

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60068-2-57**

Deuxième édition  
Second edition  
1999-11

---

---

**Essais d'environnement –**

**Partie 2-57:**

**Essais – Essai Ff: Vibrations –  
Méthode par accélérogrammes**

**Environmental testing –**

**Part 2-57:**

**Tests – Test Ff: Vibration –  
Time-history method**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60068-2-57:1999

## 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.

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60068-2-57**

Deuxième édition  
Second edition  
1999-11

---

---

**Essais d'environnement –**

**Partie 2-57:**

**Essais – Essai Ff: Vibrations –  
Méthode par accélérogrammes**

**Environmental testing –**

**Part 2-57:**

**Tests – Test Ff: Vibration –  
Time-history method**

© IEC 1999 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 photo-copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)

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



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

V

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

## SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS .....	4
INTRODUCTION .....	6
Articles	
1 Domaine d'application et objet.....	8
2 Références normatives.....	8
3 Définitions.....	8
4 Prescriptions générales.....	16
5 Exigences relatives à l'essai.....	16
5.1 Recherche et étude des fréquences critiques .....	16
5.2 Epreuve par accélérogrammes .....	20
5.3 Fixation.....	24
6 Sévérités.....	26
6.1 Gammes de fréquences d'essai.....	26
6.2 Spectre de réponse spécifié .....	28
6.3 Nombre et durée des accélérogrammes .....	28
6.4 Nombre de cycles de réponse de niveau élevé .....	28
7 Préconditionnement .....	30
8 Mesures initiales .....	30
9 Epreuve .....	30
9.1 Généralités .....	30
9.2 Recherche et étude des fréquences critiques .....	30
9.3 Epreuve par accélérogrammes .....	32
10 Mesures intermédiaires .....	32
11 Reprise .....	34
12 Mesures finales.....	34
13 Renseignements devant figurer dans la spécification particulière .....	34
Annexe A (informative) Synthèse de l'accélérogramme artificiel: Guide .....	52
Annexe B (informative) Gammes de fréquences d'essai.....	60
Figure 1 – Diagramme pour l'essai de vibrations par accélérogramme.....	36
Figure 2 – Exemple de réponse type d'un oscillateur excité par un accélérogramme particulier (valeur de seuil spécifiée de 70 %) .....	38
Figure 3 – Exemple d'identification des pics de réponse supérieurs à une valeur de seuil spécifiée (70 %).....	40
Figure 4 – Spectre de réponse type avec enveloppe.....	42
Figure 5 – Accélérogramme caractéristique .....	44
Figure 6 – Tracé logarithmique type d'un spectre de réponse spécifié .....	46
Figure 7 – Catégorie 1: forme globale recommandée du spectre de réponse spécifié .....	48
Figure 8 – Catégorie 2: forme globale recommandée du spectre de réponse spécifié .....	50

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	5
INTRODUCTION .....	7
Clause	
1 Scope and object .....	9
2 Normative references .....	9
3 Definitions .....	9
4 General requirements .....	17
5 Requirements for testing .....	17
5.1 Vibration response investigation .....	17
5.2 Time-history testing .....	21
5.3 Mounting .....	25
6 Severities .....	27
6.1 Test frequency range .....	27
6.2 Required response spectrum .....	29
6.3 Number and duration of time-histories .....	29
6.4 Number of high peaks of the response .....	29
7 Preconditioning .....	31
8 Initial measurements .....	31
9 Testing .....	31
9.1 General .....	31
9.2 Vibration response investigation .....	31
9.3 Time-history testing .....	33
10 Intermediate measurements .....	33
11 Recovery .....	35
12 Final measurements .....	35
13 Information to be given in the relevant specification .....	35
Annex A (informative) Synthesis of the artificial time-history: Guidance .....	53
Annex B (informative) Test frequency ranges .....	61
Figure 1 – Flow chart for vibration, time-history .....	37
Figure 2 – Example of a typical response of an oscillator excited by a specific time-history (specified threshold value of 70 %) .....	39
Figure 3 – Example of identification of the peaks of the response higher than a specified (70 %) threshold value .....	41
Figure 4 – Typical envelope response spectrum .....	43
Figure 5 – Typical time-history .....	45
Figure 6 – Typical plot of a required response spectrum .....	47
Figure 7 – Category 1: recommended shape of a required response spectrum in generalized form .....	49
Figure 8 – Category 2: recommended shape of a required response spectrum in generalized form .....	51

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

### Partie 2-57: Essais – Essai Ff: Vibrations – Méthode par accélérogrammes

#### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60068-2-57 a été établie par le Comité d'études 104: Conditions, classification et essais d'environnement.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1989, et constitue une révision technique.

La présente partie 2-57 est destinée à être utilisée conjointement avec la CEI 60068-1. Elle a été établie sur la base de la sixième édition (1988) et de son amendement 1 (1992).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
104/130/FDIS	104/136/RVD

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

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

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

Le comité a décidé que cette publication reste valable jusqu'en 2006. A cette date, selon décision préalable du comité, la publication sera

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## ENVIRONMENTAL TESTING –

**Part 2-57: Tests – Test Ff: Vibration –  
Time-history method**

## FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60068-2-57 has been prepared by IEC technical committee 104: Environmental conditions, classification and methods of test.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1989, and constitutes a technical revision.

This part 2-57 is intended to be used in conjunction with IEC 60068-1. It was established on the basis of the sixth edition of that standard (1988) together with its amendment 1 (1992).

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

FDIS	Report on voting
104/130/FDIS	104/136/RVD

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

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

Annexes A and B are for information only.

The committee has decided that this publication remains valid until 2006. At this date, in accordance with the committee's decision, the publication will be

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

## INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60068 décrit une méthode d'essai applicable aux composants, matériels et autres produits électrotechniques, dénommés ci-après « spécimens », qui peuvent, pendant leur utilisation, être soumis à des sollicitations dynamiques de caractère aléatoire et de durée brève, comme celles qui résultent d'un séisme, d'explosions, du transport et de l'exploitation avec différents types de véhicules.

La nature de ces sollicitations et l'amortissement du spécimen peuvent être tels que la réponse vibratoire de ce dernier n'atteint pas le régime permanent.

Après l'essai préliminaire d'étude des fréquences critiques effectué en vibrations sinusoïdales ou aléatoires, l'épreuve par accélérogrammes consiste à soumettre le spécimen à un accélérogramme de vibrations, défini par son spectre de réponse et dont les caractéristiques simulent l'effet des sollicitations dynamiques.

Les accélérogrammes peuvent provenir ou être obtenus à partir:

- d'un phénomène naturel (accélérogramme naturel);
  - d'un échantillon de mouvement aléatoire, ou
  - d'un signal synthétisé
- } accélérogramme artificiel

En général, il est nécessaire de modifier ces signaux pour les adapter aux sévérités d'essai demandées.

L'intérêt de l'utilisation des accélérogrammes réside dans la possibilité de couvrir un spectre de réponse à large bande de fréquences par l'application d'une seule onde d'essai.

Tous les modes de la structure situés dans l'axe ou les axes d'excitation peuvent être sollicités en même temps et, de ce fait, les contraintes résultant des effets combinés des modes couplés sont généralement prises en compte.

Les modalités de l'essai sont décrites pour son exécution et pour les mesures des vibrations en des points donnés. Les exigences sur le mouvement vibratoire, le choix des sévérités constitué par les gammes de fréquences, les spectres de réponse spécifiés, le nombre de cycles de réponse de niveau élevé et le nombre d'accélérogrammes sont aussi spécifiées.

Les rédacteurs de spécifications trouveront dans l'article 13 une liste des points particuliers à prendre en considération en vue de leur inclusion dans les spécifications, dans l'annexe A, les compléments d'information nécessaires, et dans l'annexe B, les gammes de fréquences d'essai recommandées.

On insiste sur le fait que les essais de vibrations requièrent toujours un certain degré d'appréciation technique et il convient que le fournisseur et le client en aient tous deux pleinement conscience. On attend du rédacteur de la spécification particulière qu'il choisisse les modalités d'essai et les valeurs de sévérités adaptées au spécimen et à son utilisation.

## INTRODUCTION

This part of IEC 60068 details a method for testing components, equipment and other electrotechnical products, hereinafter referred to as "specimens", which in service can be subjected to short-duration random-type dynamic forces of which typical examples are the stresses induced in equipment as a result of earthquakes, explosions and during transport and operation of different kinds of vehicles.

The characteristics of these forces and the damping of the specimen may be such that the vibration response of the specimen will not reach a steady-state condition.

The test consists, after any preliminary vibration response investigation with sinusoidal or random vibration has been performed, of subjecting the specimen to a vibration time-history specified by a response spectrum with characteristics simulating the effects of the dynamic forces.

A time-history may be developed or obtained from:

- a natural event (natural time-history);
  - a random sample, or
  - a synthesized signal.
- } artificial time-history

In general, some modification is necessary in order to adapt to the required testing severity.

The use of a time-history allows a single test wave to envelop a broadband response spectrum.

It is possible for all the modes of the specimen in the excitation axis (or axes) to be excited at the same time and consequently the stresses derived from the combined effects of the coupled modes are generally taken into account.

Procedures are described for conducting the test and for the measurement of the vibration at given points. The requirements for the vibration motion and for the choice of severities, that is frequency range, required response spectrum, number of high-peaks of the response and number and duration of time-histories, are also detailed.

Specification writers will find in clause 13 a list of details to be considered for inclusion in specifications, in annex A, on the guidance, and in annex B, on recommended test frequency ranges.

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

## ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

### Partie 2-57: Essais – Essai Ff: Vibrations – Méthode par accélérogrammes

#### 1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60068 a pour objet de donner des règles d'exécution normalisées pour déterminer, au moyen de la méthode par accélérogrammes, l'aptitude d'un spécimen à supporter des sévérités données de vibrations de courte durée.

#### 2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60068. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60068 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

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

CEI 60068-2-27:1987, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

CEI 60068-2-47:1982, *Essais d'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 60068-2-64:1993, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande (asservissement numérique) et guide*

CEI 60068-3-3:1991, *Essais d'environnement – Partie 3: Guide – Méthodes d'essai sismiques applicables aux matériels*

ISO 266: 1997, *Acoustique – Fréquences normales*

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

#### 3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 60068, les termes définis dans l'ISO 2041, dans la CEI 60068-1, la CEI 60068-2-6, la CEI 60068-2-64, ainsi que les définitions suivantes s'appliquent.

## ENVIRONMENTAL TESTING –

### Part 2-57: Tests – Test Ff: Vibration – Time-history method

#### 1 Scope and object

This part of IEC 60068 aims to provide a standard procedure for determining, by the time-history method, the ability of a specimen to withstand specified severities of transient vibration.

#### 2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60068. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60068 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

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

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

IEC 60068-2-27:1987, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-47:1982, *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 60068-2-64:1993, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fh: Vibration, broad-band random (digital control) and guidance*

IEC 60068-3-3:1991, *Environmental testing – Part 3: Guidance – Seismic test methods for equipment*

ISO 266:1997, *Acoustics – Preferred frequencies*

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

#### 3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 60068, the terms and definitions given in ISO 2041, IEC 60068-1, IEC 60068-2-6, IEC 60068-2-64 and the following apply.

**3.1****fréquence critique**

fréquence pour laquelle

- il 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

**3.2****amortissement**

terme générique lié à de nombreux mécanismes de dissipation de l'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.

**3.3****amortissement critique**

valeur minimale de l'amortissement visqueux pour lequel un système avec déplacement initial revient à sa position de repos sans oscillation en une durée la plus courte possible

**3.4****taux d'amortissement**

rapport entre la valeur de l'amortissement réel et la valeur de l'amortissement critique d'un système à amortissement visqueux

**3.5****tolérance sur le signal**

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

où

$NF$  est la valeur efficace du signal non filtré;

$F$  est la valeur efficace du signal filtré.

**3.6****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

NOTE Si une partie de la structure normale de montage est utilisée comme bâti, les points de fixation sont pris comme étant ceux de la structure de montage et non ceux du spécimen.

**3.7** **$g_n$** 

accélération normalisée de la pesanteur, variable en fonction de l'altitude et de la latitude

NOTE Dans le cadre de la présente norme, la valeur de  $g_n$  est arrondie au nombre entier le plus proche, c'est-à-dire 10 m/s<sup>2</sup>.

**3.8****cycles de réponse de niveau élevé**

pics supérieurs à une valeur de seuil spécifiée, obtenus par calcul, correspondant à la réponse d'un système à un degré de liberté (oscillateur), excité par un accélérogramme (voir figure 2)

NOTE 1 En pratique, on se réfère aux cycles de réponse de niveau élevé car il est difficile d'identifier les cycles de réponse complets qui résultent d'une excitation transitoire (accélérogramme).

NOTE 2 Pic défini pour une déviation maximale, positive ou négative, par rapport au niveau zéro, entre deux passages par zéro consécutifs (voir figure 3).

**3.1****critical frequency**

frequencies at which

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

**3.2****damping**

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.

**3.3****critical damping**

minimum viscous damping that will allow a displaced system to return to its initial position without oscillation in the shortest time possible

**3.4****damping ratio**

ratio of actual damping to critical damping in a system with viscous damping

**3.5****signal tolerance**

signal tolerance: 
$$T = \left( \frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100 \quad (\text{in percentage})$$

where

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

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

**3.6****fixing point**

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

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

**3.7** **$g_n$** 

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<sup>2</sup>.

**3.8****high peaks of the response**

calculated peaks of the response of a single-degree-of-freedom system (oscillator), excited by a time-history, exceeding a specified threshold value (see figure 2)

NOTE 1 In practice, reference is made to high peaks of the response since it is difficult to identify complete response cycles due to a transient excitation (time-history).

NOTE 2 The peak is a positive or a negative maximum deviation from the zero-line between two consecutive zero-crossing points (see figure 3).

### 3.9 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 la présente norme.

#### 3.9.1 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 des points de fixation du spécimen et, dans tous les cas, rigidement lié à ce dernier

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

NOTE 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.

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

NOTE 4 Dans le cas d'un grand nombre de petits spécimens fixés sur un seul bâti, ou dans celui d'un petit spécimen ayant plusieurs points de fixation, on peut sélectionner, pour obtenir le signal de pilotage, un seul point de vérification (point de référence) qui sera lié au support plutôt qu'aux points de fixation du ou 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 la fréquence de l'essai.

#### 3.9.2 point de référence

point, choisi parmi les points de vérification, dont on utilise le signal pour piloter l'essai afin de satisfaire aux conditions d'essai spécifiées

### 3.10 fréquence naturelle

fréquences des vibrations sans contrainte d'une structure dépendant uniquement de ses propres caractéristiques physiques (masse, rigidité et amortissement)

### 3.11 accélérogramme naturel

enregistrement, en fonction du temps, par exemple de l'accélération, de la vitesse ou du déplacement, résultant d'un phénomène donné

### 3.12 oscillateur

système à un degré de liberté destiné à produire ou à entretenir des oscillations mécaniques

### 3.13 pause

intervalle entre deux accélérogrammes consécutifs

NOTE Il convient que la pause soit d'une durée suffisante pour qu'il n'en résulte pas de superposition significative dans le mouvement de réponse du spécimen et que cette valeur puisse être obtenue à partir de l'expression:

$$T > \left( \frac{1}{f} \times \frac{100}{d} \right)$$

où

$T$  est la durée (s);

$f$  est la fréquence naturelle la plus basse (Hz);

$d$  est l'amortissement critique de la fréquence naturelle la plus basse (en pour-cent).

**3.9****measuring points**

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

NOTE Measurements may be made at points within the specimen in order to assess its behaviour; these are not considered as measuring points in the sense of this standard.

**3.9.1****check point**

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

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

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

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

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

**3.9.2****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

**3.10****natural frequency**

frequency of free vibration of a structure depending only on its own physical characteristics (mass, stiffness and damping)

**3.11****natural time-history**

recording, as a function of time, of for example acceleration, velocity or displacement, resulting from a given event

**3.12****oscillator**

single-degree-of-freedom system intended to produce or be capable of maintaining mechanical oscillations

**3.13****pause**

interval between two consecutive time-histories

NOTE A pause should be such as to result in no significant superposition of the response motion of the specimen and can be obtained from:

$$T > \left( \frac{1}{f} \times \frac{100}{d} \right)$$

where

$T$  is the duration (s);

$f$  is the lowest natural frequency (Hz);

$d$  is the critical damping at the lowest natural frequency (in per cent).

### **3.14**

#### **axes préférentiels d'essai**

trois axes orthogonaux correspondant aux axes les plus vulnérables du spécimen

### **3.15**

#### **échantillon de mouvement aléatoire**

enregistrement d'un échantillon de mouvement aléatoire modifié dans la gamme de fréquences et en amplitude, de telle sorte qu'il reproduise un spectre de réponse spécifié

### **3.16**

#### **spectre de réponse spécifié**

spectre de réponse spécifié dans la spécification particulière

### **3.17**

#### **spectre de réponse d'oscillateur**

représentation de la réponse maximale d'une famille d'oscillateurs à un degré de liberté soumis à un déplacement donné, en fonction de leurs fréquences naturelles et pour une valeur spécifiée du taux d'amortissement

### **3.18**

#### **fréquence d'échantillonnage**

nombre de valeurs discrètes de l'amplitude d'un signal prises par seconde, pour enregistrer ou représenter un accélérogramme sous forme numérique

### **3.19**

#### **partie forte du spectre de réponse spécifié**

partie du spectre pour laquelle la réponse en accélération est supérieure à la valeur à  $-3$  dB du spectre de réponse spécifié (voir figure 4)

NOTE Pour les applications sismiques, la partie forte du spectre de réponse se situe généralement dans le premier tiers de la bande de fréquences.

### **3.20**

#### **partie forte d'un accélérogramme**

partie de l'accélérogramme comprise entre l'instant où il dépasse pour la première fois 25 % de sa valeur maximale et celui où il descend au-dessous de 25 % pour la dernière fois (voir figure 5)

### **3.21**

#### **cycle de balayage**

parcours, une fois dans chaque sens, de la gamme de fréquences spécifiée, par exemple de 1 Hz à 35 Hz à 1 Hz

### **3.22**

#### **accélérogramme synthétique**

accélérogramme qui est produit artificiellement pour que le spectre de réponse lui correspondant enveloppe le spectre de réponse spécifié

### **3.23**

#### **amplitude d'essai**

valeur maximale des valeurs de crête de l'onde d'essai

### **3.24**

#### **spectre de réponse d'essai**

spectre de réponse d'oscillateur obtenu à partir du mouvement réel de la table vibrante soit analytiquement, soit en utilisant les moyens d'analyse de réponse spectrale

**3.14****preferred testing axes**

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

**3.15****random motion sample**

sample of random motion record modified in frequency range and amplitude so as to produce a required response spectrum

**3.16****required response spectrum**

response spectrum specified in the relevant specification

**3.17****response spectrum**

plot of the maximum response to a defined input motion of a family of single-degree-of-freedom bodies as a function of their natural frequencies and at a specified damping ratio

**3.18****sampling frequency**

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

**3.19****strong part of the required response spectrum**

part of the spectrum for which the response acceleration is higher than for the –3 dB bandpass of the required response spectrum (see figure 4)

NOTE Generally, for seismic applications, the strong part of the response spectrum is located in the first third of the frequency band.

**3.20****strong part of the time-history**

part of the time-history from the time when the plot first reaches 25 % of the maximum value to the time when it falls for the last time to the 25 % level (see figure 5)

**3.21****sweep cycle**

traverse of the specified frequency range once in each direction, for example 1 Hz to 35 Hz to 1 Hz

**3.22****synthesized time-history**

artificially generated time-history such that its response spectrum envelops the required response spectrum

**3.23****test level**

largest peak value within a test wave

**3.24****test response spectrum**

response spectrum derived from the real motion of the vibration table either analytically or by using response spectrum analysis equipment

### 3.25

#### **accélérogramme**

enregistrement de l'accélération, de la vitesse ou du déplacement en fonction du temps

NOTE La définition mathématique du terme «accélérogramme» présentée dans l'ISO 2041 se réfère à l'amplitude d'une grandeur exprimée en fonction du temps.

### 3.26

#### **accélération à période nulle**

valeur asymptotique du spectre de réponse d'accélération aux fréquences élevées (voir par exemple la figure 6)

NOTE L'accélération à période nulle a une signification particulière, par exemple, dans le cas d'un accélérogramme; elle est sensiblement égale à la valeur maximale de l'accélération. Elle ne doit pas être confondue avec la valeur maximale du spectre de réponse.

## **4 Prescriptions générales**

Le but de cet essai est de déterminer les faiblesses mécaniques et/ou les dégradations des performances requises et d'utiliser cette information conjointement avec la spécification particulière pour décider si le spécimen est acceptable ou non. On peut aussi l'utiliser dans certains cas pour démontrer la robustesse mécanique des spécimens et/ou pour étudier leur comportement dynamique.

La spécification particulière doit indiquer s'il est nécessaire que le spécimen fonctionne en présence de vibrations ou s'il suffit qu'il soit encore en état de fonctionner après y avoir été soumis.

Pour cet essai, le spécimen est toujours fixé à la table vibrante.

Afin de faciliter l'utilisation de cette norme, la partie principale comporte des références au diagramme de la figure 1 et à l'annexe A, auxquelles le lecteur est prié de se référer; réciproquement, les numéros d'articles de la partie principale sont rappelés dans l'annexe A.

## **5 Exigences relatives à l'essai**

Les prescriptions pour la recherche et l'étude des fréquences critiques sont données en 5.1 et celles pour l'épreuve par accélérogrammes en 5.2, tandis que le paragraphe 5.3 traite de la fixation pour la réalisation de l'essai.

### **5.1 Recherche et étude des fréquences critiques**

Lorsque la spécification particulière le prescrit, la recherche et l'étude des fréquences critiques peuvent être réalisées en se référant à la CEI 60068-2-6 tout en respectant en particulier les points traités en 5.1.1 à 5.1.9 ci-dessous pour déterminer les fréquences critiques et, lorsqu'on le demande, le taux d'amortissement.

La méthode d'essai par vibrations aléatoires peut également être utilisée comme autre méthode de recherche et d'étude des fréquences critiques (voir 4.3 et l'article A.3 de la CEI 60068-2-64).

#### **5.1.1 Mouvement fondamental**

Le mouvement fondamental doit être une fonction sinusoïdale du temps et doit être tel que les points de fixation du spécimen sur la table vibrante, qui doivent être prescrits par la spécification particulière, se déplacent sensiblement en phase et suivant des directions rectilignes et parallèles, compte tenu des limitations imposées par 5.1.2 et 5.1.3.

**3.25****time-history**

recording, as a function of time, of acceleration, velocity or displacement

NOTE A definition of the mathematical term "time-history" is given in ISO 2041 and relates to the magnitude of a quantity expressed as a function of time.

**3.26****zero period acceleration**

high-frequency asymptotic value of acceleration of the response spectrum (as an example see figure 6)

NOTE The zero period acceleration is of practical significance as it represents the largest peak value of acceleration, for example in a time-history. This is not to be confused with the peak value of acceleration in the response spectrum.

**4 General requirements**

The purpose of this test is to determine mechanical weakness and/or degradation in specified performance and to use this information, in conjunction with the relevant specification, to decide whether a specimen is acceptable or not. It may also be used, in some cases, to demonstrate the mechanical robustness of specimens and/or to study their dynamic behaviour.

The extent to which a specimen has to function during vibration or merely to survive conditions of vibration shall be stated in the relevant specification.

For the purpose of this test, the specimen is always fastened to the vibration table.

In order to facilitate the use of this standard, references are given in the main part inviting the reader to refer to the flow chart of figure 1 and to annex A; the clause numbers in the main part are also referred to in annex A.

**5 Requirements for testing**

The requirements for a vibration response investigation are given in 5.1, those for time-history testing in 5.2, while 5.3 deals with mounting for testing.

**5.1 Vibration response investigation**

When prescribed by the relevant specification, the vibration response investigation may be carried out with reference to IEC 60068-2-6, taking account of 5.1.1 to 5.1.9 below, in order to determine the critical frequencies and, where required, the damping ratio.

Random vibration testing may also be used as an alternative method for the vibration response investigation (see IEC 60068-2-64, 4.3 and clause A.3).

**5.1.1 Basic motion**

The basic motion shall be a sinusoidal function of time and shall be such that the fixing points of the specimen on the vibration table, which shall be prescribed by the relevant specification, move substantially in phase and in straight parallel lines, subject to the limitations imposed in 5.1.2 and 5.1.3.

## **5.1.2 Mouvement parasite**

### **5.1.2.1 Mouvement transversal**

L'amplitude maximale des vibrations aux points de vérification et suivant tout axe perpendiculaire à l'axe spécifié ne doit pas dépasser 50 % de l'amplitude spécifiée jusqu'à 500 Hz, ou 100 % pour des fréquences dépassant 500 Hz. Il est nécessaire que les mesures concernent uniquement la gamme spécifiée des fréquences. Dans certains cas particuliers, 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 des spécimens volumineux ou lourds, ou pour certaines fréquences, il peut être difficile de respecter ces valeurs. Dans de tels cas, la spécification particulière doit préciser laquelle des exigences suivantes s'applique:

- a) tout mouvement transversal dépassant les limites ci-dessus doit être noté et indiqué dans le rapport d'essai; ou
- b) le mouvement transversal pour lequel on sait qu'il existe un risque pour le spécimen ne nécessite pas d'être contrôlé.

### **5.1.2.2 Mouvements de rotation**

Si, en raison de spécimens volumineux ou lourds, des mouvements de rotation parasites de la table vibrante sont susceptibles de se produire, la spécification particulière doit définir un niveau toléré. Le niveau réalisé doit être indiqué dans le rapport d'essai.

## **5.1.3 Tolérance sur le signal**

Sauf spécification contraire indiquée dans la spécification particulière, la tolérance sur le signal d'accélération doit être mesurée. Les mesures doivent être effectuées au point de référence et couvrir les fréquences inférieures ou égales à 5 000 Hz ou correspondant à cinq fois la fréquence d'excitation, si cette dernière valeur est la plus petite. Toutefois, cette fréquence maximale d'analyse peut être étendue à la fréquence d'essai supérieure pour le balayage, ou au-delà, si la spécification particulière l'indique.

Sauf indication contraire dans la spécification correspondante, la tolérance sur le signal ne doit pas être supérieure à 5 %. Dans certains cas où il n'est pas possible d'atteindre cette valeur, une valeur supérieure à 5 % est admise. Si une telle mesure est prescrite, l'amplitude d'accélération du signal de pilotage à la fréquence d'excitation fondamentale est rétablie à la valeur spécifiée au moyen d'un filtre de poursuite.

Dans le cas de spécimens complexes ou de grande taille pour lesquels 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; en revanche, la tolérance sur le signal doit être notée dans le rapport d'essai.

NOTE Si aucun filtre de poursuite n'est utilisé et si la tolérance sur le signal est supérieure à 5 %, la reproductibilité est susceptible d'être considérablement affectée par le choix entre un système de pilotage numérique et un système de pilotage analogique.

La spécification particulière peut exiger que la tolérance sur le signal, telle que définie ci-dessus, soit indiquée dans le rapport d'essai, ainsi que la gamme de fréquences concernée, qu'un filtre de poursuite ait été ou non utilisé.

## **5.1.4 Tolérances sur l'amplitude de la vibration**

Le mouvement fondamental suivant l'axe requis, aux points de vérification et de référence, doit être égal à la valeur spécifiée avec les tolérances ci-après. Celles-ci comprennent les erreurs dues à l'instrumentation. La spécification particulière peut imposer d'indiquer dans le rapport d'essai le niveau de confiance utilisé pour l'évaluation de l'incertitude des mesures.

## **5.1.2 Spurious motion**

### **5.1.2.1 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, such as for small specimens, the amplitude of the permissible transverse motion may be limited to 25 %, if required by the relevant specification.

In some cases, such as for large-size or high-mass specimens or at some frequencies, it may be difficult to achieve these values. 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.

### **5.1.2.2 Rotational motion**

Where, due to the large-size or high-mass of a specimen, spurious rotational motion of the vibration table is likely to be caused, the relevant specification shall prescribe a tolerable level. The achieved level shall be stated in the test report.

## **5.1.3 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 %. In some instances, it may not be possible to achieve this value, in which case a signal tolerance value greater than 5 % is acceptable. If prescribed, the acceleration amplitude of the control signal at the fundamental driving frequency is restored to the specified value by use of a tracking filter.

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 where 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.

**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.

The relevant specification may require that the signal tolerance, as defined above, together with the frequency range affected, is stated in the test report, whether or not a tracking filter has been used.

## **5.1.4 Vibration amplitude tolerances**

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

Pour des fréquences basses ou pour des spécimens volumineux ou lourds il peut être difficile d'obtenir les tolérances exigées. Dans ces cas, il faut s'attendre à ce qu'une tolérance plus large ou que l'utilisation d'une autre méthode de détermination soit prescrite dans les spécifications particulières et qu'elle soit indiquée dans le rapport d'essai.

#### 5.1.4.1 Point de référence

La tolérance sur le signal de pilotage au point de référence doit être  $\pm 15$  % du mouvement fondamental.

#### 5.1.4.2 Point de vérification

Les tolérances en chaque point de vérification doivent être conformes à ce qui suit:

- jusqu'à 500 Hz:  $\pm 25$  % de l'accélération;
- au-delà de 500 Hz:  $\pm 50$  % de l'accélération.

#### 5.1.5 Tolérances sur les fréquences

Les tolérances suivantes sur les fréquences s'appliquent:

- jusqu'à 0,25 Hz:  $\pm 0,05$  Hz;
- de 0,25 Hz à 5 Hz:  $\pm 20$  %;
- de 5 Hz à 50 Hz:  $\pm 1$  Hz;
- au-delà de 50 Hz:  $\pm 2$  %.

Lorsque l'on doit comparer les fréquences critiques (voir 9.2) avant et après l'épreuve, les tolérances suivantes s'appliquent:

- jusqu'à 0,5 Hz:  $\pm 0,05$  Hz;
- de 0,5 Hz à 5 Hz:  $\pm 10$  %;
- de 5 Hz à 100 Hz:  $\pm 0,5$  Hz;
- au-delà de 100 Hz:  $\pm 0,5$  %.

#### 5.1.6 Balayage

Le balayage doit être continu et la fréquence doit varier de façon exponentielle en fonction du temps, à une vitesse ne dépassant pas une octave par minute.

NOTE Avec les moyens de pilotage numérique, le balayage n'est pas strictement «continu», mais la différence n'est pas significative.

#### 5.1.7 Taux d'amortissement

Le taux d'amortissement est normalement déterminé à partir de la recherche et de l'étude des fréquences critiques. Cette détermination dépend des moyens d'essai utilisés et demande une certaine appréciation technique. Une autre méthode peut être employée si elle est justifiée dans le rapport d'essai.

### 5.2 Epreuve par accélérogrammes

L'épreuve par accélérogrammes doit prendre en compte ce qui suit.

#### 5.2.1 Mouvement fondamental

L'accélérogramme peut être obtenu à partir:

- a) d'un accélérogramme naturel, ou

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.

#### 5.1.4.1 Reference point

Tolerance on the control signal at the reference point shall be  $\pm 15\%$  of the basic motion.

#### 5.1.4.2 Check points

Tolerance at each check point shall be in accordance with the following:

- up to 500 Hz:  $\pm 25\%$  of acceleration;
- above 500 Hz:  $\pm 50\%$  of acceleration.

#### 5.1.5 Frequency tolerances

The following frequency tolerances apply:

- up to 0,25 Hz:  $\pm 0,05$  Hz;
- from 0,25 Hz to 5 Hz:  $\pm 20\%$ ;
- from 5 Hz to 50 Hz:  $\pm 1$  Hz;
- above 50 Hz:  $\pm 2\%$ .

When the comparison of the critical frequencies (see 9.2) before and after testing is required, the following tolerances apply:

- up to 0,5 Hz:  $\pm 0,05$  Hz;
- from 0,5 Hz to 5 Hz:  $\pm 10\%$ ;
- from 5 Hz to 100 Hz:  $\pm 0,5$  Hz;
- above 100 Hz:  $\pm 0,5\%$ .

#### 5.1.6 Sweeping

The sweeping shall be continuous and the frequency shall change exponentially with time at a rate not exceeding one octave per minute.

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

#### 5.1.7 Damping ratio

The damping ratio is normally determined from the vibration response investigation. This determination depends on the test apparatus used and demands engineering judgement. Other methods may be employed if justified in the test report.

### 5.2 Time-history testing

Time-history testing shall take into account the following.

#### 5.2.1 Basic motion

The time-history used can be obtained from either:

- a) a natural time-history, or

- b) d'un accélérogramme synthétisé à partir de la composition de fréquences comprises dans la gamme spécifiée. Dans ce cas, l'accélérogramme synthétisé doit être obtenu avec une finesse d'analyse appropriée, comme indiqué ci-dessous:
- en bande de 1/12 d'octave au plus, lorsque l'amortissement du spécimen est inférieur ou égal à 2 %;
  - en bande de 1/6 d'octave au plus, lorsque l'amortissement du spécimen est compris entre 2 % et 10 % (cas général);
  - en bande de 1/3 d'octave au plus, lorsque l'amortissement du spécimen est supérieur ou égal à 10 %.

La valeur du taux d'amortissement (voir 3.4) peut être définie par la spécification particulière ou obtenue d'une autre manière que celle indiquée, par exemple par la recherche et l'étude des fréquences critiques (voir 5.1). Une valeur de 5 % est normalement retenue.

### 5.2.2 Mouvement transversal

La valeur maximale de crête de l'accélération ou du déplacement aux points de vérification, suivant tout axe perpendiculaire à l'axe spécifié, ne doit pas dépasser 25 % de la valeur de crête spécifiée pour l'accélérogramme, sauf indication contraire de la spécification particulière. Il est suffisant que la mesure couvre la gamme de fréquences spécifiée.

A certaines fréquences ou pour les spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut (voir aussi A.1). Dans de tels cas, la spécification particulière doit préciser laquelle des exigences suivantes s'applique:

- a) tout mouvement transversal dépassant les limites ci-dessus doit être noté dans le rapport d'essai;
- b) le mouvement transversal ne nécessite pas d'être contrôlé.

### 5.2.3 Mouvements de rotation

Lorsque les mouvements de rotation parasites de la table vibrante peuvent s'avérer importants, la spécification particulière peut définir un niveau toléré qui doit alors être noté dans le rapport d'essai.

### 5.2.4 Zone de tolérance sur le spectre de réponse spécifié

La zone de tolérance sur le spectre de réponse spécifié doit être comprise entre 0 % et +50 % (voir figure 6).

L'essai peut être encore acceptable même si un nombre limité de points du spectre de réponse d'essai est situé en dehors de cette tolérance. Cependant, ces points ne doivent pas coïncider avec les fréquences de résonance du spécimen. Toutefois, si les conditions ci-dessus ne peuvent être respectées, il est alors conseillé de noter le niveau réel d'essai aux fréquences de résonance dans le rapport d'essai (voir aussi A.1).

Le spectre de réponse d'essai doit être contrôlé au moins:

- en bande de 1/12 d'octave si l'amortissement du spécimen est inférieur ou égal à 2 %;
- en bande de 1/6 d'octave si l'amortissement du spécimen est compris entre 2 % et 10 % (cas général);
- en bande de 1/3 d'octave si l'amortissement du spécimen est supérieur ou égal à 10 %.

NOTE Dans certains cas, le spectre de réponse spécifié a été mis en forme ou élargi de façon tellement artificielle que le spectre de réponse d'essai ne peut respecter ces tolérances. Dans ce cas, il y aura lieu, éventuellement, de réviser les tolérances des spécifications d'essai particulières.

- b) a synthesized time-history by composition of frequencies included within the specified range. In this case, the synthesized time-history shall be generated with the appropriate resolution, as follows:
- not more than 1/12 octave bands when the specimen damping is lower than or equal to 2 %;
  - not more than 1/6 octave bands when the specimen damping lies between 2 % and 10 % (general case);
  - not more than 1/3 octave bands when the specimen damping is higher than or equal to 10 %.

The value of the damping ratio (see 3.4) may be defined by the relevant specification or otherwise obtained, for example by means of the vibration response investigation (see 5.1). A value of 5 % is normally taken.

### 5.2.2 Transverse motion

The maximum peak value of acceleration or displacement at the check points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed 25 % of the specified peak value in the time-history, unless otherwise stated in the relevant specification. The recorded measurements need only cover the specified frequency range.

At some frequencies or with large-size or high-mass specimens, it may be difficult to achieve these values (see also A.1). In such cases, the relevant specification shall state which of the following requirements applies:

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

### 5.2.3 Rotational motion

Where spurious rotational motion of the vibration table is likely to be important, a tolerable level, which shall then be stated in the test report, shall be prescribed by the relevant specification.

### 5.2.4 Tolerance zone for the required response spectrum

The tolerance zone to be applied to the required response spectrum shall range from 0 % to +50 % (see figure 6).

If a small proportion of the individual points on the test response spectrum lies outside this zone, the test may still be acceptable provided such points do not coincide with the resonance frequencies of the specimen. If such a condition is not fulfilled, the actual test level at the resonance frequency is to be stated in the test report (see also A.1).

The test response spectrum shall be checked at least:

- in 1/12 octave bands if the specimen damping is lower than or equal to 2 %;
- in 1/6 octave bands if the specimen damping is between 2 % and 10 % (general case);
- in 1/3 octave bands if the specimen damping is higher than or equal to 10 %.

NOTE In some cases the required response spectrum may have been so artificially shaped or broadened that the test response spectrum cannot be generated within this tolerance zone. The tolerances in the relevant test specification may then need to be revised.

### 5.2.5 Gamme de fréquences

Le signal de référence ne doit pas contenir de fréquence supérieure à celles de la gamme d'essai, sauf celles qu'induisent les moyens d'essai et le spécimen. La valeur maximale du signal située en dehors de la gamme de fréquences d'essai, induite par les moyens d'essai sans la présence du spécimen, ne doit pas dépasser 20 % de celle qui est spécifiée pour le signal de référence. Si les valeurs ci-dessus ne peuvent être respectées, les valeurs de dépassement obtenues doivent être notées dans le rapport d'essai.

Les fréquences situées en dehors de la gamme de fréquences d'essai ne doivent pas être prises en compte pour la détermination du spectre de réponse d'essai.

### 5.2.6 Calcul du spectre de réponse d'essai

Pour limiter le taux d'erreur dans le calcul du spectre de réponse, une attention particulière doit être accordée à l'échantillonnage et au filtrage de l'accélérogramme analysé.

Il est recommandé que la fréquence d'échantillonnage de l'accélérogramme soit au moins 10 fois plus élevée que la fréquence supérieure  $f_2$  pour le calcul de la réponse.

NOTE Cette procédure permet de calculer la réponse de l'oscillateur  $f_2$  le plus élevé en fréquence, soumis à un accélérogramme, avec une marge d'erreur inférieure à 5 %. Si une fréquence d'échantillonnage de  $2,56 f_2$  est utilisée, comme c'est couramment le cas pour les analyses en fréquences, il est possible d'obtenir une erreur supérieure à 60 % dans la réponse maximale de l'oscillateur  $f_2$  le plus élevé.

Il faut toujours utiliser un filtre passe-bas avant de numériser l'accélérogramme analysé, afin d'éviter les erreurs de repliement. Il est recommandé que la fréquence de coupure à la demi-puissance du filtre anti-repliement soit égale à  $1,5 f_2$ . La pente du filtre doit être en principe au moins égale à  $-60$  dB/octave. L'utilisation de ces valeurs recommandées garantit l'obtention d'une réponse complète pour l'oscillateur  $f_2$  le plus élevé en fréquence et supprime aussi, au niveau des composantes élevées en fréquence, les erreurs dues à des modifications de phase apportées par le filtre anti-repliement.

Des erreurs de troncature peuvent se produire si l'accélérogramme analysé ou si les accélérogrammes de réponse des oscillateurs ne décroissent pas dans la fenêtre temporelle de calcul. Cet aspect est particulièrement critique lorsque les calculs sont effectués pour des oscillateurs à faible amortissement. On doit éviter les erreurs de troncature en utilisant une longue durée d'exposition.

NOTE Un exposé du problème est fait en annexe B de la CEI 60068-2-27, qui donne les définitions de spectre de réponse «initiale» et «résiduelle». Pour la détermination du spectre de réponse d'essai, il convient de calculer un spectre de réponse «totale», en tenant compte de la totalité de la «forte partie» de la réponse de l'oscillateur.

## 5.3 Fixation

La fixation doit être réalisée suivant les spécifications de la CEI 60068-2-47.

Si un spécimen est normalement monté sur des amortisseurs et qu'il est nécessaire de le soumettre à l'épreuve sans eux, alors le niveau d'excitation spécifié doit être modifié afin d'en tenir compte.

L'effet des connexions, câbles, tuyauteries, etc. doit être pris en compte pour la fixation du spécimen.

NOTE Si cela est faisable, il est conseillé d'inclure, dans le montage prévu pour l'épreuve, le dispositif de fixation du spécimen dans les conditions normales de service.

L'orientation et la fixation du spécimen pendant l'épreuve doivent être prescrites par la spécification particulière et constituent le seul cas de figure pour lequel le spécimen est qualifié, à moins qu'une justification convenable ne permette de l'étendre à d'autres conditions non testées (par exemple s'il est prouvé que la pesanteur n'a pas d'effet sur le comportement du spécimen).

### 5.2.5 Frequency range

The signal from the reference point shall not contain any frequency higher than the test range, except those induced by the test facilities and the specimen. The maximum value of the signal outside the test frequency range induced by the test facilities without specimen shall not exceed 20 % of the maximum value of the specified signal from the reference point. If the above values cannot be achieved, those obtained shall be stated in the test report.

Frequencies outside the test frequency range shall not be taken into account when evaluating the test response spectrum.

### 5.2.6 Calculation of the test response spectrum

In order to keep errors to a minimum when calculating the test response spectrum, special consideration shall be given to sampling and filtering of the time-history under evaluation.

It is recommended that the sampling frequency of the time-history is at least a factor of 10 higher than the upper frequency  $f_2$  for the response calculation.

NOTE In this way the response time-history for the highest  $f_2$  oscillator will be calculated with a magnitude error of less than 5 %. If a sampling frequency of  $2,56 f_2$  is used, as is common for frequency analysis, an error exceeding 60 % can be obtained in the maximum response of the highest  $f_2$  oscillator.

A low-pass filter shall always be used prior to digitizing the time-history under evaluation to avoid aliasing errors. It is recommended that the half-power point cut-off frequency of the anti-aliasing filter be  $1,5 f_2$ . The cut-off rate shall be at least  $-60$  dB/octave. Use of these recommended values ensures that a full response is obtained for the highest  $f_2$  oscillator. Errors at the highest oscillators, due to phase modifications induced by anti-aliasing filters, are also suppressed.

Truncation errors can be obtained if the time-history under evaluation or the response time-histories of the oscillators do not decay within the time frame for the calculation. This is particularly critical when calculations are performed for oscillators with low damping. Truncation errors shall be avoided by using a long time frame.

NOTE A rationale of the problem is reported in appendix B to IEC 60068-2-27 which gives the definitions of "initial" and "residual" response spectrum. For the evaluation of the test response spectrum a "total" response spectrum should be calculated, then taking into account the total "strong part" of the response of the oscillator.

## 5.3 Mounting

The specimen shall be mounted in accordance with IEC 60068-2-47.

If a specimen is normally mounted on isolators, but it is necessary to carry out a test without them, the specified excitation level shall be modified to take this into account.

The influence of connections, cables, piping, etc. shall be taken into account when mounting the specimen.

NOTE Where practicable, the normal in-service mounting structure of the specimen should be included in the test.

The orientation and mounting of the specimen during testing shall be prescribed by the relevant specification and constitute the only condition for which the specimen is considered as complying with the requirements of the standard, unless adequate justification can be given for extension to an untested condition (for instance, if it is shown that the effects of gravity do not influence the behaviour of the specimen).

## 6 Sévérités

La sévérité d'essai est la résultante des paramètres suivants:

- gamme de fréquences d'essai;
- spectre de réponse spécifié;
- nombre et durée des accélérogrammes;
- nombre de cycles de réponse de niveau élevé (voir l'article A.3).

Pour chaque paramètre, la spécification particulière doit indiquer la valeur appropriée selon les recommandations données dans 6.1 à 6.4.

### 6.1 Gammes de fréquences d'essai

La spécification particulière doit indiquer la gamme de fréquences d'essai en choisissant la fréquence inférieure parmi celles du tableau 1 et la fréquence supérieure parmi celles du tableau 2. Les gammes de fréquences d'essai recommandées sont données dans le tableau 3, par exemple les gammes de fréquences d'essai communément utilisées pour différentes applications sont données dans l'annexe B.

**Tableau 1 – Fréquences inférieures**

$f_1$ Hz
0,1
1
5
10
55
100

**Tableau 2 – Fréquences supérieures**

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

**Tableau 3 – Gammes de fréquences d'essai recommandées**

De $f_1$ Hz	à	$f_2$ Hz
0,1	à	10*
1	à	35
1	à	100
5	à	35*
10	à	100*
10	à	150
10	à	500
10	à	2 000
55	à	2 000

\* Les gammes de fréquences signalées par un astérisque ne correspondent pas à celles qui sont recommandées dans la CEI 60068-2-6.

## 6 Severities

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

- test frequency range;
- required response spectrum;
- number and duration of the time-histories;
- number of high peaks of the response (see clause A.3).

The relevant specification shall state the values for each parameter on the basis of the recommendations given in 6.1 to 6.4.

### 6.1 Test frequency range

The test frequency range shall be given in the relevant specification by selecting a lower frequency from table 1 and an upper frequency from table 2. Recommended frequency ranges are shown in table 3; examples of test frequency ranges commonly used for different applications are given in annex B.

**Table 1 – Lower frequencies**

$f_1$ Hz
0,1
1
5
10
55
100

**Table 2 – Upper frequencies**

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

**Table 3 – Recommended test frequency ranges**

From $f_1$ Hz	to	$f_2$ Hz
0,1	to	10*
1	to	35
1	to	100
5	to	35*
10	to	100*
10	to	150
10	to	500
10	to	2 000
55	to	2 000
* The ranges marked with an asterisk are not within the recommended ranges of IEC 60068-2-6.		

## **6.2 Spectre de réponse spécifié**

La spécification particulière doit indiquer l'amplitude et la forme des spectres de réponse spécifiés utilisés pour l'épreuve, y compris la valeur de l'accélération à période nulle. Elle doit également indiquer les axes du spécimen auxquels ces spectres s'appliquent lorsqu'ils ne sont pas identiques pour chacun des axes.

Lorsque les conditions d'environnement ne sont pas bien connues, on peut s'aider de l'article A.2 pour définir le spectre de réponse spécifié.

## **6.3 Nombre et durée des accélérogrammes**

### **6.3.1 Nombre d'accélérogrammes**

La spécification particulière doit indiquer le nombre d'accélérogrammes à appliquer au spécimen selon les axes concernés.

Sauf spécification contraire, le nombre d'accélérogrammes à appliquer par axe d'essai et pour chaque niveau est choisi dans la série suivante:

... 1; 2; 5; 10; 20; 50 ...

Lorsque plusieurs niveaux d'accélérogrammes sont définis, on doit toujours commencer l'essai par le niveau le plus faible et on continue avec les niveaux croissants. Chaque accélérogramme doit être suivi d'une pause .

### **6.3.2 Durée de l'accélérogramme**

La spécification particulière doit indiquer la durée de chaque accélérogramme. Les valeurs recommandées, en secondes, sont choisies dans la série suivante:

... 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50 ...

### **6.3.3 Durée de la partie forte de l'accélérogramme**

Dans certains cas, la spécification particulière peut exiger que la partie forte de l'accélérogramme soit un pourcentage donné de la durée totale. Dans les autres cas, la durée relative à cette partie forte doit être choisie parmi les valeurs suivantes, sauf lorsque les exigences de 6.4 s'appliquent:

25 %, 50 %, 75 %.

La valeur choisie doit être notée dans le rapport d'essai.

## **6.4 Nombre de cycles de réponse de niveau élevé**

La spécification particulière peut indiquer le nombre de cycles de réponse de niveau élevé entraînant des réponses supérieures à la valeur de seuil spécifiée (voir l'article A.3).

Les pics de réponse de niveau élevé constituent une sévérité supplémentaire applicable de préférence lorsque les fréquences de résonance sont situées dans la partie forte du spectre de réponse spécifié.

Il est recommandé d'exprimer ces pics de réponse de niveau élevé en pourcentage de la valeur du spectre de réponse spécifié correspondant aux fréquences naturelles particulières.

## **6.2 Required response spectrum**

The relevant specification shall state the level and the shape of the required response spectrum to be used for the testing, including the zero period acceleration value. It shall also state the specimen axes along which the spectra are applied when they are not identical for all the axes.

Guidance for the development of a required response spectrum in the situation where environmental conditions are not well known is provided in clause A.2.

## **6.3 Number and duration of time-histories**

### **6.3.1 Number of time-histories**

The relevant specification shall specify the number of time-histories to be applied to the specimen and the axes concerned.

Unless otherwise specified, the number of time-histories to be applied to each test axis and for each time-history level shall be selected from the following series:

... 1; 2; 5; 10; 20; 50...

When more than one time-history level is used, testing shall always begin with the lowest and continue with higher levels. Each time-history shall be followed by a pause.

### **6.3.2 Time-history duration**

The relevant specification shall state the duration of each time-history for which recommended values in seconds are given by the following series:

... 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50....

### **6.3.3 Duration of the strong part of the time-history**

In some cases, the relevant specification may require the strong part of the time-history to be a given percentage of the total duration. Otherwise, except when precluded by the requirements of 6.4, the value of the strong part shall be selected from the following percentages of the total duration:

25 %, 50 %, 75 %.

The selected value shall be stated in the test report.

## **6.4 Number of high peaks of the response**

The relevant specification may state the number of high peaks of the response leading to values greater than a specified threshold value (see clause A.3).

High peaks of the response are an additional severity applicable preferably when natural frequencies are located inside the strong part of the required response spectrum.

These high peaks of the response should be expressed as a percentage of the required response spectrum value at specific natural frequencies.

Sauf lorsque la spécification particulière le prescrit, le nombre de cycles de réponse de niveau élevé doit être compris entre 3 et 20, en se référant à une valeur de seuil de 70 % et pour un taux d'amortissement de 2 % à 10 %. Les alternances positives et négatives doivent être à peu près régulièrement réparties comme indiqué à la figure 2.

## **7 Préconditionnement**

La spécification particulière peut prescrire un preconditionnement; dans ce cas, elle doit en fixer les conditions.

## **8 Mesures initiales**

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

## **9 Epreuve**

### **9.1 Généralités**

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

Lorsque la spécification particulière le prescrit, on doit ajouter à la mesure de l'amplitude d'essai spécifiée une limite maximale de la force appliquée à la table vibrante. La méthode de limitation de la force doit alors être prescrite dans la spécification particulière.

### **9.2 Recherche et étude des fréquences critiques**

Si la spécification particulière le prescrit, on doit étudier le comportement dynamique du spécimen dans la gamme de fréquences d'essai.

La recherche et l'étude des fréquences critiques peut être réalisée avec une onde sinusoïdale ou aléatoire appliquée dans la gamme de fréquences et avec l'amplitude d'essai spécifiées dans la spécification particulière.

Cette recherche doit être réalisée pour un niveau d'essai choisi de façon que la réponse du spécimen reste inférieure à celle de l'épreuve par accélérogramme, tout en ayant un niveau suffisamment élevé pour mettre en évidence les fréquences critiques.

Cette recherche doit être effectuée avec une excitation sinusoïdale, par un cycle de balayage logarithmique avec une vitesse ne dépassant pas une octave par minute, mais il peut être nécessaire de la réduire afin d'obtenir une meilleure définition des caractéristiques de la réponse. Il convient d'éviter les arrêts prolongés de balayage.

On doit réaliser cette recherche avec un mouvement aléatoire, en tenant compte que la durée de l'essai doit être suffisamment longue pour minimiser les variations stochastiques de la réponse. Il convient de noter qu'il faut disposer d'une résolution fréquentielle suffisamment élevée pour déterminer de manière adéquate les valeurs crête de la réponse (bande passante à -3 dB la plus étroite), et il est recommandé qu'au moins cinq lignes spectrales soient contenues dans la bande passante à -3 dB la plus étroite.

Si la spécification particulière le prescrit, le spécimen doit être en fonction pendant cet essai d'investigation. S'il n'est pas possible d'évaluer le comportement mécanique du spécimen sous l'effet des vibrations parce qu'il est en fonctionnement, on doit procéder à un essai de

Unless otherwise prescribed by the relevant specification, the number of high peaks of the response shall be within the range 3 to 20, with reference to a threshold value of 70 %, for a 2 % to 10 % damping ratio. The alternate positive and negative peaks shall be approximately equally distributed as shown in figure 2.

## **7 Preconditioning**

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

## **8 Initial measurements**

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

## **9 Testing**

### **9.1 General**

The specimen shall be excited in each of the three preferred testing axes unless otherwise prescribed by the relevant specification. The order of testing along these axes is not important unless prescribed by the relevant specification.

When prescribed by the relevant specification, control of the specified test level shall be supplemented by a maximum limit of the driving force applied to the vibration table. The method of force limitation shall then also be prescribed by the relevant specification.

### **9.2 Vibration response investigation**

When prescribed by the relevant specification, the dynamic response of the specimen in the defined frequency range shall be investigated.

The vibration response investigation may be performed with sinusoidal or random vibration in a test frequency range and with a test level as prescribed by the relevant specification.

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

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

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

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

recherche et d'étude des fréquences critiques supplémentaire, le spécimen étant hors fonctionnement. Pendant cette phase, le spécimen doit être examiné pour déterminer les fréquences critiques, qui doivent alors être notées dans le rapport d'essai.

Dans certains cas, la spécification particulière peut demander de faire une nouvelle étude des fréquences critiques à l'issue de l'épreuve par accélérogrammes pour comparer les fréquences critiques avant et après l'épreuve par accélérogrammes.

La spécification particulière doit indiquer ce qu'il faut faire s'il se produit une variation de ces fréquences. Il est essentiel que ces deux études des fréquences critiques soient exécutées de la même manière et avec les mêmes amplitudes d'essai.

### **9.3 Epreuve par accélérogrammes**

Pour l'épreuve par accélérogrammes, les valeurs de sévérité sont données dans la spécification particulière suivant les indications de l'article 6.

Le spectre de réponse d'essai doit envelopper le spectre de réponse spécifié selon les tolérances indiquées en 5.2.4.

Une pause d'une durée suffisante doit être respectée entre deux accélérogrammes consécutifs afin d'éviter toute superposition significative dans la réponse du spécimen. La spécification particulière doit aussi indiquer si l'épreuve doit être de type monoaxial, biaxial ou triaxial.

NOTE Les méthodes d'essai de types biaxial ou triaxial sont habituellement utilisées pour des applications concernant les séismes (catégorie 1, voir A.2.1). Voir la CEI 60068-3-3.

#### **9.3.1 Epreuve de type monoaxial**

Elle est réalisée successivement suivant chaque axe préférentiel d'essai.

#### **9.3.2 Epreuve de type biaxial**

Pour chaque séquence d'épreuves, les deux accélérogrammes sont appliqués simultanément suivant les axes préférentiels d'essai, pris deux à deux. Si les accélérogrammes ne sont pas indépendants, chaque épreuve est réalisée avec une phase relative de 0° puis de 180° entre ces deux ondes.

NOTE Lorsque l'épreuve de type biaxial est spécifiée, elle peut être réalisée avec une installation de type monoaxial à axe incliné, mais alors les mouvements selon les deux axes sont toujours dépendants. Il convient que le spectre de réponse d'essai suivant chacun des axes soit ajusté pour envelopper le spectre de réponse spécifié selon cet axe.

#### **9.3.3 Epreuve de type triaxial**

A chaque séquence d'essai, les trois accélérogrammes sont appliqués simultanément suivant les trois axes préférentiels d'essai. Pour cette méthode, l'utilisation d'installations de type monoaxial ou biaxial n'est pas appropriée.

## **10 Mesures intermédiaires**

Lorsque la spécification particulière le prescrit, on doit faire fonctionner le spécimen pendant un nombre donné d'épreuves par accélérogrammes et ses performances doivent être vérifiées.

functioning shall be carried out. During this stage, the specimen shall be examined in order to determine the critical frequencies, which shall then be stated in the test report.

In certain circumstances, the relevant specification may prescribe an additional vibration response investigation on completion of the time-history testing so that the critical frequencies before and after the time-history testing can 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 test level.

### **9.3 Time-history testing**

For time-history testing, values for the severity are given in the relevant specification according to clause 6.

The test response spectrum shall envelope the required response spectrum according to the tolerances given in 5.2.4.

Between consecutive time-histories a pause of sufficient length shall be included, so that no significant superposition of response motion of the specimen occurs. The relevant specification shall also state whether single axis, biaxial or triaxial testing is required.

NOTE Biaxial and triaxial test methods are generally used for seismic applications (category 1, see A.2.1), see IEC 60068-3-3.

#### **9.3.1 Single axis testing**

Testing is carried out successively along each preferred testing axis.

#### **9.3.2 Biaxial testing**

For each series of tests, the two time-histories are applied simultaneously along two of the preferred testing axes of the specimen. If the time-histories are not independent, each test is repeated with a relative phase angle of 0° first and then 180°.

NOTE When biaxial testing is specified, testing may be carried out in a single inclined axis installation but the movements along the two axes will always be dependent. The test response spectrum for each axis should be adjusted to envelop the required response spectrum in that axis.

#### **9.3.3 Triaxial testing**

For each series of tests the time-histories are applied simultaneously along all three of the preferred testing axes. For this method of testing, the use of single axis or biaxial installations is not appropriate.

## **10 Intermediate measurements**

When prescribed by the relevant specification, the specimen shall function during a prescribed number of time-history tests and its performance shall be checked.

## 11 Reprise

Il peut être parfois nécessaire, lorsque cela est prescrit par la spécification particulière, de laisser s'écouler un certain temps entre l'épreuve et les mesures finales pour permettre au spécimen de se retrouver dans les mêmes conditions qu'au début des mesures initiales, par exemple en ce qui concerne la température.

## 12 Mesures finales

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

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

## 13 Renseignements devant figurer dans la spécification particulière

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

	Articles
a) Mouvement fondamental*	5.1.1 et 5.2.1
b) Mouvement transversal	5.1.2.1 et 5.2.2
c) Mouvement de rotation	5.1.2.2 et 5.2.3
d) Tolérance sur le signal	5.1.3
e) Tolérances sur l'amplitude de la vibration	5.1.4
f) Taux d'amortissement	5.1.7
g) Fixation du spécimen*	5.3
h) Gamme de fréquences d'essai*	6.1
i) Spectre de réponse spécifié*	6.2, A.2
j) Nombre d'accélérogrammes*	6.3.1
k) Durée de l'accélérogramme*	6.3.2
l) Durée de la partie forte de l'accélérogramme	6.3.3
m) Nombre de cycles de réponse de niveau élevé et valeur de seuil	6.4, A.3
n) Préconditionnement	7
o) Mesures initiales*	8
p) Axes préférentiels d'essai	9.1
q) Limitation de la force de pilotage	9.1
r) Recherche et étude des fréquences critiques	9.2
s) Fonctionnement et vérifications fonctionnelles	9.2
t) Epreuve de type mono, bi ou triaxial*	9.3
u) Mesures intermédiaires	10
v) Reprise	11
w) Mesures finales*	12

## 11 Recovery

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

## 12 Final measurements

The specimen shall be submitted to 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 shall be based.

## 13 Information to be given in the relevant specification

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

	Clause
a) Basic motion *	5.1.1 and 5.2.1
b) Transverse motion	5.1.2.1 and 5.2.2
c) Rotational motion	5.1.2.2 and 5.2.3
d) Signal tolerance	5.1.3
e) Vibration amplitude tolerances	5.1.4
f) Damping ratio	5.1.7
g) Mounting of the specimen*	5.3
h) Test frequency range*	6.1
i) Required response spectrum*	6.2, A.2
j) Number of time-histories*	6.3.1
k) Time-history duration*	6.3.2
l) Duration of strong part of time-history	6.3.3
m) Number of high peaks of the response and threshold value	6.4, A.3
n) Preconditioning	7
o) Initial measurements*	8
p) Preferred testing axes	9.1
q) Driving force limitation	9.1
r) Vibration response investigation	9.2
s) Performance and functional check	9.2
t) Single axis, biaxial or triaxial testing*	9.3
u) Intermediate measurements	10
v) Recovery	11
w) Final measurements*	12

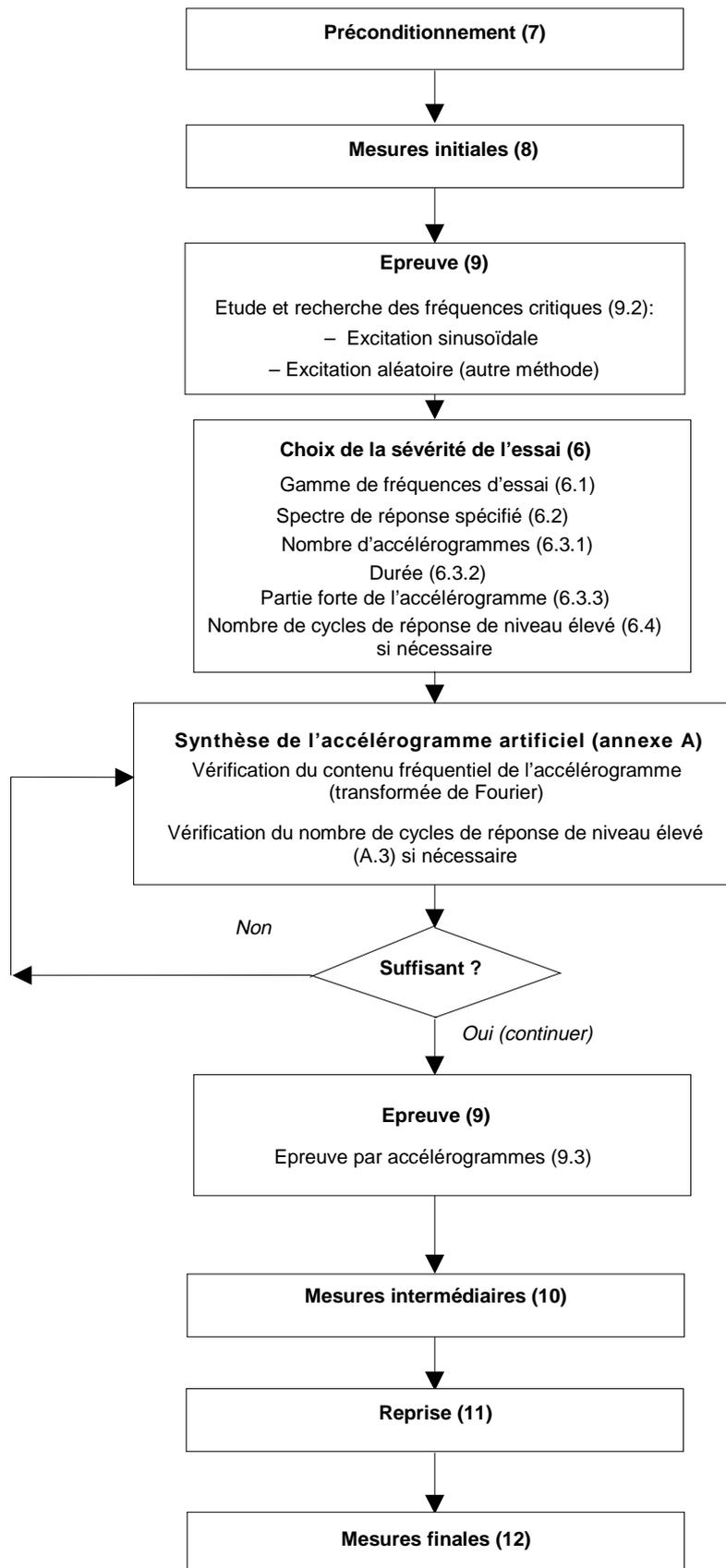


Figure 1 – Diagramme pour l'essai de vibrations par accélérogramme

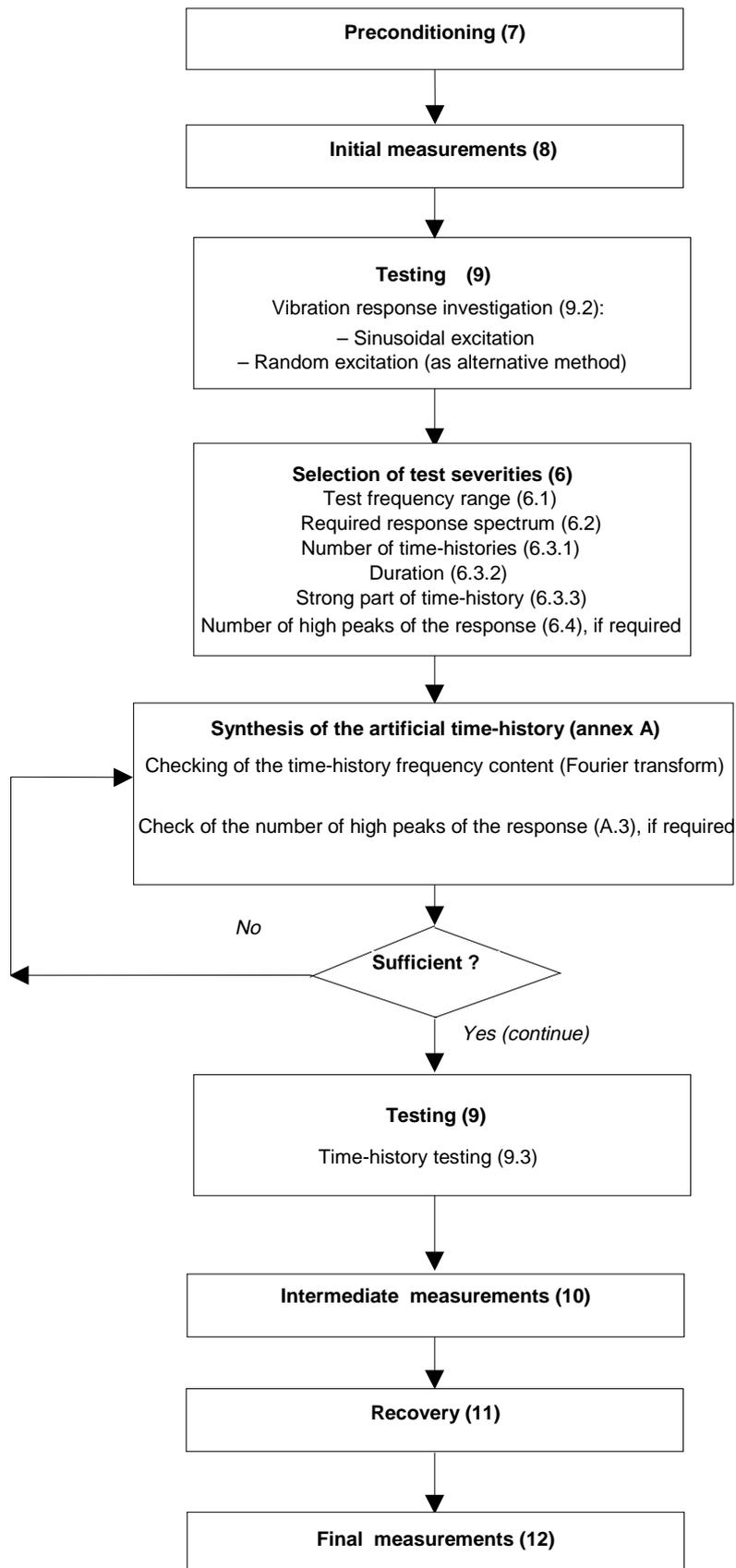
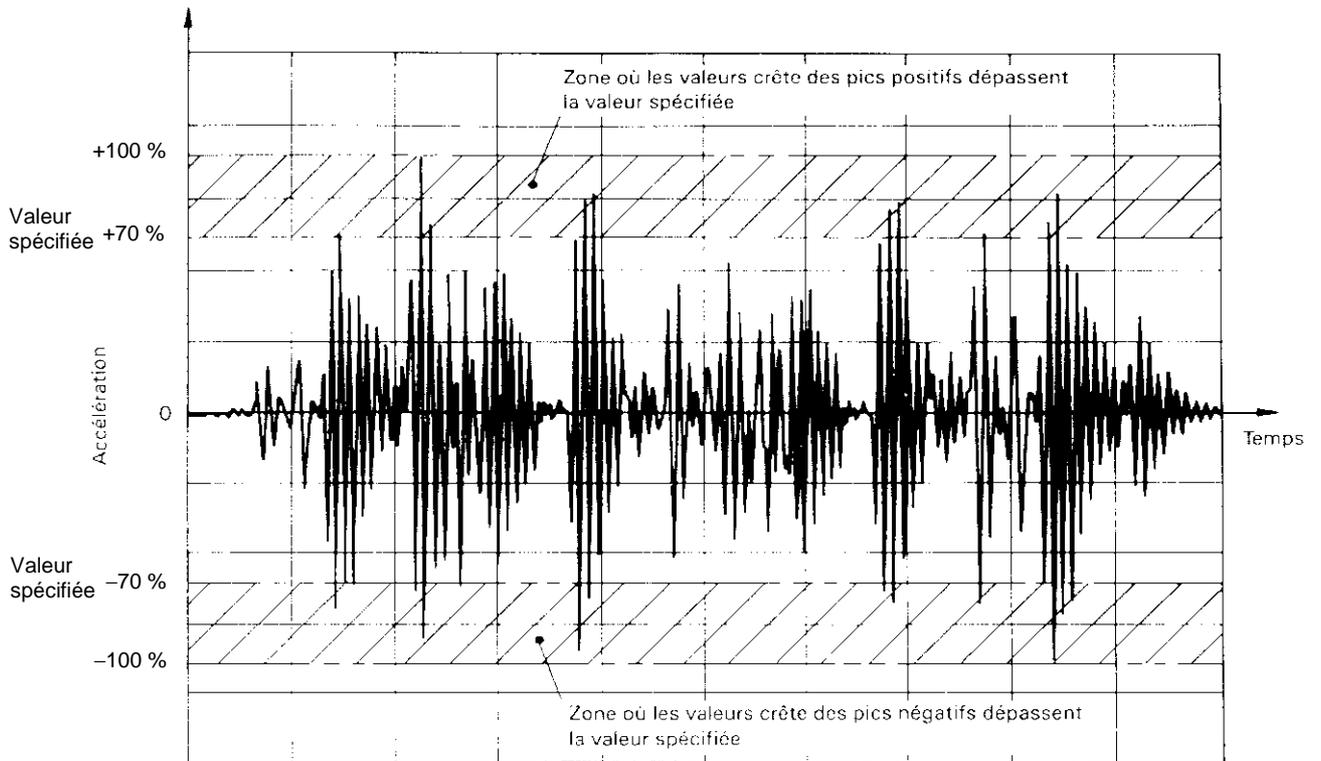
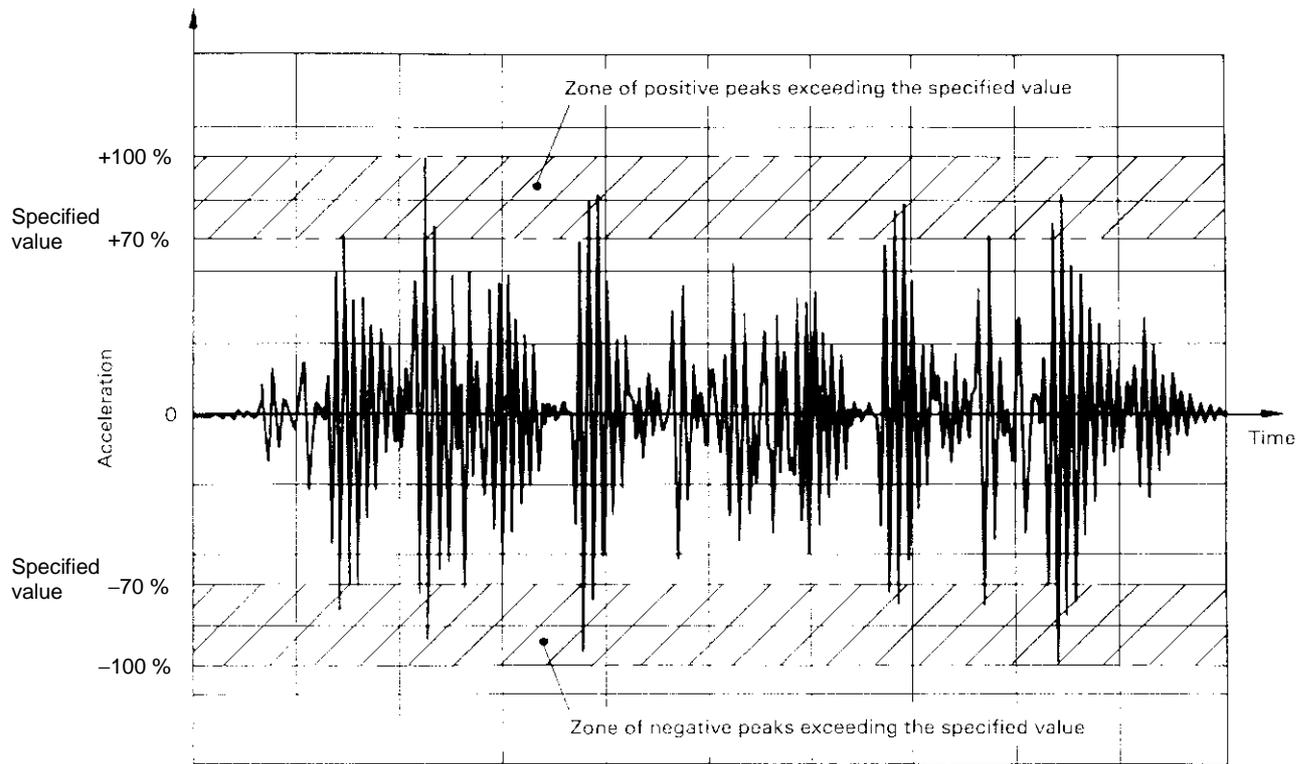


Figure 1 – Flow chart for vibration, time-history



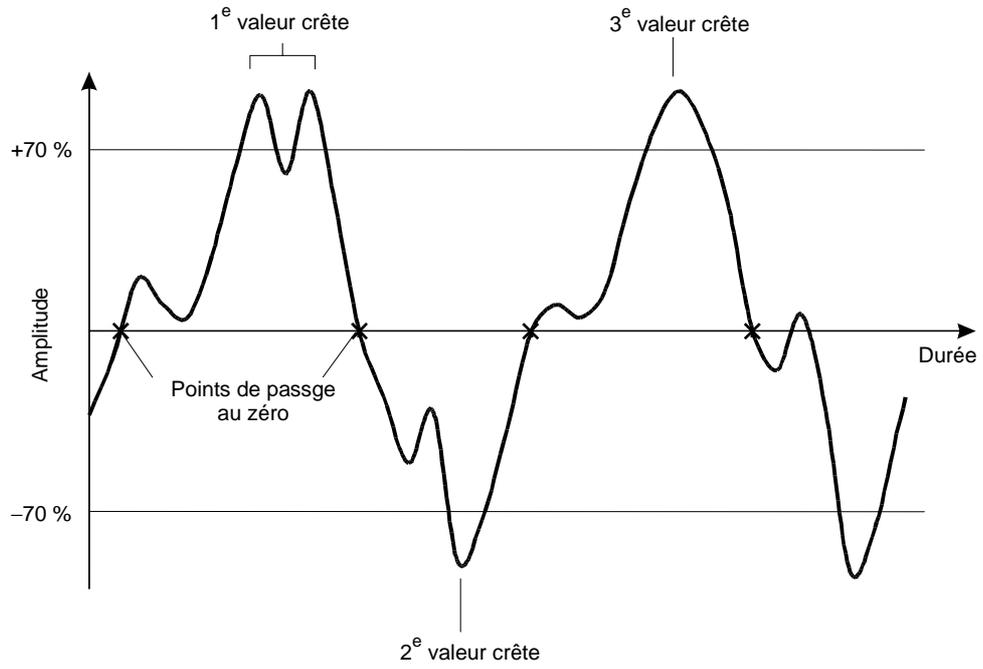
IEC 1550/99

**Figure 2 – Exemple de réponse type d'un oscillateur excité par un accélérogramme particulier (valeur de seuil spécifiée de 70 %)**



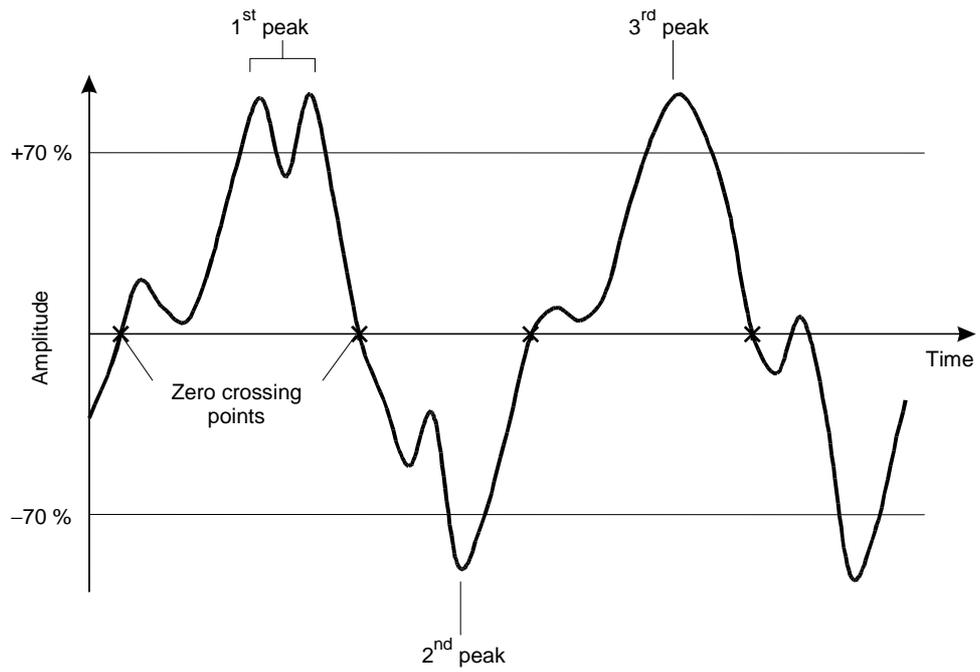
IEC 1550/99

**Figure 2 – Example of a typical response of an oscillator excited by a specific time-history (specified threshold value of 70 %)**



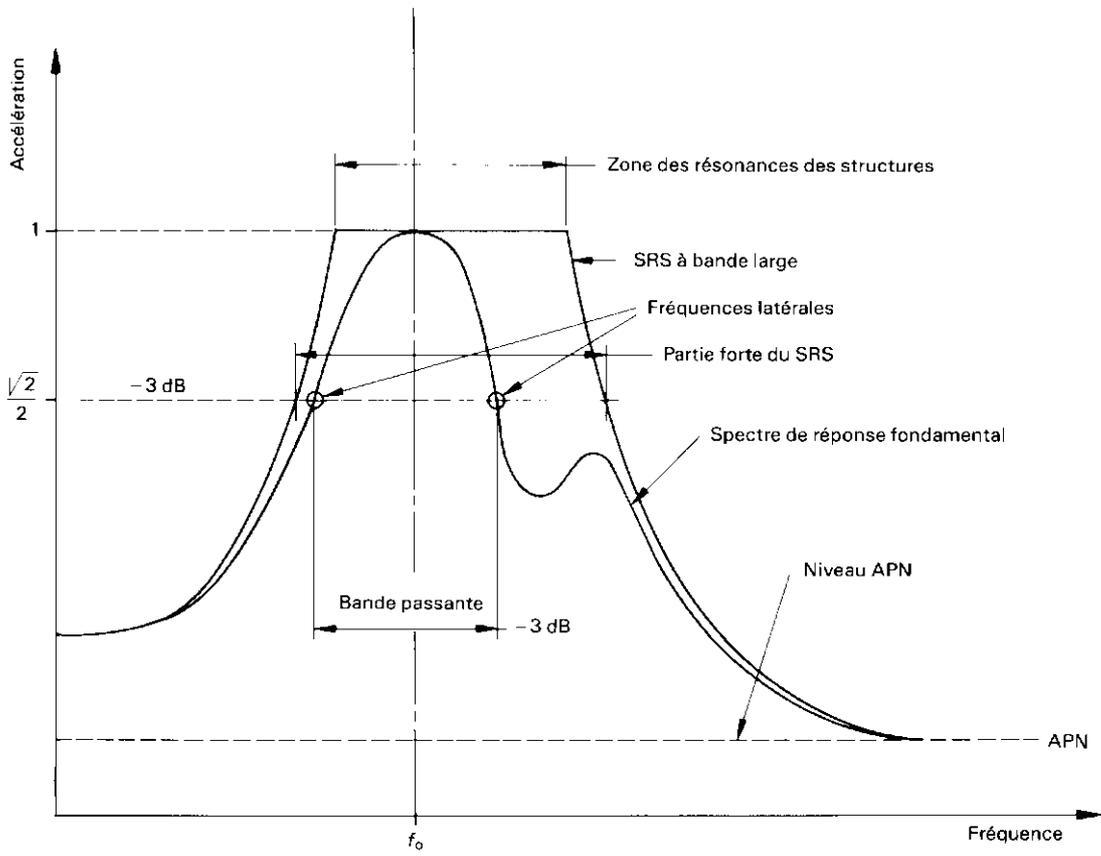
IEC 1551/99

**Figure 3 – Exemple d'identification des pics de réponse supérieurs à une valeur de seuil spécifiée (70 %)**



IEC 1551/99

**Figure 3 – Example of identification of the peaks of the response higher than a specified (70 %) threshold value**



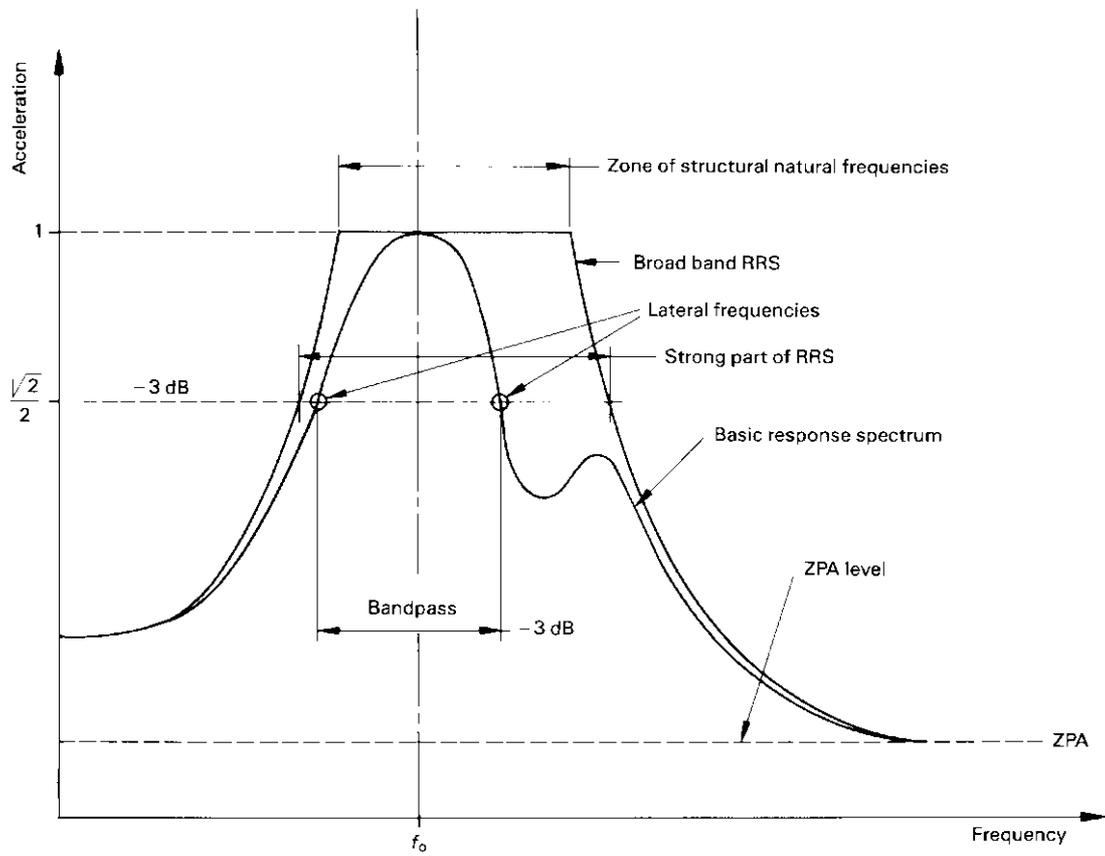
IEC 1552/99

Légende

SRS spectre de réponse spécifique

APN accélération à période nulle

Figure 4 – Spectre de réponse type avec enveloppe



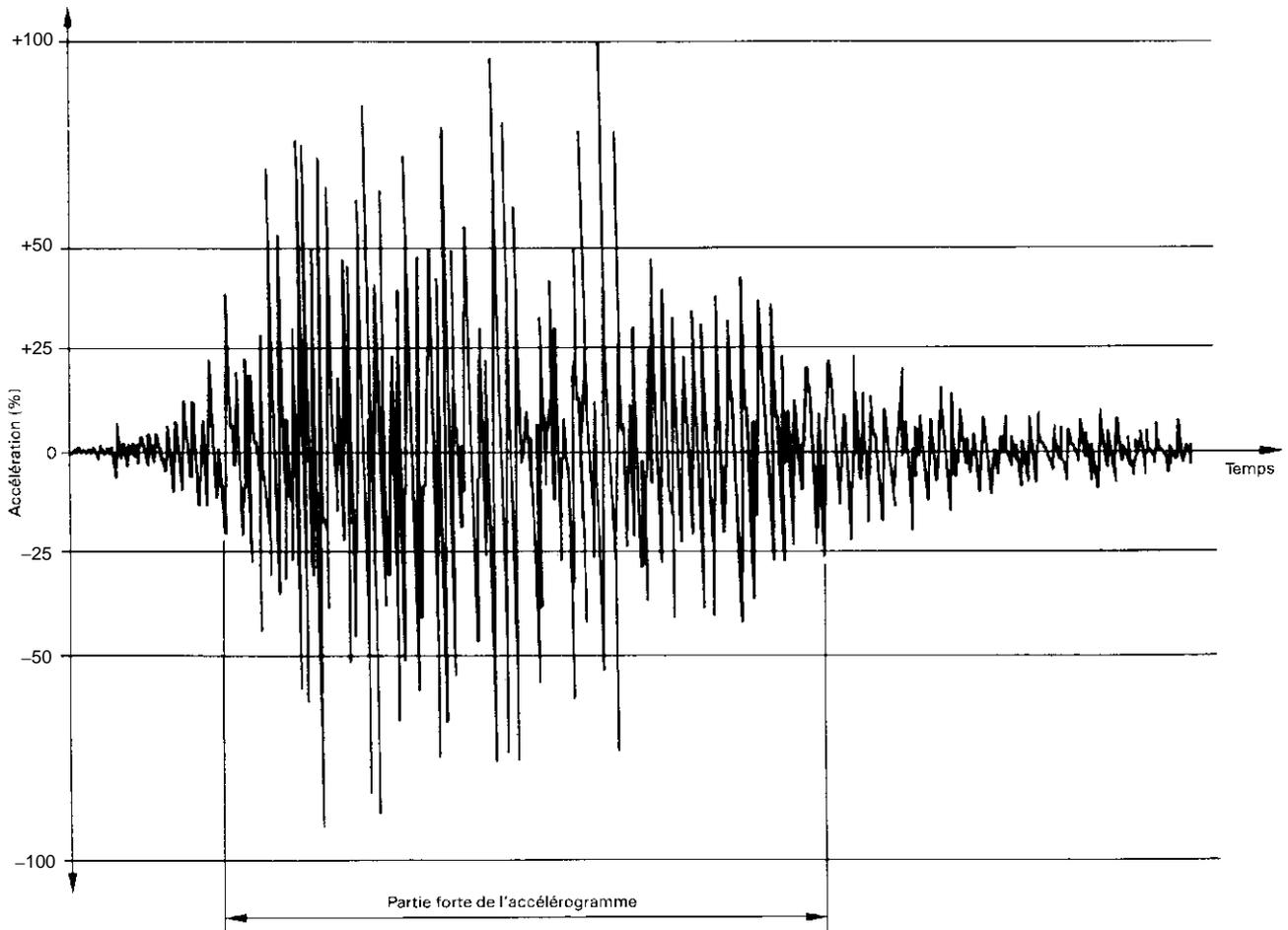
IEC 1552/99

Key

RRS required response spectrum

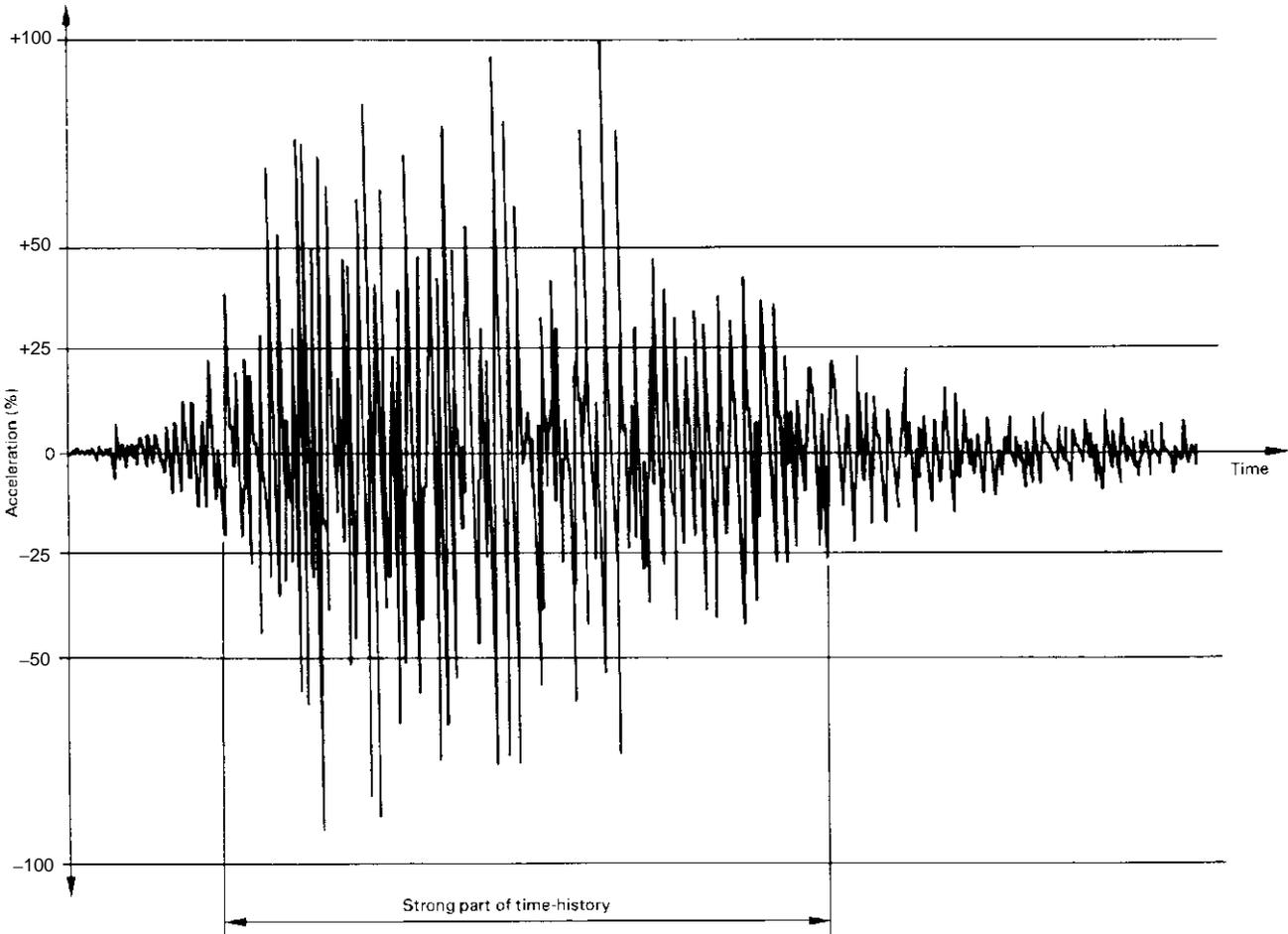
ZPA zero period acceleration

Figure 4 – Typical envelope response spectrum



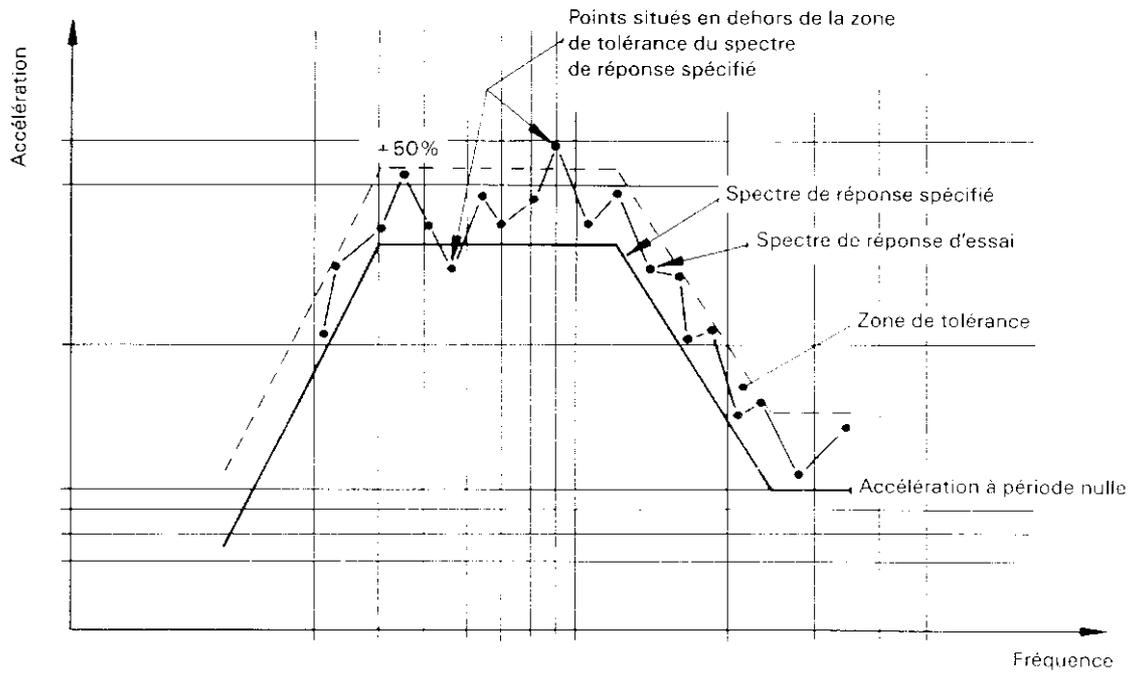
IEC 1553/99

Figure 5 – Accélérogramme caractéristique



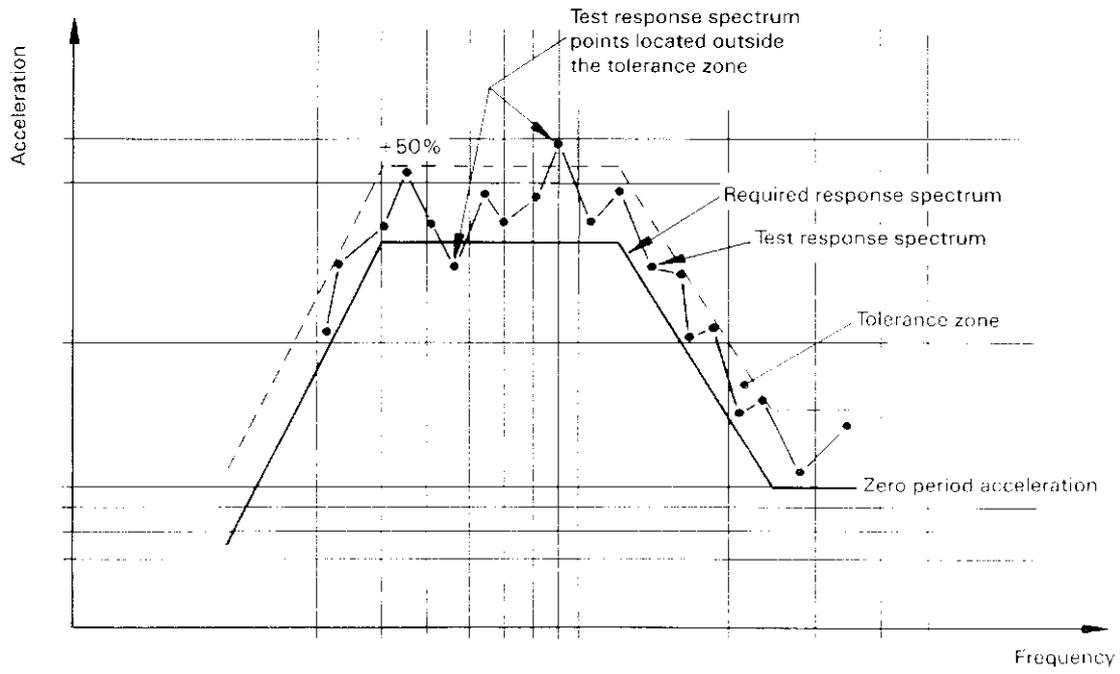
IEC 1553/99

Figure 5 – Typical time-history



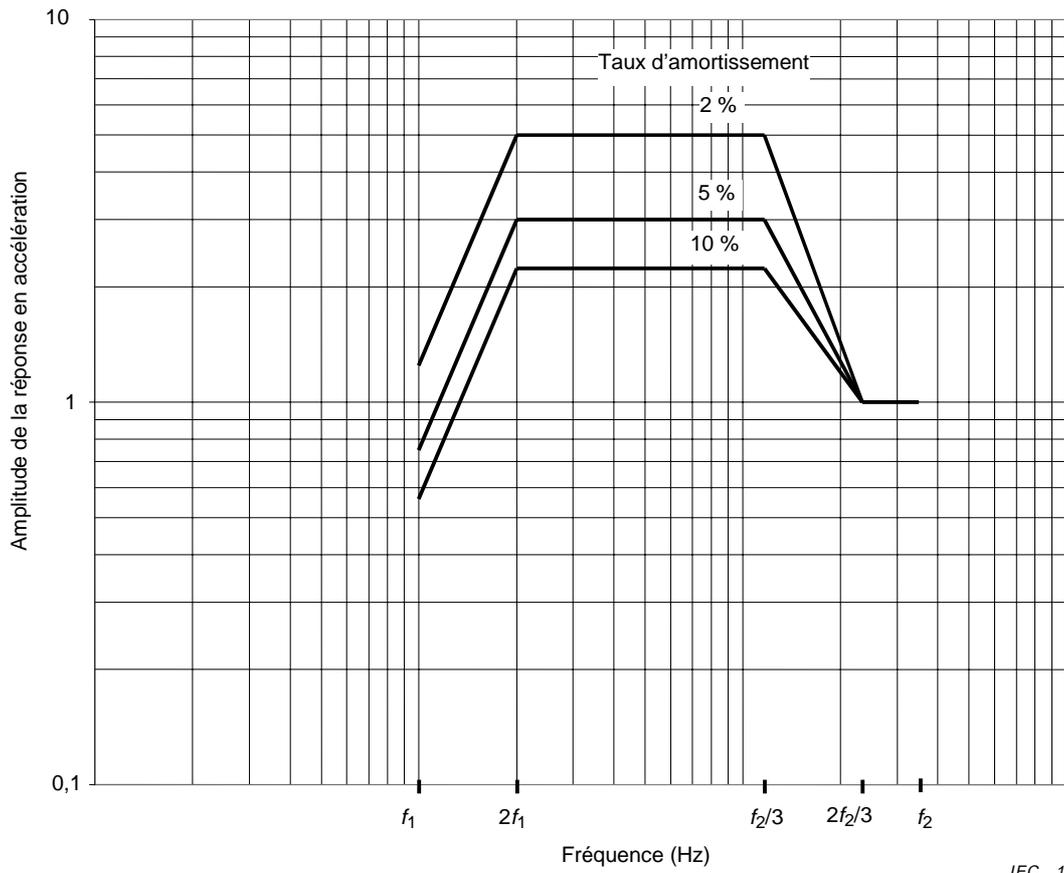
867.88

Figure 6 – Tracé logarithmique type d'un spectre de réponse spécifié



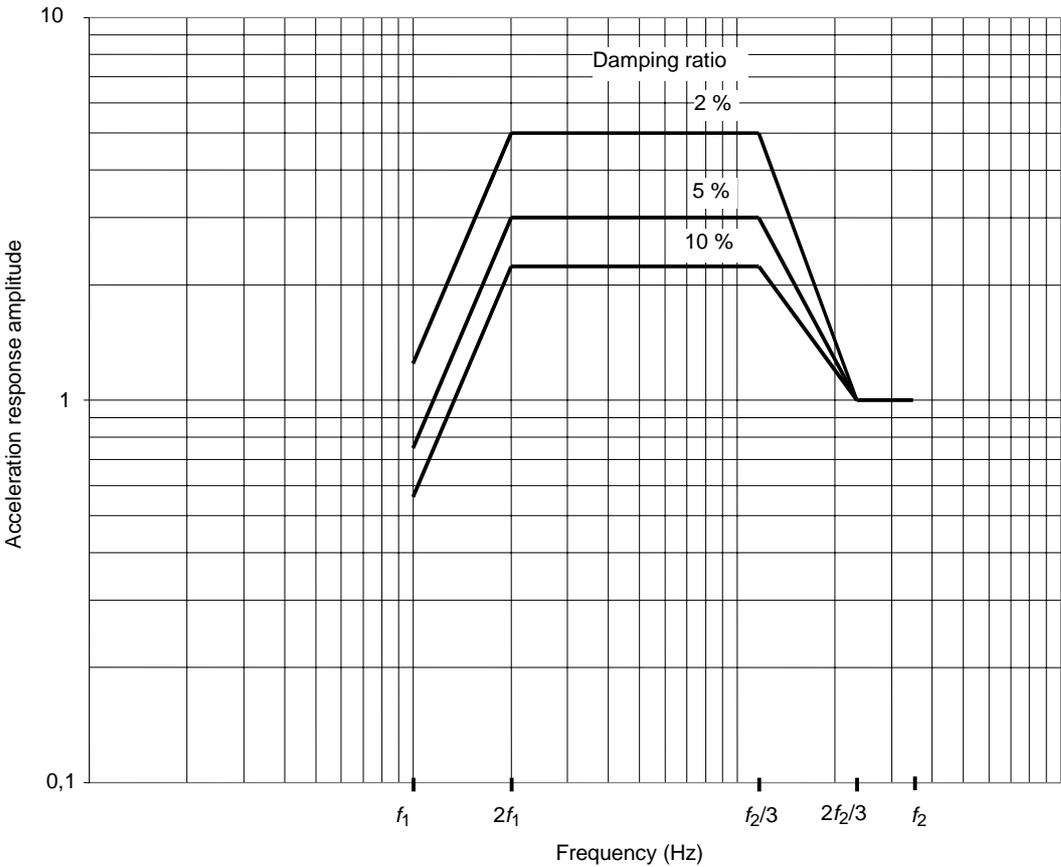
567/88

Figure 6 – Typical plot of a required response spectrum



IEC 1554/99

Figure 7 – Catégorie 1: forme globale recommandée du spectre de réponse spécifié



IEC 1554/99

Figure 7 – Category 1: recommended shape of a required response spectrum in generalized form

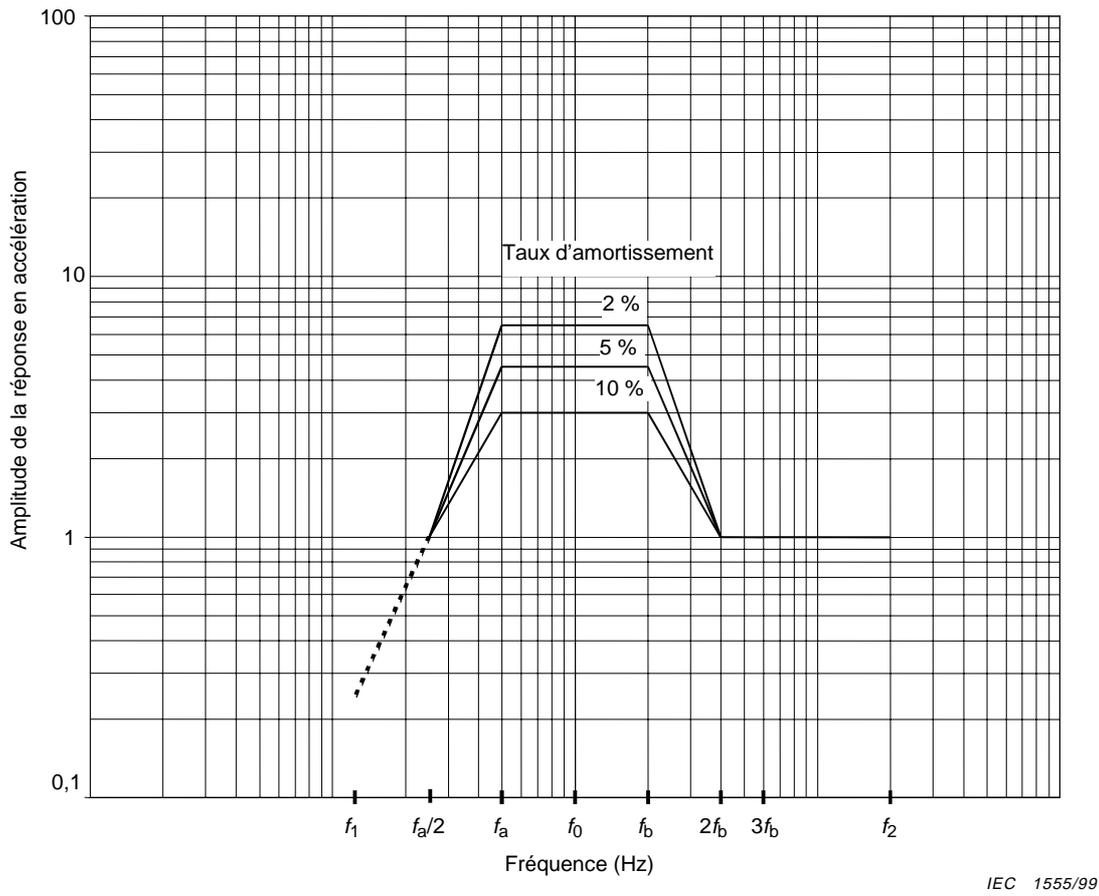
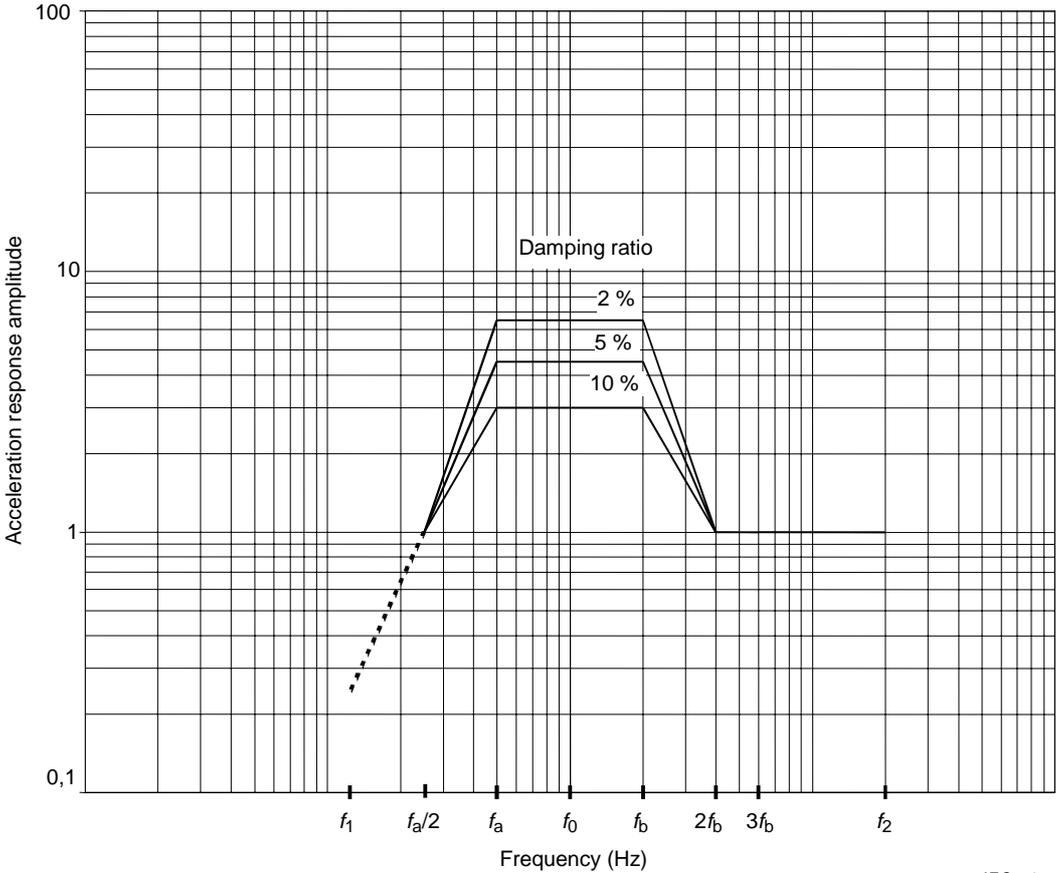


Figure 8 – Catégorie 2: forme globale recommandée du spectre de réponse spécifié



IEC 1555/99

Figure 8 – Category 2: recommended shape of a required response spectrum in generalized form

## **Annexe A** (informative)

### **Synthèse de l'accélérogramme artificiel: Guide**

#### **A.1 Introduction**

Un grand nombre de procédures d'essai répertoriées existent pour déterminer l'aptitude d'un spécimen à supporter différents types de sollicitations vibratoires. Cet éventail de procédures va de l'essai simple en vibrations sinusoïdales à la méthode d'essai complexe et très spécialisée par accélérogrammes. Chacune d'elles convient pour des exigences ou circonstances particulières ou pour la représentation d'un environnement vibratoire particulier.

La méthode d'essai par accélérogrammes est intéressante:

- a) pour les applications dans lesquelles il y a lieu de simuler l'environnement vibratoire avec une bonne précision;
- b) pour les applications dans lesquelles les caractéristiques du spécimen sont mal connues ou lorsqu'il est très difficile d'en déterminer les aspects critiques, par exemple les fréquences critiques, etc.

Par comparaison avec d'autres méthodes, l'essai par accélérogrammes évite les dépassements de sévérité car cette méthode simule très bien les conditions d'environnement. Ainsi, elle réduit les risques de dépassement de contrainte ou de fatigue engendrés par une méthode d'essai trop conservatrice.

Afin de bien simuler l'environnement réel, le rédacteur de spécification définit un spectre de réponse. Normalement, ce spectre de réponse est défini pour un facteur d'amortissement qui représente celui du spécimen. Ce spectre de réponse est appelé spectre de réponse spécifié. Il représente l'un des éléments de la spécification qu'il faut respecter. Pendant l'essai du spécimen, le laboratoire d'essai reproduit un environnement similaire qui détermine le spectre de réponse d'essai. Celui-ci est obtenu à partir du mouvement de la table vibrante relevé pendant l'essai (voir 5.2.6). Pour le calcul du spectre de réponse d'essai, il est important que le signal d'excitation appliqué (enregistrement du mouvement de la table vibrante) soit enregistré selon les recommandations de 5.2.6.

Le spectre de réponse d'essai est alors comparé au spectre de réponse spécifié pour vérifier si les exigences de l'essai sont remplies. C'est le cas lorsque le spectre de réponse d'essai enveloppe le spectre de réponse spécifié. Pour réaliser cet essai, il est souvent nécessaire de faire un essai ou des tests préliminaires en remplaçant le spécimen par une masse équivalente. Il est cependant important que cette masse représente dynamiquement le spécimen. Cela permet de mieux ajuster le niveau d'essai sans fatiguer ni surcharger inutilement le spécimen.

Les tolérances à appliquer au spectre de réponse spécifié seront notées dans la spécification, mais l'essai peut être encore acceptable même si un nombre limité de points du spectre de réponse d'essai est situé en dehors de cette tolérance (voir figure 6). Dans certains cas, quand le spécimen est volumineux ou lourd, il n'est pas possible de respecter ces exigences à certaines fréquences. Dans ces cas-là, la spécification permet une tolérance plus large (voir 5.2.4).

Le degré de complexité de l'épreuve par accélérogrammes requiert que le laboratoire d'essai utilise des moyens d'essai et de mesure sophistiqués et précis, ainsi que des systèmes numériques de traitement et de pilotage. Les paramètres donnés sont normalisés et les tolérances convenables choisies pour obtenir des résultats comparables lorsque l'essai est réalisé en des lieux différents. Les valeurs normalisées permettent de classer le matériel en catégories correspondant à sa capacité à résister à certaines sévérités vibratoires.

## **Annex A** (informative)

### **Synthesis of the artificial time-history: Guidance**

#### **A.1 Introduction**

Many recognized testing procedures exist to demonstrate the ability of a specimen to withstand various types of vibration forces. These procedures range from the simple continuous sinusoids to complex highly specialized time-history methods, each being best suited for particular requirements or circumstances, or to represent a particular vibration environment.

The time-history method becomes important for:

- a) applications where the vibration environment is to be reproduced as closely as possible;
- b) applications where little is known about the specimen, or where there is great difficulty in determining critical aspects about the specimen, for example critical frequencies, etc.

Time-history testing avoids a tendency to overtest compared with other methods. This is because the time-history method reproduces or closely represents the real environment and the possibility of overstressing or fatiguing from a too conservative test method is reduced.

In reproducing the real or field environment, a response spectrum is developed by the specification writer. Usually a damping factor is assigned which represents the damping of the specimen. This developed response spectrum is called the required response spectrum and is a part of the specification and represents the test criterion which has to be fulfilled. During the testing of the specimen, the test laboratory produces a similar environment and creates a test response spectrum. This test response spectrum is obtained by processing of the record of the vibration table motion during a test run (5.2.6). It is important in the calculation of the test response spectrum that the input waveform (vibration table motion) is recorded taking into account the recommendations stated in 5.2.6.

The test response spectrum is then compared with the required response spectrum so that it can be determined whether the test criterion has been fulfilled. To fulfil the test criterion, the test response spectrum has to envelop the required response spectrum. In developing the test response spectrum, trial or preliminary runs are often made with the test specimen exchanged for an equivalent mass. It is important, however, that this mass is dynamically representative of the specimen. Thus, the test laboratory can adjust the test levels and not fatigue and overstress the test specimen unnecessarily.

The tolerances to be applied to the required response spectrum will be stated in the specification but if a small proportion of the individual points lies outside the tolerance zone (see figure 6) the test may still be acceptable. In some instances, when testing with high-mass or large-size specimens, it may not be possible to achieve the required tolerances at certain frequencies. In these cases, the specification will allow a wider tolerance to be applied (see 5.2.4).

Time-history testing requires the test laboratory to utilize sophisticated and accurate instrumentation, as well as digital computer equipment for control and analysis. The parameters given are standardized and suitable tolerances are chosen in order to obtain similar results when a test is conducted at different locations. The standardization of values also enables equipment to be grouped into categories corresponding to their ability to withstand certain given vibration severities.

## A.2 Recommandations pour la définition d'un spectre de réponse spécifié (voir 6.2)

Lorsque l'application ou l'environnement n'est pas bien connu, le spectre de réponse spécifié est défini à l'aide des recommandations ci-après. Compte tenu du grand nombre d'applications (sismographie, aérospatiale, transports et autres), il est nécessaire de formuler des recommandations pour deux catégories de spectres de réponse spécifiés.

### A.2.1 Catégorie 1

La catégorie 1 concerne:

- les applications sismiques;
- les applications avec accélérogrammes comprenant plusieurs fréquences réparties sur une gamme de fréquences étendue;
- les cas où il est nécessaire que le spectre enveloppe un ensemble d'accélérogrammes de fréquences différentes;
- les cas où il est nécessaire d'exciter le matériel sur une gamme de fréquences étendue, quelle que soit l'application.

La figure 7 représente un spectre de réponse spécifié pour la catégorie 1, compte tenu des considérations indiquées ci-dessous.

- a) Il convient de choisir la gamme de fréquences d'essai (de  $f_1$  à  $f_2$ ) en se référant au tableau 3. Par exemple, les valeurs couramment utilisées sont présentées à l'annexe B.
- b) La valeur de l'amplitude de l'accélération à période nulle  $g_n$  est en principe choisie parmi les valeurs de la série suivante: ...0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20...
- c) Entre  $f_1$  et  $2f_1$ , l'amplitude de l'accélération est définie par une pente de 12 dB/octave.  
NOTE Lorsque la fréquence  $f_1$  est choisie inférieure à 0,8 Hz, il est recommandé de fixer la fréquence  $2f_1$  à 1,6 Hz et la pente au-dessous de 1,6 Hz à 12 dB/octave.
- d) La valeur maximale de l'accélération entre  $2f_1$  et  $1/3 f_2$  est égale à:
  - 2,24 fois celle de l'accélération à période nulle pour un taux d'amortissement de 10 %;
  - 3 fois celle de l'accélération à période nulle pour un taux d'amortissement de 5 %;
  - 5 fois celle de l'accélération à période nulle pour un taux d'amortissement de 2 %;
- e) Entre  $1/3 f_2$  et  $2/3 f_2$ , l'accélération atteint la valeur de l'accélération à période nulle selon une loi linéaire dans un diagramme log/log.

NOTE Lorsque le taux d'amortissement caractéristique du spécimen est compris entre 2 % et 10 %, le spectre de réponse spécifié à 5 % est recommandé. Si le taux d'amortissement caractéristique du spécimen est inférieur ou égal à 2 %, seul le spectre de réponse spécifié à 2 % est recommandé. Enfin, si le taux d'amortissement est supérieur ou égal à 10 %, le spectre de réponse spécifié à 10 % est recommandé.

### A.2.2 Catégorie 2

La catégorie 2 concerne les applications pour lesquelles on sait que les accélérogrammes comprennent une ou plusieurs fréquences dominantes dans une bande de fréquences relativement étroite.

La figure 8 représente un spectre de réponse spécifié pour la catégorie 2, compte tenu des considérations énumérées ci-dessous.

- a) Sélectionner la fréquence centrale  $f_0$  de la partie forte du spectre de réponse en tenant compte des meilleures connaissances relatives aux fréquences dominantes de l'application ou de l'environnement. Conformément à l'ISO 266, les valeurs recommandées pour  $f_0$  figurent dans la série suivante (intervalle de  $1/3$  d'octave): ... 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160...

## A.2 Recommendations for obtaining a required response spectrum (see 6.2)

When the application or the environment is not well known, the following recommendations are given for defining a required response spectrum. Due to the large number of applications (seismic, aerospace, transport and others), there is a need to give recommendations for two categories of required response spectra.

### A.2.1 Category 1

Category 1 is relevant to:

- seismic applications;
- applications with time-histories containing many frequencies spread out over a wide frequency range;
- cases where a collection of time-histories with different frequencies need to be enveloped;
- cases where there is a need to excite the equipment over a wide frequency range regardless of the application.

A required response spectrum for category 1 is represented in figure 7, according to the considerations given hereinafter.

- a) The test frequency range ( $f_1$  to  $f_2$ ) should be selected from table 3; examples of commonly used values are shown in annex B.
- b) The zero period acceleration value,  $g_n$  is normally selected from the following series: ... 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20...
- c) Between  $f_1$  and  $2f_1$ , the acceleration is specified by the slope of 12 dB/octave.  
NOTE When a frequency of  $f_1$  lower than 0,8 Hz is chosen, the frequency  $2f_1$  should be fixed to 1,6 Hz and the slope below 1,6 Hz should be 12 dB/octave.
- d) The maximum value of acceleration between  $2f_1$  and  $1/3 f_2$  is equal to:
  - 2,24 times that of zero period acceleration for a 10 % damping ratio;
  - 3 times that of zero period acceleration for a 5 % damping ratio;
  - 5 times that of zero period acceleration for a 2 % damping ratio.
- e) Between  $1/3 f_2$  and  $2/3 f_2$  the acceleration reaches the zero period acceleration value with a linear law on a log/log scale.

NOTE When the typical damping ratio of the specimen lies between 2 % and 10 %, the required response spectrum at 5 % is recommended. If the typical damping ratio of the specimen is lower than or equal to 2 %, only the required response spectrum at 2 % is recommended, and if the damping ratio is higher than or equal to 10 %, the required response spectrum at 10 % is recommended.

### A.2.2 Category 2

Category 2 is relevant to those applications where it is known that the time-histories contain one or few dominant frequencies in a rather narrow frequency band.

A required response spectrum for category 2 is represented in figure 8, according to the considerations given hereinafter.

- a) Select the central frequency  $f_0$  based on the best knowledge of the dominant frequencies of the application or the environment. In accordance with ISO 266, recommended values for  $f_0$  are as indicated by the following series (intervals are 1/3 octave): ...16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160...

- b) Il convient que les relations suivantes soient utilisées entre  $f_0$ ,  $f_a$  et  $f_b$  pour la prescription globale:

$$f_a = f_0/2; f_b = 2f_0$$

NOTE Pour certaines applications, la partie forte du spectre de réponse nécessite une gamme de fréquences plus étroite. Dans ces cas-là, il est recommandé de se limiter à une bande de 2/3 d'octave (comprise entre  $f_a = f_0 / \sqrt[3]{2} = 0,794 f_0$  et  $f_b = f_0 \sqrt[3]{2} = 1,26 f_0$ ).

- c) La gamme de fréquences d'essai  $f_a/2$ ,  $3f_b$  peut être ajustée pour correspondre aux valeurs indiquées soit en 6.1, soit à l'annexe B.
- d) La valeur de l'accélération à période nulle  $g_n$  est en principe choisie parmi les valeurs de la série suivante: ...1; 2; 5; 10; 20...
- e) Entre  $f_{a1}/2$  et  $f_a$ , d'une part, et entre  $f_b$  et  $2f_b$ , d'autre part, l'accélération atteint la valeur de l'accélération à période nulle selon une loi linéaire sur un diagramme log/log, conformément à la figure 8. Entre  $f_1$  et  $f_{a1}/2$ , une pente de 12 dB/octave est recommandée. Entre  $2f_b$  et  $f_2$ , l'accélération est égale à l'accélération à période nulle.
- f) La valeur maximale de l'accélération entre  $f_a$  et  $f_b$  est égale à:
- 3 fois celle de l'accélération à période nulle pour un taux d'amortissement de 10 %;
  - 4,5 fois celle de l'accélération à période nulle pour un taux d'amortissement de 5 %;
  - 6,5 fois celle de l'accélération à période nulle pour un taux d'amortissement de 2 %.

NOTE Lorsque le taux d'amortissement caractéristique du spécimen est compris entre 2 % et 10 %, le spectre de réponse spécifié à 5 % est recommandé. Si le taux d'amortissement caractéristique du spécimen est inférieur ou égal à 2 %, seul le spectre de réponse spécifié à 2 % est recommandé. Enfin, si le taux d'amortissement est supérieur ou égal à 10 %, le spectre de réponse spécifié à 10 % est recommandé.

### A.3 Nombre de cycles de réponse de niveau élevé (voir 6.4)

La reproduction des effets résultant d'une vibration (par exemple séismes, explosions) nécessite de simuler aussi fidèlement que possible l'environnement et ses particularités, avec un certain facteur de sécurité. Lorsque l'environnement est mal connu ou difficile à simuler, il est nécessaire de prendre un facteur de sécurité pour s'assurer que le cas le plus défavorable a bien été considéré.

Le premier niveau de contrôle de ce qui précède consiste à vérifier que le spectre de réponse d'essai est supérieur au spectre de réponse spécifié. On contrôle ainsi que l'intensité maximale de la réponse des oscillateurs a été atteinte.

Le second niveau de contrôle consiste à s'assurer que la durée de la partie forte de l'accélérogramme est supérieure ou égale à celle du phénomène considéré.

Cependant, les deux approches ci-dessus peuvent s'avérer insuffisantes car elles tiennent imparfaitement compte des effets des sollicitations alternées de niveau élevé. En effet, ces sollicitations peuvent être d'une importance capitale pour le spécimen lorsqu'elles se produisent aux fréquences naturelles et lorsqu'elles entraînent des contraintes non élastiques de nature à nuire à la tenue du spécimen.

Une analyse des signaux reproduisant les phénomènes considérés permet de prendre en compte ces cycles de réponse de niveau élevé, par exemple lors de la fabrication de l'accélérogramme artificiel (voir l'organigramme de la figure 1):

- a) en vérifiant le contenu fréquentiel de l'accélérogramme synthétisé pour être sûr d'exciter le spécimen selon ses propres fréquences (analyse de la transformée de Fourier);
- b) en comptant le nombre de cycles de réponse de niveau élevé dont les valeurs dépassent un niveau spécifié pour les oscillateurs centrés sur les fréquences qui couvrent la partie forte du spectre de réponse spécifié.

- b) The following relationship should be used between  $f_0$ ,  $f_a$  and  $f_b$  for the generalized requirement:

$$f_a = f_0/2; f_b = 2f_0$$

NOTE For some applications a narrower frequency range is needed for the strong part of the response spectrum; in such cases a limitation to 2/3 octave band is recommended (from  $f_a = f_0 / \sqrt[3]{2} = 0,794 f_0$  and  $f_b = f_0 \sqrt[3]{2} = 1,26 f_0$ ).

- c) The frequency range  $f_a/2$ ,  $3f_b$  may be adjusted in order to fit the values given either in 6.1 or in annex B.
- d) The zero period acceleration value,  $g_n$  is normally selected from the following series:  
... 1; 2; 5; 10; 20 ...
- e) Between  $f_a/2$  and  $f_a$  and between  $f_b$  and  $2f_b$  the acceleration reaches the zero period acceleration value with a linear law on a log/log scale according to figure 8. Between  $f_1$  and  $f_a/2$  a slope of 12 dB/octave is recommended; between  $2f_b$  and  $f_2$  the acceleration is equal to the zero period acceleration.
- f) The maximum value of acceleration between  $f_a$  and  $f_b$  is equal to
- 3 times that of the zero period acceleration for a 10 % damping ratio;
  - 4,5 times that of the zero period acceleration for a 5 % damping ratio;
  - 6,5 times that of the zero period acceleration for a 2 % damping ratio.

NOTE When the typical damping ratio of the specimen lies between 2 % and 10 %, the required response spectrum at 5 % is recommended. If the typical damping ratio of the specimen is lower than or equal to 2 %, only the required response spectrum at 2 % is recommended, and if the damping ratio is higher than or equal to 10 %, the required response spectrum at 10 % is recommended.

### A.3 Number of high peaks of the response (see 6.4)

The reproduction of the effects which would be produced by vibration (for example earthquakes, explosions) requires that the specific environment be simulated as accurately as possible with some safety factor. When the environment is not sufficiently known or is difficult to simulate, a safety factor needs to be included to take account of the worst case.

The first criterion for the above consists in ensuring that the test response spectrum envelops the required response spectrum. This envelope ensures that the maximum required level of each oscillator response has been reached.

The second criterion is to ensure that the duration of the strong part of the time-history is equal to or longer than that of the phenomenon under consideration.

These two approaches mentioned above may, however, not be sufficient as they do not take into account completely the effects of high-level alternating excitation. Indeed, these excitations may be vitally important for equipment when they occur at its natural frequencies and generate non-elastic strains which may be detrimental to the specimen.

An analysis of the signals simulating the phenomena under consideration allows these high peaks of the response to be taken into account. This could be done during the synthesis of the artificial time-history (see the flow chart in figure 1):

- a) by checking the frequency content of the synthesized time-history in order to be sure to excite the specimen at its natural frequencies (Fourier transform analysis);
- b) by counting the number of high peaks of the response whose values exceed a specified level for oscillators centred on the frequencies covering the strong part of the required response spectrum.

La capacité d'endommagement d'un accélérogramme est directement proportionnelle à son contenu énergétique, et l'énergie transmise par un accélérogramme est directement fonction du nombre de cycles de réponse de niveau élevé d'un oscillateur. Ainsi, si deux accélérogrammes différents produisent le même nombre de cycles de réponse de niveau élevé pour un oscillateur donné, ils auront la même capacité d'endommagement. Il faut cependant tenir compte du fait que l'importance des dommages produits sur un spécimen est liée non seulement au nombre de cycles de réponse de niveau élevé, mais également à leur niveau. Il convient donc de choisir le nombre de cycles de réponse de niveau élevé par référence à une valeur de seuil.

Etant donné que les dommages dus à la fatigue diminuent très rapidement à mesure que l'amplitude diminue, il suffit de considérer les pics supérieurs à une valeur de seuil (voir 6.4 et figures 2 et 3) dans la réponse d'oscillateurs centrés sur les fréquences qui couvrent la partie forte du spectre de réponse spécifié.

Pour chaque application (séisme, explosion, etc.), il existe une corrélation entre le niveau de seuil et le nombre de pics au point d'implantation du spécimen. Il convient donc de choisir le niveau de seuil et le nombre de pics correspondant de manière à représenter de façon optimale les effets de la fatigue. En général, les pics inférieurs à 50 % ont des effets peu importants en ce qui concerne la fatigue de type oligocyclique. Un niveau de seuil supérieur à 90 % n'entraînera qu'un nombre limité de pics qui ne seront pas représentatifs des effets de la fatigue; c'est pourquoi il est recommandé d'adopter une valeur de seuil de 70 %, avec un nombre de pics pertinent pour chaque application. L'expérience acquise montre qu'il convient, dans le cas d'une application sismique, de prendre en compte au moins cinq pics avec une valeur de seuil de 70 %. Dans tous les cas, le choix du nombre de cycles de réponse de niveau élevé demande une certaine appréciation technique.

Il est recommandé de prendre un soin particulier lors de la fabrication de l'accélérogramme synthétique de façon à obtenir un nombre suffisant de cycles de réponse de niveau élevé. L'expérience montre que la probabilité d'obtenir le nombre requis de cycles de réponse de niveau élevé est très grande si les trois conditions ci-dessous sont réunies:

- le spécimen a une fréquence naturelle située dans la partie forte du spectre;
- le spécimen a un comportement dynamique linéaire;
- le spectre de réponse d'essai couvre le spectre de réponse spécifié.

The damaging capability of a time-history is directly proportional to its energy content and the energy delivered by a time-history is directly related to the number of high peaks generated in the response of an oscillator. Thus, if two different time-histories will generate the same number of high peaks in the response of the same oscillator, they will have the same damaging capability. However, it has to be considered that the amount of damage produced in a specimen is related not only to the number of high peaks of the response, but also to the level of these peaks; then the number of high peaks of the response should be chosen with respect to a threshold value.

Since the fatigue damage decreases very rapidly with decreasing amplitude, it is sufficient to consider the peaks higher than a threshold value (see 6.4 and figures 2 and 3) in a response of oscillators centred on the frequencies covering the strong part of the required response spectrum.

For each application (earthquake, explosion, etc.) there is a relationship between the threshold level and the number of peaks at the location where the specimen is mounted. Thus, the threshold level and the corresponding number of peaks should be chosen in order to represent in the best way the fatigue effects. In general, the peaks lower than 50 % have minor effects from the point of view of oligo-cyclic fatigue. A threshold level higher than 90 % will lead to only few peaks which are not representative of fatigue effects. For these reasons the use of 70 % for the threshold value is recommended, with the representative number of peaks relevant to each application. Experience reveals that, for seismic application, at least five peaks with a threshold value of 70 % should be considered. In any case, engineering judgement is required to choose the number of high peaks of the response.

Special care should be taken during the synthesis of the artificial time-history in order to obtain a sufficient number of high peaks of the response. From experience, this should give confidence that the required number of high peaks of the response are obtained when the three following conditions apply:

- the specimen natural frequency is located inside the strong part of the response spectrum;
- the specimen behaviour is linear;
- the test response spectrum covers the required response spectrum.

**Annexe B**  
(informative)

**Gammes de fréquences d'essai**

Des exemples de gammes de fréquences d'essai couramment utilisées pour différentes applications sont donnés ci-après:

* <i>Applications sismiques:</i> (matériel monté au niveau du sol ou du plancher)	De	1 Hz	à	35 Hz
	NOTE Si la fréquence naturelle du matériel est inférieure à 1 Hz, la gamme de fréquences recommandée est comprise entre 0,1 Hz et 35 Hz.			

* <i>Applications dans le transport:</i>	De	1 Hz	à	100 Hz
	De	10 Hz	à	100 Hz
	De	10 Hz	à	150 Hz
	De	10 Hz	à	500 Hz

* <i>Applications aéronautiques:</i>	De	10 Hz	à	500 Hz
	De	10 Hz	à	2 000 Hz

\_\_\_\_\_

## Annex B (informative)

### Test frequency ranges

Examples of test frequency ranges commonly used for different applications are the following.

<i>* Seismic applications:</i> (ground and floor-mounted equipment)	From	1 Hz	to	35 Hz
NOTE In the case of equipment with a natural frequency below 1 Hz the suggested frequency range is 0,1 Hz to 35 Hz.				

<i>* Transport applications:</i>	From	1 Hz	to	100 Hz
	From	10 Hz	to	100 Hz
	From	10 Hz	to	150 Hz
	From	10 Hz	to	500 Hz

<i>* Aircraft applications:</i>	From	10 Hz	to	500 Hz
	From	10 Hz	to	2 000 Hz





Standards Survey

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

Customer Service Centre (CSC)

**International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Customer Service Centre (CSC)

**International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé

1211 GENEVA 20

Switzerland



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

.....

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

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

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

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

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

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

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

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

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

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

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

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

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

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

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

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

.....

.....

.....

.....

.....

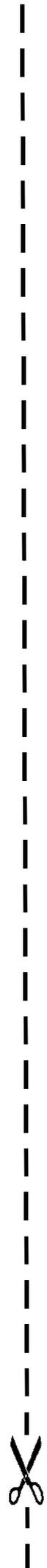
.....

.....

.....

.....

.....





Enquête sur les normes

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

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

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

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse



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

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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





ISBN 2-8318-5010-X



9 782831 850108

---

**ICS 19.040**

---

Typeset and printed by the IEC Central Office  
GENEVA, SWITZERLAND