NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
68-2-6

Sixième édition
Sixth edition
1995-03

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

Essais d'environnement –

Partie 2:
Essais –
Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)

Environmental testing –

Part 2:
Tests –
Test Fc: Vibration (sinusoidal)

www.Lisungroup.com

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 68-2-6: 1995

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
  Publié annuellement et mis à jour régulièrement
  (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
  Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
  Published yearly with regular updates
  (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
  Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

www.Lisungroup.com

NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
68-2-6

Sixième édition
Sixth edition
1995-03

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

Essais d'environnement –

Partie 2:
Essais –
Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)

Environmental testing –

Part 2:
Tests –
Test Fc: Vibration (sinusoidal)

www.Lisungroup.com

© CEI 1995 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 Varembé 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 6
INTRODUCTION 8

Articles

1 Domaine d'application 10
2 Références normatives 10
3 Définitions 12
4 Exigences pour l'essai 16
5 Sévérités 22
6 Préconditionnement 32
7 Mesures initiales 32
8 Epreuve 32
9 Mesures intermédiaires 36
10 Reprise 36
11 Mesures finales 36
12 Renseignements que doit donner la spécification particulière 36

Annexes

A Guide pour l'essai Fc 40
B Exemples de sévérités destinées principalement aux composants 70
C Exemples de sévérités destinées principalement aux matériels 74

Tableaux

1 Basse fréquence 24
2 Haute fréquence 24
3 Gammes de fréquences recommandées 26
4 Amplitudes de vibration recommandées pour une fréquence de transfert basse (8 Hz à 10 Hz) 28
5 Amplitudes de vibration recommandées pour une fréquence de transfert élevée (58 Hz à 62 Hz) 28
6 Amplitudes de vibration recommandées (déplacement) applicables seulement aux gammes de fréquences ayant une limite supérieure de fréquence de 10 Hz 30
A.1 Nombre de cycles de balayages et durées d'endurance par axe 58
A.2 Temps de réponse pour une largeur de bande passante constante 62

www.Lisungroup.com

CONTENTS

Page

FOREWORD 7

INTRODUCTION 9

Clause

1 Scope 11

2 Normative references 11

3 Definitions 13

4 Requirements for testing 17

5 Severities 23

6 Pre-conditioning 33

7 Initial measurements 33

8 Testing 33

9 Intermediate measurements 37

10 Recovery 37

11 Final measurements 37

12 Information to be given in the relevant specification 37

Annexes

A Guide to Test Fc 41

B Examples of severities primarily intended for components 71

C Examples of severities primarily intended for equipment 75

Tables

1 Lower frequency 25

2 Upper frequency 25

3 Recommended frequency ranges 27

4 Recommended vibration amplitudes with lower cross-over frequency (8 Hz to 10 Hz) 29

5 Recommended vibration amplitudes with higher cross-over frequency (58 Hz to 62 Hz) 29

6 Recommended vibration displacement amplitudes applicable only for frequency ranges with an upper frequency of 10 Hz 31

A.1 Number of sweep cycles and associated endurance times per axis 59

A.2 Constant bandwidth response time 63

www.Lisungroup.com

Tableaux Pages

A.3 Temps de réponse pour une largeur de bande passante constante en pourcentage 62

B.1 Endurance par balayage –Exemples avec une fréquence de transfert plus élevée 70

C.1 Endurance par balayage – Exemples avec une fréquence de transfert plus basse 74

C.2 Endurance par balayage – Exemples avec une fréquence de transfert plus élevée 78

Figures

1 Abaque donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence, pour une fréquence de transfert basse (8 Hz à 10 Hz) 80

2 Abaque donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence, pour une fréquence de transfert élevée (58 Hz à 62 Hz) 82

3 Abaque donnant l'amplitude de déplacement des vibrations en fonction de la fréquence (applicable seulement dans les gammes de fréquences ayant une limite supérieure de fréquence de 10 Hz) 84

A.1 Facteurs de transmissibilité généralisée pour isolateurs de vibrations 86

www.Lisungroup.com

Tables

Page

A.3 Constant percentage bandwidth response time 63

B.1 Endurance by sweeping – Examples with higher cross-over frequency 71

C.1 Endurance by sweeping – Examples with lower cross-over frequency 75

C.2 Endurance by sweeping – Examples with higher cross-over frequency 79

Figures

1 Nomogram relating vibration amplitude to frequency with lower cross-over frequency (8 Hz to 10 Hz) 81

2 Nomogram relating vibration amplitude to frequency with higher cross-over frequency (58 Hz to 62 Hz) 83

3 Nomogram relating vibration displacement amplitude to frequency (only applicable for frequency ranges with an upper frequency of 10 Hz) 85

A.1 Generalized transmissibility factors for vibration isolators 87

www.Lisungroup.com

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)

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 Norme internationale CEI 68-2-6 a été établie par le sous-comité 50A: Essais de vibrations, de chocs et autres essais dynamiques, du comité d'études 50 de la CEI: Essais d'environnement.

Cette sixième édition annule et remplace la cinquième édition parue en 1982, les modifications 1 (1983) et 2 (1985) constituent une révision technique.

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
50A(BC)232	50A/294/RVD

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

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

Les annexes A, B et C de cette norme sont données uniquement à titre d'information.

www.lisungroup.com

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING –

Part 2: Tests –
Test Fc: Vibration (sinusoidal)

FOREWORD

1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international 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.

International Standard IEC 68-2-6 has been prepared by sub-committee 50A: Vibration, impact and other dynamic tests, of IEC technical committee 50: Environmental testing.

This sixth edition cancels and replaces the fifth edition published in 1982, amendments 1 (1983) and 2 (1985), and constitutes a technical revision.

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

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

DIS	Report on voting
50A(CO)232	50A/294/RVD

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

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

Annexes A, B and C of this standard are for information only.

www.isungroup.com

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 68 donne une méthode d'essai applicable aux composants, matériels et autres articles qui peuvent, pendant leur transport ou leur utilisation, être soumis à des conditions comprenant des vibrations de nature harmonique engendrées surtout par des forces rotatives, pulsatoires ou oscillantes comme il en existe à bord des navires, des avions, des véhicules terrestres, des appareils à voilure tournante et dans les applications spatiales, ou qui peuvent être causées par des machines ou par des phénomènes sismiques.

Cette norme consiste essentiellement à soumettre un spécimen à des vibrations sinusoïdales dans une gamme de fréquences donnée ou fréquences discrètes, pendant une durée déterminée. Une étude et recherche de la réponse en fréquence du spécimen peut être prescrite afin d'en déterminer les fréquences critiques.

La spécification particulière indiquera si le spécimen doit fonctionner en présence de vibrations ou s'il suffit qu'il soit encore en état de marche après avoir été soumis à ces vibrations.

Il faut insister sur le fait que les essais aux vibrations requièrent toujours un certain degré d'appréciation technique, et il convient que le fournisseur et le client en aient tous deux pleinement conscience. Toutefois, l'essai aux vibrations sinusoïdales étant de type déterministe, il est relativement simple à effectuer. Il s'applique facilement aussi bien à l'essai de diagnostic qu'à celui de durée de vie.

La partie principale de la présente norme traite surtout des méthodes pour piloter l'essai en des points spécifiés au moyen de méthodes, à la fois analogiques et numériques, et décrit en détail la procédure d'essai. Les exigences sur le mouvement vibratoire, le choix des sévérités (y compris les gammes de fréquences), les amplitudes et les durées d'essai d'endurance sont aussi spécifiées car ces sévérités représentent une série rationnelle de paramètres. On attend du rédacteur de spécifications particulières qu'il choisisse les modalités d'exécution et les valeurs adaptées au spécimen et à son utilisation.

Certains termes ont été définis afin de faciliter une bonne compréhension du texte. Ces définitions sont données à l'article 3.

L'annexe A donne des informations générales pour l'essai et les annexes B et C fournissent des informations pour le choix des sévérités destinées aux composants et aux matériels.

www.lisungroup.com

INTRODUCTION

This part of IEC 68 gives a method of test applicable to components, equipment and other articles which, during transportation or in service, may be subjected to conditions involving vibration of a harmonic pattern, generated primarily by rotating, pulsating or oscillating forces, such as occur in ships, aircraft, land vehicles, rotorcraft and space applications or are caused by machinery and seismic phenomena.

This standard consists basically of subjecting a specimen to sinusoidal vibration over a given frequency range or at discrete frequencies, for a given period of time. A vibration response investigation may be specified which aims at determining critical frequencies of the specimen.

The relevant specification shall indicate whether the specimen shall function during vibration or whether it suffices that it still works after having been submitted to vibration.

It is emphasized that vibration testing always demands a certain degree of engineering judgement, and both the supplier and purchaser should be fully aware of this fact. However, sinusoidal testing is deterministic and, therefore, relatively simple to perform. Thus it is readily applicable to both diagnostic and service life testing.

The main part of this standard deals primarily with the methods of controlling the test at specified points using either analogue or digital techniques, and gives, in detail, the testing procedure. The requirements for the vibration motion, choice of severities including frequency ranges, amplitudes and endurance times are also specified; these severities representing a rationalized series of parameters. The relevant specification writer is expected to choose the testing procedure and values appropriate to the specimen and its use.

Certain terms have been defined to facilitate a proper understanding of the text. These definitions are given in clause 3.

Annex A gives general guidance for the test and annexes B and C provide guidance on the selection of severities for components and equipment.

www.lisungroup.com

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 68 fournit une méthode d'essai qui donne des règles d'exécution normalisées pour déterminer l'aptitude des composants, matériels et autres articles ci-après désignés «spécimens», à résister à des sévérités spécifiées de vibrations sinusoïdales.

Le but de cet essai est de déterminer les faiblesses mécaniques et/ou les dégradations des caractéristiques spécifiées, et d'utiliser ces renseignements conjointement avec la spécification particulière pour décider si un spécimen est acceptable ou non. On peut l'utiliser, dans certains cas, pour déterminer la robustesse intrinsèque d'un spécimen et/ou pour étudier son comportement dynamique. Il peut être utilisé pour classer les composants en catégories sur la base d'une sélection faite à partir des sévérités données dans l'essai.

2 Références normatives

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

CEI 50(721): 1991, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 721: Télégraphie, télécopie et communication de données*

CEI 68-1: 1988, *Essais d'environnement – Première partie: Généralités et guide*
Amendement 1 (1992)

CEI 68-2-34: 1973, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Fd: Vibrations aléatoires à large bande – Exigences générales**
Amendement 1 (1983)

CEI 68-2-35: 1973, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Fda: Vibrations aléatoires à large bande – Reproductibilité Haute**
Amendement 1 (1983)

CEI 68-2-36: 1973, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Fdb: Vibrations aléatoires à large bande – Reproductibilité Moyenne**
Amendement 1 (1983)

---

* Les essais Fd, Fda, Fdb et Fdc seront supprimés en 1998.

www.Lisungroup.com

ENVIRONMENTAL TESTING –

Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)

1 Scope

This part of IEC 68 gives a method of test which provides a standard procedure to determine the ability of components, equipment and other articles, hereinafter referred to as specimens, to withstand specified severities of sinusoidal vibration.

The purpose of this test is to determine any mechanical weakness and/or degradation in the specified performance of specimens and to use this information, in conjunction with the relevant specification, to decide the acceptability of the specimens. In some cases, the test method may also be used to demonstrate the mechanical robustness of specimens and/or to study their dynamic behaviour. Categorization of components can also be made on the basis of a selection from within the severities quoted in the test.

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 indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(721): 1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 721: Telegraphy facsimile and data communication*

IEC 68-1: 1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*
Amendment 1 (1992)

IEC 68-2-34: 1973, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fd: Random vibration wide band – General requirements**
Amendment 1 (1983)

IEC 68-2-35: 1973, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fda: Random vibration wide band – Reproducibility High**
Amendment 1 (1983)

IEC 68-2-36: 1973, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fdb: Random vibration wide band – Reproducibility Medium**
Amendment 1 (1983)

* Tests Fd, Fda, Fdb and Fdc are to be withdrawn in 1998.

www.Lisungroup.com

CEI 68-2-37: 1973, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Fdc: Vibrations aléatoires à large bande – Reproductibilité Basse**
Amendement 1 (1983)

CEI 68-2-47: 1982, *Essais environnement – Partie 2: 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 68-2-64: 1993, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande (asservissement numérique) et guide*

CEI 721-1: 1990, *Classification des conditions d'environnement – Partie 1: Agents d'environnement et leurs sévérités*
Amendement 1 (1992)

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

3 Définitions

Définitions par ordre alphabétique:

Amortissement	3.8
Balayage de fréquences restreint	3.11
Cycle de balayage	3.4
Fréquence critique	3.9
Fréquence de résonance centrée	3.10
g_n	3.12
Mouvement fondamental	3.6
Mouvement réel	3.7
Pilotage à partir de plusieurs points	3.3.2
Pilotage à partir d'un seul point	3.3.1
Points de mesure	3.2
Points de fixation	3.1
Points de référence	3.2.2
Points de référence fictif	3.2.2.1
Points de vérification	3.2.1
Tolérance sur le signal	3.5

Les termes utilisés sont généralement ceux qui sont définis dans l'ISO 2041 et dans la CEI 68-1. Cependant, les termes «cycle de balayage» (3.4) et «tolérance sur le signal» (3.5) ont un sens particulier dans la présente norme.

Les autres termes ci-après ne sont pas identiques à ceux définis dans l'ISO 2041 et la CEI 68-1.

3.1 **point de fixation:** Partie du spécimen en contact avec le bâti de fixation ou la table vibrante en un point où le spécimen est normalement fixé en utilisation. Si une partie de la structure normale de montage est utilisée comme bâti, les points de fixation seront pris comme étant ceux de la structure de montage et non ceux du spécimen.

www.Lisungroup.com

IEC 68-2-37: 1973, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fdc: Random vibration wide band – Reproducibility Low**
Amendment 1 (1983)

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 68-2-64: 1993, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fh: Vibration broad-band random (digital control) and guidance*

IEC 721-1: 1990, *Classification of environmental conditions – Part 1: Environmental parameters and their severities*
Amendment 1 (1992)

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

3 Definitions

Definitions in alphabetical order:

Actual motion	3.7
Basic motion	3.6
Centred resonance frequency	3.10
Check point	3.2.1
Critical frequencies	3.9
Damping	3.8
Fictitious reference point	3.2.2.1
Fixing point	3.1
g_n	3.12
Measuring points	3.2
Multipoint control	3.3.2
Reference point	3.2.2
Restricted frequency sweeping	3.11
Signal tolerance	3.5
Single point control	3.3.1
Sweep cycle	3.4

The terms used are generally as defined in ISO 2041 and in IEC 68-1. However, sweep cycle (3.4) and signal tolerance (3.5) have specific meanings in this standard.

The other terms described below are not identical to, or not defined in, ISO 2041 or in IEC 68-1.

3.1 **fixing point:** Part of the specimen in contact with the fixture or vibration table at a point where the specimen is normally fastened in service. If a part of the real mounting structure is used as the fixture, the fixing points shall be taken as those of the mounting structure and not of the specimen.

www.Lisungroup.com

3.2 **points de mesure:** Points particuliers où des informations sont recueillies pour la conduite de l'essai. Ils sont de deux types principaux, définis ci-après.

NOTE – On peut faire des mesures en certains points du spécimen afin de connaître son comportement; ces points ne sont pas considérés comme des points de mesure au sens de cette norme. Pour plus de détails, voir A.2.1.

3.2.1 **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, dans tous les cas, rigidement lié à ce dernier.

NOTES

1 On utilise 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 de dimensions importantes, il convient que la spécification particulière indique 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 montés 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 (c'est-à-dire le point de référence) qui sera lié au support plutôt qu'aux points de fixation des spécimens. Cela n'est valable que lorsque la plus basse fréquence de résonance du support chargé est nettement au-dessus de la limite supérieure de fréquence de l'essai.

3.2.2 **point de référence:** Point choisi parmi les points de vérification et dont on utilise le signal pour piloter l'essai afin de satisfaire aux conditions d'essai spécifiées.

3.2.2.1 **point de référence fictif:** Point fictif obtenu à partir de points de vérification multiples, soit manuellement soit automatiquement, dont le résultat est utilisé pour piloter l'essai afin de satisfaire aux conditions d'essai spécifiées.

3.3 *Points de pilotage*

3.3.1 **pilotage à partir d'un seul point:** On utilise le signal venant du capteur placé au point de référence, afin de maintenir ce point au niveau de vibrations spécifié (voir 4.1.4.1).

3.3.2 **pilotage à partir de plusieurs points:** On utilise les signaux provenant de chacun des capteurs placés aux points de vérification et on les traite, soit par des méthodes de comparaison, soit en faisant la moyenne arithmétique de manière continue, selon ce que requiert la spécification particulière (voir 4.1.4.1).

3.4 **cycle de balayage:** Le fait de parcourir une fois dans chaque sens la gamme de fréquences spécifiée, par exemple 10 Hz à 150 Hz à 10 Hz.

NOTE – Les manuels d'utilisation des fabricants de systèmes de pilotage numérique font souvent référence à un cycle de balayage allant de f_1 à f_2, et non de f_1 à f_2 à f_1.

3.5 **tolérance sur le signal:** Tolérance sur le signal $T = \left(\frac{NF}{F} - 1\right) \times 100$ (en pourcentage)

où

NF est la valeur efficace du signal non filtré;

F est la valeur efficace du signal filtré.

NOTE – Cette grandeur est utilisée quel que soit le signal utilisé pour contrôler l'essai: accélération, vitesse ou déplacement. (voir A.2.2)

www.Lisungroup.com

3.2 **measuring points:** The test is carried out using data gathered at certain specific points. These are of two main types, the definitions of which are given below.

NOTE – Measurements may be made at points within the specimen in order to assess its behaviour, but these are not considered as measuring points in the sense of this standard. For further details, see A.2.1.

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

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 in 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 (i.e. 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 is only valid when the lowest resonance frequency of the loaded fixture is well above the upper frequency of the test.

3.2.2 **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.

3.2.2.1 **fictitious reference point:** A fictitious point derived from multiple check points either manually or automatically, the result of which is used to control the test, so that the requirements of this standard are satisfied.

3.3 *Control points*

3.3.1 **single point control:** This is achieved by using the signal from the transducer at the reference point in order to maintain this point at the specified level (see 4.1.4.1).

3.3.2 **multipoint control:** This is achieved by using the signals from each of the transducers at the check points. The signals are either continuously averaged arithmetically or processed by using comparison techniques, depending upon the relevant specification (see 4.1.4.1).

3.4 **sweep cycle:** A traverse of the specified frequency range once in each direction, for example 10 Hz to 150 Hz to 10 Hz.

NOTE – Manufacturer's handbooks for digital sine control systems often refer to a sweep cycle as f_1 to f_2, not f_1 to f_2 to f_1.

3.5 **signal tolerance:** Signal tolerance $T = \left(\frac{NF}{F} - 1\right) \times 100$ (per cent).

where

NF is the r.m.s value of the unfiltered signal;

F is the r.m.s value of the filtered signal.

NOTE – This parameter applies to whichever signal, i.e. acceleration, velocity or displacement, is being used to control the test. (see A.2.2)

www.Lisungroup.com

3.6 **mouvement fondamental:** Mouvement à la fréquence de vibration d'excitation au point de référence (voir aussi 4.1.1).

3.7 **mouvement réel:** Mouvement représenté par le signal à large bande provenant du capteur placé au point de référence.

3.8 **amortissement:** Terme générique lié à de nombreux mécanismes de dissipation d'énergie dans un système. En pratique, l'amortissement dépend de plusieurs facteurs, tels que le type de structure, le mode de vibration, la déformation, la force appliquée, la vitesse, les matériaux, le glissement des joints, etc.

3.9 **fréquence critique:** Fréquence pour laquelle:

– apparaît un mauvais fonctionnement et/ou une altération des propriétés du spécimen, dus aux vibrations, et/ou

– se produisent des résonances mécaniques et/ou d'autres manifestations d'une réponse, par exemple, des martèlements.

3.10 **fréquence de résonance centrée:** Fréquence automatiquement centrée sur la fréquence de résonance réelle apparaissant au cours de l'essai d'endurance.

3.11 **balayage de fréquences restreint:** Balayage sur une gamme de fréquences restreinte comprise entre 0,8 et 1,2 fois la fréquence critique.

3.12 g_n: Accélération normalisée due à la pesanteur terrestre, variable en fonction de l'altitude et de la latitude géographique.

NOTE – Pour les besoins de la présente norme, la valeur de g_n est arrondie au nombre entier le plus proche, soit 10 m/s^2.

4 Exigences pour l'essai

4.1 *Caractéristiques requises*

Les caractéristiques requises s'appliquent à tout l'appareillage d'essai, ce qui inclut les amplificateurs de puissance, l'excitateur, les moyens de fixation, le système de pilotage et le spécimen monté pour l'essai.

4.1.1 *Mouvement fondamental*

Le mouvement fondamental doit être une fonction sinusoïdale du temps et tel que les points de fixation du spécimen se déplacent sensiblement en phase et suivant des directions rectilignes et parallèles, compte tenu des limitations de 4.1.2 et de 4.1.3.

www.Lisungroup.com

3.6 **basic motion:** Motion at the driving frequency of vibration at the reference point (see also 4.1.1).

3.7 **actual motion:** Motion represented by the wideband signal returned from the reference point transducer.

3.8 **damping:** The generic term ascribed to the numerous energy dissipation mechanisms in a system. In practice, damping depends on many parameters, such as the structural system, mode of vibration, strain, applied forces, velocity, materials, joint slippage, etc.

3.9 **critical frequencies:** Frequencies at which:

- malfunctioning and/or deterioration of performance of the specimen are exhibited which are dependent on vibration, and/or
- mechanical resonances and/or other response effects occur, for example, chatter.

3.10 **centred resonance frequency:** Frequency automatically centred on the actual resonance frequency derived from the vibration response investigation.

3.11 **restricted frequency sweeping:** Sweeping over a restricted frequency range between 0,8 and 1,2 times the critical frequency.

3.12 g_n: Standard acceleration due to the earth's gravity, which itself varies with altitude and geographical latitude.

NOTE – For the purpose of this standard, the value of g_n is rounded up to the nearest whole number, that is 10 m/s^2.

4 Requirements for testing

4.1 *Required characteristics*

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.

4.1.1 *Basic motion*

The basic motion shall be a sinusoidal function of time and such that the fixing points of the specimen move substantially in phase and in straight parallel lines, subject to the limitations of 4.1.2 and 4.1.3.

www.Lisungroup.com

4.1.2 *Mouvement parasite*

4.1.2.1 *Mouvement transversal*

Le niveau maximal de vibration 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. Les mesures n'ont besoin de couvrir que la gamme de fréquences spécifiée. Dans les cas spéciaux, par exemple pour les petits spécimens, l'amplitude du mouvement transversal toléré peut être limitée à 25 % si la spécification particulière le prescrit.

Dans certains cas, par exemple pour les spécimens de grande taille ou de masse élevée ou encore pour certaines fréquences, 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 et préciser dans le rapport d'essai tout mouvement transversal dépassant les limites établies ci-dessus,

b) ou ne pas contrôler le mouvement transversal s'il est établi que celui-ci ne présente pas de risque pour le spécimen.

4.1.2.2 *Mouvement de rotation*

Dans le cas de spécimens de grande taille ou de masse élevée, un mouvement important de rotation parasite de la table vibrante peut survenir. La spécification particulière doit alors prescrire un niveau acceptable. Le niveau atteint doit être précisé dans le rapport d'essai (voir également A.2.4).

4.1.3 *Tolérance sur le signal*

Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, les mesures de la tolérance sur le signal d'accélération doivent être faites. Elles doivent être exécutées au point de référence et doivent couvrir les fréquences allant jusqu'à 5 000 Hz ou cinq fois la fréquence d'excitation, si cette dernière valeur est la plus petite. Toutefois, cette fréquence d'analyse maximale peut être portée à la fréquence supérieure de l'essai, ou au-delà, si cela est prescrit par la spécification particulière. Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, la tolérance sur le signal ne doit pas être supérieure à 5 % (voir 3.5).

Si prescrit dans la spécification particulière, l'amplitude de l'accélération du signal de pilotage à la fréquence d'excitation fondamentale est rétablie à la valeur spécifiée en utilisant un filtre de poursuite (voir A.4.4).

Dans le cas de spécimens de grande taille ou complexes, où les valeurs de tolérance sur le signal 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 tolérance sur le signal doit être précisée dans le rapport d'essai (voir A.2.2).

NOTE – Si un filtre de poursuite n'est pas utilisé et si la tolérance sur le signal est supérieure à 5 %, la reproductibilité peut être affectée de façon significative du fait du choix entre les systèmes de pilotage analogique ou numérique (voir A.4.5).

La spécification particulière peut demander que l'on précise dans le rapport d'essai les valeurs de la tolérance sur le signal définie ci-dessus ainsi que la gamme de fréquences concernée, qu'un filtre de poursuite ait été utilisé ou non (voir A.2.2).

www.Eisungroup.com

4.1.2 *Spurious motion*

4.1.2.1 *Transverse motion*

The maximum vibration amplitude 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 in excess of 500 Hz. The measurements need only cover the specified frequency range. In special cases, e.g. small specimens, the amplitude of the permissible transverse motion may be limited to 25 %, if required by the relevant specification.

In some cases, for example for large size or high mass specimens or at some frequencies, it may be difficult to achieve the figures quoted above. In such cases the relevant specification shall state which of the following requirements apply:

a) any transverse motion in excess of that stated above shall be noted and stated in the test report; or

b) transverse motion which is known to offer no hazard to the specimen need not be monitored.

4.1.2.2 *Rotational motion*

In the case of large size or high mass specimens, the occurrence of spurious rotational motion of the vibration table may be important. If so, the relevant specification shall prescribe a tolerable level. The achieved level shall be stated in the test report (see also A.2.4).

4.1.3 *Signal tolerance*

Unless otherwise stated in the relevant specification, acceleration signal tolerance measurements shall be performed. They shall be carried out at 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 to the upper test frequency for the sweep, or beyond, if specified in the relevant specification. Unless otherwise stated in the relevant specification, the signal tolerance shall not exceed 5 % (see 3.5).

If stated in the relevant specification, the acceleration amplitude of the control signal at the fundamental driving frequency shall be restored to the specified value by use of a tracking filter (see A.4.4).

In the case of large or complex specimens, where the specified signal tolerance values cannot be satisfied at some parts of the frequency range and it is impracticable to use a tracking filter, the acceleration amplitude need not be restored, but the signal tolerance shall be stated in the test report (see A.2.2).

NOTE – If a tracking filter is not used and the signal tolerance is in excess of 5 %, the reproducibility may be significantly affected by the choice of either a digital or analogue control system (see A.4.5).

The relevant specification may require that the signal tolerance, together with the frequency range affected, is stated in the test report whether or not a tracking filter has been used (see A.2.2).

www.lisungroup.com

4.1.4 *Tolérances sur l'amplitude de la vibration*

L'amplitude du mouvement fondamental suivant l'axe requis, aux points de vérification et de référence, doit être égale à la valeur spécifiée avec les tolérances spécifiées ci-après. Ces tolérances comprennent les erreurs dues à l'instrumentation. La spécification particulière peut demander que le rapport d'essai précise le niveau de confiance utilisé dans l'évaluation des incertitudes de mesure.

Aux fréquences basses ou avec des spécimens de grande taille ou de masse élevée, il peut être difficile de respecter les tolérances requises. Dans ces cas-là, une tolérance plus large ou l'utilisation d'une autre méthode d'évaluation doit être prescrite par la spécification particulière et précisée dans le rapport d'essai.

4.1.4.1 *Point de référence*

Tolérance sur le signal de pilotage au point de référence: ±15 % (voir A.2.3).

La spécification particulière doit indiquer si l'on doit faire le pilotage à partir d'un ou de plusieurs points. S'il est prescrit un pilotage à partir de plusieurs points, la spécification particulière doit indiquer si l'on doit maintenir au niveau de vibrations spécifié la valeur moyenne des signaux aux points de vérification, ou la valeur du signal en un point particulier, par exemple celui qui a la plus grande amplitude (voir A.2.3).

NOTE – S'il n'est pas possible de réaliser le pilotage à partir d'un seul point, on peut effectuer le pilotage à partir de plusieurs points en vérifiant la valeur moyenne ou extrême des signaux aux points de vérification. Dans chacun de ces cas de contrôle en plusieurs points, le point est un point de référence fictif. La méthode utilisée doit être précisée dans le rapport d'essai.

4.1.4.2 *Points de vérification*

En chaque point de vérification:

±25 % jusqu'à 500 Hz;

±50 % au-dessus de 500 Hz.

(Voir A.2.3.)

4.1.5 *Tolérances sur la fréquence*

Les tolérances requises sur la fréquence s'appliquent aussi bien à la recherche et à l'étude des fréquences critiques qu'à l'essai d'endurance.

4.1.5.1 *Endurance par balayage*

±0,05 Hz jusqu'à 0,25 Hz;

±20 % de 0,25 Hz à 5 Hz;

±1 Hz de 5 Hz à 50 Hz;

±2 % au-dessus de 50 Hz.

www.Lisungroup.com

4.1.4 *Vibration amplitude tolerances*

The basic motion amplitude in the required axis at the check and reference points shall be equal to the specified value, within the following tolerances. These tolerances include instrumentation errors. The relevant specification may require that the confidence level used in the assessment of measurement uncertainty is stated in the test report.

At low frequencies or with large size or high mass specimens it may be difficult to achieve the required tolerances. In these cases it is expected that a wider tolerance or the use of an alternative method of assessment shall be prescribed in the relevant specification and stated in the test report.

4.1.4.1 *Reference point*

Tolerance on the control signal at the reference point: ±15 % (see A.2.3).

The relevant specification shall state whether single point or multipoint control shall be used. If multipoint control is prescribed, the relevant specification shall state whether the average value of the signal at the check points or the value of the signal at a selected point (for example, that with the largest amplitude) shall be controlled to the specified level (see A.2.3).

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

4.1.4.2 *Check points*

At each check point:

±25 % up to 500 Hz;

±50 % above 500 Hz.

(See A.2.3.)

4.1.5 *Frequency tolerances*

The following frequency tolerances apply.

4.1.5.1 *Endurance by sweeping*

±0,05 Hz up to 0,25 Hz;

±20 % from 0,25 Hz to 5 Hz;

±1 Hz from 5 Hz to 50 Hz;

±2 % above 50 Hz.

www.Lisungroup.com

4.1.5.2 *Endurance à une fréquence fixe*

a) Fréquence fixe:

±2 %.

b) Fréquence quasi fixe:

±0,05 Hz jusqu'à 0,25 Hz;

±20 % de 0,25 Hz à 5 Hz;

±1 Hz de 5 Hz à 50 Hz;

±2 % au-dessus de 50 Hz.

4.1.5.3 *Mesure de la fréquence critique*

Lorsque les fréquences critiques (voir 8.1) doivent être comparées avant et après l'épreuve d'endurance, c'est-à-dire pendant une recherche et une étude des fréquences critiques, les tolérance suivantes s'appliquent:

±0,05 Hz jusqu'à 0,5 Hz;

±10 % de 0,5 Hz à 5 Hz;

±0,5 Hz de 5 Hz à 100 Hz;

±0,5 % au-dessus de 100 Hz.

4.1.6 *Balayage*

Le balayage doit être continu et la fréquence doit varier exponentiellement en fonction du temps (voir A.4.3). La vitesse de balayage doit être d'une octave par minute avec une tolérance de ±10 %. Elle peut être modifiée pour la recherche et l'étude des fréquences critiques (voir 8.1).

NOTE – Avec un système à pilotage numérique, il n'est pas strictement correct de se référer au balayage comme étant continu, mais la différence n'est pas significative sur le plan pratique.

4.2 *Fixation*

Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, les spécimens doivent être fixés sur l'appareillage d'essai selon les exigences de la CEI 68-2-47. Pour les spécimens normalement montés sur isolateurs de vibrations, voir aussi la NOTE de 8.2.2, ainsi que A.3.1, A.3.2 et A.5.

5 Sévérités

Une sévérité de vibration est définie par la combinaison de trois paramètres: gamme de fréquences, amplitude de vibration, durée de l'épreuve d'endurance (en nombre de cycles de balayage ou en temps).

Pour chaque paramètre, la spécification particulière doit choisir l'exigence appropriée parmi celles qui sont énumérées ci-dessous ou celles qui sont déduites d'autres sources d'informations appropriées (par exemple la CEI 721). Si l'environnement connu est sensiblement différent, les exigences doivent être déterminées en fonction de celui-ci par la spécification particulière.

www.Lisungroup.com

4.1.5.2 *Endurance at fixed frequency*

a) Fixed frequency:

±2 %.

b) Almost fixed frequency:

±0,05 Hz up to 0,25 Hz;

±20 % from 0,25 Hz to 5 Hz;

±1 Hz from 5 Hz to 50 Hz;

±2 % above 50 Hz.

4.1.5.3 *Measurement of critical frequency*

When the critical frequencies (see 8.1) before and after endurance are to be compared, i.e. during vibration response investigations, the following tolerances shall apply:

±0,05 Hz up to 0,5 Hz;

±10 % from 0,5 Hz to 5 Hz;

±0,5 Hz from 5 Hz to 100 Hz;

±0,5 % above 100 Hz.

4.1.6 *Sweep*

The sweeping shall be continuous and the frequency shall change exponentially with time (see A.4.3). The sweep rate shall be one octave per minute with a tolerance of ±10 %. This may be varied for a vibration response investigation (see 8.1).

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.

4.2 *Mounting*

Unless otherwise stated in the relevant specification, the specimens shall be mounted on the test apparatus in accordance with the requirements in IEC 68-2-47. For specimens normally mounted on vibration isolators, see in addition 8.2.2 NOTE, A.3.1, A.3.2 and A.5.

5 Severities

A vibration severity is defined by the combination of the three parameters: frequency range, vibration amplitude and duration of endurance (in sweep cycles or time).

For each parameter, the relevant specification shall choose the appropriate requirements from those listed below or derived from other known sources of relevant data (for example IEC 721). If the known environment is substantially different, the requirements shall be related to it by the relevant specification.

www.Lisungroup.com

Afin de permettre une certaine souplesse dans les situations où l'environnement réel est connu, il peut être utile de spécifier une amplitude de l'accélération ayant une valeur donnée en fonction de la fréquence et, dans ces cas, la spécification particulière doit prescrire le niveau vibratoire en fonction de la fréquence. Les différents niveaux et leurs gammes de fréquences correspondantes, c'est-à-dire les points de rupture, doivent être choisis, chaque fois que cela est possible, à partir des valeurs données dans la présente norme.

Des exemples de sévérités sont donnés dans l'annexe B pour les composants et dans l'annexe C pour les matériels (voir aussi A.4.1 et A.4.2).

5.1 *Gamme de fréquences*

La spécification particulière doit déterminer la gamme de fréquences en choisissant la fréquence inférieure parmi celles du tableau 1 et la fréquence supérieure parmi celles du tableau 2. Les gammes recommandées sont présentées dans le tableau 3.

Pour des applications particulières, des exemples de gammes de fréquences sont données dans les tableaux B.1, C.1 et C.2.

Tableau 1 – Basse fréquence

f_1 Hz
0,1
1
5
10
55
100

Tableau 2 – Haute fréquence

f_2 Hz
10
20
35
55
100
150
300
500
2 000
5 000

www.Lisungroup.com

To permit some flexibility in situations where the real environment is known, it may be appropriate to specify a shaped acceleration versus frequency 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 this standard.

Examples of severities for components are given in annex B and for equipment in annex C (see also A.4.1 and A.4.2).

5.1 *Frequency range*

The frequency range shall be stated in the relevant specification by selecting a lower frequency from table 1 and an upper frequency from table 2. The recommended ranges are shown in table 3.

Examples of ranges for particular applications are given in tables B.1, C.1 and C.2.

Table 1 – Lower frequency

f_1 Hz
0,1
1
5
10
55
100

Table 2 – Upper frequency

f_2 Hz
10
20
35
55
100
150
300
500
2 000
5 000

www.Lisungroup.com

Tableau 3 – Gammes de fréquences recommandées

De f_1 à f_2 Hz		
1	à	35
1	à	100
10	à	55
10	à	150
10	à	500
10	à	2 000
10	à	5 000
55	à	500
55	à	2 000
55	à	5 000
100	à	2 000

5.2 *Amplitude des vibrations*

L'amplitude des vibrations (déplacement ou accélération ou les deux) doit être donnée dans la spécification particulière.

Au-dessous d'une certaine fréquence appelée «fréquence de transfert», toutes les amplitudes sont spécifiées à déplacement constant, alors qu'au-dessus de cette fréquence, elles sont données à accélération constante. Les valeurs recommandées sont données dans les tableaux 4 et 5 pour les deux fréquences de transfert.

Chaque valeur de l'amplitude du déplacement est associée à une valeur correspondante de l'amplitude de l'accélération (indiquée sur la même ligne des tableaux 4 et 5) de sorte que le niveau de vibration soit le même à la fréquence de transfert (voir A.4.1).

Lorsque, techniquement, il ne convient pas d'adopter les fréquences de transfert données dans ce paragraphe, la spécification particulière peut coupler des amplitudes de déplacement et d'accélération qui donnent une valeur différente de fréquence de transfert. Dans certains cas, on peut aussi spécifier plus d'une fréquence de transfert.

NOTE – Des abaques donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence sont donnés dans les figures 1, 2 et 3; toutefois, avant de les utiliser dans la zone des basses fréquences, il est conseillé de tenir compte des indications de A.4.1.

Jusqu'à une limite supérieure de fréquence de 10 Hz, il convient normalement de spécifier une amplitude de déplacement sur toute la gamme de fréquences. C'est pourquoi seules des amplitudes de déplacement sont spécifiées dans le tableau 6 et la figure 3.

www.bzfxw.com

Table 3 – Recommended frequency ranges

From f_1 to f_2 Hz		
1	to	35
1	to	100
10	to	55
10	to	150
10	to	500
10	to	2 000
10	to	5 000
55	to	500
55	to	2 000
55	to	5 000
100	to	2 000

5.2 *Vibration amplitude*

The vibration amplitude (displacement or acceleration or both) shall be stated in the relevant specification.

Below a certain frequency known as the cross-over frequency, all amplitudes are specified as constant displacement, whilst above this frequency, amplitudes are given as constant acceleration. The recommended values are stated in tables 4 and 5 for the two different cross-over frequencies.

Each value of displacement amplitude is associated with a corresponding value of acceleration amplitude (shown on the same line in tables 4 and 5) so that the amplitude of vibration is the same at the cross-over frequency (see A.4.1).

Where it is not technically appropriate to adopt the cross-over frequencies stated in this subclause, the relevant specification may couple displacement and acceleration amplitudes giving a different value of cross-over frequency. In some circumstances more than one cross-over frequency may also be specified.

NOTE – Nomograms relating vibration amplitude to frequency are given in figures 1, 2 and 3 but, before their use in the low-frequency region, consideration should be given to the guidance in A.4.1.

Up to an upper frequency of 10 Hz, it is normally appropriate to specify a displacement amplitude over the whole frequency range. Therefore, in table 6 and figure 3 only displacement amplitudes are specified.

www.Lisungroup.com

Tableau 4 – Amplitudes de vibration recommandées pour une fréquence de transfert basse (8 Hz à 10 Hz)

Amplitude du déplacement en-dessous de la fréquence de transfert		Amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert	
mm	(in)	m/s^2	(g_n)
0,35	(0,014)	1	(0,1)
0,75	(0,03)	2	(0,2)
1,5	(0,06)	5	(0,5)
3,5	(0,14)	10	(1,0)
7,5	(0,30)	20	(2,0)
10	(0,40)	30	(3,0)
15	(0,60)	50	(5,0)

NOTES

1 Toutes les valeurs sont données en amplitudes (valeurs de crête).

2 Les valeurs en inches, qui sont données pour information, sont déduites des valeurs originales en millimètres et sont des valeurs approchées. De même, les valeurs en g_n sont données à titre d'information.

3 L'amplitude du déplacement de 15 mm est destinée principalement aux générateurs hydrauliques de vibrations.

Tableau 5 – Amplitudes de vibration recommandées pour une fréquence de transfert élevée (58 Hz à 62 Hz)

Amplitude du déplacement en-dessous de la fréquence de transfert		Amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert	
mm	(in)	m/s^2	(g_n)
0,035	(0,0014)	5	(0,5)
0,075	(0,003)	10	(1,0)
0,15	(0,006)	20	(2,0)
0,35	(0,014)	50	(5,0)
0,75	(0,03)	100	(10)
1,0	(0,04)	150	(15)
1,5	(0,06)	200	(20)
2,0	(0,08)	300	(30)
3,5	(0,14)	500	(50)

NOTES

1 Toutes les valeurs sont données en amplitudes (valeurs de crête).

2 Les valeurs en inches, qui sont données pour information, sont déduites des valeurs originales en millimètres et sont des valeurs approchées. De même, les valeurs en g_n sont données à titre d'information.

www.lisungroup.com

Table 4 – Recommended vibration amplitudes with lower cross-over frequency (8 Hz to 10 Hz)

Displacement amplitude below the cross-over frequency		Acceleration amplitude above the cross-over frequency	
mm	(in)	m/s^2	(g_n)
0,35	(0,014)	1	(0,1)
0,75	(0,03)	2	(0,2)
1,5	(0,06)	5	(0,5)
3,5	(0,14)	10	(1,0)
7,5	(0,30)	20	(2,0)
10	(0,40)	30	(3,0)
15	(0,60)	50	(5,0)

NOTES

1 All figures quoted are amplitudes (peak values).

2 The inch values which are given for information are derived from the original millimetric values and are approximate. Similarly, the g_n values are given for information.

3 The displacement amplitude of 15 mm is primarily intended for hydraulic vibration generators.

Table 5 – Recommended vibration amplitudes with higher cross-over frequency (58 Hz to 62 Hz)

Displacement amplitude below the cross-over frequency		Acceleration amplitude above the cross-over frequency	
mm	(in)	m/s^2	(g_n)
0,035	(0,0014)	5	(0,5)
0,075	(0,003)	10	(1,0)
0,15	(0,006)	20	(2,0)
0,35	(0,014)	50	(5,0)
0,75	(0,03)	100	(10)
1,0	(0,04)	150	(15)
1,5	(0,06)	200	(20)
2,0	(0,08)	300	(30)
3,5	(0,14)	500	(50)

NOTES

1 All figures quoted are amplitudes (peak values).

2 The inch values which are given for information are derived from the original millimetric values and are approximate. Similarly, the g_n values are given for information.

www.lisungroup.com

Tableau 6 – Amplitudes de vibration recommandées (déplacement) applicables seulement aux gammmes de fréquences ayant une limite supérieure de fréquence de 10 Hz

Amplitude du déplacement	
mm	(in)
10	(0,40)
35	(1,4)
75	(3,0)
100	(4,0)

NOTES

1 Toutes les valeurs sont données en amplitudes (valeurs de crête).

2 Les valeurs en inches, qui sont données pour information, sont déduites des valeurs originales en millimètres et sont des valeurs approchées.

3 Les amplitudes de déplacement supérieures à 10 mm sont destinées principalement aux générateurs hydrauliques de vibrations.

5.3 *Durée de l'endurance*

La spécification particulière doit choisir la ou les durées parmi les valeurs recommandées données ci-après. Si la valeur spécifiée conduit à une durée d'endurance de 10 h ou plus par axe ou par fréquence, on peut subdiviser ce temps en périodes d'essai distinctes à condition que cela n'entraîne pas une diminution des contraintes appliquées au spécimen (voir A.1 et A.6.2).

5.3.1 *Endurance par balayage*

La durée de l'endurance suivant chaque axe doit être donnée en nombre de cycles de balayage (voir 3.4), choisi par la spécification particulière parmi les valeurs suivantes:

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100.

Quand un nombre de cycles élevé est requis, il convient d'appliquer la même série (voir A.4.3).

5.3.2 *Endurance à des fréquences fixes*

5.3.2.1 *Endurance aux fréquences critiques*

La durée de l'endurance selon chaque axe approprié et à chaque fréquence retenue pendant la recherche et l'étude des fréquences critiques (voir 8.1) doit être choisie par la spécification particulière parmi les valeurs suivantes, données avec une tolérance de $^{+5}_{0}$ % (voir A.1 et A.6.2).

10 min; 30 min; 90 min; 10 h.

Pour les fréquences quasi fixes, voir A.1.

www.Lisungroup.com

Table 6 – Recommended vibration displacement amplitudes applicable only for frequency ranges with an upper frequency of 10 Hz

Displacement amplitude	
mm	(in)
10	(0,40)
35	(1,4)
75	(3,0)
100	(4,0)

NOTES

1 All figures quoted are amplitudes (peak values).

2 The inch values which are given for information are derived from the original millimetric values and are approximate.

3 The displacement amplitudes of greater than 10 mm are primarily intended for hydraulic vibration generators.

www.Lisungroup.com

5.3 *Duration of endurance*

The relevant specification shall select the duration(s) from the recommended values given below. If the specified duration leads to an endurance time of 10 h or more per axis or frequency, this time may be split into separate testing periods provided that stresses in the specimen are not thereby reduced (see A.1 and A.6.2).

5.3.1 *Endurance by sweeping*

The duration of the endurance in each axis shall be given as a number of sweep cycles (see 3.4) chosen by the relevant specification from the list given below:

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100.

When a higher number of sweep cycles is required, the same series should be applied (see A.4.3).

5.3.2 *Endurance at fixed frequencies*

5.3.2.1 *Endurance at critical frequencies*

The duration of the endurance in each appropriate axis at each frequency found during the vibration response investigation (see 8.1) shall be chosen by the relevant specification from the values given below with a tolerance of $^{+5}_{0}$ % (see A.1 and A.6.2):

10 min; 30 min; 90 min; 10 h.

For almost fixed frequencies, see A.1.

5.3.2.2 *Endurance à des fréquences prédéterminées*

La durée prescrite par la spécification particulière doit tenir compte de la durée totale pendant laquelle le spécimen est susceptible d'être soumis à de telles vibrations au cours de sa vie opérationnelle. Pour chaque combinaison de fréquence et d'axe spécifiée, la durée de l'épreuve ne doit pas dépasser 10^7 cycles de la contrainte (voir A.1 et A.6.2).

6 Préconditionnement

La spécification particulière peut demander un préconditionnement, et dans ce cas doit le prescrire (voir la CEI 68-1).

7 Mesures initiales

Le spécimen doit être soumis aux vérifications visuelles, dimensionnelles et fonctionnelles prescrites par la spécification particulière (voir A.9).

8 Epreuve

Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, le spécimen doit être soumis à des vibrations successivement selon trois axes perpendiculaires entre eux. Il convient que ces axes soient choisis de telle manière que les défauts soient très vraisemblablement mis en évidence.

8.1 *Recherche et étude de fréquences critiques*

Si la spécification particulière le prescrit, on doit étudier le comportement du spécimen dans la gamme de fréquences spécifiée par un essai de recherche et d'étude des fréquences critiques. Normalement, la recherche et l'étude des fréquences critiques doivent être effectuées durant un cycle de balayage dans les mêmes conditions que pour l'endurance (voir 8.2), mais on peut diminuer l'amplitude de vibration et la vitesse de balayage en-dessous de la valeur spécifiée si, ce faisant, on peut obtenir une détermination plus précise des caractéristiques de la réponse. Il convient d'éviter les arrêts prolongés de balayage et une contrainte excessive du spécimen (voir A.3.1).

Si la spécification particulière le prescrit, le spécimen devra fonctionner pendant la recherche et l'étude des fréquences critiques. S'il n'est pas possible d'évaluer le comportement mécanique du spécimen sous l'effet des vibrations parce qu'il est en fonctionnement, une recherche et une étude supplémentaires des fréquences critiques devront être effectuées, le spécimen n'étant pas mis en fonctionnement.

Durant la recherche et l'étude des fréquences critiques, le spécimen et les résultats de la réponse doivent être examinés afin de déterminer les fréquences critiques. Ces fréquences, ainsi que les amplitudes appliquées et le comportement du spécimen doivent être notées dans le rapport d'essai (voir A.1). La spécification particulière doit préciser les mesures à prendre.

Si l'on utilise un pilotage numérique, on doit être très prudent lors de la détermination des fréquences critiques à partir du tracé de la courbe de réponses, en raison des limitations résultant du nombre de points de données choisis par balayage, ou de la capacité de discrimination de l'écran d'affichage du système de pilotage (voir A.3.1).

www.Lisungroup.com

5.3.2.2 *Endurance at predetermined frequencies*

The duration stated in the relevant specification shall take into account the total time the specimen is expected to be submitted to such vibration during its operational life. An upper limit of 10^7 stress cycles shall apply for each stated combination of frequency and axis (see A.1 and A.6.2).

6 Pre-conditioning

The relevant specification may call for pre-conditioning and shall then prescribe the conditions (see IEC 68-1).

7 Initial measurements

The specimen shall be submitted to the visual, dimensional and functional checks prescribed by the relevant specification (see A.9).

8 Testing

Unless otherwise stated in the relevant specification, the specimen shall be vibrated in three mutually perpendicular axes, in turn, which should be so chosen that faults are most likely to be revealed.

8.1 *Vibration response investigation*

When called for in the relevant specification, the response of the specimen in the defined frequency range shall be investigated in order to study the behaviour of the specimen under vibration. Normally, the vibration response investigation shall be carried out over a sweep cycle under the same conditions as for the endurance (see 8.2), but the vibration amplitude may be diminished and the sweep rate decreased below the specified value if, thereby, more precise determination of the response characteristics can be obtained. Undue dwell time and overstressing of the specimen shall be avoided (see A.3.1).

The specimen shall be functioning during this vibration response investigation if required by the relevant specification. Where the mechanical vibration characteristics cannot be assessed because the specimen is functioning, an additional vibration response investigation with the specimen not functioning shall be carried out.

During the vibration response investigation, the specimen and the vibration response data shall be examined in order to determine critical frequencies. These frequencies, applied amplitudes and the behaviour of the specimen shall be stated in the test report (see clause A.1). The relevant specification shall state what action shall be taken.

When digital control is used, care shall be taken when determining the critical frequencies from the plot of the response curve, due to limitations as a result of the number of data points per sweep chosen, or the discrimination ability of the control system display screen (see A.3.1).

www.lisungroup.com

Dans certains cas, la spécification particulière peut demander de faire une nouvelle recherche et étude des fréquences critiques à l'issue d'une épreuve d'endurance en vue de comparer les fréquences critiques avant et après l'épreuve. La spécification particulière doit dire ce qu'il faut faire s'il se produit une variation de ces fréquences. Il est essentiel que ces deux recherches et études des fréquences critiques soient exécutées de la même manière et aux mêmes amplitudes de vibration (voir 4.1.5.3 et A.3.1).

8.2 *Endurance*

La spécification particulière doit prescrire, parmi les modalités d'exécution de l'épreuve d'endurance qui suivent, celle qui doit être utilisée.

8.2.1 *Endurance par balayage*

Cette méthode est préférentielle.

Un balayage de fréquence doit être exécuté sur toute la gamme de fréquences avec l'amplitude et la durée choisies par la spécification particulière (voir 5.3.1). Si nécessaire, on peut subdiviser la gamme de fréquences, à condition que les contraintes appliquées au spécimen ne s'en trouvent pas diminuées.

8.2.2 *Endurance à fréquence fixe*

Les vibrations doivent être appliquées au spécimen:

a) soit aux fréquences découlant de l'étude des fréquences critiques traitées en 8.1 en utilisant l'une des méthodes ci-après:

1) fréquence fixe,

– fréquence de résonance centrée

La fréquence appliquée doit toujours être maintenue à la fréquence critique réelle.

2) fréquence quasi fixe,

– balayage de fréquences restreint.

Si la fréquence critique réelle n'est pas évidente, par exemple s'il y a des martèlements ou quand on essaie simultanément plusieurs spécimens particuliers, il peut être bon d'exécuter un balayage sur une gamme de fréquences restreinte comprise entre 0,8 et 1,2 fois la fréquence critique, afin d'être sûr d'exciter complètement le phénomène recherché. Cela peut également s'appliquer quand la résonance n'est pas linéaire (voir A.1).

b) soit aux fréquences prédéterminées prescrites par la spécification particulière.

L'essai doit être exécuté dans les conditions d'amplitude et de durée prescrites par la spécification particulière (voir A.3.2).

NOTE – Dans le cas d'un spécimen monté sur isolateurs de vibrations, il convient que la spécification particulière précise si l'on doit ou non choisir, pour cette épreuve d'endurance, les fréquences de résonance du spécimen sur ses isolateurs de vibrations (voir A.5).

www.Lisungroup.com

In certain circumstances, the relevant specification may require an additional vibration response investigation on completion of an endurance procedure so that the critical frequencies before and after can then be compared. The relevant specification shall state what action is to be taken if any change of frequency occurs. It is essential that both vibration response investigations are carried out in the same manner and at the same vibration amplitudes (see 4.1.5.3 and A.3.1).

8.2 *Endurance procedures*

The relevant specification shall prescribe which of the following endurance procedures shall be employed.

8.2.1 *Endurance by sweeping*

This endurance procedure is preferred.

The frequency shall be swept over the frequency range at the sweep rate, the amplitude and for the duration selected by the relevant specification (see 5.3.1). If necessary, the frequency range may be sub-divided, provided that the stresses in the specimen are not thereby reduced.

8.2.2 *Endurance at fixed frequencies*

Vibration shall be applied either at:

a) those frequencies derived from the vibration response investigation given in 8.1, using one of the following methods:

1) fixed frequency,

– centred resonance frequency.

The applied frequency shall always be maintained at the actual critical frequency.

2) almost fixed frequency,

– restricted frequency sweeping.

If the actual critical frequency is not clearly evident, for example if there is chatter, or where a number of individual specimens are being tested simultaneously, it may be convenient to sweep over a restricted frequency range between 0,8 and 1,2 times the critical frequency in order to be sure of exciting the effect fully. This may also apply where the resonance is non-linear (see A.1).

b) predetermined frequencies stated in the relevant specification.

The test shall be applied at the amplitude and for the duration stated in the relevant specification (see A.3.2).

NOTE – In the case of a specimen mounted on vibration isolators, the relevant specification will need to state whether or not the resonance frequencies of the specimen on its isolators should be chosen for this endurance (see A.5).

www.Lisungroup.com

9 Mesures intermédiaires

Lorsque la spécification particulière le demande, le spécimen doit fonctionner pendant l'épreuve et ses performances doivent y être vérifiées pour la proportion spécifiée de la durée totale (voir A.3.2 et A.8).

10 Reprise

Si la spécification particulière l'exige, il peut être parfois nécessaire de laisser s'écouler un certain temps après l'épreuve d'endurance et avant les mesures finales pour permettre au spécimen de se retrouver dans les mêmes conditions, de température par exemple, que pour les mesures initiales. La spécification particulière doit prescrire les conditions précises de la reprise.

11 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 la décision d'acceptation ou de rejet du spécimen doit être fondée (voir A.9).

12 Renseignements que doit donner la spécification particulière

Lorsque cet essai est inclus dans une spécification particulière, les détails suivants doivent y être donnés, dans la mesure où ils sont applicables. La spécification doit donner les renseignements comme requis dans les articles cités ci-après, en faisant particulièrement attention aux points repérés par un astérisque (*) car ce renseignement doit toujours être donné.

	Articles et/ou paragraphes
a) Choix des points de contrôle	3.2.1
b) Choix des points de pilotage*	3.3.2
c) Mouvement transversal	4.1.2.1
d) Mouvement rotatif	4.1.2.2
e) Tolérance sur le signal	4.1.3
f) Tolérance sur l'amplitude des vibrations	4.1.4
g) Niveau de confiance	4.1.4
h) Pilotage à partir d'un seul point ou à partir de plusieurs points*	4.1.4.1
i) Fixation	4.2
j) Sévérités, environnement réel, si connu	5
k) Gammes de fréquences*	5.1
l) Amplitude des vibrations*	5.2
m) Fréquences de transfert particulières	5.2
n) Type et durée de l'endurance*	5.3 et 8.2

www.Lisungroup.com

9 Intermediate measurements

When prescribed by the relevant specification, the specimen shall be functioning and its performance checked during the test for the specified proportion of the total time (see A.3.2 and A.8).

10 Recovery

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

11 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 A.9).

12 Information to be given in the relevant specification

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

		Clause and/or subclause
a)	Choice of check points	3.2.1
b)	Choice of control points*	3.3.2
c)	Transverse motion	4.1.2.1
d)	Rotational motion	4.1.2.2
e)	Signal tolerance	4.1.3
f)	Vibration amplitude tolerance	4.1.4
g)	Confidence level	4.1.4
h)	Single or multipoint control*	4.1.4.1
i)	Mounting	4.2
j)	Severities, real environment, if known	5
k)	Frequency range*	5.1
l)	Vibration amplitude*	5.2
m)	Special cross-over frequency	5.2
n)	Duration of endurance*	5.3 and 8.2

www.Lisungroup.com

o)	Préconditionnement	6
p)	Mesures initiales*	7
q)	Axes de vibration*	8
r)	Limitation de la force	8
s)	Phases de l'essai à exécuter et leur séquence*	8, 8.1 et 8.2
t)	Fonctionnement et contrôles fonctionnels *	8.1 et 9
u)	Mesures à prendre après la recherche et l'étude des fréquences critiques*	8.1
v)	Mesures à prendre si l'on trouve une variation des fréquences critiques lors de la recherche et de l'étude finales de ces fréquences *	8.1
w)	Fréquences prédéterminées	8.2.2
x)	Epreuve aux fréquences de résonance du spécimen monté sur ses isolateurs de vibrations	8.2.2
y)	Reprise	10
z)	Mesures finales*	11
aa)	Critères d'acceptation ou de rejet	11

www.Lisungroup.com

o)	Pre-conditioning	6
p)	Initial measurements*	7
q)	Axes of vibration*	8
r)	Force limitation	8
s)	Test stages to be performed and sequence*	8, 8.1 and 8.2
t)	Functioning and functional checks*	8.1 and 9
u)	Action to be taken after the vibration response investigation*	8.1
v)	Action to be taken if a change of response frequency is found when a final response investigation is performed*	8.1
w)	Predetermined frequencies	8.2.2
x)	Testing at the resonance frequencies of the specimen on its vibration isolators	8.2.2
y)	Recovery	10
z)	Final measurements*	11
aa)	Acceptance or rejection criteria*	11

www.Lisungroup.com

Annexe A
(informative)

Guide pour l'essai Fc

A.1 Introduction

Cet essai donne une méthode par laquelle on peut reproduire en laboratoire des effets comparables à ceux qui peuvent se produire dans la pratique. Son but fondamental n'est pas nécessairement de reproduire l'environnement réel.

Les paramètres donnés sont normalisés et les tolérances adéquates sont choisies de façon à obtenir des résultats comparables lorsqu'un essai est exécuté à des endroits différents par des personnes différentes utilisant des méthodes de pilotage analogiques ou numériques. La normalisation des valeurs permet aussi de grouper les composants en catégories correspondant à leur aptitude à supporter certaines sévérités de vibration données dans cette norme.

En matière d'essais de vibrations, les spécifications antérieures ont généralement abordé le problème en prescrivant une recherche de résonances suivie d'un essai d'endurance dans lequel on fait vibrer le spécimen aux fréquences de résonances pendant un temps déterminé. Malheureusement, il est difficile de distinguer, au moyen d'une définition générale, les résonances susceptibles de causer des défaillances en service de celles qui risquent d'être peu gênantes, même quand on fait vibrer le spécimen pendant de longues périodes.

De plus, de telles méthodes d'essai sont souvent irréalistes quand on les applique à la plupart des spécimens modernes. L'observation directe est presque impossible quand il s'agit d'apprécier le comportement en présence de vibrations d'un objet clos quelconque ou d'ensembles miniaturisés modernes. Il est souvent impossible d'utiliser des techniques à base de capteurs de vibrations sans modifier la distribution des masses et des raideurs de l'ensemble. Quand on peut se servir de capteurs, le succès dépend entièrement de l'habileté et de l'expérience de l'ingénieur d'essai qui choisit les endroits appropriés de l'ensemble où seront faites les mesures.

La méthode préconisée ici, c'est-à-dire l'épreuve d'endurance par balayage, permet de réduire ces difficultés au minimum et d'éviter d'avoir à définir ce qu'on entend par résonances significatives ou dangereuses. La recommandation de cette méthode a été influencée par le besoin de spécifier des méthodes d'essai qui soient aussi bien définies que l'état actuel des essais d'environnement le permet, et qui dépendent aussi peu que possible de la dextérité de l'ingénieur d'essai. L'endurance par balayage est déterminée par le nombre de cycles de balayages eux-mêmes déduits du nombre de cycles de contrainte correspondant.

Cette méthode peut, cependant, conduire dans certains cas à des durées d'épreuve dont la longueur est gênante si cette durée a été voulue assez longue pour garantir une résistance à la fatigue comparable au temps de service requis, ou une résistance à la fatigue illimitée dans des conditions de vibration comparables à celles qui prévaudront en service. C'est pourquoi on a indiqué d'autres méthodes comme l'épreuve d'endurance à des fréquences fixes qui peuvent être, soit prédéterminées, soit trouvées lors de la recherche et de l'étude des fréquences critiques. Il est prévu que l'épreuve à fréquence fixe est applicable si, pendant la recherche et l'étude des fréquences critiques, le nombre de ces fréquences dans chaque axe se révèle être peu élevé et ne dépasse pas normalement quatre. Si ce nombre dépasse quatre, l'épreuve d'endurance par balayage peut être plus appropriée.

www.lisungroup.com

Annex A
(informative)

Guide to test Fc

A.1 Introduction

The test provides a method by which effects comparable with those likely to be experienced in practice can be reproduced in the test laboratory. The basic intention is not necessarily to reproduce the real environment.

The parameters given are standardized and suitable tolerances chosen in order to obtain similar results when a test is run at different locations by different people using either analogue or digital control techniques. The standardization of values also enables components to be grouped into categories corresponding to their ability to withstand certain vibration severities given in this standard.

In vibration testing, the usual approach in previous specifications has been to search for the resonances and then to undertake an endurance test in which a specimen is vibrated at resonance frequencies for a prescribed time. Unfortunately, it is difficult to differentiate, by means of a general definition, between resonances which are liable to cause failure in service and those unlikely to cause trouble, even when the specimen is vibrated for long periods.

In addition, such testing procedures are often unrealistic when applied to the majority of modern specimens. Direct observation is almost impossible in the assessment of vibration characteristics of any enclosed item, or of modern miniaturized assemblies. Vibration transducer techniques often cannot be applied without altering the mass-stiffness distribution of the assembly. In cases where transducers can be used, success depends entirely on the skill and experience of the test engineer in selecting appropriate points in the assembly for measurement.

www.lisungroup.com

The procedure preferred here, i.e. endurance by sweeping, minimizes these difficulties and avoids the necessity of defining significant or damaging resonances. The recommendation of this method has been influenced by the need to specify test methods which are as well defined as the present state of environmental testing will allow, and which reduce the dependence upon the skill of the test engineer to a minimum. The endurance by sweeping is given by the number of sweep cycles which are derived from related numbers of stress cycles.

The procedure may, however, in some cases lead to inconveniently long times if the endurance duration is intended to be long enough to ensure a fatigue life comparable to the required service time, or unlimited fatigue life under conditions of vibration comparable with those experienced in service. Therefore, other methods have been given, including endurance at fixed frequencies, which are either predetermined or found during the response investigation. It is expected that fixed frequency endurance is applicable if, during the vibration response investigation, the number of such frequencies in each axis is found to be small and not normally exceeding four. If the number exceeds four, endurance by sweeping may be more appropriate.

Il convient que, dans le cas des fréquences quasi fixes, la durée de l'épreuve d'endurance soit établie à partir des valeurs spécifiées pour les fréquences critiques. Toutefois, il convient d'ajouter à la valeur choisie un pourcentage de cette durée fonction de la gamme des fréquences critiques des spécimens (voir 5.3.2.1).

Il peut être bon de faire une épreuve d'endurance à la fois par balayage et à des fréquences fixes. Il faut se rappeler que l'épreuve à fréquence fixe requiert toujours une part non négligeable d'appréciation technique dans sa mise en oeuvre.

De plus, pour toute fréquence prédéterminée, la durée d'endurance doit être indiquée dans la spécification particulière.

Les sévérités pour l'épreuve d'endurance à fréquence fixe sont données en durée dans le cas des fréquences critiques. Cette durée est souvent fondée sur une estimation du nombre de cycles de contraintes. Etant donné la grande variété de matériaux, il est évident que l'on ne peut pas donner un nombre unique réaliste pour le nombre de cycles de la contrainte. Néanmoins, on considère que 10^7 est une limite supérieure assez satisfaisante pour être citée dans un essai général aux vibrations et qu'il n'est pas besoin de la dépasser (voir 5.3.2.1 et 5.3.2.2).

Dans certains cas, lorsqu'il existe un bruit de fond de vibrations de niveau élevé, soit aléatoire, soit de nature complexe, il est possible que l'essai aux vibrations sinusoïdales ne soit pas approprié. En conséquence, on laisse à l'utilisateur le soin de déterminer si l'essai aux vibrations sinusoïdales seul convient pour cette application particulière.

Si l'on sait que l'environnement réel est, pour l'essentiel, une vibration aléatoire, il vaut mieux exécuter la phase d'endurance aux vibrations aléatoires, chaque fois que cela est économiquement possible. C'est particulièrement le cas pour les matériels. Pour certains spécimens du type composant de construction simple, un essai aux vibrations sinusoïdales est habituellement suffisant. Les essais aux vibrations aléatoires font l'objet de la CEI 68-2-34*, la CEI 68-2-35*, la CEI 68-2-36*, la CEI 68-2-37* et pour le pilotage numérique la CEI 68-2-64.

www.Lisungroup.com

A.2 Mesures et pilotage

A.2.1 *Points de mesure*

Deux types principaux de points de mesure on été définis dans l'article 3. Il peut cependant parfois être nécessaire, pendant le développement de la procédure d'essai, de mesurer les réponses locales du spécimen afin de s'assurer que les vibrations en ces points ne risquent pas de causer des dommages. Dans certains cas, tels que pendant la phase de conception, il peut même être nécessaire d'incorporer les signaux venant de ces points de mesure dans la boucle de pilotage afin d'éviter au spécimen des dégradations coûteuses. Il faut toutefois noter que cette technique n'est pas recommandée dans cette norme, car elle ne peut être normalisée (voir 3.2).

A.2.2 *Erreurs dues à la tolérance sur le signal*

Si la tolérance sur le signal est inférieure à 5 %, il n'y a alors pas de différence pratique entre la vibration réelle et le mouvement fondamental.

---

* Ces normes seront supprimées en 1998.

In the case of almost fixed frequencies the duration of endurance should be based on the values stated for critical frequencies. However, to the selected value, a proportion of that time should be added which is dependant upon the range of critical frequencies of the specimens (see 5.3.2.1).

It may be appropriate to carry out endurance testing both by sweeping and at fixed frequencies. It needs to be remembered that endurance at fixed frequencies still requires a certain amount of engineering judgement in application.

In addition, for any predetermined frequency, the endurance time needs to be given in the relevant specification.

The fixed frequency endurance is given as time in the case of critical frequencies. This time is often based on an anticipated number of stress cycles. Owing to the wide variety of materials it is obvious that no realistic single figure could be given for the number of stress cycles. Nevertheless, it is considered that 10^7 is a sufficiently practicable upper figure to be quoted for general vibration testing and need not be exceeded (see 5.3.2.1 and 5.3.2.2).

In some cases where there is a high level of background vibration which may be of a random or complex nature, sinusoidal testing may not be adequate. It is, therefore, left to the user to determine if sinusoidal testing alone is suitable for the particular application.

If it is known that the real environment is essentially random vibration, a random vibration test should be used for the endurance phase wherever economically possible. This is particularly applicable in the case of equipment. For some component-type specimens of simple construction a sinusoidal test is usually adequate. The random vibration tests are dealt with in IEC 68-2-34*, IEC 68-2-35*, IEC 68-2-36*, IEC 68-2-37* and for digital control in IEC 68-2-64.

www.Lisungroup.com

A.2 Measurement and control

A.2.1 *Measuring points*

Two main types of measuring points are defined in clause 3. However, on occasions it may be necessary to measure local responses within a specimen in order to establish that the vibration at these points is not likely to cause damage. Under certain circumstances such as during the design stage, it may even be necessary to incorporate the signals from such measuring points into the control loop in order to avoid costly degradation of the specimen. It should be noted, however, that this technique is not recommended herein as it cannot be standardized (see 3.2).

A.2.2 *Errors caused by signal tolerance*

Where the signal tolerance is less than 5 % there is no practical difference between actual motion and basic motion.

---

* These standards are to be withdrawn in 1998.

Si l'on utilise un spécimen de petite taille ou de faible masse avec une grande table vibrante, il ne devrait généralement pas y avoir de problèmes de tolérance sur le signal. En effet lorsque les mesures de tolérance sur le signal sont effectuées, lorsque le système d'essai aux vibrations vient d'être installé, on peut admettre que les mesures d'origine s'appliquent. Cependant, les laboratoires doivent avoir conscience des problèmes engendrés par les spécimens de plus grande taille.

Quand la tolérance sur le signal est élevée, le système de mesure indique un niveau de vibration incorrect puisqu'il contient la fréquence désirée et beaucoup de fréquences parasites. Il en résultera une amplitude plus faible que celle spécifiée à la fréquence requise. Jusqu'à la valeur spécifiée en 4.1.3 pour la tolérance sur le signal, cette erreur peut être admise. Toutefois, au-dessus de cette valeur, il peut être nécessaire de rétablir le niveau à la fréquence 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 fréquence fondamentale est rétabli, la contrainte voulue sera appliquée au spécimen à la fréquence requise.

Il peut arriver que, dans ces conditions, le niveau des fréquences parasites augmente lui aussi et il en résultera des contraintes supplémentaires. Si cela conduit à des contraintes exagérément élevées, il peut être préférable de déroger à l'exigence sur le niveau de tolérance sur le signal requis par la spécification particulière (voir 4.1.3).

Pour un système numérique, on peut obtenir d'autres informations sur le signal de pilotage à large bande non filtré en faisant passer le signal dans un analyseur de spectre. On peut alors effectuer une analyse sur la gamme de fréquences spécifiée, et cette analyse révélera la fondamentale, les harmoniques et les autres composantes spectrales dues par exemple aux martèlements et aux chocs.

NOTE – La relation entre la distorsion D et la tolérance sur le signal T est donnée par:

$$\frac{D}{100} = \sqrt{\left(\frac{T}{100}\right)^2 + \frac{2 \times T}{100}}$$

où D et T sont exprimées en pourcentages.

(Lorsqu'une tolérance sur le signal de valeur $T = 5$ est introduite dans l'équation précédente, une distorsion $D = 32$ en résultera.)

www.Lisungroup.com

A.2.3 *Provenance du signal de pilotage*

On distingue plusieurs méthodes pour obtenir le signal de pilotage.

S'il est spécifié un pilotage à partir de plusieurs points, c'est-à-dire en utilisant la moyenne arithmétique, une méthode consiste à obtenir le signal moyen à partir de tensions continues proportionnelles aux niveaux d'accélération de crête en chaque point de vérification.

Si l'on utilise le multiplexage temporel (voir le terme 721-04-11 dans la CEI 50(721)) pour établir une scrutation périodique de chaque point de vérification, il convient que la fréquence de scrutation de chaque point ne soit pas supérieure à la fréquence d'excitation de façon à être sûr de prendre en compte au moins une période de chaque signal. Par exemple, si l'on utilise quatre capteurs, à 100 Hz, il convient que la période d'interrogation de chaque point de vérification ne soit pas inférieure à 0,01 s. Il peut néanmoins y avoir des difficultés lorsqu'un tel système est utilisé avec un filtre de poursuite et, dans ce cas, il faut prendre des précautions appropriées.

Where a small size or low mass specimen is used with a large vibration table there should generally not be a problem with signal tolerance. Indeed, where system signal tolerance measurements were taken when the vibration system was newly installed, the original measurements may be assumed to apply. However, laboratories need to be aware of potential problems with large specimens.

In cases where the signal tolerance 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 signal tolerance value specified in 4.1.3, this error can be tolerated; however, above this value it may be necessary to restore the level of the fundamental to its required amplitude. There are a number of ways of doing this, 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.

It may be that, under these conditions, the unwanted frequencies will also increase and as a result some additional stresses will be caused. If this gives rise to unrealistically high stresses, it may be more appropriate to waive the signal tolerance level requirement prescribed in the relevant specification (see 4.1.3).

For a digital system, additional information on the wide band unfiltered control signal can be obtained by passing the signal into a spectrum analyser. An analysis can then be performed over the specified frequency range and will show the fundamental, harmonics and other noise content, caused, for example, by chattering and impacting.

NOTE – The relationship between distortion D and signal tolerance T is given by:

$$\frac{D}{100} = \sqrt{\left(\frac{T}{100}\right)^2 + \frac{2 \times T}{100}}$$

where D and T are expressed as percentage values.

(When a signal tolerance $T = 5$ is inserted in the above equation a distortion $D = 32$ will result.)

www.lisungroup.com

A.2.3 *Derivation of control signal*

A number of methods are available for derivation of the control signal.

If an averaged multipoint control signal is specified, i.e. one derived from the arithmetic mean, one method is where the averaged signal is obtained by processing the direct voltages proportional to the peak acceleration levels at each check point.

If time-division multiplexing (see item 721-04-11 in IEC 50(721)) is used to establish a periodic interrogation of each check point, the interrogation frequency should not be greater than the driving frequency so as to ensure that at least one period of each signal is taken into account. For example, if four transducers are used, at 100 Hz the period of interrogation for each check point should not be less than 0,01 s. There may, however, be problems where such a system is used in conjunction with a tracking filter and due care needs to be taken.

Le système à échantillonnage peut aussi causer des difficultés quand l'essai doit être piloté à une amplitude de déplacement constante, puisque le signal de l'accélération, après une double intégration, ne sera pas proportionnel à l'amplitude de déplacement à cause de la tolérance sur le signal créée par les différences de phase entre les signaux échantillonnés (voir 3.3.2).

Il importe que l'ensemble du moyen d'essai ait un niveau de bruit résiduel faible de façon que la plupart des tolérances données (voir 4.1.4.1) soient disponibles. Normalement, 0,6 m/s^2 est un niveau de bruit acceptable pour les moyens d'excitation.

A.2.4 *Mouvement de rotation* (voir 4.1.2.2)

Les spécimens de grande taille ou de masse élevée peuvent réagir à l'excitation sinusoïdale par des moments de basculement provoqués, soit par l'excentricité de la force d'inertie de la masse rigide par rapport à l'axe de guidage de la table vibrante, soit par la répartition des forces d'inertie des formes modales correspondant aux fréquences de résonance. Ces moments de basculement peuvent induire des mouvements de rotation autour des axes situés dans tout plan orthogonal à la direction du mouvement fondamental et peuvent donc provoquer des contraintes supplémentaires dans le spécimen. Ceci pourrait créer des contraintes inutilement élevées. Il peut donc être approprié de réduire les mouvements de rotation ou connaître au moins leur grandeur. Les fréquences de résonance et les formes modales spécifiques au spécimen n'étant pas normalement connues avant l'essai, il est difficile de formuler des hypothèses générales concernant ces paramètres.

On peut obtenir certains critères utiles en considérant la masse du spécimen (m), la masse des parties mobiles de la table vibrante (m_t), la distance (d) entre le centre de gravité du spécimen et l'axe de guidage de la table vibrante et la hauteur (h) du centre de gravité du spécimen par rapport à l'axe de guidage horizontal de la table vibrante.

Pour les spécimens théoriquement rigides, le moment maximal de basculement prévu (M_o) peut être calculé de la façon suivante en présence d'une accélération d'excitation maximale A:

- masse rigide avec excentricité: $M_o = m \times d \times A$;
- masse rigide avec centre de gravité élevé excité horizontalement: $M_o = m \times h \times A$.

Pour les spécimens ayant une résonance dans la gamme de fréquences spécifiée, les mêmes formules que ci-dessus sont toujours valables, mais m représente la masse modale et A l'accélération de réponse maximale prévue. Dans les cas ci-dessus, il est important d'utiliser un système de grandeurs adaptées.

Les moyens d'essai électrodynamique et hydraulique comportent tous deux des limitations pour le moment de basculement maximal. Pour tous les types d'installations comportant un générateur de vibrations unique, il existe un moment de basculement maximal autorisé spécifié en principe par le constructeur du matériel, afin d'éviter de détériorer le générateur de vibrations.

Dans tous les cas où il y a plusieurs générateurs de vibrations, la table vibrante possède une limite maximale afin de contrebalancer les moments de basculement et, si l'on dépasse cette limite, la table vibrante engendre des mouvements de rotation (tangage ou roulis).

www.lisungroup.com

The sampled data system may cause problems when the test is to be controlled to a constant displacement amplitude since the acceleration signal, which is integrated twice, will not be proportional to the displacement amplitude owing to the signal tolerance caused by the phase difference between the sampled signals (see 3.3.2).

It is important that the complete vibration system has a low residual noise level so that most of the tolerance quoted is available during the test (see 4.1.4.1). Typically, 0,6 m/s^2 is an acceptable noise threshold for the vibration system.

A.2.4 *Rotational motion* (see 4.1.2.2)

Large size or high mass specimens can react to the sinusoidal excitation with overturning moments, caused either by the eccentricity of the inertial force of the rigid mass with respect to the thrust axis of the vibration table, or by the distribution of the inertial forces of the modal shapes in correspondence with the natural frequencies. These overturning moments can induce rotational motions around axes lying in any plane orthogonal to the basic motion direction and, as a result, some additional stresses will be caused in the specimen. This could give rise to unrealistically high stresses. Thus it may be appropriate to reduce the rotational motions or at least to know their magnitude. The natural frequencies and relevant modal shapes of the specimen are normally not known before the test and general assumptions regarding these parameters are difficult to make.

Some useful approximate criteria can be obtained by considering the mass of the specimen (m), the mass of the moving parts of the vibration table including fixture (m_t), the distance (d) between the centre of gravity of the specimen and the thrust axis of the vibration table and the height (h) of the centre of gravity of the specimen with respect to the horizontal thrust axis of the vibration table.

For theoretically rigid specimens the maximum foreseen overturning moment (M_o) can be calculated as follows in the presence of a maximum excitation acceleration A:

- rigid mass with eccentricity: $M_o = m \times d \times A$;
- rigid mass with high centre of gravity horizontally excited: $M_o = m \times h \times A$.

For specimens with a resonance in the specified frequency range, the same formulae as above are still valid, but m represents the resonant mass and A is the maximum predicted response acceleration. It is important that, in the above cases, consistent units are used.

Both electrodynamic and servo-hydraulic test equipment have maximum overturning moment limitations. In the case of single vibration generator facilities, of either type, there is a maximum allowable overturning moment, normally specified by the equipment manufacturer in order to avoid vibration generator damage.

In the case of multiple vibration generator facilities there is a maximum ability of the vibration table to counterbalance the overturning moments and to exceed this means to have some rotational motions (pitch or roll) of the vibration table.

www.lisungroup.com

On peut appliquer les critères suivants.

Lorsque le rapport m/m_t est inférieur à 0,2, il n'est pas nécessaire de faire des vérifications; dans le cas contraire, les vérifications suivantes peuvent être appropriées.

Lorsque le matériel d'essai comporte un seul générateur de vibrations (avec ou sans table hydrostatique) et ayant une table à guidage mécanique, le moment de basculement est contrebalancé par les organes élastiques ou les coussinets. Alors, il est nécessaire de mesurer le mouvement de rotation seulement lorsque le moment de basculement du spécimen dépasse 50 % du moment maximal de basculement autorisé par le moyen d'essai.

Pour les installations comportant plusieurs générateurs de vibrations et pour les moyens d'essai à plusieurs degrés de liberté, le moment de basculement est contrebalancé par les générateurs de vibrations qui sont régulés par le système de pilotage; il n'est donc nécessaire de mesurer le mouvement de rotation seulement lorsque le moment de basculement du spécimen est supérieur au moment de basculement maximal du matériel d'essai.

A.3 Exécution de l'essai

A.3.1 *Recherche et étude des fréquences critiques* (voir 8.1)

La recherche et l'étude des fréquences critiques sont de la plus grande importance lorsque dans de nombreuses applications, particulièrement on sait que le spécimen sera soumis à des vibrations périodiques importantes que l'on rencontre dans les navires, les avions et les machines tournantes. On utilise aussi cette technique quand on estime important d'étudier le comportement dynamique du spécimen. Cela peut également convenir aux spécimens pour lesquels la fatigue doit être étudiée.

Il convient de considérer avec attention l'amplitude utilisée durant la recherche et l'étude des fréquences critiques, en particulier en ce qui concerne la linéarité du comportement dynamique du spécimen, et aussi parce qu'un mauvais fonctionnement et des martèlements ne peuvent se produire qu'au niveau de l'essai.

On peut utiliser une recherche et une étude des fréquences critiques avant et après l'épreuve d'endurance pour identifier les variations de la fréquence à laquelle une résonance ou une autre réponse se produit. Une variation de fréquence peut indiquer qu'il s'est produit une fatigue et que le spécimen peut être, de ce fait, inapte à fonctionner dans l'environnement rencontré en utilisation.

En prescrivant une recherche et une étude des fréquences critiques, il convient que la spécification particulière indique clairement, si nécessaire, ce qu'il faut faire au cours et à l'issue de l'essai dans un certain nombre de cas, par exemple:

- dans le cas de valeurs particulières du coefficient d'amplification qui, si elles sont dépassées, peuvent conduire à faire une épreuve d'endurance par balayage;
- les variations de fréquence;
- les niveaux de réponse qui ne sont pas acceptables;
- le bruit d'origine électrique.

www.IsuniGroup.com

The following criteria may be applied.

If the ratio m/m_t is less than 0,2, no check is needed, otherwise the following checks may be appropriate.

For single vibration test equipment (with or without slip tables) and for mechanically guided equipment the overturning moment is counterbalanced by elastic members or bearings. Thus it is only necessary to measure the rotational motion when the specimen overturning moment is greater than 50 % of the maximum allowable overturning moment of the test equipment.

For multiple vibration generators and for test equipment with many degrees of freedom, the overturning moment is counterbalanced by the vibration generators being regulated by a control system. Thus it is only necessary to measure the rotational motion when the specimen overturning moment is greater than the maximum overturning moment capability of the test equipment.

A.3 Testing procedures

A.3.1 *Vibration response investigation* (see 8.1)

Vibration response investigations are of use for many purposes, particularly when it is known that the specimen will experience considerable vibration of a periodic nature such as is found in ships, aircraft, and rotating machinery. The response investigation is also of use when it is considered important to investigate the dynamic behaviour of the specimen and where fatigue is to be assessed.

Due consideration should be given to the amplitude used during the vibration response investigation, particularly with respect to the linearity of the dynamic behaviour of the specimen and also because malfunction and chatter may only occur at the test level.

A vibration response investigation applied before and after the endurance test can be used to identify changes in the frequency at which resonance or some other response occurs. A change in frequency may indicate that some fatigue has occurred and the specimen may, therefore, be unsuitable for the operational environment.

When prescribing the vibration response investigation, the relevant specification should clearly state, where appropriate, the actions to be taken during and following the test, for example:

- any special values of dynamic magnification which, if exceeded, would require endurance by sweeping;
- changes in frequency;
- levels of response which are unacceptable;
- electrical noise.

www.Lisungroup.com

Il importe que toute disposition prise pour déceler les effets sur les parties internes pendant la recherche et l'étude des fréquences critiques ne change pas de manière appréciable le comportement dynamique du spécimen pris dans son ensemble. Il convient aussi de se rappeler que, dans le cas des résonances non linéaires, un spécimen peut répondre différemment suivant le sens de variation de la fréquence pendant le balayage. Il convient que les fréquences critiques soient déterminées sur les parties ascendantes et descendantes du cycle de balayage puisque le spécimen se sera structurellement fixé (stabilisé) pendant la partie ascendante du balayage.

Le point de départ du balayage peut se situer à f_2 au lieu de f_1, si l'on suspecte la présence d'une non-linéarité de type dur ou mou. Dans ce cas, la détermination des fréquences critiques sera différente pour les parties ascendantes et descendantes du balayage.

Lorsqu'on utilise un pilotage numérique, il importe de choisir des points d'acquisition suffisamment nombreux, choisis entre f_1 et f_2, afin de décrire correctement chaque crête de résonance du spécimen et donc, chacune de ses fréquences critiques. Des points de renseignements en nombre insuffisant peuvent entraîner une détermination imprécise des fréquences critiques, en particulier dans la gamme de fréquences basses, lorsque les spécimens ont un taux d'amortissement faible. Normalement, on considère que l'on a obtenu un nombre d'acquisitions suffisant lorsqu'il y a au moins trois points d'acquisition dans la bande passante à –3 dB de la résonance associée. Cependant, l'étude et la recherche des fréquences critiques seront répétées si les données obtenues pendant l'étude initiale sont insuffisantes mais qu'il y a une grande présomption d'existence d'une résonance. Dans de telles circonstances, il peut aussi se révéler nécessaire de balayer une gamme de fréquences réduite.

D'autres erreurs dans la détermination des fréquences critiques peuvent provenir du choix d'une méthode de représentation graphique des données, car certains systèmes peuvent avoir une capacité limitée d'affichage précis des données. C'est pourquoi il peut être nécessaire d'agrandir l'échelle du graphique autour de chaque fréquence critique pour surmonter cette difficulté.

Lorsque la spécification particulière prescrit une recherche et une étude des fréquences critiques, il est extrêmement important de pouvoir disposer des isolateurs de vibrations utilisés. S'ils sont disponibles, on fera souvent une première étude en bloquant ou en enlevant les isolateurs de vibrations afin de déterminer les fréquences critiques du spécimen.

On peut alors procéder à une deuxième phase dans laquelle l'étude est répétée avec les isolateurs de vibrations en place et débloqués de telle sorte que les effets qui leur sont dû puissent être déterminés. Dans les deux cas, on utilisera une amplitude de vibration différente, afin de tenir compte des caractéristiques de transmissibilité des isolateurs de vibrations (voir figure A.1).

Si les isolateurs de vibrations ne sont pas disponibles, voir A.5.1.

A.3.2 *Endurance* (voir 8.2)

L'endurance par balayage est en principe la méthode la plus appropriée pour simuler les effets des contraintes subies par des spécimens pendant leur utilisation (voir 8.2.1).

www.Lisungroup.com

It is important that any arrangements made to detect the effect upon internal parts during a vibration response investigation should not substantially change the dynamic behaviour of the specimen as a whole. It should also be remembered that, in the case of a non-linear resonance, a specimen may respond differently depending upon the direction of the frequency variation during the sweep. Critical frequencies should be determined on the upward and downward part of the sweep cycle since the specimen may have structurally settled (stabilized) during the upward portion of the sweep.

The starting point of the sweep may be at f_2 instead of f_1, if it is suspected that either a softening or hardening spring non-linearity is present. Critical frequency determination will be different for the upward and downward parts of the sweep.

When digital control is used, it is important that a sufficiently large number of data points are chosen between f_1 and f_2 in order to adequately describe each resonance peak and, therefore, each critical frequency of the specimen. Insufficient data points may result in inaccurate determination of the critical frequencies, especially in the low frequency range with specimens having a low damping ratio. Normally it is considered that sufficient data has been obtained when there are at least three (five if possible) data points within the –3 dB bandwidth of the associated resonance. However, the response investigation will need to be repeated if insufficient data is obtained but there is a strong indication that a resonance exists. In such instances it may also be necessary to sweep over a restricted frequency range.

Further errors in determining the critical frequencies may result from the choice of method for any graphical representation of the data since some systems may be limited in their ability to accurately display all of the data. It may, therefore, be necessary to expand the graph around each critical frequency to overcome this problem.

When a vibration response investigation is called for in the relevant specification the availability of any vibration isolators used is of fundamental importance. If vibration isolators are available, a first investigation is often carried out with the vibration isolators removed or blocked in order to determine the critical frequencies of the specimen.

A second stage may then also be performed in which the vibration response investigation is repeated with the vibration isolators mounted and free so that the effect which they have on the specimen can be determined. At the first stage, different vibration amplitudes will be needed in order to take into account the transmissibility characteristics of the vibration isolators (see figure A.1).

If the isolators are not available, see A.5.1.

A.3.2 *Endurance* (see 8.2)

Endurance by sweeping is normally the most appropriate method for simulating the effect of the stresses undergone by specimens in use (see 8.2.1).

www.Lisungroup.com

L'endurance à fréquence fixe convient à une gamme limitée de conditions de fonctionnement de matériels dont l'emplacement d'utilisation est sous l'influence de machines ou dont l'installation est limitée à un seul ou à un petit nombre de véhicules ou d'avions. Dans ce cas, les fréquences dominantes sont souvent connues ou peuvent être prévues. Cette méthode peut aussi convenir pour l'accumulation rapide des cycles de contrainte, afin de montrer les effets de la fatigue, tels que ceux qui découlent d'une excitation due à l'environnement créé par le transport (voir 8.2.2).

Dans certains cas, il peut aussi être important de considérer les aspects possibles de la fatigue à certaines fréquences discrètes tout autant que de prouver l'aptitude du spécimen à supporter des vibrations. Dans ces conditions, il est bon de faire des épreuves d'endurance à fréquence fixe suivies d'une épreuve d'endurance par balayage. Ceci permet de disposer des renseignements requis dans le plus bref délai possible.

Dans le cas de composants de petite taille où l'on pense qu'il n'y a pas de résonance en dessous de 55 Hz ou 100 Hz, il suffit de commencer l'épreuve d'endurance à ces fréquences.

Pour l'essai d'endurance, un matériel normalement monté sur isolateurs de vibrations est habituellement essayé avec ceux-ci en place. S'il n'est guère possible de le faire avec les isolateurs de vibrations appropriés, par exemple si le matériel doit être installé en même temps que d'autres dans un bâti de montage commun, l'essai pourra être fait sans isolateurs de vibrations mais à une sévérité différente que doit préciser la spécification particulière. Il convient que cette amplitude soit déterminée en tenant compte de la transmissibilité du système d'isolateurs de vibrations selon chaque axe requis pour l'essai. Quand on ne connaît pas les caractéristiques des isolateurs de vibrations, voir A.5.1.

La spécification particulière peut prescrire un essai supplémentaire sur un spécimen dont les isolateurs de vibrations 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.

www.Lisungroup.com

A.4 Sévérités d'essai (voir article 5)

A.4.1 *Sélection des sévérités d'essai*

Les fréquences et les amplitudes données ont été choisies de manière à couvrir les réponses en fréquence correspondant à une large gamme d'utilisation. Quand un matériel n'est destiné qu'à une seule application, il vaut mieux fonder la sévérité sur les caractéristiques vibratoires de l'environnement réel, si on les connaît. Quand les conditions de vibration de l'environnement réel ne sont pas connues pour un matériel, il convient de choisir la sévérité appropriée parmi celles de l'annexe C qui donne des exemples de sévérités d'essai pour diverses applications.

Lors de la détermination des sévérités d'essai, il convient que le rédacteur de spécification prenne en compte les informations données dans la CEI 721 (voir article 5).

Comme la valeur de l'amplitude de déplacement est associée à une valeur correspondante d'amplitude d'accélération de telle sorte que le niveau de vibration soit le même à la fréquence de transfert, on peut balayer constamment la gamme de fréquences en passant du déplacement constant à l'accélération constante, ou vice versa à la fréquence de transfert. Des fréquences de transfert comprises entre 8 Hz et 10 Hz et entre 58 Hz et 62 Hz sont données.

Endurance at fixed frequencies is appropriate to a limited range of service conditions of specimens whose operational site is influenced by machinery or whose installation is restricted to one or a few types of vehicle or aircraft. In these cases, the dominant frequencies are usually known or can be predicted. It may also be appropriate for the rapid accumulation of stress cycles in order to demonstrate the effects of fatigue, for example arising from excitation during a mobile transportation environment (see 8.2.2).

In some cases it may be important to consider possible fatigue aspects at some discrete frequencies, as well as to establish the general ability of a specimen to withstand vibration. Under these circumstances, it would be appropriate to carry out endurance at fixed frequencies followed by endurance by sweeping. This would then provide the information required in the shortest possible time.

In the case of small components, where there is confidence that no resonances exist below 55 Hz or 100 Hz, according to circumstances it is sufficient to commence the endurance at these frequencies.

For endurance testing of an equipment normally mounted on vibration isolators, the vibration isolators are usually fitted. If it is not practicable to carry this out with the appropriate vibration isolators, for example if the equipment is installed together with other equipment on a common mounting device, the equipment may be tested without them at a different severity to be stated in the relevant specification. This amplitude should be determined by taking into account the transmissibility of the vibration isolating system in each axis used for the test. When the characteristics of the vibration isolators are not known, refer to A.5.1.

The relevant specification may require an additional test on a specimen with the external vibration 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 given in the relevant specification.

www.Lisungroup.com

A.4 Test severities (see clause 5)

A.4.1 *Selection of test severities*

The frequencies and amplitudes given have been selected to envelop the frequency responses appropriate to a wide range of applications. When an equipment is for use in one application only, it is preferable to base the severity on the vibration characteristics of the actual environment, if known. When the vibration conditions of the actual environment are not known for an equipment, the appropriate test severity should be selected from annex C which gives examples of test severities related to various applications.

In determining the test severity, the specification writer should take into account the information given in IEC 721 (see clause 5).

As the value of displacement amplitude is associated with a corresponding value of acceleration amplitude in such a manner that the magnitude of vibration is the same at the cross-over frequency, the frequency range may be swept continuously, changing from constant displacement to constant acceleration and vice versa at the cross-over frequency. Cross-over frequencies between 8 Hz and 10 Hz and between 58 Hz and 62 Hz are given.

Des fréquences de transfert autres que ces fréquences normalisées peuvent être requises lorsqu'on désire simuler l'environnement réel, si on le connaît. S'il en résulte une fréquence de transfert élevée, il faut tenir compte des possibilités du générateur de vibrations. Il est important que l'amplitude de déplacement choisie ne corresponde pas à une amplitude d'accélération qui, dans la zone des basses fréquences, soit comparable au niveau de bruit résiduel du générateur de vibrations. Le cas échéant, on peut surmonter cette difficulté, soit en utilisant un filtre de poursuite soit, si l'essai a été conduit dans sa totalité à des basses fréquences, en utilisant un capteur de déplacement dans la boucle de commande (voir 5.2).

A.4.2 *Sélection des sévérités d'essai pour les composants*

La sélection des sévérités d'essai pour les composants est compliquée par le fait que, dans bien des cas, on ne sait pas dans quel matériel ils seront montés, ni à quelles contraintes ils seront soumis. Même quand on sait qu'ils sont destinés à des matériels déterminés, il convient de se rappeler que l'environnement vibratoire auquel le composant sera soumis pourra être différent de celui que subira le matériel, à cause de la réponse dynamique du bâti, du matériel, des sous-ensembles, etc. Il est donc recommandé de faire attention en choisissant des sévérités d'essai pour les composants par rapport aux sévérités pour les matériels, et il peut être bon de prévoir une certaine marge pour tenir compte de ces réponses.

Quand les composants sont montés dans un matériel de façon telle qu'ils soient protégés des vibrations, les sévérités applicables au matériel, ou éventuellement une sévérité inférieure, peuvent convenir.

Une autre manière de choisir les sévérités d'essai d'un composant est de l'essayer et de le classer selon des sévérités d'essai données, de sorte que les concepteurs de matériels puissent choisir les composants convenant à leur application.

Il convient aussi de faire référence à l'annexe B, qui donne des exemples de sévérités en fonction de diverses applications.

A.4.3 *Balayage*

Pendant le balayage, la fréquence doit varier exponentiellement en fonction du temps, de telle sorte que:

$$\frac{f}{f_1} = e^{kt}$$

où

f est la fréquence;

f_1 est la limite inférieure de la fréquence du balayage;

k est un facteur dépendant de la vitesse de balayage;

t est le temps.

Pour cet essai, la vitesse de balayage est de une octave par minute (voir 4.1.6); donc $k = \log_e 2 = 0{,}693$, si le temps est exprimé en minutes.

www.Lisungroup.com

Cross-over frequencies other than the standard ones may be required where it is desirable to simulate the actual environment, if known. If this results in a high cross-over frequency the capability of the vibration generator must be borne in mind. It is important that the displacement amplitude chosen does not correspond to an acceleration amplitude in the low frequency region comparable to the residual noise level of the vibration system. If necessary, the problem could be overcome by either using a tracking filter or, if the test was conducted all at low frequencies, to employ a displacement transducer in the control loop (see 5.2).

A.4.2 *Selection of test severities for components*

The selection of test severities for components is complicated by the fact that, in many cases, it is not known in which equipment they are to be installed nor the stresses to which they will be subjected. Even where it is known that components are for use in specific items of equipment, it should be borne in mind that the vibration environment to which the component will be subjected may be different from that to which the equipment will be subjected, due to the dynamic response of the structure, equipment, sub-assemblies, etc. Caution should, therefore, be observed in selecting component test severities related to equipment severities and some margin may need to be allowed for the effect of these responses.

Where components are mounted in the equipment in a manner designed to protect them from vibration, the equipment test severities, or possibly a lower severity, may be appropriate.

An alternative approach to the selection of component test severities is to test and grade components to stated severities so that equipment designers may select components appropriate to their application.

Reference should be made to annex B which gives examples of severities related to various applications.

A.4.3 *Sweep*

During sweeping, the frequency is required to change exponentially with time so that:

$$\frac{f}{f_1} = e^{kt}$$

where

f is the frequency;

f_1 is the lower frequency limit of the sweep;

k is a factor depending on sweep rate;

t is the time.

For this test, the sweep rate is one octave per minute (see 4.1.6) and thus $k = \log_e 2 = 0{,}693$, if the time is expressed in minutes.

www.Lisungroup.com

Le nombre d'octaves pour un cycle de balayage est donné par:

$$X = 2 \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = \frac{2}{\log_{10} 2} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = 6{,}644 \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

où

X est le nombre d'octaves;

f_1 est la limite inférieure de la fréquence du balayage;

f_2 est la limite supérieure de la fréquence du balayage.

Le tableau A.1 contient des valeurs obtenues à partir de la formule ci-dessus et donne des valeurs arrondies des durées associées aux nombres de cycles de balayage et aux gammes de fréquence recommandées (voir 5.3.1).

Pour un système numérique, l'onde de sortie sinusoïdale peut être produite, soit par un synthétiseur analogique externe, soit intérieurement, par une matrice de données numériques contenant une partie de signal sinusoïdal.

Dans le premier cas, on génère une onde sinusoïdale continue pure; il n'y a pas de différence entre les systèmes analogique et numérique.

Dans le second cas, le jeu de données numérique génère à travers le convertisseur analogique/numérique un signal analogique non lissé composé d'un certain nombre de pas. Un filtre de lissage est nécessaire afin de lisser ces valeurs discrètes et produire une forme essentiellement sinusoïdale et pure. Il est également important de s'assurer que les données de la matrice s'enchaînent de façon à produire une forme sinusoïdale lisse.

www.Lisungroup.com

The number of octaves for a sweep cycle is given by:

$$X = 2 \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = \frac{2}{\log_{10} 2} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = 6{,}644 \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

where

X is the number of octaves;

f_1 is the lower frequency limit of the sweep;

f_2 is the upper frequency limit of the sweep.

Values produced utilizing the above formula are given in table A.1 and show the rounded times associated with the recommended numbers of sweep cycles and frequency ranges (see 5.3.1).

For a digital system the output sine wave can be produced either from an external analogue synthesizer or internally from a frame of digital data containing a portion of a sinusoidal signal.

In the first case, a pure continuous sine wave is generated; this results in there being no difference between analogue and digital systems.

In the second case, the analogue drive frame produced by the D/A converter is not smooth, but consists of a number of small steps. A smoothing filter is necessary to operate on the signal to smooth out these steps and produce an essentially pure sinusoidal shape. It is also important to ensure that the drive frames are joined so as to produce a smooth sine wave.

www.Lisungroup.com

Tableau A.1 – Nombre de cycles de balayages et durées d'endurance par axe

Gamme de fréquences Hz	Nombre de cycles de balayages						
	1	2	5	10	20	50	100
1 à 35	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
1 à 100	13 min	27 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 30 min	11 h	22 h
10 à 55	5 min	10 min	25 min	45 min	1 h 45 min	4 h	8 h
10 à 150	8 min	16 min	40 min	1 h 15 min	2 h 30 min	7 h	13 h
10 à 500	11 min	23 min	55 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
10 à 2 000	15 min	31 min	1 h 15 min	2 h 30 min	5 h	13 h	25 h
10 à 5 000	18 min	36 min	1 h 30 min	3 h	6 h	15 h	30 h
55 à 500	6 min	13 min	30 min	1 h	2 h	5 h	11 h
55 à 2 000	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
55 à 5 000	13 min	26 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 15 min	11 h	22 h
100 à 2 000	9 min	17 min	45 min	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h

NOTES

1 Les durées d'endurance données dans le tableau ont été calculées pour une vitesse de balayage de une octave par minute et ont été arrondies à l'unité supérieure ou inférieure la plus proche. L'erreur ainsi causée ne dépasse jamais 10 %.

2 Les valeurs soulignées sont tirées de l'annexe B et de l'annexe C.

Une évaluation du nombre de cycles de contrainte (N), du nombre d'octaves (X) et de la durée (T) pour un cycle de balayage ($f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$) peut être obtenue de la façon suivante:

$$N = \frac{(f_2 - f_1) \times 60 \times 2}{\log_e 2 \times SR} \quad \text{(nombre de cycles de contrainte)}$$

$$X = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \times 2}{\log_e 2} \quad \text{(octaves)}$$

$$T = \frac{X}{SR} = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \times 2}{\log_e 2 \times SR} \quad \text{(minutes)}$$

où

f_2 est la limite supérieure de la fréquence du balayage;

f_1 est la limite inférieure de la fréquence du balayage;

SR est la vitesse de balayage en octaves/minute.

Cette méthode d'évaluation du nombre de cycles de contraintes est aussi valable pour les tableaux B.1, C.1 et C.2.

www.ListingGroup.com

Table A.1 – Number of sweep cycles and associated endurance times per axis

Frequency range Hz	Number of sweep cycles						
	1	2	5	10	20	50	100
1 to 35	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
1 to 100	13 min	27 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 30 min	11 h	22 h
10 to 55	5 min	10 min	25 min	45 min	1 h 45 min	4 h	8 h
10 to 150	8 min	16 min	40 min	1 h 15 min	2 h 30 min	7 h	13 h
10 to 500	11 min	23 min	55 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
10 to 2 000	15 min	31 min	1 h 15 min	2 h 30 min	5 h	13 h	25 h
10 to 5 000	18 min	36 min	1 h 30 min	3 h	6 h	15 h	30 h
55 to 500	6 min	13 min	30 min	1 h	2 h	5 h	11 h
55 to 2 000	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
55 to 5 000	13 min	26 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 15 min	11 h	22 h
100 to 2 000	9 min	17 min	45 min	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h

NOTES

1 The endurance times given in the table have been calculated for a sweep rate of one octave per minute and are rounded up or down. The error caused by this in no case exceeds 10 %.

2 The figures underlined have been derived from annexes B and C.

www.Lisungroup.com

An estimation of the number of stress cycles (N), the number of octaves (X) and the sweep duration (T) for one sweep cycle ($f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$) may be obtained from the following:

$$N = \frac{(f_2 - f_1) \times 60 \times 2}{\log_e 2 \times SR} \quad \text{(stress cycles)}$$

$$X = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \times 2}{\log_e 2} \quad \text{(octaves)}$$

$$T = \frac{X}{SR} = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \times 2}{\log_e 2 \times SR} \quad \text{(minutes)}$$

where

f_2 is the upper frequency limit of the sweep;

f_1 is the lower frequency limit of the sweep;

SR is the sweep rate in octaves/minute.

This method of estimation of the number of stress cycles is also valid for tables B.1, C.1 and C.2.

A.4.4 *Filtres de poursuite*

A.4.4.1 *Filtres analogiques*

Ces filtres peuvent être d'une largeur de bande passante constante ou à largeur de bande passante constante en pourcentage. Dans chaque cas, le temps de réponse (T_r) est donné par:

$$T_r = \frac{1}{BW}$$

où

T_r est en secondes;

BW est la largeur de bande en hertz (Hz).

Par exemple:

pour un type de filtre à largeur de bande passante constante, réglé sur une largeur de bande de 10 Hz:

$T_r = \frac{1}{10}$ = 100 ms et est constant dans toute la gamme de réglage;

pour un type de filtre à largeur de bande passante constante en pourcentage, réglé sur 10 % à la fréquence d'accord f:

$BW = 0{,}1\ f$;

$T_r = \frac{1}{BW}$ = 10 périodes à la fréquence d'accord.

Lorsqu'on utilise des filtres de poursuite dans une boucle de pilotage, le temps de réponse est très important. Un temps de réponse long peut ralentir la réponse de pilotage globale et peut provoquer une instabilité, voire une perte de pilotage. De plus le temps de réponse peut limiter la vitesse de balayage dans les essais de balayage de vibrations sinusoïdales, en particulier aux basses fréquences pour les filtres de type à largeur de bande passante constante en pourcentage où T_r peut atteindre des dizaines de secondes (voir 4.1.3).

C'est pourquoi un compromis est obtenu pour de nombreux filtres de poursuite grâce à une bande passante à largeur constante qui peut prendre plusieurs valeurs automatiquement fixées par la fréquence d'accord, soit par l'utilisation de filtres à bande passante à largeur constante jusqu'à une fréquence de coupure donnée et, au-delà, par l'utilisation de filtres à bande passante constante en pourcentage.

En règle générale, il est recommandé que le filtre de poursuite ait une vitesse de réponse cinq fois plus grande que la vitesse de compression du système de pilotage afin d'empêcher une interréaction et de maîtriser l'instabilité. Il convient que la largeur de bande du filtre soit toujours inférieure à la fréquence d'accord de fonctionnement.

Pour les temps de réponse, voir les tableaux A.2 et A.3.

www.lisungroup.com

A.4.4 *Tracking filters*

A.4.4.1 *Analogue filters*

These may be constant bandwidth (CB) or constant percentage bandwidth (CPB). In each case the response time (T_r) is given by:

$$T_r = \frac{1}{BW}$$

where

T_r is in seconds;

BW is the bandwidth in hertz (Hz).

For example:

for a CB type of filter set to 10 Hz bandwidth

$T_r = \frac{1}{10}$ = 100 ms and is constant across the whole tuning range;

for a CPB type of filter set, for example, to 10 % at the tuned frequency f

$BW = 0{,}1\ f$;

$T_r = \frac{1}{BW}$ = 10 periods at the tuned frequency.

When tracking filters are used in a control loop the response time is very important. A long response time can slow down the overall control response and may result in instability or even loss of control. In addition, the response time may limit the sweep speed in swept sine tests, particularly at low frequencies for CPB types where T_r can be tens of seconds (see 4.1.3).

For this reason many tracking filters compromise by having either multiple CB settings, automatically switched by the tuning frequency, or they have a CB response at low frequencies up to some set frequency and CPB response above this.

As a general rule, the tracking filter should respond at least five times faster than the controller compression speed in order to prevent mutual interaction and control instability. The filter bandwidth will need always to be less than the working tuned frequency.

See tables A.2 and A.3 for response times.

www.lrsungroup.com

Tableau A.2 – Temps de réponse pour une largeur de bande passante constante

Largeur de bande Hz	Temps s
0,1	10
0,5	2
1	1
5	0,2
10	0,1

Tableau A.3 – Temps de réponse pour une largeur de bande passante constante en pourcentage

Fréquence Hz	Largeur de bande %		
	1	5	10
	Temps s	Temps s	Temps s
5	20	4	2
10	10	2	1
50	2	0,4	0,2
100	1	0,2	0,1
500	0,2	0,04	0,02
1 000	0,1	0,02	0,01
2 000	0,05	0,01	0,005

www.Lisungroup.com

A.4.4.2 *Filtres numériques*

Les systèmes numériques utilisent une technique d'algorithme numérique pour reproduire un filtre de poursuite analogique équivalent. Le résultat final ne diffère pas dans l'extraction du signal fondamental mais, dans le cas d'un pilotage numérique, ce résultat peut être obtenu au prix d'une augmentation du temps de réponse de la boucle. Cela peut influer sur la précision du pilotage aux fréquences élevées.

A.4.5 *Mesure du signal de commande*

Les systèmes numériques utilisent un filtre anti-repliement avant de numériser les signaux. Ce filtre, qui a pour objet de rejeter les composantes hautes fréquences, est progressivement déplacé pas à pas en suivant la gamme de fréquences au fur et à mesure de la progression du balayage de fréquences. En conséquence, le signal vu par un système numérique peut alors avoir une valeur efficace plus faible, ce qui peut conduire à ce que le système numérique pilote l'essai à un niveau plus élevé par rapport à un système de pilotage analogique équivalent. Aussi bien dans le cas d'un système de pilotage numérique que dans celui d'un système de pilotage analogique, l'usage d'un filtre de poursuite résoudra ce problème.

Table A.2 – CB response time

Bandwidth Hz	Time s
0,1	10
0,5	2
1	1
5	0,2
10	0,1

Table A.3 – CPB response time

Frequency Hz	Bandwidth %		
	1	5	10
	Time s	Time s	Time s
5	20	4	2
10	10	2	1
50	2	0,4	0,2
100	1	0,2	0,1
500	0,2	0,04	0,02
1 000	0,1	0,02	0,01
2 000	0,05	0,01	0,005

www.Lisungroup.com

A.4.4.2 *Digital filters*

Digital systems employ a numerical algorithm technique to reproduce an equivalent of an analogue tracking filter. The final result is no different in the extraction of the fundamental signal but, in the case of digital control, it could be at the cost of increasing the loop response time. This may effect the accuracy of the control at higher frequencies.

A.4.5 *Control signal measurement*

Digital systems employ an anti-aliasing filter before digitizing the data. This filter is progressively stepped along the frequency range as the frequency sweep progresses and has the effect of removing the high frequency components. As a result of this, the signal seen by a digital system may have a lower r.m.s. value, which could result in the digital system controlling the test at a higher level when compared to an equivalent analogue control system. Use of a tracking filter with both digital and analogue control systems will overcome this problem.

A.5 Matériels normalement utilisés avec isolateurs de vibrations

A.5.1 *Facteurs de transmissibilité pour les isolateurs de vibrations*

Quand un spécimen doit être normalement monté sur des isolateurs de vibrations, mais que ceux-ci ne sont pas disponibles et que l'on ne connaît pas leurs caractéristiques, et que de plus, la spécification particulière n'a pas prévu cette situation, il faut modifier le niveau spécifié de façon à appliquer au spécimen une vibration plus proche de la réalité. Il est recommandé que ce nouveau niveau soit déterminé en utilisant les valeurs données par les courbes de la figure A.1 décrites ci-après:

a) la courbe A se rapporte à un type d'isolateurs de vibrations 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'isolateurs de vibrations 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'isolateurs de vibrations de faible résilience, sous charge, et dont la fréquence propre, comme ci-dessus, se situe entre 20 Hz et 35 Hz.

La courbe B est déduite de mesures de vibrations faites sur un équipement 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.

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

On estime que ces courbes de transmissibilité constituent l'enveloppe des caractéristiques de transmissibilité qui ont des chances 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 A.1 la courbe de transmissibilité la mieux adaptée et de multiplier les niveaux de vibrations spécifiés par les valeurs tirées de cette courbe pour la gamme de fréquences requise. Le produit des valeurs prises sur ces deux courbes peut conduire à des niveaux qui peuvent ne pas être reproductibles en laboratoire. Dans ce cas, il convient que l'ingénieur d'essai ajuste ces niveaux de telle sorte qu'ils soient reproduits le mieux possible, à tout moment et sur toute la gamme de fréquences. Il est de la plus grande importance que les valeurs effectivement utilisées soient mentionnées dans le rapport d'essai.

A.5.2 *Effet de la température*

Il importe de noter que beaucoup d'isolateurs de vibrations contiennent des matériaux dont les caractéristiques dépendent de la température. Si la fréquence de résonance fondamentale du spécimen sur ces isolateurs de vibrations se situe à l'intérieur de la gamme de fréquences de l'essai, il faudra faire attention quand on décidera de la durée pendant laquelle l'épreuve d'endurance est 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 répartit effectivement dans le temps l'excitation de cette fréquence de résonance fondamentale, il convient de tenter de la reproduire. Si l'on ignore cette répartition dans le temps, il est alors recommandé d'éviter les surchauffes exagérées en limitant les périodes d'excitation d'une manière qui fasse appel au bon sens technique de l'expérimentateur, compte tenu de 5.3.

www.Lisungroup.com

A.5 Equipment normally used with vibration isolators

A.5.1 *Transmissibility factors for vibration isolators*

When a specimen would normally be mounted on vibration isolators, but they are not available and their characteristics are unknown and, in addition, the relevant specification has not allowed for this situation, it is necessary to modify the specified level in such a way as to provide a more realistic vibration input to the specimen. It is recommended that this modified level be derived by using values taken from the curves given in figure A.1 described below:

a) curve A relates to a type of loaded vibration 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 vibration 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 vibration 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 were available for vibration 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 A.1 and the specified vibration levels should be multiplied by values taken from this curve over the required frequency range. The product of these values may result in test levels which may not be reproducible in the laboratory. In this case the test engineer should adjust the levels in such a way that the maximum possible level is achieved at all times throughout the complete frequency range. It is of the utmost importance that the actual values used are stated in the test report.

A.5.2 *Temperature effect*

It is important to note that many vibration isolators contain material which is temperature-dependent. If the fundamental resonance frequency of the specimen on the vibration isolators is within the test frequency range, caution must be exercised in deciding the length of time for which any endurance should be applied. In some circumstances it may be unreasonable to apply continuous excitation without permitting recovery. If the actual time distribution of excitation of this fundamental resonance frequency is known, an attempt should be made to simulate it. If the actual time distribution is not known then excessive overheating should be avoided by limiting the periods of excitation in a manner which will require engineering judgement, taking into account 5.3.

www.Lisungroup.com

A.6 Durée

A.6.1 *Concept de base* (voir 5.3.1)

De nombreuses spécifications existantes définissent par sa durée la phase d'endurance par balayage d'un essai de vibrations. Ceci rend presque impossible la comparaison des comportements respectifs de deux spécimens résonnants si les gammes de fréquences sont différentes, car le nombre de fois où les résonances seront excitées sera différent. Par exemple, on considère souvent que, pour une valeur d'accélération et une durée données, l'essai est plus sévère avec une gamme de fréquences large qu'avec une gamme étroite; en fait, c'est le contraire qui est vrai. Le concept du nombre de cycles de balayage en tant que paramètre d'endurance résout ce problème, puisque la résonance sera excitée le même nombre de fois, quelle que soit la gamme de fréquences.

A.6.2 *Essai*

Lorsque l'essai a simplement pour but de démontrer l'aptitude du spécimen à supporter des vibrations d'amplitude appropriée ou 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 le cas où doit être démontrée l'aptitude d'un spécimen à supporter les effets cumulés des vibrations, comme la fatigue et les déformations mécaniques, il convient que l'essai dure assez longtemps pour atteindre le nombre de cycles de contraintes nécessaire. Pour faire la preuve d'une durée de vie illimitée, on considère généralement comme suffisant le nombre de 10^7 cycles de contrainte.

A.7 Réponse dynamique

Les principales causes de dommages résident dans les contraintes dynamiques qui se produisent à l'intérieur du spécimen. L'exemple classique est la contrainte produite dans un simple système ressort et masse, lorsque ce système est fixé sur un corps vibrant dont l'inertie est grande par rapport à celle de la masse. A la fréquence de résonance, l'ensemble ressort et masse répond par une augmentation de l'amplitude du mouvement, entraînant une augmentation de la contrainte exercée sur le ressort. L'exécution d'un essai d'endurance à une telle fréquence requiert beaucoup de bon sens technique. La principale difficulté consiste à déterminer les résonances significatives. Un autre problème est le maintien de la fréquence d'excitation sur la résonance.

En particulier vers les hautes fréquences, les résonances peuvent ne pas être très apparentes, bien que des niveaux de contrainte élevés puissent apparaître par endroits. Bien que certaines spécifications essaient de définir la sévérité d'une résonance par une valeur arbitraire du coefficient d'amplification, cette méthode n'a pas été retenue pour cet essai.

Les modalités d'exécution comprises dans cet essai impliquent que l'amplitude des vibrations (déplacement ou accélération) soit gardée à une valeur prescrite en dépit des réactions dynamiques du spécimen. Cela est en accord avec les règles de l'art actuelles en matière d'essais de vibrations généraux susceptibles d'être normalisés.

Il est bien connu que, quand un spécimen est excité sur sa fréquence de résonance, sa masse apparente peut être grande par rapport à celle de son support normal. Dans un tel cas, la réaction du spécimen peut être considérable. La force d'excitation et l'impédance mécanique du support sont normalement inconnues et il est le plus souvent extrêmement difficile de faire des suppositions d'ordre général en ce qui concerne ces paramètres.

www.lrsungroup.com

A.6 Duration

A.6.1 *Basic concept* (see 5.3.1)

Many existing specifications describe the sweep endurance phase of a vibration test in terms of time duration. This makes it virtually impossible to correlate the behaviour of one resonant specimen with another if their frequency ranges are dissimilar, since the number of occasions on which the resonance will be excited will be different. For instance, it is often considered that, for a given acceleration value and endurance time, the test is more severe with a wide frequency range than with a narrow one; in fact the reverse is the case. The concept of the number of sweep cycles as an endurance parameter overcomes this problem since the resonances will be excited equally, irrespective of the frequency range.

A.6.2 *Test*

Where the test is simply to demonstrate the ability of a specimen to survive and/or operate at the appropriate amplitudes, 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 such as fatigue and mechanical deformation is to be demonstrated, the test should be of a sufficient duration to accumulate the necessary stress cycles. For demonstration of unlimited fatigue life, a total of 10^7 stress cycles is normally considered adequate.

A.7 Dynamic response

The major causes of damage are the dynamic stresses produced within the test specimen. The classic example is the stress produced within a simple spring/mass system when the system is attached to a vibrating body whose inertia is large in relation to that of the mass. At the frequency of resonance the spring/mass responds with an increase in amplitude of motion, inducing increased stress in the spring. The performance of an endurance test at such a resonance frequency requires a great deal of engineering judgement. The difficulty lies mainly in determining which resonances are significant. An additional problem might be that of maintaining the driving frequency at resonance.

www.lrsungroup.com

At higher frequencies particularly, the resonances may not be very apparent but nevertheless high stress levels may occur locally. Whilst some specifications attempt to define the severity of a resonance by an arbitrary value for the dynamic magnification, this method has not been adopted for this test.

The procedures given herein imply that the vibration amplitude (displacement or acceleration) shall be kept to a prescribed value independent of the dynamic reaction of the specimen. This is in accordance with the state of the art of vibration testing of a general kind suitable for standardization.

It is well known that when a specimen is excited at its resonance frequency, its apparent mass can be high in relation to that of its operational mounting structure. In such a case the reaction of the specimen can be considerable. The driving force and the mechanical impedance of the structure are normally not known and general assumptions regarding these parameters are usually extremely difficult to make.

Le pilotage par la force est prévu comme un moyen de diminuer l'importance des problèmes ci-dessus, mais il n'est pas inclus dans cet essai car il n'est pas possible d'en préciser actuellement les modalités d'exécution, les mesures et les tolérances. Quand la spécification particulière requiert ce type d'essai, on peut, soit se servir de capteurs de force, soit se contenter d'une mesure du courant d'excitation. Cette dernière technique présente certains inconvénients, car le courant peut ne pas être proportionnel à la force dans certaines parties de la gamme de fréquences spécifiée pour l'essai. Néanmoins, avec un certain bon sens technique, on peut se servir de la méthode utilisant la mesure du courant, notamment quand il ne s'agit que d'une gamme de fréquences limitée.

Donc, bien qu'un essai piloté par la force puisse sembler intéressant, il faut faire bien attention en l'utilisant. Il n'est pas douteux que, dans certains cas, par exemple pour les composants, l'essai piloté par l'amplitude est presque toujours mieux adapté (voir article 8).

A.8 Estimation du fonctionnement

Quand cela 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 et ce, d'une manière qui soit représentative des conditions de fonctionnement. Il est recommandé de vérifier le bon fonctionnement du spécimen à des intervalles appropriés pendant la phase d'endurance et vers la fin de celle-ci.

Si les vibrations peuvent influer sur la fonction «marche-arrêt» des spécimens (par exemple en interférant avec la commande d'un relais), il convient que cette fonction soit utilisée à plusieurs reprises afin de montrer que le fonctionnement est satisfaisant de ce point de vue, soit dans toute la gamme de fréquences de l'essai, soit aux fréquences susceptibles de causer des interférences.

Si l'essai a pour seul but de démontrer que les spécimens n'ont pas été détruits, il convient que le fonctionnement de ces derniers soit vérifié après la fin de l'épreuve d'endurance aux vibrations (voir 8.2 et article 11).

A.9 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 de structure (voir articles 7 et 11).

www.Lisungroup.com

Force control is foreseen as a means of reducing the above problem but is not included in the test, since it is not possible at present to give information on procedures, measurements and tolerances. When such a test is called for by the relevant specification, it is possible either to use force transducers or to rely on a measurement of the driving current. This latter procedure has certain drawbacks, since the current may not be proportional to the force over parts of the frequency range specified for the test. Nevertheless, with good engineering judgement the method utilizing current measurement can be used, particularly if a limited frequency range is involved.

Thus, whilst a force-controlled test may appear to be attractive, caution must be exercised in its use. Certainly in some cases, for example components, the amplitude-controlled test is almost always more appropriate (see clause 8).

A.8 Performance evaluation

When appropriate, items should be operated either throughout the test or at appropriate phases of the test, in a manner representative of their functioning conditions. At suitable intervals throughout the endurance phase, and towards the end of it, functional checks of the specimen are recommended.

For specimens in which vibration may influence the switch-on and switch-off function (e.g. interfering with the operation of a relay) such functioning should be repeated to demonstrate a satisfactory performance in this respect, either over the frequency range of the test, or at those frequencies likely to cause interference.

If the test is to demonstrate survival only, the functional performance of specimens should be assessed after the completion of vibration endurance (see 8.2 and clause 11).

A.9 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 clauses 7 and 11).

www.Lisungroup.com

Annexe B
(informative)

Exemples de sévérités destinées principalement aux composants

Le nombre de sévérités possibles permis par l'article 5 est très élevé. Pour simplifier l'utilisation de la présente norme, des exemples de sévérités destinées principalement aux composants ont été choisis en prenant pour base les paramètres recommandés pour l'endurance, fixés dans l'article 5 et qui sont donnés dans le tableau B.1. Les conditions d'essai sont celles que prescrit la présente norme.

Tableau B.1 – Endurance par balayage – Exemples avec une fréquence de transfert élevée

Amplitude [1] / Gamme de fréquences Hz	Nombre de cycles de balayages suivant chaque axe			Exemples d'application
	0,35 mm ou 50 m/s^2	0,75 mm ou 100 m/s^2	1,5 mm ou 200 m/s^2	
10 à 55	10	10		Grandes centrales industrielles, grosses machines tournantes, laminoirs, grands navires de commerce ou de guerre
10 à 500	10	10		Usage général à terre, transport terrestre, embarcations rapides (civiles ou militaires), usage aéronautique général
10 à 2 000		10	10	Lanceurs spatiaux (200 m/s^2). Composants pour moteurs dans les avions
55 à 500	10	10		Comme pour 10 Hz à 500 Hz, mais applicable aux petits composants rigides sans résonance au-dessous de 55 Hz
55 à 2 000		10	10	Comme pour 10 Hz à 2 000 Hz, mais applicable aux petits composants rigides sans résonance au-dessous de 55 Hz
100 à 2 000		10	10	Comme pour 55 Hz à 2 000 Hz, mais applicable aux très petits composants de construction très rigide, par exemple: transistors encapsulés, diodes, résistances, condensateurs et circuits intégrés

NOTE – Lorsque plusieurs amplitudes sont spécifiques pour une gamme de fréquences donnée, une seule doit être utilisée.

[1] Amplitude de déplacement au-dessous de la fréquence de transfert et amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert. Les fréquences de transfert sont comprises entre 58 Hz et 62 Hz (voir 5.2 et le tableau 5).

www.Lisungroup.com

Annex B
(informative)

Examples of severities primarily intended for components

The possible number of severities allowed by clause 5 is very large. To simplify the application of this standard, examples of severities primarily intended for components have been selected from the recommended parameters for endurance stated in clause 5 of this test and are given in table B.1. The conditions for testing are as prescribed in this standard.

Table B.1 – Endurance by sweeping – Examples with higher cross-over frequency

Frequency range Hz / Amplitude [1]	Number of sweep cycles in each axis: 0,35 mm or 50 m/s²	0,75 mm or 100 m/s²	1,5 mm or 200 m/s²	Examples of application
10 to 55	10	10		Large industrial power plant, heavy rotating machinery, steel rolling mills, large merchant and naval ships
10 to 500	10	10		General purpose land-based and land transport, fast small marine craft (naval or civil) and general aircraft use
10 to 2 000		10	10	Space launchers (200 m/s²). Engine mounted components in aircraft
55 to 500	10	10		Application as for 10 Hz to 500 Hz but applicable to small rigid components with no resonance response at frequencies below 55 Hz
55 to 2 000		10	10	Application as for 10 Hz to 2 000 Hz but applicable to small rigid components with no resonance response at frequencies below 55 Hz
100 to 2 000		10	10	Application as for 55 Hz to 2 000 Hz but applicable to very small components of very rigid construction, for example, encapsulated transistors, diodes, resistors, capacitors and integrated circuits

NOTE – Where there is more than one amplitude for a stated frequency range, only one is used.

[1] Displacement amplitude below the cross-over frequency and acceleration amplitude above the cross-over frequency. The cross-over frequencies are between 58 Hz and 62 Hz (see 5.2 and table 5).

www.Lisungroup.com

Voir A.4.3 pour la méthode d'évaluation du nombre de cycles de contrainte.

Endurance aux fréquences fixes

Les durées caractéristiques de l'endurance à chaque fréquence fixe suivant chaque axe sont de 10 min, 30 min et 10 h.

Pour les fréquences quasi fixes, voir A.1.

Pour les fréquences prédéterminées, il convient de choisir un temps d'endurance tel que soit appliquée une limite supérieure de contrainte de 10^7 cycles pour chacune des combinaisons de fréquences et d'axes spécifiées. Lorsque les conditions d'environnement sont bien connues, il convient que la durée d'exposition à appliquer aux fréquences fixes soit déterminée par le nombre de cycles qui se produisent pendant une durée de vie normale.

www.Lisungroup.com

For a method of estimation of the number of stress cycles see A.4.3.

Endurance at fixed frequencies

The typical durations for the endurance at each critical frequency in each axis are 10 min, 30 min, 90 min and 10 h.

For almost fixed frequencies see A.1.

For predetermined frequencies an endurance time should be chosen so that an upper limit of 10^7 stress cycles is applied for each stated combination of frequency and axis. When the environmental conditions are well known the time duration to be applied at fixed frequencies should be based upon the number of stress cycles that occur during a normal lifetime.

www.Lisungroup.com

Annexe C
(informative)

Exemples de sévérités destinées principalement aux matériels

Lorsque l'on sait quelle sera la sévérité des vibrations réelles, il est recommandé de l'utiliser (voir A.4.1). Quand on ne la connaît pas, il faut faire un choix arbitraire mais qui s'appuiera, dans la mesure du possible, sur les sévérités similaires, d'usage général dans les applications de même nature, comme celles que donne cette annexe.

Plusieurs combinaisons de gammes de fréquences, de niveau de vibrations et de durée d'endurance sont données à titre d'exemples de sévérités destinées en premier lieu à l'essai de matériels et autres articles (voir les tableaux C.1 et C.2). Ces sévérités préférentielles ont été choisies à partir de paramètres recommandés pour l'essai d'endurance donnés dans l'article 5 de la présente norme et sont considérées comme couvrant les applications les plus courantes de l'essai de vibrations. Il n'a pas été question d'établir une liste exhaustive et il convient que les exigences non prévues dans cette annexe soient choisies parmi les autres sévérités recommandées dans la présente norme et soient prescrites dans la spécification particulière.

Dans certaines applications, il peut ne pas être pratique d'utiliser l'endurance par balayage et il peut être nécessaire d'effectuer des essais aux fréquences critiques. Il est recommandé que de tels essais soient prescrits par la spécification particulière conformément aux articles appropriés de la présente norme, en prenant cette annexe comme guide.

Tableau C.1 – Endurance par balayage – Exemples avec des fréquences de transfert basses

	Nombre de cycles de balayages suivant chaque axe			Exemples d'application
Gamme de fréquences Hz / Accélération m/s^2	5	10	20	
10 à 150	50	–	–	Matériels fixes, tels que les grands ordinateurs et les laminoirs, longue durée d'exposition
10 à 150	20	–	–	Matériels fixes, tels que les gros émetteurs et les climatiseurs, exposition intermittente
10 à 150	–	20	20	Matériels destinés à être installés ou transportés à bord de bateaux, de trains ou de véhicules terrestres

NOTE – Lorsque plusieurs amplitudes sont spécifiées pour une gamme de fréquences donnée, une seule doit être utilisée.

Voir A.4.3 pour la méthode d'évaluation du nombre de cycles de contrainte.

www.Lisungroup.com

Annex C
(informative)

Examples of severities primarily intended for equipment

When the actual vibration severity is known, it should be used (see A.4.1). When the severity is not known, it is necessary to make an arbitrary choice, but one which is based, as far as possible, on similar generalized severities for related applications as given in this annex.

Several combinations of frequency range, vibration amplitude and endurance duration are given as examples of severities primarily intended for the testing of equipment, and other articles (see tables C.1 and C.2). These severities have been selected from the recommended parameters for endurance stated in clause 5 of this standard and they are considered to cover the more common applications of the vibration test. No attempt has been made to produce an exhaustive list and requirements not covered by this annex should be chosen from the other recommended severities of this standard and should be prescribed in the relevant specification.

In certain applications, it may not be practicable to use endurance by sweeping and it may be necessary to carry out tests at critical frequencies. Such tests should be prescribed by the relevant specification, in accordance with the appropriate clauses of this standard, and using this annex for guidance.

Table C.1 – Endurance by sweeping –
Examples with lower cross-over frequency

Frequency range Hz / Acceleration m/s^2	Number of sweep cycles in each axis			Examples of application
	5	10	20	
10 to 150	50	–	–	Stationary equipment such as large computers and rolling mills, long-term exposure
10 to 150	20	–	–	Stationary equipment such as large transmitters and air conditioners, intermittent exposure
10 to 150	–	20	20	Equipment intended for installation in or transport by ships, railway and land vehicles

NOTE – Where there is more than one amplitude for a stated frequency range, only one is used.

For a method of estimation of the number of stress cycles, see A.4.3.

www.lisungroup.com

Endurance aux fréquences fixes

Les durées caractéristiques de l'endurance à chaque fréquence fixe suivant chaque axe sont de 10 min, 30 min et 10 h.

Pour les fréquences quasi fixes, voir A.1.

Pour les fréquences prédéterminées, il convient de choisir un temps d'endurance tel que soit appliquée une limite supérieure de contrainte de 10^7 cycles pour chacune des combinaisons de fréquences et d'axes spécifiées. Lorsque les conditions d'environnement sont bien connues, il convient que la durée d'exposition à appliquer aux fréquences fixes soit déterminée par le nombre de cycles qui se produisent pendant une durée de vie normale.

www.Lisungroup.com

Endurance at fixed frequencies

The typical durations for the endurance at each critical frequency in each axis are 10 min, 30 min, 90 min and 10 h.

For almost fixed frequencies see A.1.

For predetermined frequencies an endurance time should be chosen so that an upper limit of 10^7 stress cycles is applied for each stated combination of frequency and axis. When the environmental conditions are well known the time duration to be applied at fixed frequencies should be based upon the number of stress cycles that occur during a normal lifetime.

www.Lisungroup.com

Tableau C.2 – Endurance par balayage – Exemples des fréquences de transfert élevées

Gamme de fréquences Hz / Amplitude [1]	Nombre de cycles de balayages suivant chaque axe				Exemples d'application
	0,15 mm ou 20 m/s^2	0,35 mm ou 50 m/s^2	0,75 mm ou 100 m/s^2	1,5 mm ou 200 m/s^2	
1 à 35 [2]	–	100	100	–	Matériels montés près de machines tournantes massives
10 à 55 [2]	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Matériels de grandes centrales et matériels industriels d'usage général
10 à 150	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Matériels de grandes centrales et matériels industriels d'usage général, lorsque des vibrations appréciables ont été trouvées au-delà de 55 Hz
10 à 500	10	10	–	–	Matériels d'usage aéronautique général; les valeurs les plus élevées concernent les matériels situés près du compartiment des moteurs mais pas à l'intérieur de celui-ci
10 à 2 000	–	10	10	– 10	Matériels pour avions rapides; les valeurs les plus élevées concernent les matériels situées près du compartiment des moteurs mais pas à l'intérieur de celui-ci Compartiment des moteurs de l'avion

NOTE – Lorsque plusieurs amplitudes sont spécifiées pour une gamme de fréquences donnée, une seule doit être utilisée.

[1] Amplitude de déplacement au-dessous de la fréquence de transfert et amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert. Les fréquences de transfert sont comprises entre 58 Hz et 62 Hz (voir 5.2 et le tableau 5).

[2] Essai à amplitude de déplacement constant.

Voir A.4.3 pour la méthode d'évaluation du nombre de cycles de contrainte.

Endurance aux fréquences fixes

Les durées caractéristiques de l'endurance à chaque fréquence fixe suivant chaque axe sont de 10 min, 30 min et 10 h.

Pour les fréquences quasi fixes, voir A.1.

Pour les fréquences prédéterminées, il convient de choisir un temps d'endurance tel que soit appliquée une limite supérieure de contrainte de 10^7 cycles pour chacune des combinaisons de fréquences et d'axes spécifiées. Lorsque les conditions d'environnement sont bien connues, il convient que la durée d'exposition à appliquer aux fréquences fixes soit déterminée par le nombre de cycles qui se produisent pendant une durée de vie normale.

www.Lisungroup.com

Table C.2 – Endurance by sweeping – Examples with higher cross-over frequency

Frequency range Hz / Amplitude [1]	Number of sweep cycles in each axis				Examples of application
	0,15 mm or 20 m/s^2	0,35 mm or 50 m/s^2	0,75 mm or 100 m/s^2	1,5 mm or 200 m/s^2	
1 to 35 [2]	–	100	100	–	Equipment mounted adjacent to heavy rotating machinery
10 to 55 [2]	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Equipment intended for large power plants and for general industrial use
10 to 150	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Equipment intended for large power plants and for general industrial use, where it has been found that appreciable vibration components exist beyond 55 Hz
10 to 500	10	10	–	–	Equipment for general aircraft use, the higher values apply to equipment close to, but not within, the engine compartment
10 to 2 000	–	10	10	– 10	Equipment for high-speed aircraft, the higher values apply to equipment close to, but not within, the engine compartment Aircraft engine compartments

NOTE – Where there is more than one amplitude for a stated frequency range, only one is to be used.

[1] Displacement amplitude below the cross-over frequency and acceleration amplitude above the cross-over frequency 58 Hz to 62 Hz (see 5.2 and table 5).

[2] Constant displacement amplitude test.

www.Lisungroup.com

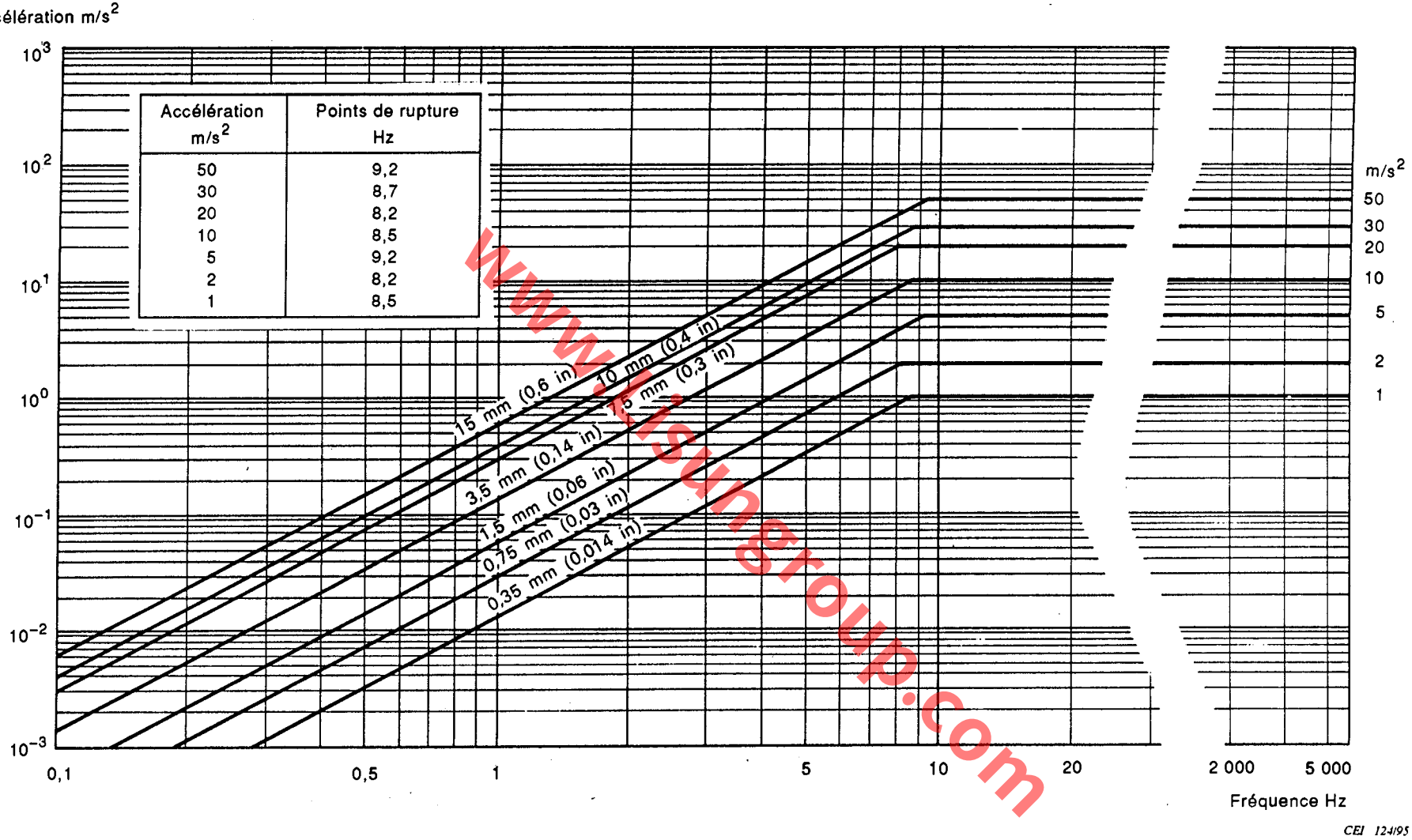
For a method of estimation of the number of stress cycles see A.4.3.

Endurance at fixed frequencies

The typical durations for the endurance at each critical frequency in each axis are 10 min, 30 min, 90 min and 10 h.

For almost fixed frequencies see A.1.

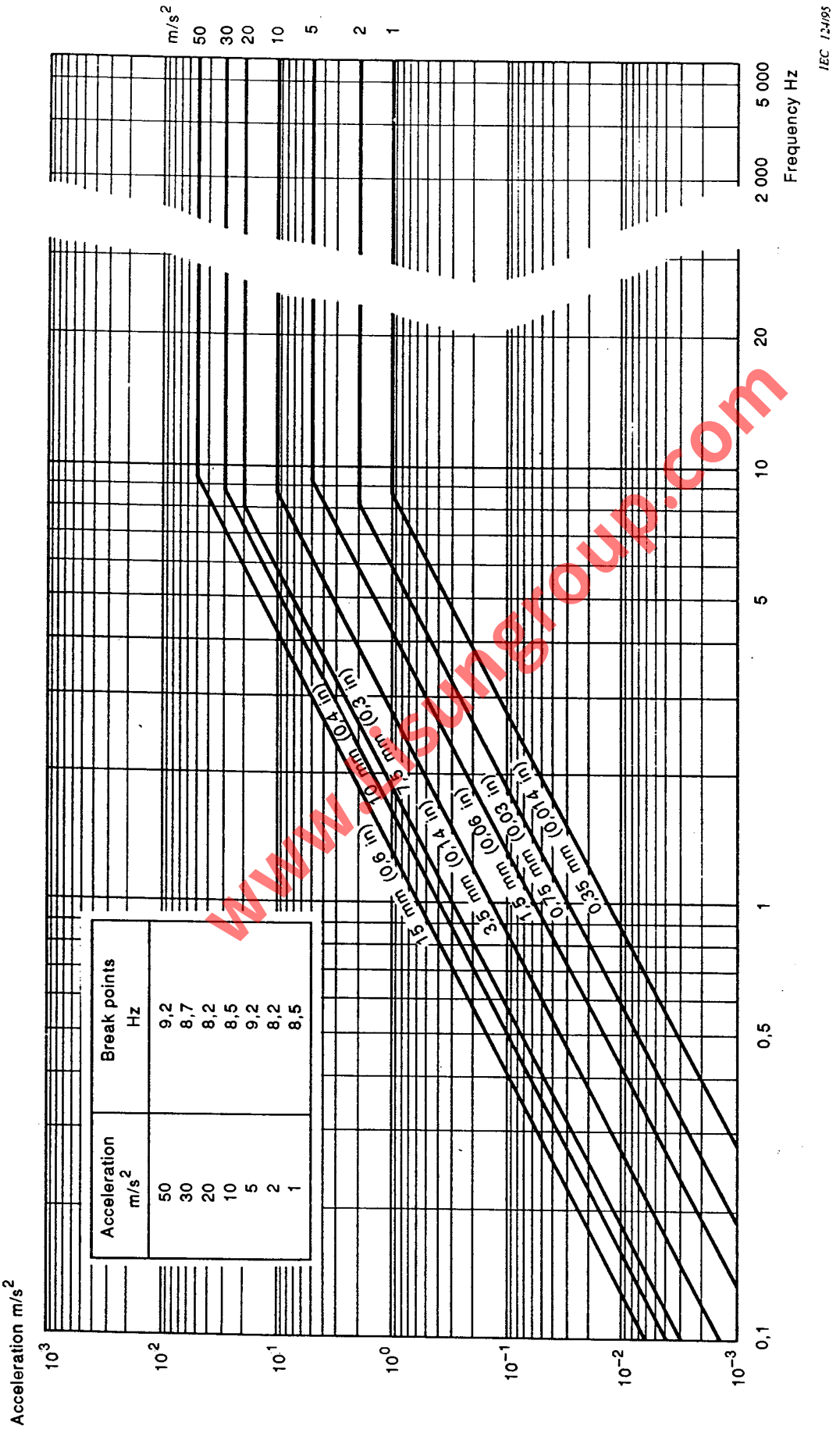
For predetermined frequencies an endurance time should be chosen so that an upper limit of 10^7 stress cycles is applied for each stated combination of frequency and axis. When the environmental conditions are well known the time duration to be applied at fixed frequencies should be based upon the number of stress cycles that occur during a normal lifetime.



NOTE – Il ne convient pas de considérer cet abaque comme une représentation graphique précise des sévérités.

Figure 1 – Abaque donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence, pour une fréquence de transfert basse (8 Hz à 10 Hz)

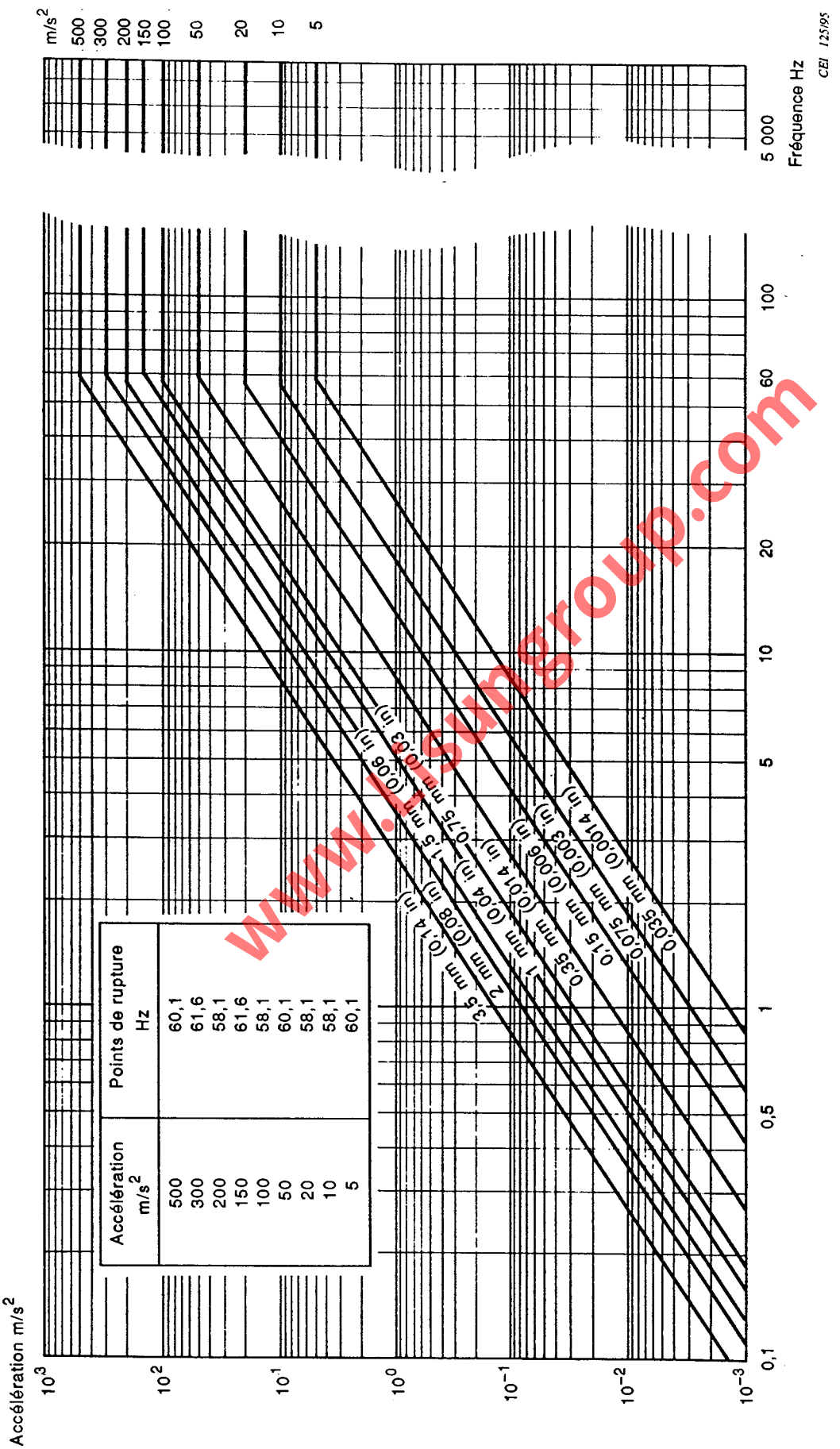
www.ltsungroup.com



NOTE – This nomogram should not be taken as being a precise graphical representation of the severities.

Figure 1 – Nomogram relating vibration amplitude to frequency with lower cross-over frequency (8 Hz to 10 Hz)

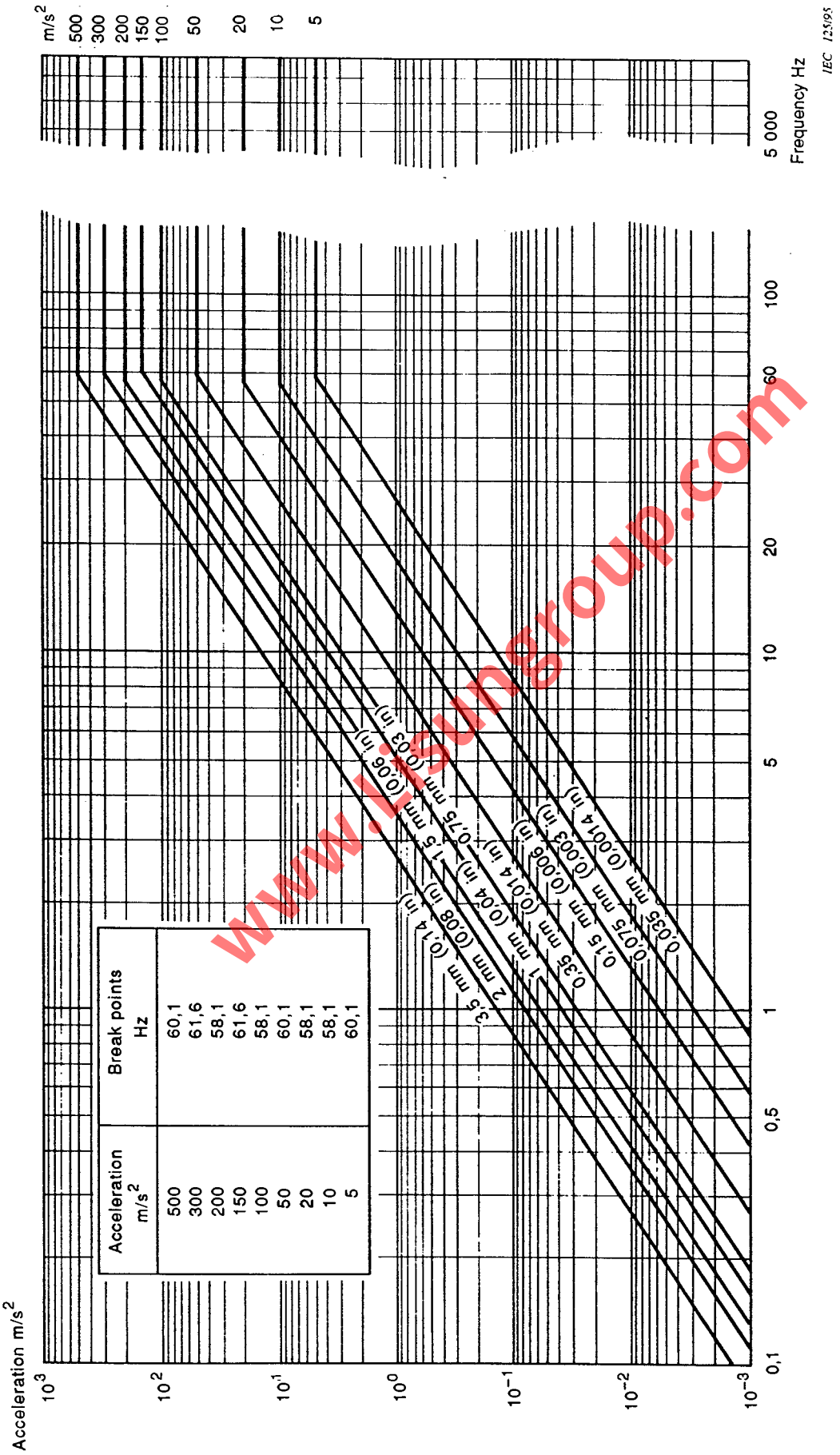
www.ASungroup.com



NOTE – Il ne convient pas de considérer cet abaque comme une représentation graphique précise des sévérités.

Figure 2 – Abaque donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence, pour une fréquence de transfert élevée (58 Hz à 62 Hz)

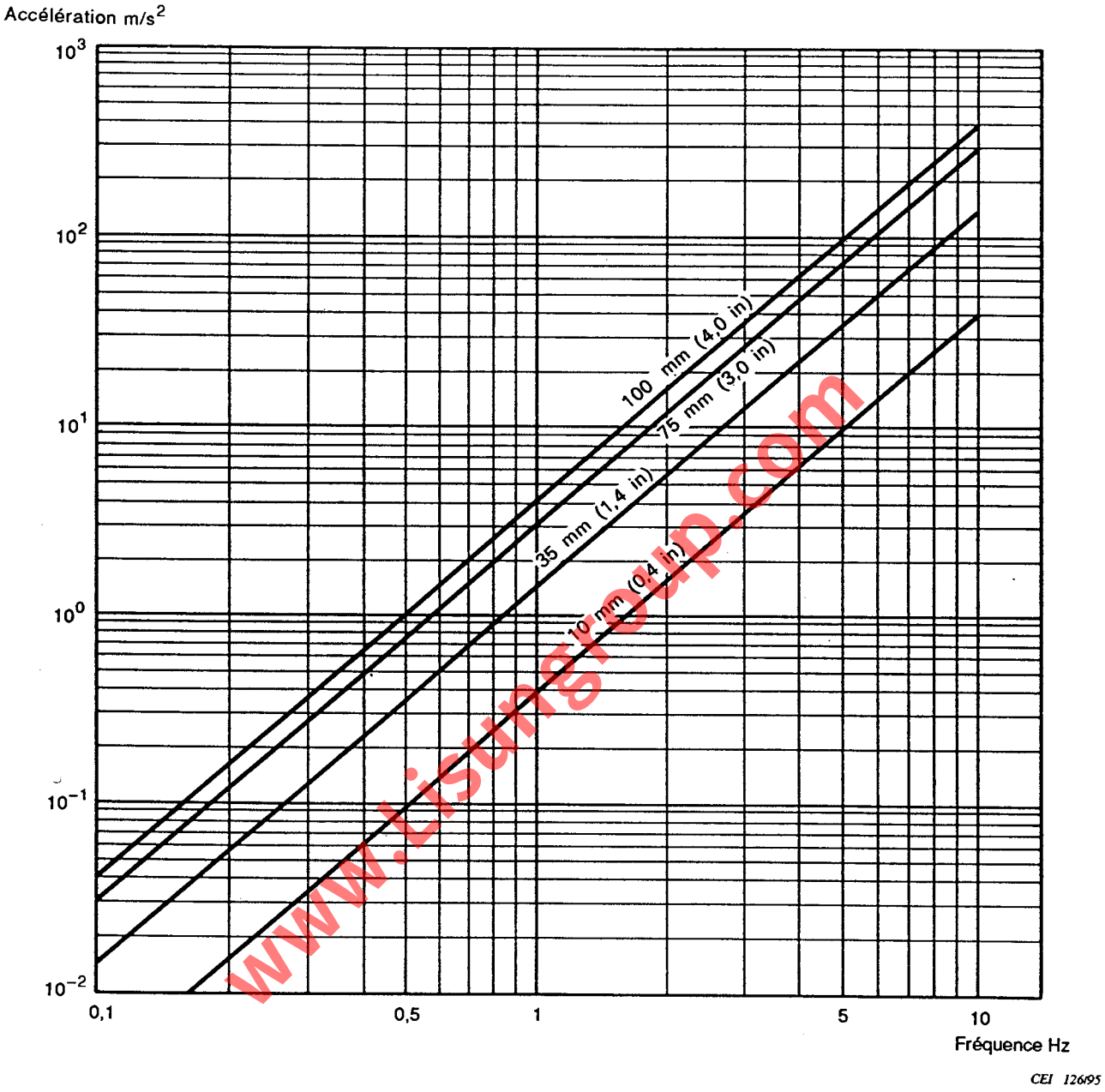
www.lisungroup.com



www.kungroup.com

NOTE – This nomogram should not be taken as being a precise graphical representation of the severities.

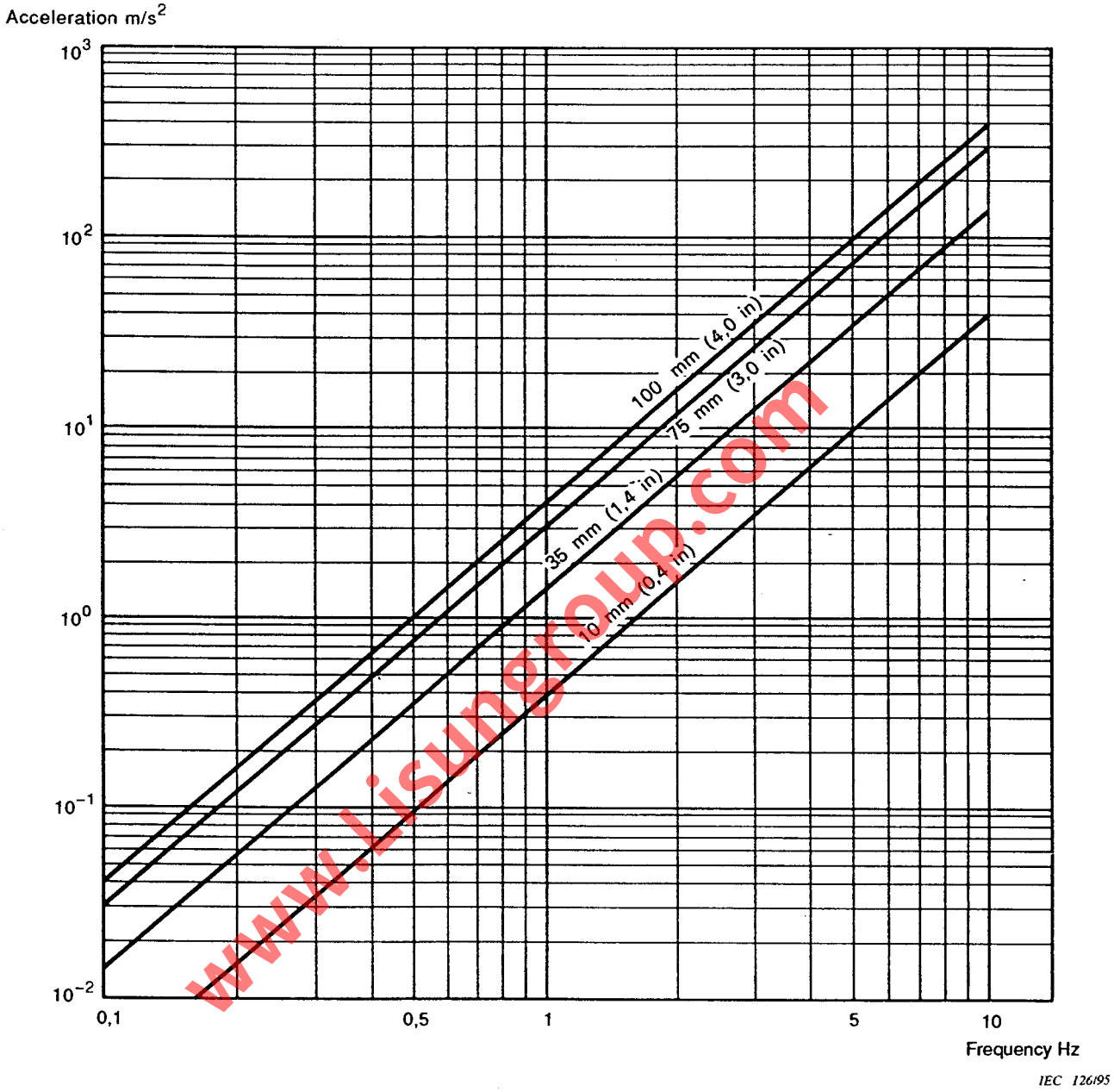
Figure 2 – Nomogram relating vibration amplitude to frequency with higher cross-over frequency (58 Hz to 62 Hz)



www.tisunigroup.com

NOTE – Il ne convient pas de considérer cet abaque comme une représentation graphique précise des sévérités.

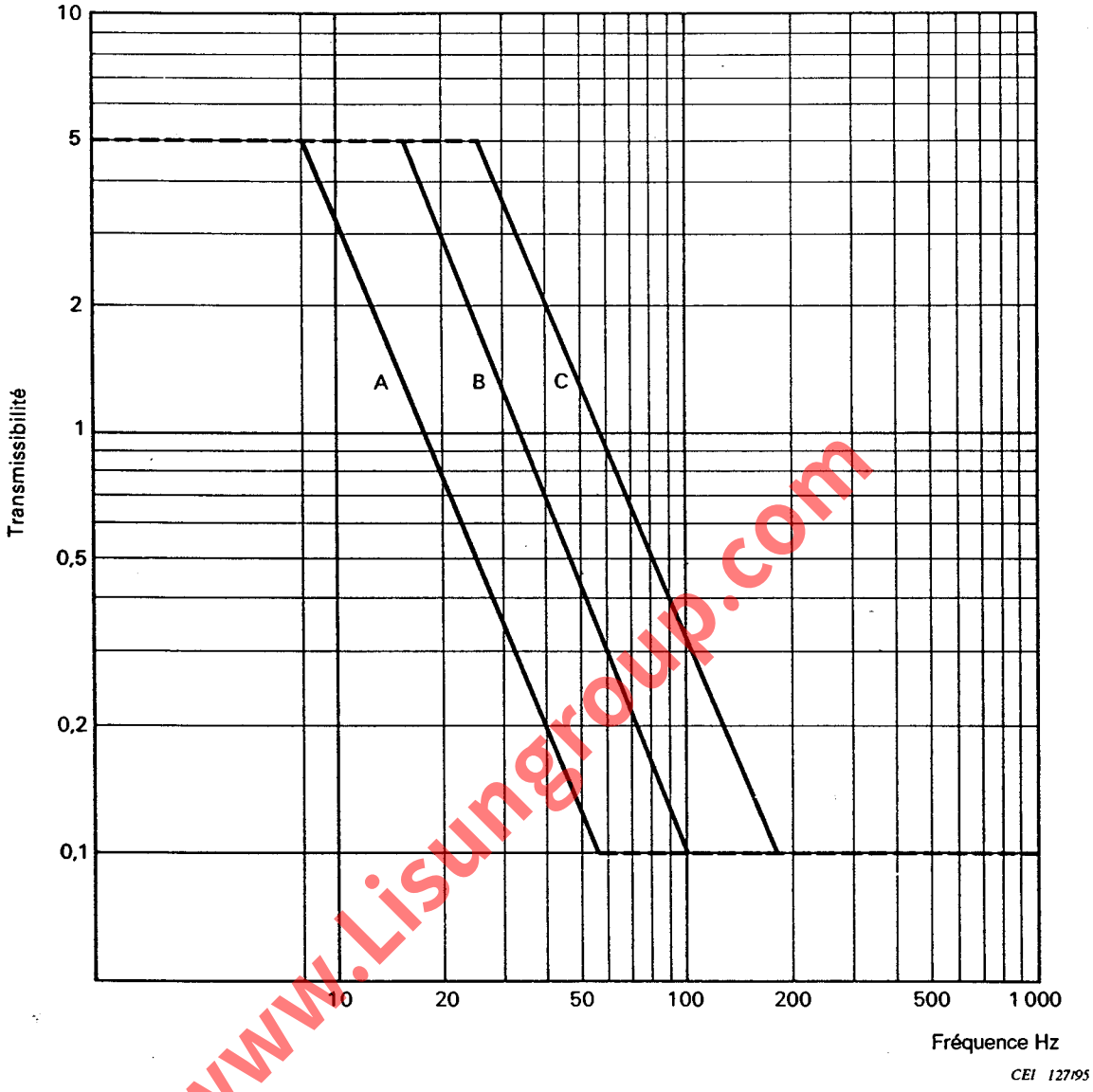
Figure 3 – Abaque donnant l'amplitude de déplacement des vibrations en fonction de la fréquence (applicable seulement dans les gammes de fréquences ayant une limite supérieure de fréquence de 10 Hz)



www.lisungroup.com

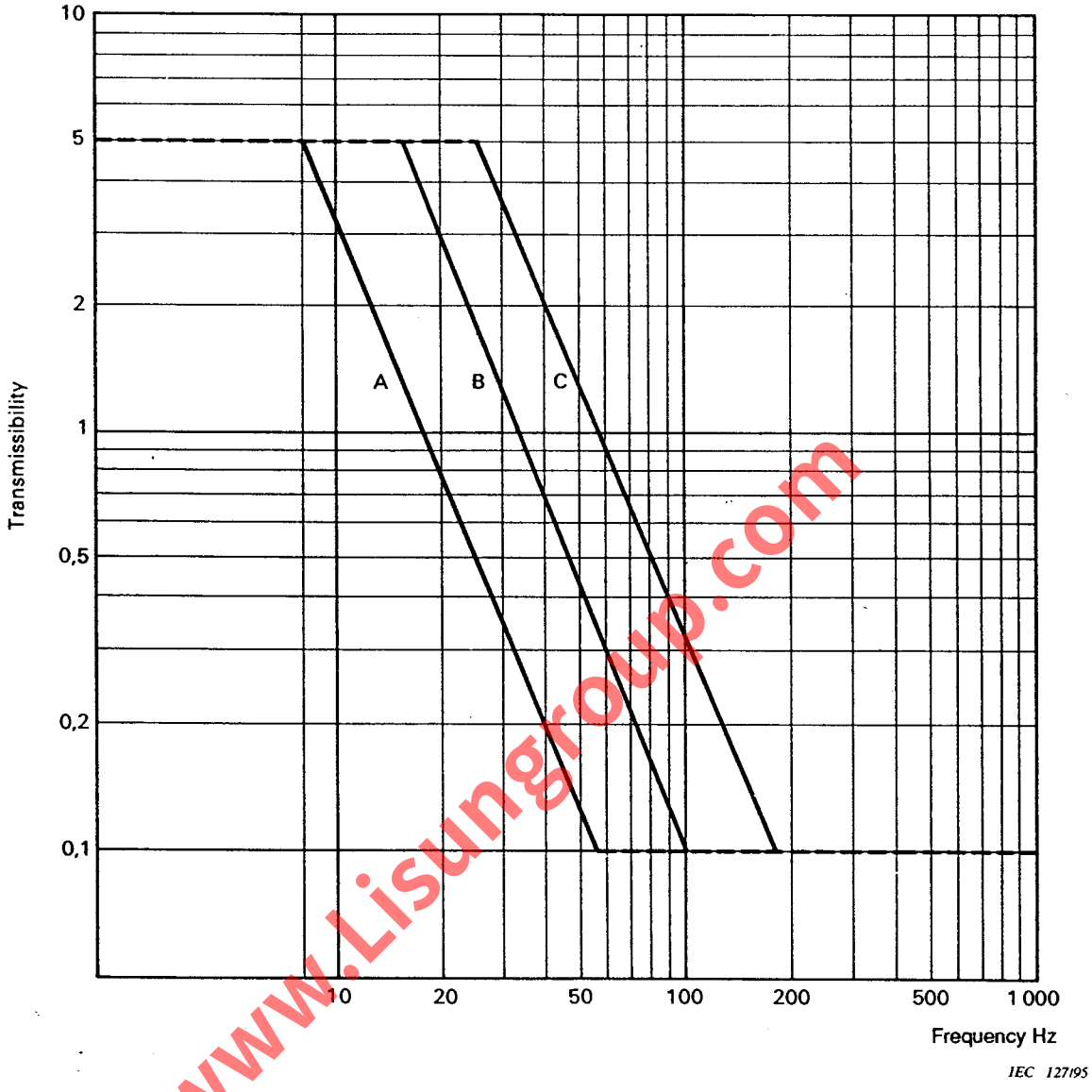
NOTE – This nomogram should not be taken as being a precise graphical representation of the severities.

Figure 3 – Nomogram relating vibration displacement amplitude to frequency (only applicable for frequency ranges with an upper frequency of 10 Hz)



www.Lisungroup.com

Figure A.1 – Facteurs de transmissibilité généralisée pour isolateurs de vibrations



www.Lisungroup.com

Figure A.1 – Generalized transmissibility factors for vibration isolators

www.Lisungroup.com

www.Lisungroup.com

www.Lisungroup.com

ICS 19.040

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND