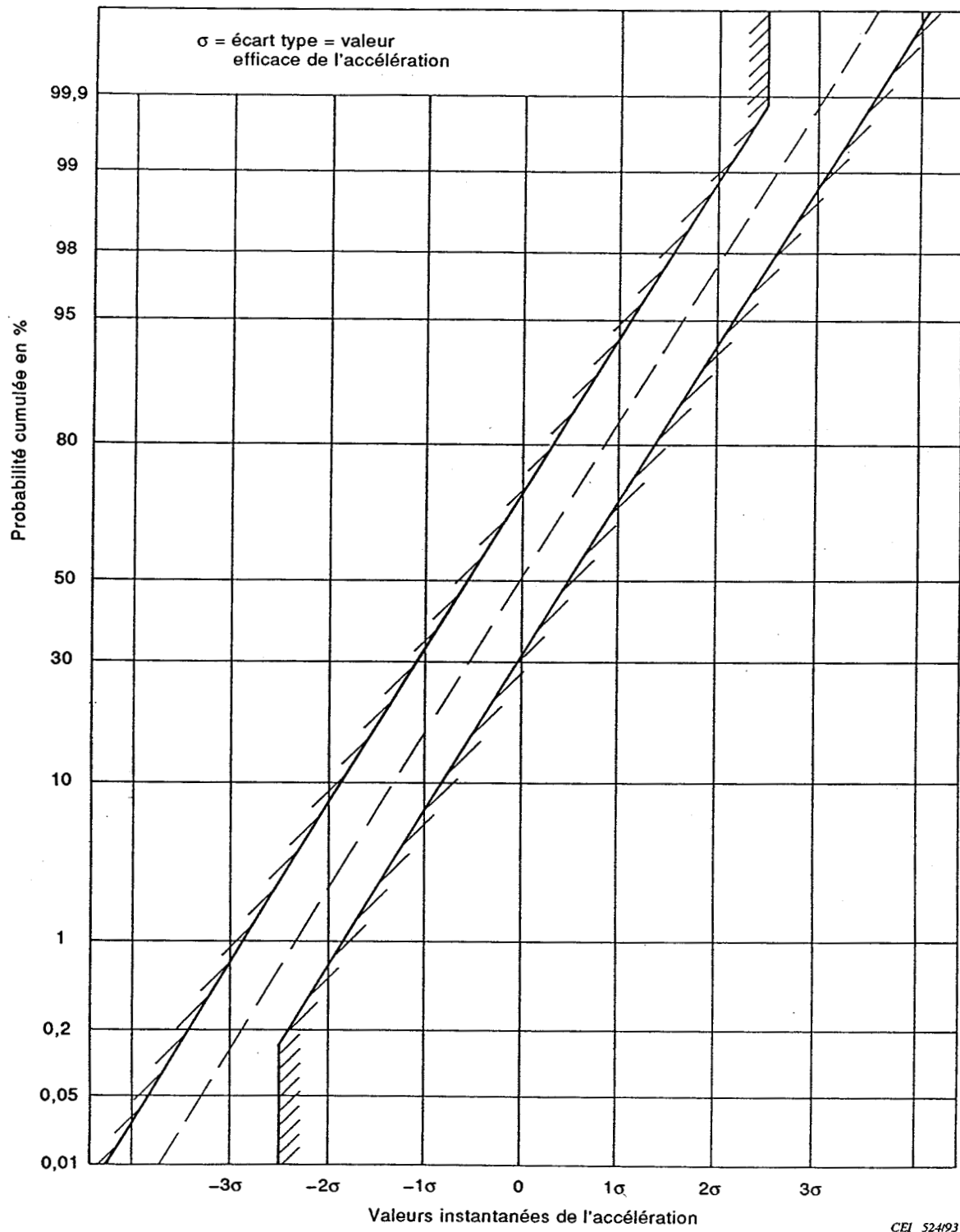


Figure 1 – Bande de tolérances pour la distribution des valeurs instantanées de l'accélération

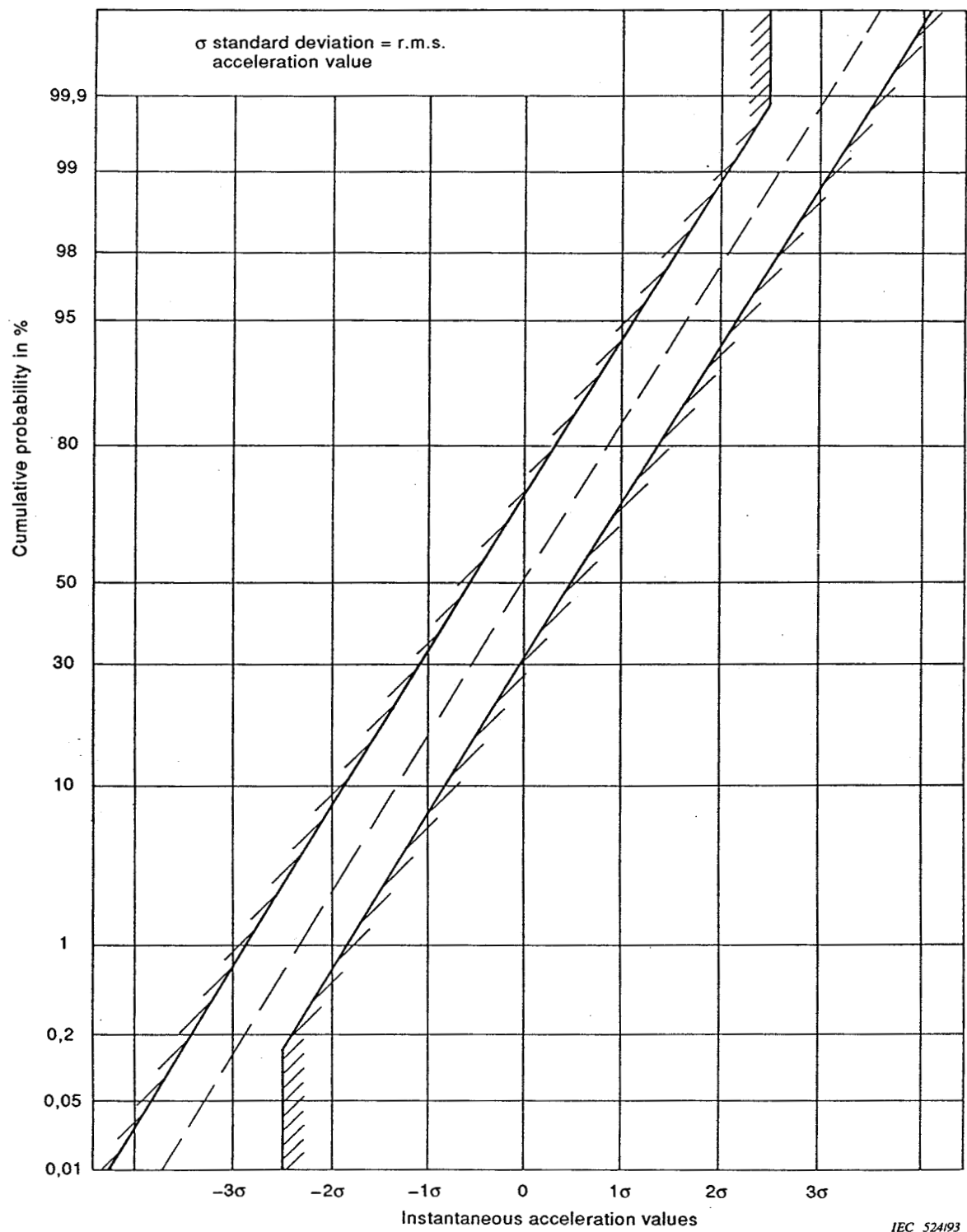
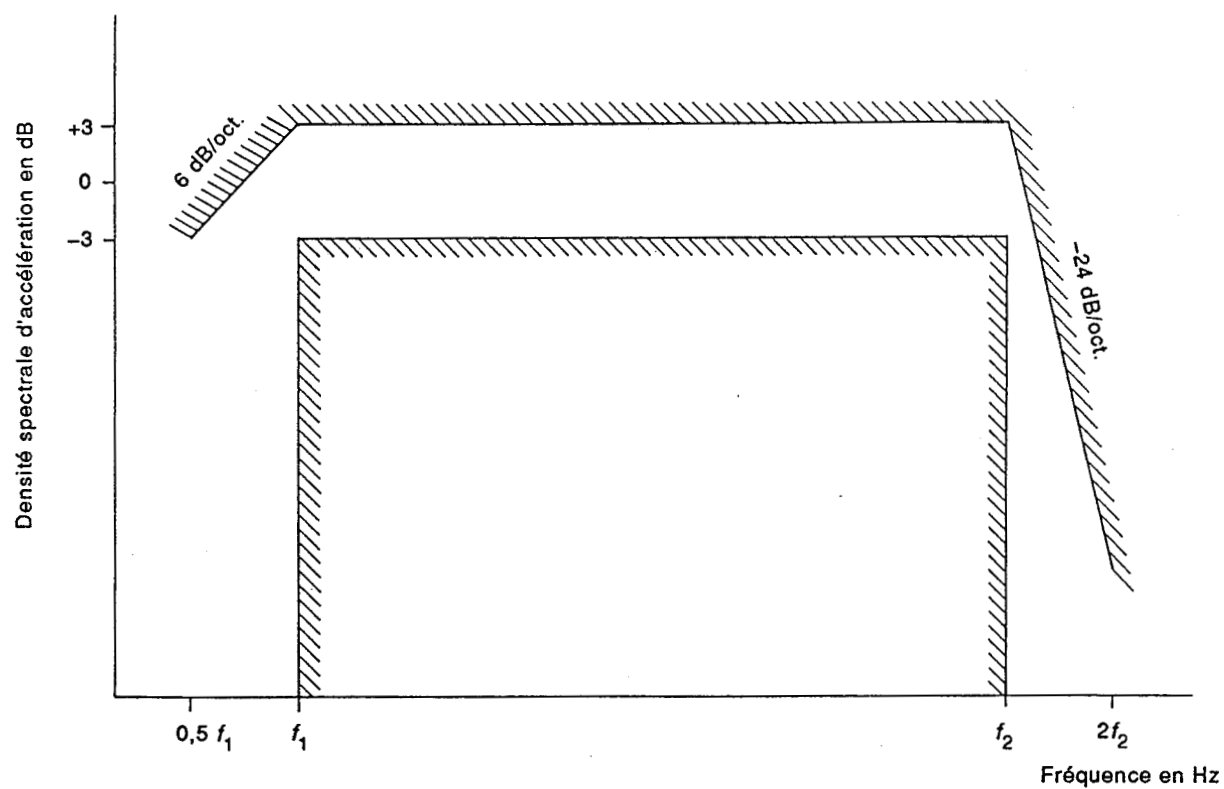


Figure 1 – Tolerance band for distribution of instantaneous acceleration values



CEI 525/93

Figure 2 – Limites des tolérances pour la densité spectrale d'accélération

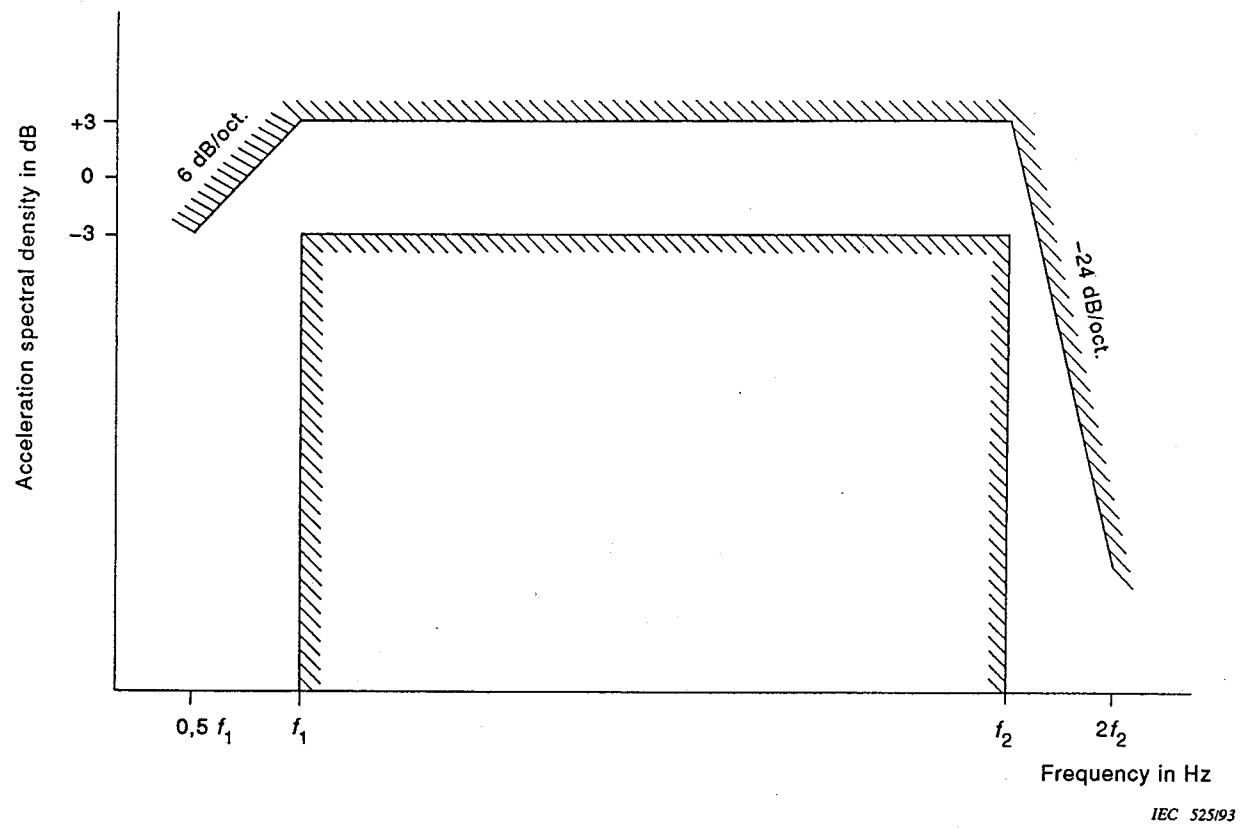


Figure 2 – Tolerance boundaries for acceleration spectral density

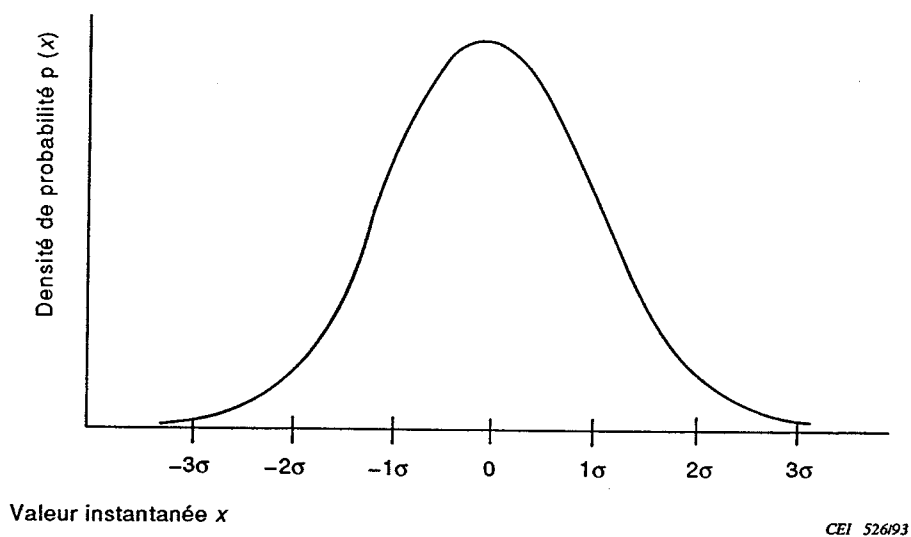


Figure 3 – Fonction de densité de probabilité gaussienne (normale)

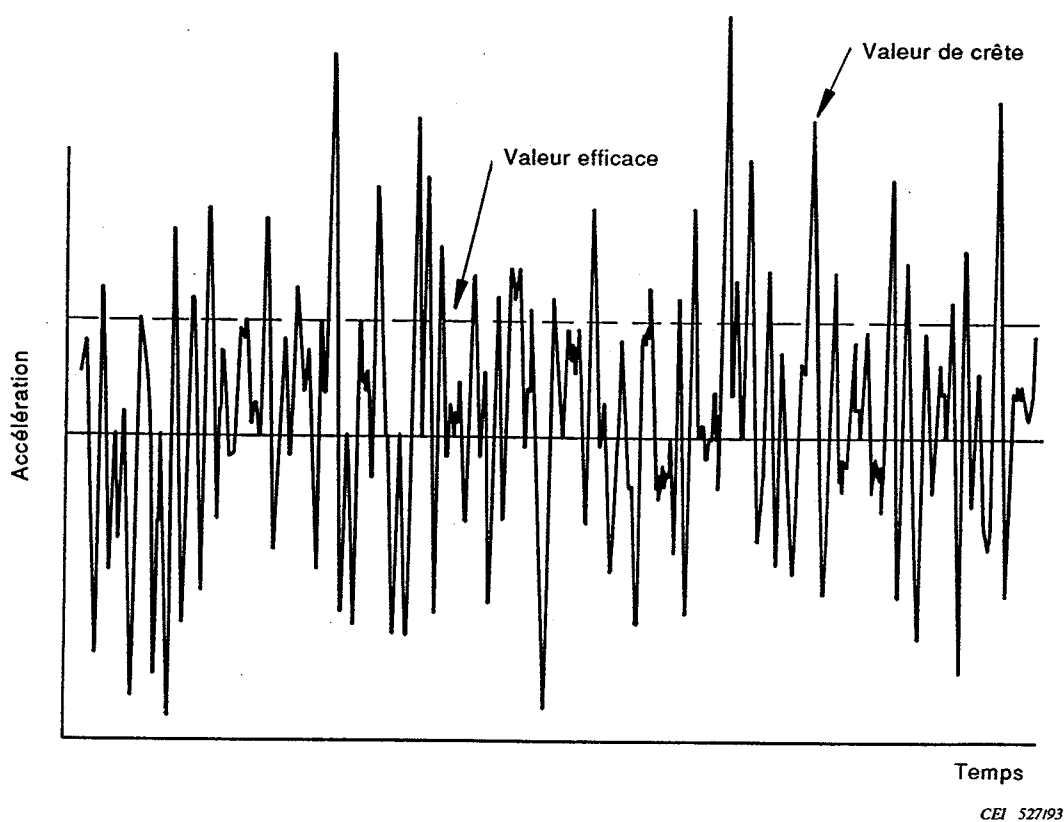


Figure 4 – Description de l'écrêtage d'un signal

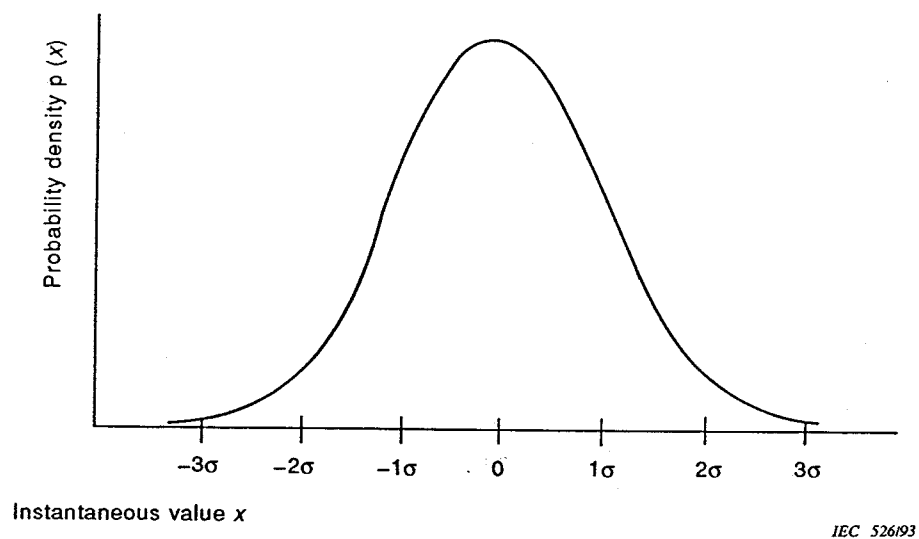


Figure 3 – Gaussian (normal) probability density function

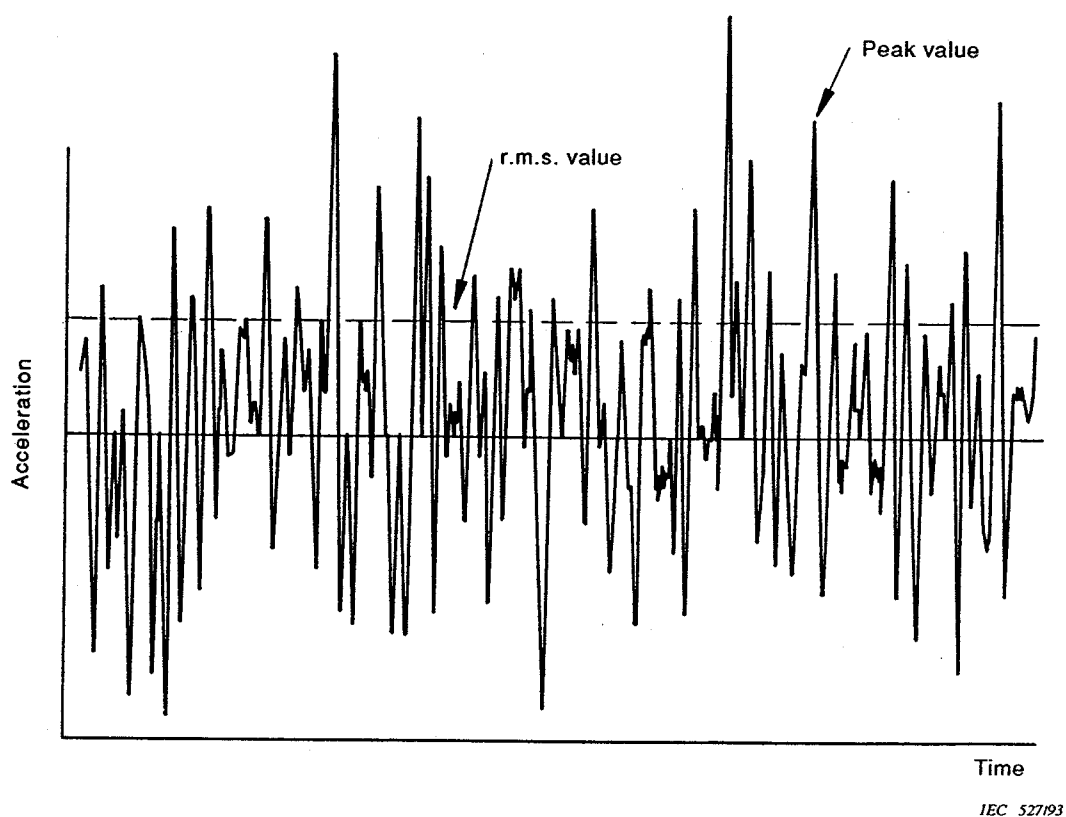
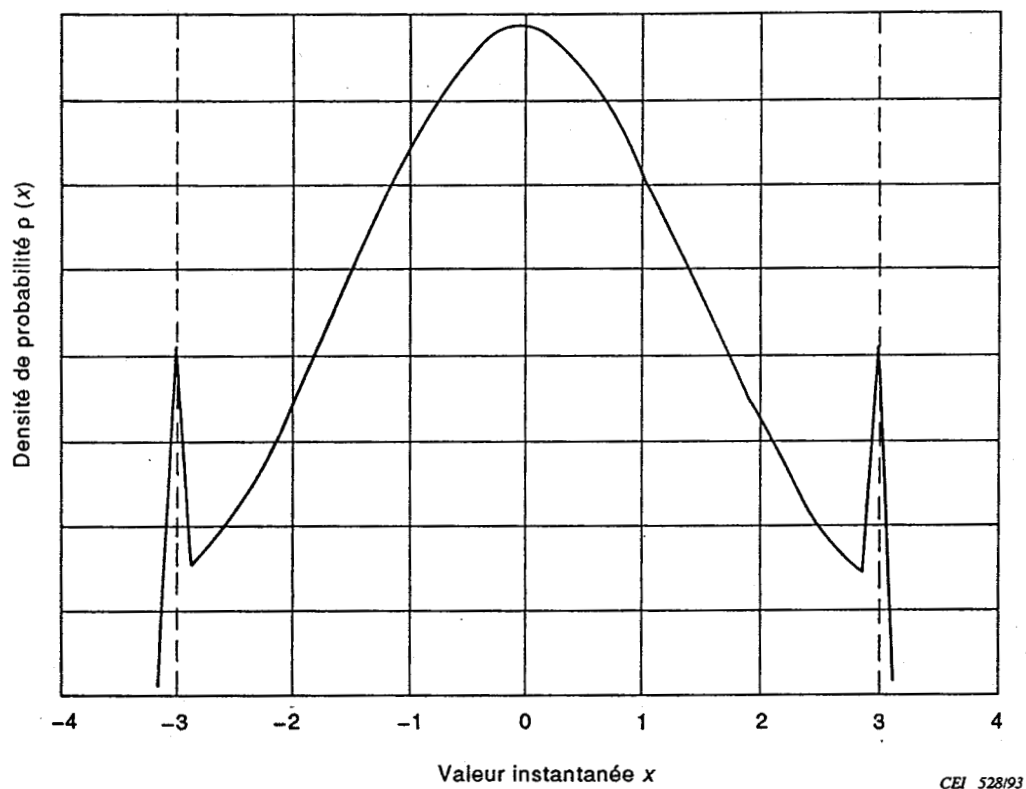


Figure 4 – Representation of signal clipping



CEI 528/93

Figure 5 – Fonction de densité de probabilité non gaussienne

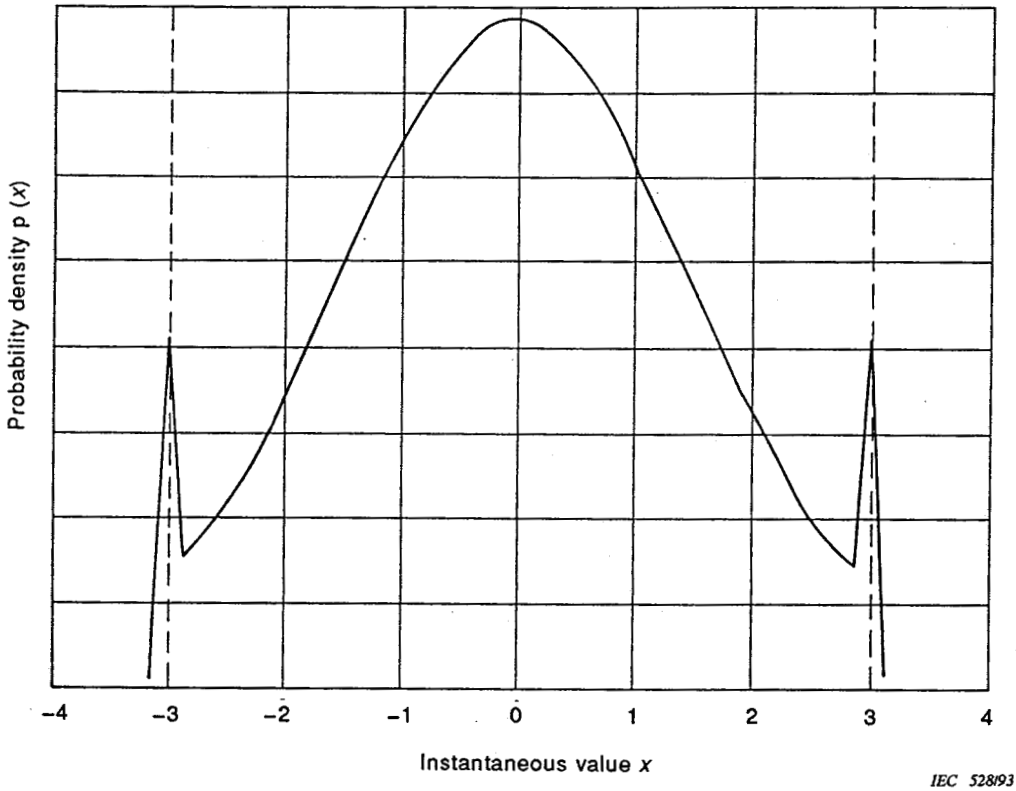
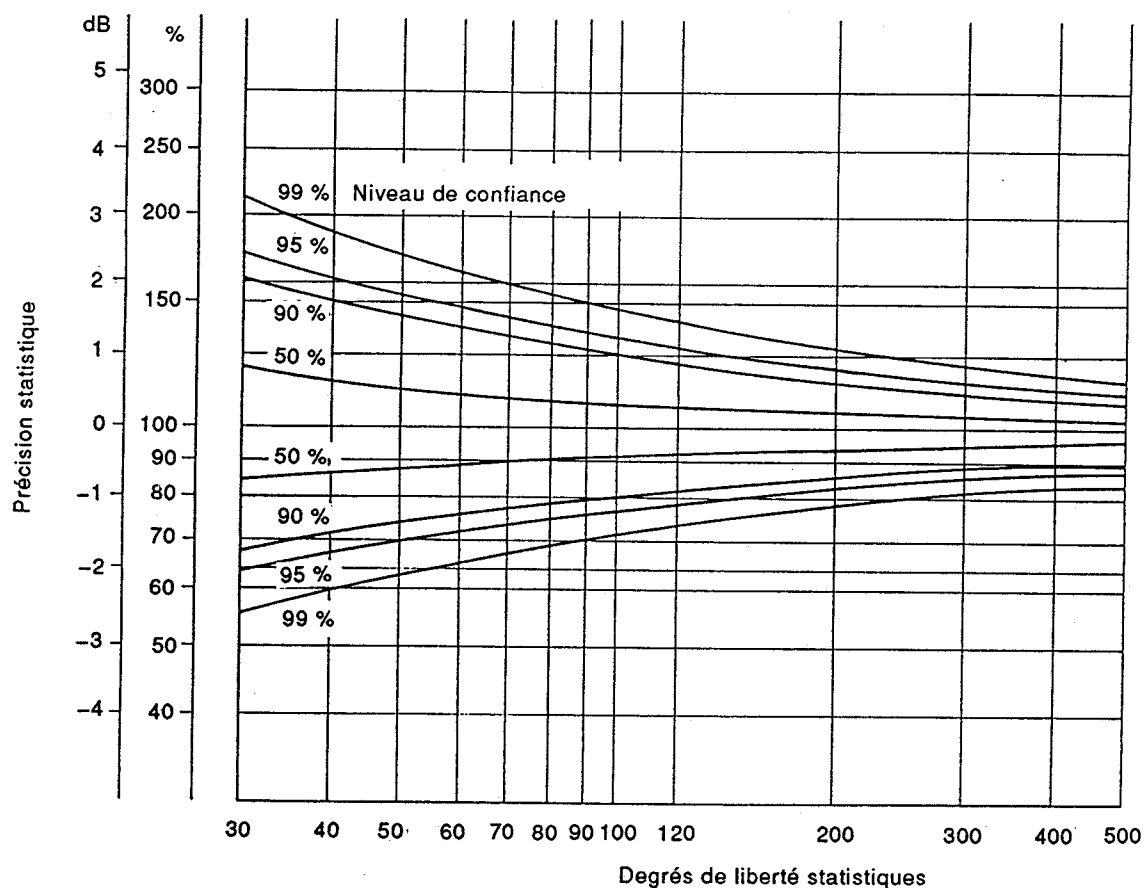
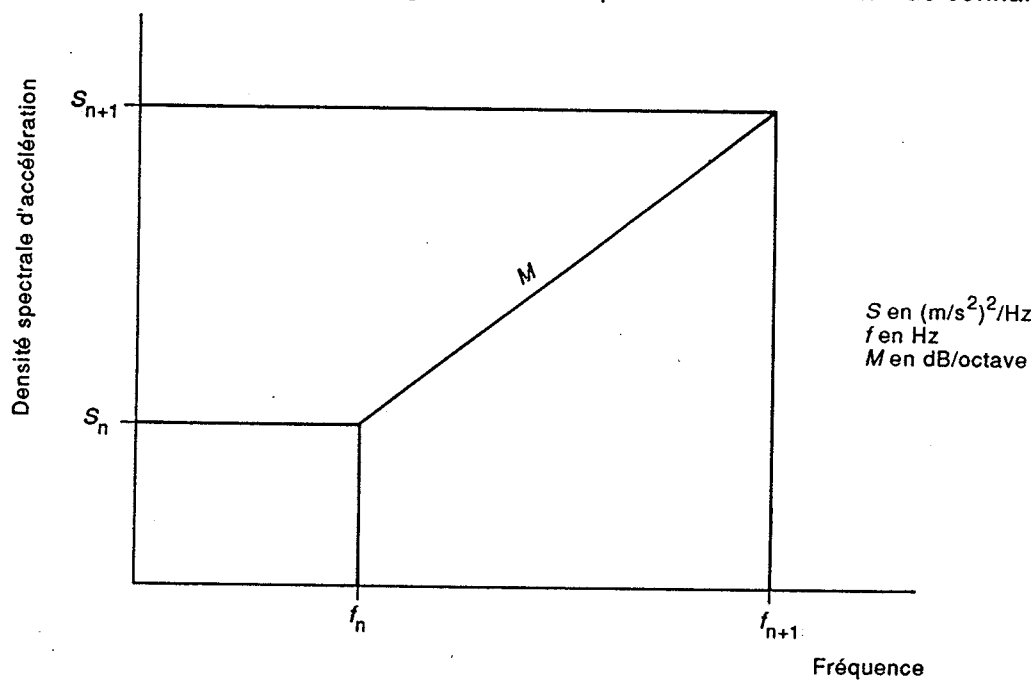


Figure 5 – Non-Gaussian probability density function



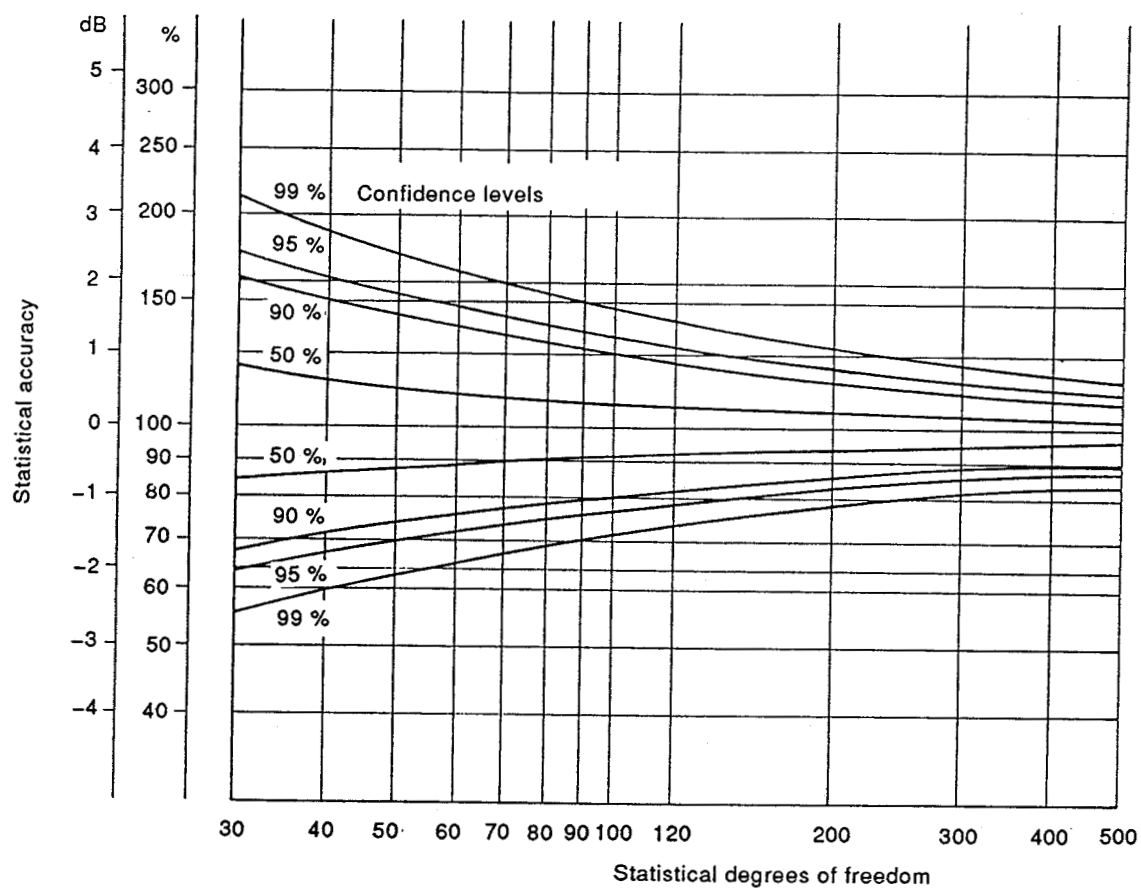
CEI 529/93

Figure 6 – Précision statistique de la densité spectrale d'accélération en fonction du nombre de degrés de liberté pour différents niveaux de confiance



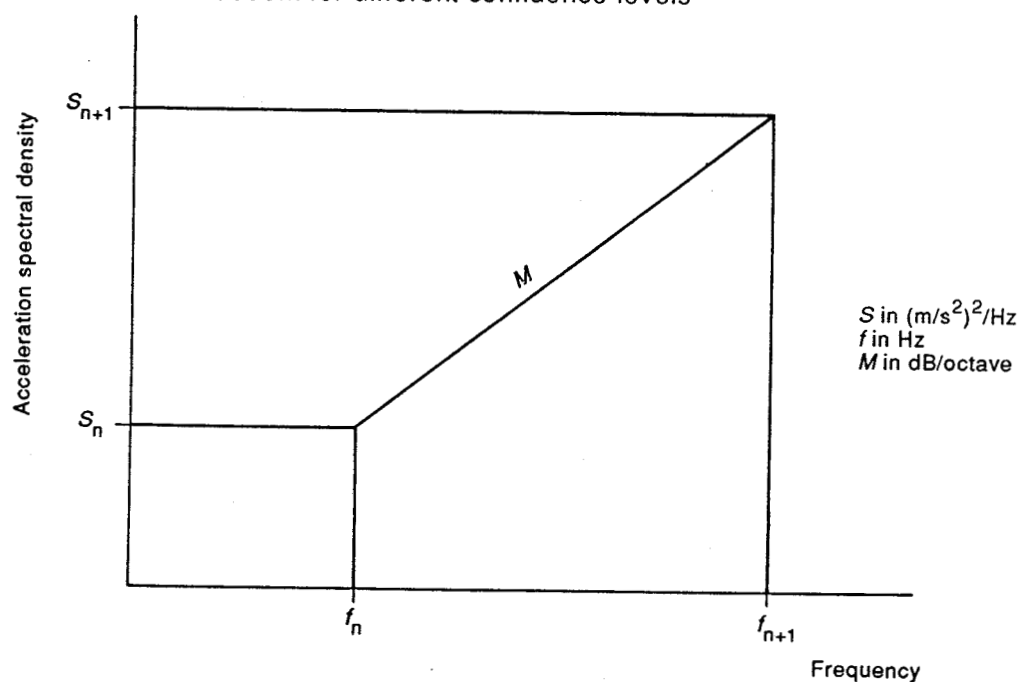
CEI 530/93

Figure 7 – Relation entre densité spectrale d'accélération et fréquence



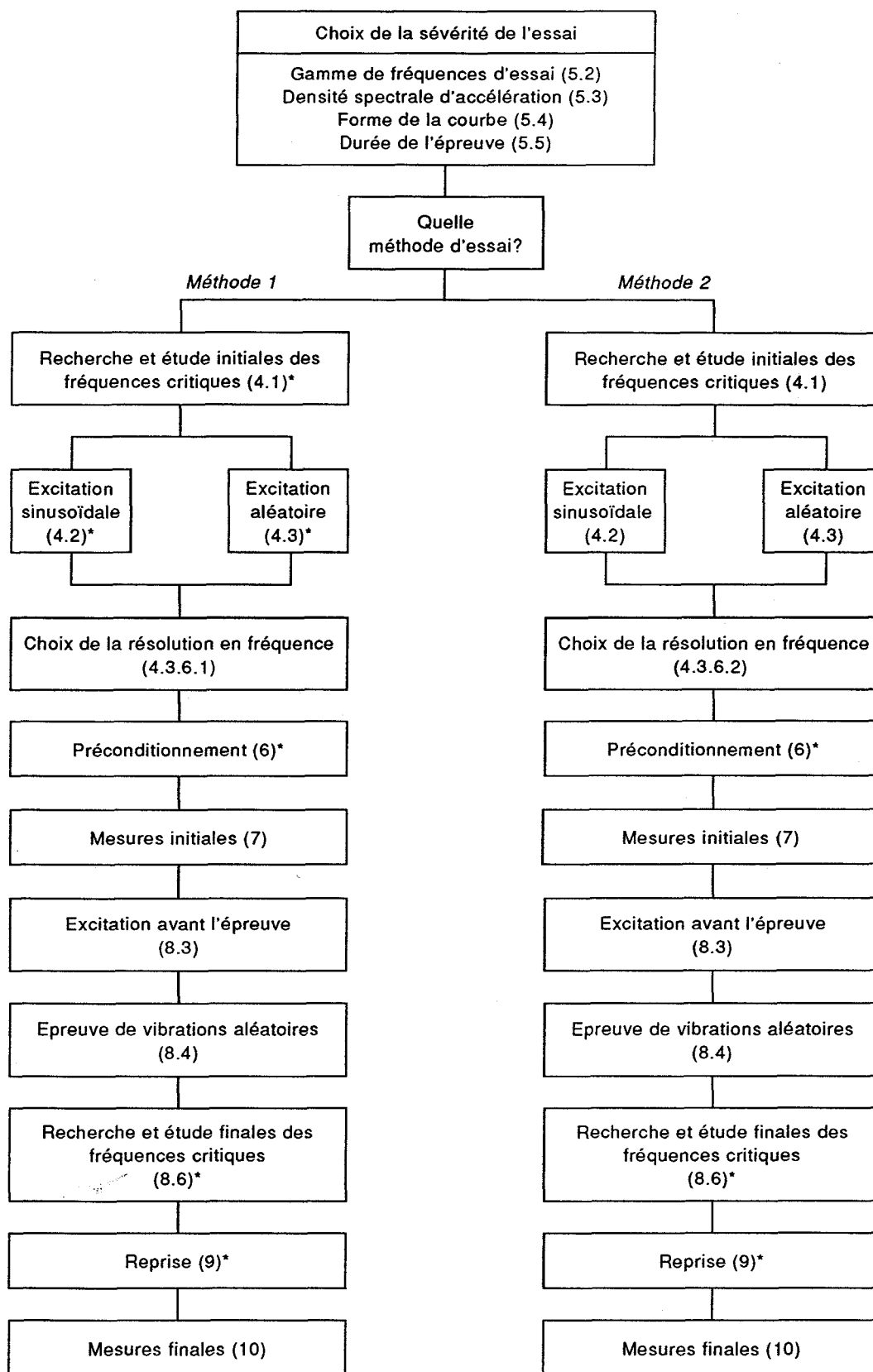
IEC 529/93

Figure 6 – Statistical accuracy of acceleration spectral density versus degrees of freedom for different confidence levels



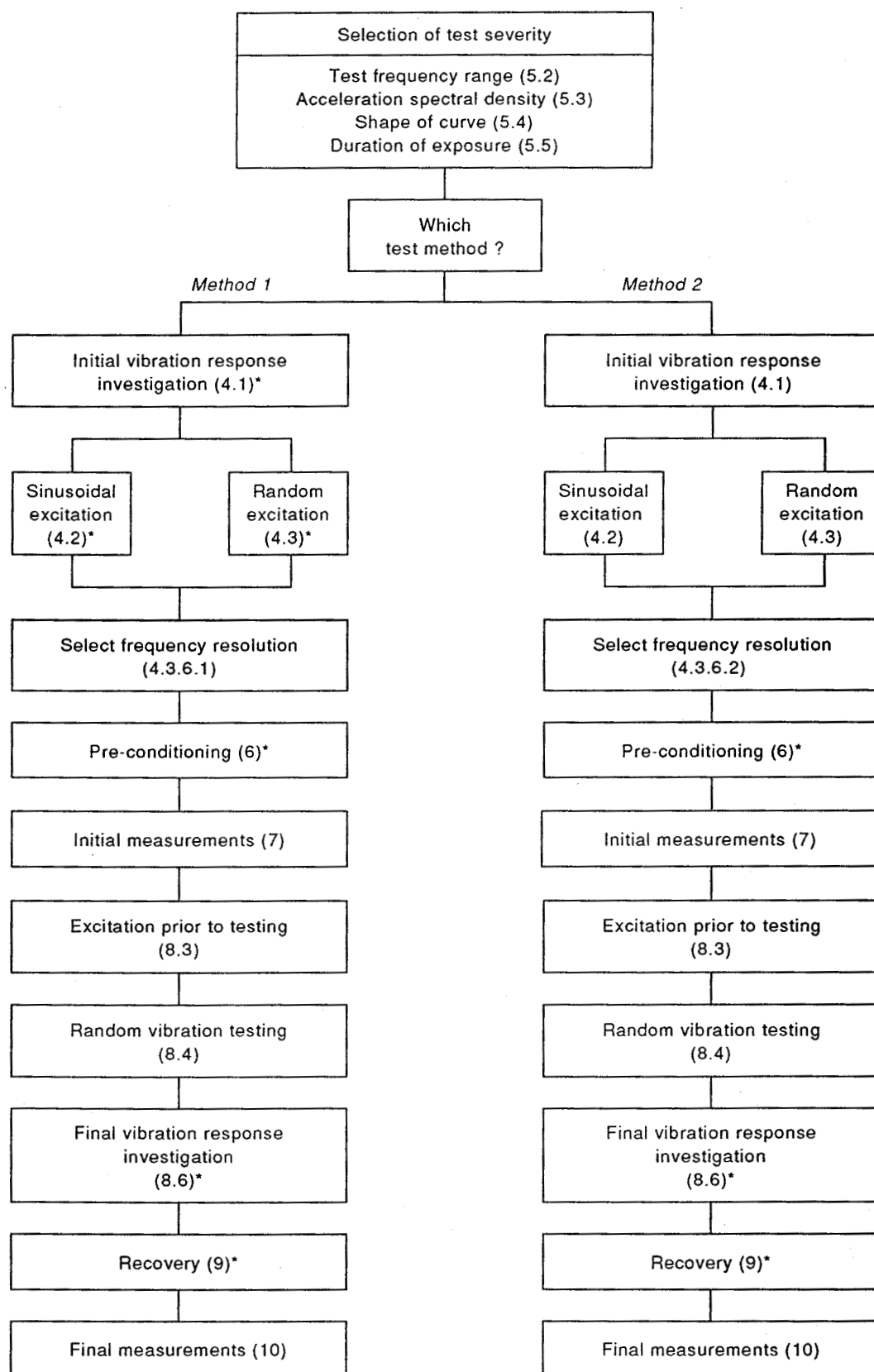
IEC 530/93

Figure 7 – Relationship between acceleration spectral density and frequency



* Si prescrit par la spécification particulière

Figure 8 – Plan pour l'essai de vibrations aléatoires à large bande



* If prescribed by the relevant specification

Figure 8 – Flow chart for vibration, broad-band random test

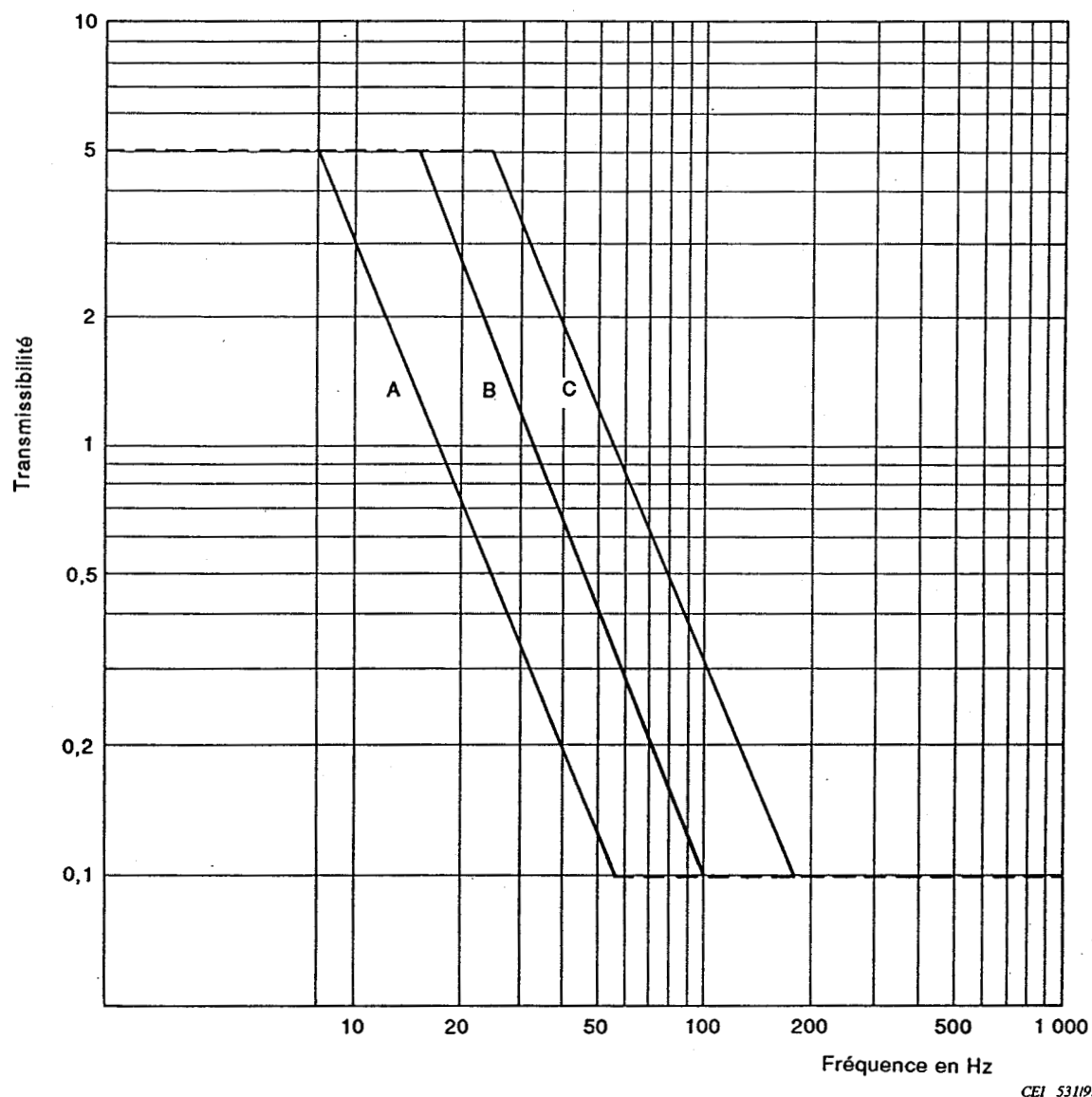


Figure 9 – Facteurs de transmissibilité généralisés pour amortisseurs

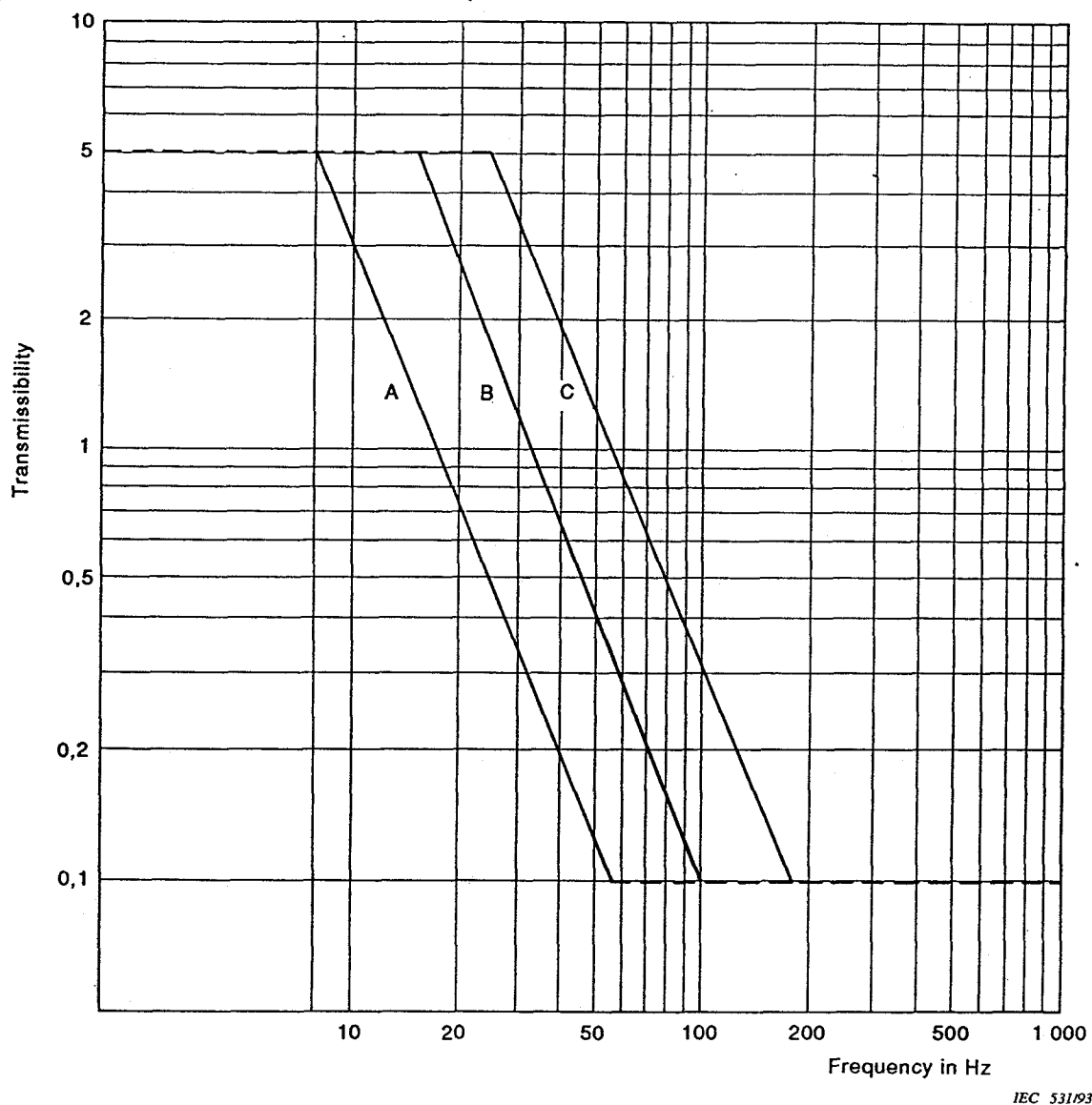


Figure 9 – Generalized transmissibility factors for isolators

ICS 19.040

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND