

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
68-3-3**

Première édition
First edition
1991-02

Essais d'environnement

Troisième partie:

Guide

Méthodes d'essais sismiques applicables
aux matériels

Environmental testing

Part 3:

Guidance

Seismic test methods for equipments



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 68-3-3: 1991

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

et pour les appareils électromédicaux,

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

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

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

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology

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

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

Graphical and letter symbols

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

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

and for medical electrical equipment,

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

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

IEC publications prepared by the same technical committee

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
68-3-3**

Première édition
First edition
1991-02

Essais d'environnement

Troisième partie:

Guide

Méthodes d'essais sismiques applicables
aux matériels

Environmental testing

Part 3:

Guidance

Seismic test methods for equipments

© CEI 1991 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

	Pages
PREAMBULE	4
PREFACE	4
INTRODUCTION	8

SECTION UN - GENERALITES

Articles

1	Objet	8
2	Généralités	10
3	Définitions	10
4	Éléments relatifs à la qualification	18
5	Procédures d'essai	20

SECTION DEUX - CLASSE SISMIQUE GENERALE

6	Epreuve	24
7	Essai conventionnel à amplitude normalisée	26
8	Essai à amplitude calculée	28
9	Paramètres d'essai	34
10	Modalités d'essai	36

SECTION TROIS - CLASSE SISMIQUE SPECIFIQUE

11	Epreuve	40
12	Choix des ondes d'essais	40
13	Ondes d'essai	44
14	Conditions d'essai	50
15	Essai de type monoaxial et polyaxial	60

FIGURES	66
---------------	----

ANNEXE A - Diagrammes pour le choix de l'essai	74
--	----

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	9

SECTION ONE - GENERAL

Clause

1	Object	9
2	General considerations	11
3	Definitions	11
4	Qualification considerations	19
5	Testing procedures	21

SECTION TWO - GENERAL SEISMIC CLASS

6	Conditioning	25
7	Standard amplitude conventional test method	27
8	Calculated amplitude test method	29
9	Testing parameters	35
10	Testing procedures	37

SECTION THREE - SPECIFIC SEISMIC CLASS

11	Conditioning	41
12	Test wave selection	41
13	Test waves	45
14	Testing conditions	51
15	Single and multiaxis testing	61

FIGURES	66
---------------	----

APPENDIX A - Flow charts for test selection	75
---	----

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT

Troisième partie: Guide
Méthodes d'essai sismiques applicables aux matériels

PREAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PREFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 50A: Essais de chocs et de vibrations, du Comité d'Etudes n° 50 de la CEI: Essais d'environnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
50A(BC)179	50A(BC)182

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

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

Publications n^{os} 68-1 (1988): Essais d'environnement, Première partie: Généralités et guide.

68-2: Deuxième partie: Essais.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING

Part 3: Guidance
Seismic test methods for equipments

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 50A: Shock and vibration tests, of IEC Technical Committee No. 50: Environmental testing.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
50A(C0)179	50A(C0)182

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

The following IEC publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 68-1 (1988): Environmental testing, Part 1: General and guidance.

68-2: Part 2: Tests.

- 68-2-6 (1982): Essai Fc et guide: Vibrations (sinusoïdales).
- 68-2-47 (1982): 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.
- 68-2-57 (1989): Essai Ff: Vibrations - Méthode par accélérographes.
- 68-2-59 (1990): Essai Fe: Vibrations - Méthode par sinusoides modulées.

Autre document cité:

Norme ISO 2041 (1975): Vibrations et chocs - Vocabulaire.

Withholding
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60068-3-3:1991

- 68-2-6 (1982): Test Fc and guidance: Vibration (sinusoidal).
- 68-2-47 (1982): 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.
- 68-2-57 (1989): Test Ff: Vibration - Time-history method.
- 68-2-59 (1990): Test Fe: Vibration - Sine-beat method.

Other document quoted:

ISO Standard 2041 (1975): Vibration and shock - Vocabulary.

Withdawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60068-3-3:1997

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT

Troisième partie: Guide Méthodes d'essais sismiques applicables aux matériels

Introduction

Dans chacune des trois méthodes d'essais dont la présente norme fait mention il y a un guide qui ne concerne que la méthode particulière. Les informations de base contenues dans la présente norme sont destinées à faciliter le choix de la méthode d'essai appropriée et son utilisation pour les essais sismiques.

La présente norme doit être utilisée conjointement avec la Publication 68-1 de la CEI.

SECTION UN - GENERALITES

1 Objet

Le présent guide s'applique d'abord aux matériels électrotechniques mais son application peut être étendue à d'autres matériels et aux composants.

La vérification des performances d'un matériel, soit par un calcul soit par une combinaison d'essais et de calcul, peut être acceptable, mais ne fait pas partie du domaine d'application du présent guide, qui est entièrement limité à la vérification des performances d'un matériel à partir des données d'essais dynamiques.

Ce guide traite uniquement des essais sismiques de matériels à l'échelle unité qui peuvent être essayés sur table vibrante. L'essai sismique d'un matériel est destiné à prouver sa capacité à remplir les fonctions requises pendant et/ou après le temps pendant lequel il est soumis à des contraintes et des déplacements résultant d'un tremblement de terre.

Ce guide a pour objet de présenter un éventail de méthodes d'essai qui peuvent, si prescrit par la spécification particulière, être appliquées pour vérifier les performances de matériels devant satisfaire à des conditions de tenue aux séismes dans le but principal de rechercher leur qualification.

NOTE - La qualification par l'essai d'aptitude limite ne fait pas partie du domaine d'application de ce guide qui a été élaboré comme guide d'application générale relatif aux essais sismiques et, en particulier, aux méthodes d'essais de la Publication 68-2 de la CEI.

Le choix de la méthode d'essai peut être fait en fonction des critères décrits dans ce guide. Les méthodes s'appuient elles-mêmes sur des méthodes d'essai publiées de la CEI.

Ce guide peut être utilisé par les fabricants de matériels pour s'assurer des performances requises ou par les utilisateurs pour déterminer et vérifier les performances d'un matériel.

ENVIRONMENTAL TESTING

Part 3: Guidance Seismic test methods for equipments

Introduction

Guidance is included in each of the three test methods referred to in this standard but it is specific to the test method. The guidance in this standard is directed towards choosing the appropriate test method and applying it to seismic testing.

This standard is to be used in conjunction with IEC Publication 68-1.

SECTION ONE- GENERAL

1 Object

This guide applies primarily to electrotechnical equipments but its application can be extended to other equipments and to components.

The verification of the performance of an equipment by analysis or by a combination of testing and analysis may be acceptable but is outside the scope of this guide, which is restricted to verification based entirely upon data from dynamic testing.

This guide deals solely with the seismic testing of a full size equipment which can be tested on a vibration table. The seismic testing of an equipment is intended to demonstrate its ability to perform its required function during and/or after the time it is subjected to the stresses and displacements resulting from an earthquake.

The object of this guide is to present a range of methods of testing which, when prescribed by the relevant specification, can be applied to demonstrate the performance of equipments for which seismic testing is required with the main aim of achieving qualification.

NOTE - Qualification by so-called "fragility-testing" is not considered to be within the scope of this guide which has been prepared to give generally applicable guidance on seismic testing and specifically on the use of IEC Publication 68-2 test methods.

The choice of the method of testing can be made according to the criteria described in this guide. The methods themselves are closely based on published IEC test methods.

This guide is intended for use by manufacturers to substantiate, or by users to evaluate and verify, the performance of an equipment.

2 Généralités

Deux classes sismiques ont été définies: la classe sismique générale et la classe sismique spécifique. Ni l'une ni l'autre de ces classes ne peut être considérée comme étant la plus sévère. La différence entre les deux classes réside dans la disponibilité et/ou l'exactitude de définition des caractéristiques de l'environnement sismique. Dans le cas où l'on recherche une fiabilité de sécurité très élevée pour un environnement spécifié, comme celle de la sûreté des centrales nucléaires, la classe sismique générale ne peut, par définition, convenir du fait de son manque de données précises, alors que la classe sismique spécifique peut être appliquée. L'annexe A présente un diagramme pour le choix de la classe d'essai (classe sismique générale ou classe sismique spécifique) et quatre diagrammes (A1 à A4) couvrant les variantes décrites dans ce guide. Pour une meilleure compréhension de ce guide, il est vivement recommandé d'étudier attentivement ces diagrammes.

2.1 Classe sismique générale

Font partie de cette classe les matériels pour lesquels le mouvement sismique considéré ne résulte pas d'une étude spécifique prenant en compte les caractéristiques géographiques d'implantation et les structures de support ou le bâtiment.

Pour les matériels de cette classe, le mouvement sismique est généralement caractérisé par la seule donnée d'un niveau maximal d'accélération au sol. Cette accélération est déduite des données sismiques relatives à la zone concernée.

Lorsque le matériel n'est pas implanté au niveau du sol, il convient d'utiliser un coefficient pour tenir compte de la transmissibilité du bâtiment et/ou des structures de support.

2.2 Classe sismique spécifique

Font partie de cette classe les matériels pour lesquels le mouvement sismique considéré résulte d'une étude spécifique prenant en compte les caractéristiques géographiques d'implantation et les structures de support ou le bâtiment.

Pour les matériels de cette classe, le mouvement sismique est défini par le spectre de réponse (évalué pour différents taux d'amortissement) ou par un accélérogramme.

3 Définitions

Les termes utilisés dans la présente norme sont généralement ceux qui sont définis dans la Norme ISO 2041 ou dans les Publications 68-1, 68-2-6, 68-2-57 et 68-2-59 de la CEI. Lorsque, dans l'intérêt du lecteur, une définition émanant de l'une de ces sources est incluse ici, cette provenance est citée. Les différences par rapport à ces définitions sont également indiquées.

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

2 General considerations

Two seismic classes have been established: a general seismic class and a specific seismic class. Neither of these classes can be considered to be more demanding than the other. The difference between the two classes lies in the availability of and/or the accuracy in defining the characteristics of the seismic environment. When high reliability safety equipment for a specified environment is required, such as safety related equipment in nuclear power plants, the use of precise data is necessary and, therefore, the specific seismic class is applicable and not the general seismic class. Appendix A contains a flow chart for the selection of the test class (general seismic class or specific seismic class) and four flow charts (A1 to A4) covering the possibilities discussed in this guide. To obtain the maximum advantage from this guide it is strongly recommended that the flow charts be studied very thoroughly.

2.1 *General seismic class*

This class covers equipments for which the relevant seismic motion does not result from a specific study taking into account the characteristics of the geographic location and of the supporting structure or building.

In the case of equipments in this class, the seismic motion is generally characterized by one datum which is a peak acceleration at the ground level. This acceleration is derived from the seismic data relative to the area of interest.

When an equipment is not mounted at ground level, the transmissibility of the building and/or the supporting structure should be taken into account.

2.2 *Specific seismic class*

This class covers the equipment for which the relevant seismic motion results from a specific study taking into account the characteristics of the geographic location and of the supporting structure or building.

For equipment in this class, the seismic motion is defined by response spectra (evaluated for different damping ratios) or by a time-history.

3 Definitions

The terms used in this standard are generally defined in ISO Standard 2041 or in IEC Publications 68-1, 68-2-6, 68-2-57 and 68-2-59. Where, for the convenience of the reader, a definition from one of these sources is included here, the derivation is indicated and departures from the definitions in those sources are also indicated.

The additional terms and definitions that follow are also applicable for the purpose of this standard.

3.1 assemblage: Association de deux éléments, ou plus, possédant une structure commune de fixation ou de support.

3.2 bande passante à -3 dB: Intervalles de fréquence définis par les points ayant une ordonnée supérieure ou égale à $\sqrt{2}/2$ fois la valeur maximale de la courbe (voir figure 1).

3.3 spectre de réponse fondamental: Spectre de réponse brut, défini par les caractéristiques du bâtiment, le niveau du plancher, le taux d'amortissement, etc., et obtenu à partir d'un mouvement de sol donné (voir figure 1).

NOTE - Le spectre de réponse fondamental est généralement de type à bande étroite au niveau du plancher.

3.4 spectre de réponse à bande large: Spectre de réponse qui décrit le mouvement, montrant qu'il existe de nombreuses fréquences interdépendantes qui doivent être traitées comme un tout (voir figure 2c).

NOTE - La largeur de bande dépasse généralement une octave.

3.5 fréquence critique (définition équivalente à celle de la Publication 68-2-6 de la CEI, paragraphe 8.1): 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.

3.6 fréquence de transfert (définition équivalente à celle de l'ISO 2041): Fréquence à laquelle la caractéristique d'une vibration passe d'une relation à une autre.

NOTE - Par exemple, une fréquence de transfert peut être la fréquence à laquelle la valeur de l'amplitude de la vibration passe, par rapport à la fréquence, d'une valeur de déplacement constante à une valeur d'accélération constante.

3.7 amortissement (définitions différentes de celles de l'ISO 204): 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.

3.7.1 amortissement critique: Valeur minimale de l'amortissement visqueux pour lequel un système avec déplacement initial revient à sa position de repos sans oscillation.

3.7.2 taux d'amortissement: Rapport entre la valeur de l'amortissement réel et la valeur de l'amortissement critique d'un système à amortissement visqueux.

3.8 facteur de direction: Facteur rendant compte de la différence d'amplitude usuelle au sol entre les accélérations, horizontale et verticale, d'un séisme.

3.1 assembly: Two or more devices sharing a common mounting or supporting structure.

3.2 bandpass at 3 dB: Frequency intervals defined by the points possessing an ordinate larger than or equal to $\sqrt{2}/2$ times the maximum value of the plot (see Figure 1).

3.3 basic response spectrum: Unmodified response spectrum defined by the characteristics of the building, its floor level, damping ratio, etc. and obtained from a specific ground motion (see Figure 1).

NOTE - The basic response spectrum is generally of the narrow band type at floor level.

3.4 broad-band response spectrum: Response spectrum that describes the motion indicating that a number of interacting frequencies exist which must be treated as a whole (see Figure 2c).

NOTE - The bandwidth is normally greater than one octave.

3.5 critical frequency (definition technically equivalent to that in Sub-clause 8.1 of IEC Publication 68-2-6): 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.

3.6 crossover frequency (definition technically equivalent to that of ISO 2041): Frequency at which the characteristic of a vibration changes from one relationship to another.

NOTE - For example, a crossover frequency may be that frequency at which the vibration amplitude changes from a constant displacement value versus frequency to a constant acceleration value versus frequency.

3.7 damping (not identical with ISO 2041 definitions): 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.

3.7.1 critical damping: Minimum viscous damping that will allow a displaced system to return to its initial position without oscillation.

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

3.8 direction factor: Factor taking account of the difference in magnitude at ground level that normally exists between the horizontal and vertical accelerations resulting from earthquakes.

3.9 accélération au plancher: Accélération d'un plancher particulier dans un bâtiment (à l'emplacement de l'implantation d'un matériel) résultant d'un séisme donné.

NOTE - En pratique, l'accélération au plancher peut être décomposée en composantes horizontale et verticale.

3.10 facteur géométrique: Facteur utilisé pour l'essai de type monoaxial rendant compte de l'interaction résultant des excitations multidirectionnelles simultanées qui se produisent selon les différents axes du matériel.

3.11 " 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/s².

3.12 accélération au sol: Accélération au sol résultant d'un séisme donné.

NOTE - En pratique, l'accélération au sol peut être décomposée en composantes, l'une horizontale, l'autre verticale.

3.13 fréquences latérales: Deux fréquences déterminées d'après la fréquence de réponse à -3 dB autour de la résonance d'ensemble (voir figure 1).

3.14 mauvais fonctionnement: Perte de l'aptitude à accomplir ou à maintenir une fonction requise, ou action intempestive pouvant entraîner des conséquences néfastes pour la sûreté.

NOTE - Les mauvais fonctionnements seront définis par la spécification particulière.

3.15 spectre de réponse à bande étroite: Spectre de réponse où prédomine une excitation à fréquence unique (voir figure 2a).

NOTES

1 La largeur de bande est généralement de 1/3 d'octave ou moins.

2 Si plusieurs fréquences d'excitation largement espacées et bien définies existent, chacune de leurs réponses peut être traitée séparément comme un spectre de réponse à bande étroite (voir figure 2b).

3.16 fréquence naturelle: Fréquence des vibrations libres d'une structure, dépendant seulement de ses propres caractéristiques physiques (masse, raideur et amortissement).

3.17 résonance d'ensemble: Fréquence de résonance pour laquelle toute la structure amplifie le mouvement d'excitation.

NOTE - En général, dans la gamme de fréquences de 1 Hz à 35 Hz, cela correspond à la première fréquence de résonance. Il est important de prendre en compte les fréquences correspondant aux résonances d'ensemble quand celles-ci sont incluses dans la partie forte du spectre de réponse spécifié (voir paragraphe 3.27).

3.9 floor acceleration: Acceleration of a particular building floor (or an equipment mounting) resulting from the ground motion of a given earthquake.

NOTE - In practice the floor acceleration may be resolved into its horizontal and vertical components.

3.10 geometric factor: Factor required in single axis testing to take into account the interaction along the different axes of the equipment of simultaneous multi-directional input vibrations.

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

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

3.12 ground acceleration: Acceleration of the ground resulting from the motion of a given earthquake.

NOTE - In practice the ground acceleration may be resolved into its horizontal and vertical components.

3.13 lateral frequencies: Two frequencies determined according to the -3 dB response around the overall resonance frequency (see Figure 1).

3.14 malfunction: Loss of capability of the equipment to initiate or sustain a required function, or the initiation of undesired spurious action which may result in adverse consequences for safety.

NOTE - Malfunction will be defined by the relevant specification.

3.15 narrow-band response spectrum: Response spectrum in which single frequency excitation predominates (see Figure 2a).

NOTES

1 The bandwidth is normally 1/3 octave or less.

2 When several widely spaced well-defined frequencies exist, if justified, each of their responses may be treated separately as a narrow band response spectrum (see Figure 2b).

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

3.17 overall resonance: Resonance frequency at which a complete structure amplifies the exciting motion.

NOTE - Within the frequency range between 1 Hz and 35 Hz, overall resonance generally corresponds to the first mode of vibration. It is important to take into account the overall resonance frequencies when they are enclosed in the strong part of the required response spectrum (see Sub-clause 3.27).

3.18 pause: Intervalle entre deux ondes d'essai consécutives (par exemple sinusoïdes modulées).

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 matériel.

3.19 axes préférentiels d'essai: Trois axes orthogonaux correspondant aux axes les plus vulnérables du matériel.

3.20 spectre de réponse spécifié: Spectre de réponse établi par l'utilisateur (voir figures 1, 2 et 3).

3.21 fréquence de résonance: Fréquence pour laquelle, dans un système en oscillation forcée, toute variation de la fréquence d'excitation entraîne une décroissance dans la réponse du système.

NOTES

1 La valeur de la fréquence de résonance dépend de la variable mesurée. Pour un mode donné, les valeurs de la fréquence de résonance en cas de déplacement de vitesse et d'accélération sont dans l'ordre des fréquences croissantes. Pour les taux d'amortissement habituels les écarts entre ces valeurs sont faibles.

2 Pour les essais sismiques, on considère souvent que la fréquence de résonance est significative lorsque la transmissibilité de la réponse est supérieure à 2.

3.22 spectre de réponse d'oscillateur (définition différente de celle de l'ISO 2041): Représentation de la réponse maximale d'une famille d'oscillateurs à un degré de liberté soumis à un déplacement donné pour une valeur spécifiée du taux d'amortissement (voir figures 1, 2 et 3).

3.23 séisme de niveau S1: Niveau de séisme dont l'apparition est probable pendant la durée de vie du matériel et pour lequel les éléments relatifs à la sécurité doivent être conçus pour continuer à fonctionner sans présenter de mauvais fonctionnement.

NOTE - Pour les applications nucléaires, le séisme de niveau S1 correspond au demi-séisme de dimensionnement (DSD).

3.24 séisme de niveau S2: Niveau de séisme produisant le mouvement vibratoire maximal du sol pour lequel certaines structures, systèmes et éléments sont conçus pour rester fonctionnels. Ces structures, systèmes et éléments sont ceux qui sont essentiels pour assurer leur propre fonction, l'intégrité et la sûreté de l'ensemble du système.

NOTE - Pour les applications nucléaires, le séisme de niveau S2 correspond au séisme de dimensionnement (SDD).

3.25 sinusoïde modulée: Onde sinusoïdale à fréquence fixe, modulée en amplitude par une onde sinusoïdale de fréquence inférieure. La durée d'une sinusoïde modulée est égale à une demi-période de la fréquence de modulation (voir figure 4).

NOTE - Dans la présente norme, la sinusoïde modulée est considérée comme une onde à fréquence unique.

3.18 pause: Interval between consecutive test waves (for example sine beats).

NOTE - A pause should be such that it results in no significant superposition of the response motions of an equipment.

3.19 preferred testing axes: Three orthogonal axes which correspond to the most vulnerable axes of the equipment.

3.20 required response spectrum: Response spectrum specified by the user (see Figures 1, 2 and 3).

3.21 resonance frequency: Frequency at which, in forced oscillation, a change in the frequency of excitation causes a decrease in the response of the system.

NOTES

1 The value of resonance frequency depends upon the measured variable. For a given mode, the values of resonance frequency for displacement, velocity and acceleration are in increasing order of frequency. The differences between these resonance frequency values are small for the usual damping ratios.

2 In seismic testing, it is often assumed that a resonance frequency is significant when the transmissibility of the response is greater than 2.

3.22 response spectrum (not identical with ISO 2041 definition): Plot of the maximum response to a defined input motion of a family of single-degree-of-freedom bodies at a specified damping ratio (see Figures 1, 2 and 3).

3.23 S1-earthquake: An earthquake which would be expected to occur during the operating life of the equipment and for which safety related equipments are to be designed to continue to operate without malfunction.

NOTE - An S1-earthquake corresponds in nuclear applications to the operating base earthquake (OBE).

3.24 S2-earthquake: An earthquake which produces the maximum vibratory ground motion for which certain structures, systems and components are designed to remain functional. These structures, systems and components are those essential to assure proper function, integrity and safety of the total system.

NOTE - An S2-earthquake corresponds in nuclear applications to the safe shutdown earthquake (SSE).

3.25 sine beat: Continuous sinusoidal wave of one frequency which is modulated by a sinusoidal wave of a lower frequency. The duration of one sine beat is half the period of the modulating frequency (see Figure 4).

NOTE - In this standard, the sine beat is considered as a single frequency wave.

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

3.27 partie forte du spectre de réponse: Partie du spectre définie par les points d'intersection du spectre de réponse spécifié et de la droite située à -3 dB par rapport à la valeur maximale de ce spectre (voir figure 1).

NOTE - En général, la partie forte du spectre de réponse est située dans le premier tiers de la bande de fréquences.

3.28 facteur d'amplification: Facteur tenant compte de la modification, par rapport au sol, de l'accélération due à la transmissibilité des bâtiments et des structures.

3.29 accélérogramme synthétique: Accélérogramme produit artificiellement pour que le spectre de réponse lui correspondant enveloppe le spectre de réponse spécifié.

3.30 amplitude d'essai: Valeur maximale des valeurs de crête de l'onde d'essai.

NOTE - Pour les essais sismiques, elle est habituellement relative à l'accélération.

3.31 fréquence d'essai: Fréquence à laquelle le spécimen est excité lors d'un essai.

On distingue les deux types de fréquences d'essai suivantes:

3.31.1 fréquence d'essai prédéterminée: Fréquence prescrite par la spécification particulière.

3.31.2 fréquence d'essai d'investigation: Fréquence relevée lors de l'essai de recherche et d'étude des fréquences critiques.

3.32 spectre de réponse d'essai: Spectre de réponse d'oscillateur obtenu à partir du mouvement réel de la table vibrante, soit par calcul, soit en utilisant les moyens d'analyse spectrale (voir figures 1, 2c et 2d).

3.33 accélérogramme (définition différente de celle de l'ISO 2041): Enregistrement de l'accélération, de la vitesse ou du déplacement en fonction du temps.

3.34 accélération à période nulle: Valeur asymptotique du spectre de réponse d'accélération aux fréquences élevées (voir, par exemple, la figure 1).

NOTE - En pratique, l'accélération à période nulle a une signification, par exemple dans le cas d'un accélérogramme; elle est sensiblement égale à la valeur maximale de l'accélération. Cela ne doit pas, en principe, être confondu avec la valeur de crête de l'accélération du spectre de réponse.

4 Eléments relatifs à la qualification

Il est recommandé que la spécification particulière renvoie aux points mentionnés aux paragraphes 4.1, 4.2 et 4.3.

3.26 strong part of time-history: Part of 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).

3.27 strong part of the 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 1).

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

3.28 superelevation factor: Factor accounting for the change in the acceleration with respect to the earth due to the transmissibility of buildings and structures.

3.29 synthesized time-history: Artificially generated time-history such that its response spectrum envelops the required response spectrum.

3.30 test level: Largest peak value within a test wave.

NOTE - In seismic testing, acceleration is the parameter normally used.

3.31 test frequency: Frequency at which the specimen is to be excited during a test.

A test frequency is one of two types as defined below:

3.31.1 *predetermined test frequency:* Frequency prescribed by the relevant specification.

3.31.2 *investigated test frequency:* Frequency obtained by a vibration response investigation.

3.32 test response spectrum: Response spectrum derived from the real motion of the vibration table either analytically or by using spectrum analysis equipment (see Figures 1, 2c and 2d).

3.33 time-history (not identical with ISO 2041 definition): Recording, as a function of time, of acceleration or velocity or displacement.

3.34 zero period acceleration: High frequency asymptotic value of acceleration of a response spectrum (for an example see Figure 1).

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 should not be confused with the peak value of acceleration in the response spectrum.

4 Qualification considerations

The relevant specification should contain information relating to the subjects discussed in Sub-clauses 4.1, 4.2 and 4.3.

4.1 Conditions de service

Il est recommandé que les conditions de service du matériel soumis aux essais soient aussi proches que possible de ses conditions de fonctionnement, en particulier les conditions (tension électrique, charges mécaniques et thermiques, pression, etc.) pour lesquelles les contraintes combinées à celles de l'essai peuvent altérer le fonctionnement ou la structure du matériel. Lorsque les conditions de service ne sont pas incluses dans l'essai, il convient de justifier leur absence.

4.2 Critères de mauvais fonctionnement

Quand les conditions de service et de fonctionnement sont connues ou ont été choisies, il convient de définir les critères d'acceptation et/ou de mauvais fonctionnement dans la spécification particulière.

NOTE - Il y a des exceptions lorsque les conditions finales de service ou de fonctionnement du matériel à essayer ne sont pas connues mais ont été choisies. Dans ces cas, les critères de mauvais fonctionnement ne peuvent être établis avec précision mais sont à préciser sans justification concrète: par exemple, en l'absence d'une meilleure information, on admet communément que la durée d'un mauvais fonctionnement d'un circuit électrique soit prise égale à 5 ms.

4.3 Critères de qualification

La classification suivante est introduite afin de permettre la définition des critères exigés du matériel pour une application particulière.

- Critère 0: Matériel ne présentant pas de mauvais fonctionnement pendant et après un essai sismique.
- Critère 1: Matériel présentant un mauvais fonctionnement pendant un essai sismique mais revenant à son état normal après l'essai.
- Critère 2: Matériel présentant un mauvais fonctionnement pendant l'essai sismique et nécessitant une intervention ou un réglage après l'essai mais n'exigeant ni remplacement ni réparation.

5 Procédures d'essai

Il convient de réaliser l'essai selon les spécifications de la section deux (articles 6 à 10) pour la classe sismique générale et selon celles de la section trois (articles 11 à 15) pour la classe sismique spécifique.

5.1 Fixation

Il convient de réaliser la fixation du matériel selon les prescriptions de la Publication 68-2-47 de la CEI.

NOTE - Pour plus de détails dans le cas d'un matériel normalement monté sur des amortisseurs de vibrations, voir l'article A5 de la Publication 68-2-6 de la CEI.

4.1 *Service conditions*

Service conditions should be duplicated as closely as possible when an equipment is tested, particularly those conditions (electrical, mechanical, and thermal pressure, etc.) whose stresses combine with those of the test to affect the operation or integrity of the equipment. When account is not taken of these service conditions in the test, the omission should be justified.

4.2 *Malfunction criteria*

When the service conditions and function are known or have been selected, the relevant specification will prescribe acceptance and/or malfunction criteria.

NOTE - There are cases when the final service conditions or the conditions of use of the equipment which is to be tested are not known but have been selected. In these cases, malfunction criteria cannot be accurately established and are therefore assumed without formal justification; for example, in the absence of better information, the assumption is frequently made that the duration of a malfunction in electrical circuitry is 5 ms.

4.3 *Qualification criteria*

The following classification is introduced as it allows criteria to be assigned to equipment for a particular application.

- Criterion 0: Equipment subjected to seismic testing which experienced no malfunction either during or after the test.
- Criterion 1: Equipment subjected to seismic testing which suffered a malfunction during the test but reverted to its correct state after the test.
- Criterion 2: Equipment subjected to seismic testing which experienced a malfunction during the test and required resetting or adjustment on completion of the test but required no replacement or repair.

5 *Testing procedures*

Testing should be in accordance with Section Two (Clauses 6 to 10) for the general seismic class or Section Three (Clauses 11 to 15) for the specific seismic class.

5.1 *Mounting*

The equipment should be mounted in accordance with IEC Publication 68-2-47.

NOTE - For more detailed guidance in the case of equipment normally used with vibration isolators see Clause A5 of IEC Publication 68-2-6.

Il convient de prendre en compte l'effet des connexions, câbles, tuyauteries, etc., pour la fixation du matériel. De même, sauf justification, le dispositif de montage du matériel dans les conditions normales de service devrait être inclus dans l'essai sismique.

Il convient que l'orientation et la fixation du matériel pendant l'essai soient spécifiées et constituent alors la seule attitude pour laquelle le spécimen est qualifié, à moins qu'une justification convenable permette de l'étendre à une autre orientation (par exemple, s'il est prouvé que la pesanteur n'a pas d'effet sur le comportement du matériel).

5.2 Mesures

Selon le cas, il convient de réaliser les mesures selon les Publications 68-2-6, 68-2-57 et 68-2-59 de la CEI selon le cas.

5.2.1 Mesures du mouvement vibratoire de la table vibrante

Les mesures de vibrations sur la table vibrante doivent être réalisées afin de s'assurer que le niveau de vibration a été correctement appliqué aux points de mesure requis.

Les grandeurs à enregistrer en permanence (déplacement, vitesse, accélération), le matériel de mesure utilisé et les performances des capteurs (pilote, mesure) seront spécifiés.

5.2.2 Mesures du mouvement vibratoire du matériel

Outre les mesures sur la table vibrante, des mesures peuvent être effectuées sur le matériel afin d'obtenir, au cours de l'essai, des informations supplémentaires relatives à ses performances. Ces mesures-ci ne font pas partie des exigences vibratoires d'essai.

5.2.3 Vérifications fonctionnelles du matériel

Il convient de réaliser une chaîne de mesure adéquate pour déterminer des performances avant, pendant et après l'essai.

Il convient que la spécification particulière du matériel précise les caractéristiques à enregistrer en permanence.

5.3 Gamme de fréquences

Les fréquences sismiques significatives sont généralement situées entre 1 Hz et 35 Hz. Cette gamme de fréquences est suffisante pour la détermination des fréquences critiques du matériel et pour la réalisation de l'essai. Dans certains cas, la gamme de fréquences d'essai spécifiée entre 1 Hz et 35 Hz peut être étendue ou réduite selon la présence des fréquences critiques, mais ceci nécessite une justification.

The influence of connections, cables, piping, etc., should be taken into account when mounting the equipment. Also, unless justified, the normal "in service" mounting structure of the equipment should be included in the seismic test.

The orientation and mounting of the equipment during the test should be specified and is then the only condition for which the equipment is considered qualified, unless adequate justification can be made to extend the qualification to an untested condition (for instance, if it is proved that the effects of gravity do not influence the behaviour of the equipment).

5.2 *Measurements*

Measurements should be carried out in accordance with IEC Publications 68-2-6, 68-2-57 and 68-2-59 as relevant.

5.2.1 *Vibration measurements at the vibration table*

Vibration measurements at the vibration table are to be made to ensure that the correct levels of vibration are applied at the required measuring positions.

Parameters to be permanently recorded (displacement, velocity, acceleration), the equipment used, and the functions of each transducer (reference, measurement) should be specified.

5.2.2 *Vibration measurements on the equipment*

In addition to the measurements at the vibration table, measurements may be made on the equipment to provide further information about its performance during the test. These latter measurements are not a part of the vibration test requirements.

5.2.3 *Functional monitoring on the equipment*

Monitoring should be adequate to evaluate the performance of the equipment before, during and after the test.

The relevant specification for the equipment should prescribe any characteristics to be permanently recorded.

5.3 *Frequency range*

In earthquakes, the predominant frequencies are generally between 1 Hz and 35 Hz. This range is sufficient to determine the critical frequencies of the equipment and for its testing. In certain cases the test frequency range of 1 Hz to 35 Hz may be extended or reduced dependent on the critical frequencies present, but this should be justified.

SECTION DEUX - CLASSE SISMIQUE GENERALE

La section deux décrit les méthodes d'essai sismiques applicables aux matériels faisant partie de la classe sismique générale pour lesquels l'environnement sismique n'est pas (ou est mal) connu.

6 Epreuve

6.1 Choix du type d'essai

Plusieurs types d'essai peuvent être envisagés pour vérifier l'aptitude des matériels à supporter les contraintes sismiques. Ceux-ci sont indiqués dans le tableau 1.

Pour la classe sismique générale, l'essai de type monoaxial avec sinusoïde modulée ou balayage sinusoïdal est préférentiel pour les raisons exposées ci-dessous:

- a) la sinusoïde modulée, parce que sa forme est similaire à celle de l'onde sismique horizontale au niveau du plancher, dans le cas des constructions simples présentant un seul mode de résonance;
- b) le balayage sinusoïdal, parce qu'il est simple à réaliser, bien qu'il soit moins représentatif des ondes sismiques réelles qui se produisent au niveau du plancher.

Lorsqu'il existe des couplages non négligeables entre les trois axes préférentiels d'essai du matériel ou si l'utilisation des facteurs de correction géométriques n'est pas souhaitable, l'essai de type polyaxial (biaxial ou triaxial) peut être effectué, bien que celui-ci ne soit pas normalement recommandé. Si l'on effectue un essai de type polyaxial en utilisant une onde à fréquence unique telle que la sinusoïde modulée, le balayage sinusoïdal ou la sinusoïde continue, il convient alors de prendre des précautions du fait que les valeurs de crête des accélérations pour les différents axes ne sont pas habituellement en phase. Pour ce type d'essai, il est préférable d'utiliser une onde à fréquences multiples, par exemple un accélérogramme.

Tableau 1 - Choix du type d'essai

Onde d'essai	Type d'essai	
	Essai monoaxial	Essai polyaxial
Balayage sinusoïdal	a	c
Sinusoïde modulée	a	c
Accélérogramme	b	a
Sinusoïde continue	b	c
a = recommandé b = approprié c = normalement non recommandé		

SECTION TWO - GENERAL SEISMIC CLASS

Section Two describes the recommended seismic testing methods for equipment covered by the general seismic class for which the seismic environment is either not known or is imprecisely known.

6 Conditioning

6.1 Selection of test type

In order to prove the ability of equipments to withstand seismic forces, several types of test may be considered. These are listed in Table 1.

In the general seismic class, single axis testing with sine beat or sine sweep is preferred for the following reasons:

- a) sine beat, as its form is similar to that of the horizontal earthquake wave at floor levels in simple structures presenting one mode of resonance;
- b) sine sweep, as it is simple to achieve but may be less realistic than the actual earthquake waves appearing at the floor levels.

When there is significant coupling between the three preferred test axes of the equipment or if the use of geometric correction factors is not desirable, multi-axis testing (biaxial or triaxial) can be used, although not normally recommended. If multi-axis testing is used, caution should be taken with the use of single frequency waves - sine-beat, sine sweep or continuous sine - as the peak seismic accelerations for the various axes are not usually in phase. A multifrequency wave such as time-history should therefore then be used.

Table 1 - Selection of test type

Test wave	Test type	
	Single-axis test	Multi-axis test
Sine sweep	a	c
Sine-beat	a	c
Time-history	b	a
Continuous sine	b	c
a = recommended b = suitable c = not normally recommended		

6.2 Choix de la méthode d'essai

Il existe deux méthodes:

- a) l'essai conventionnel à amplitude normalisée: cet essai est appliqué lorsque les conditions d'utilisation du matériel ne sont pas connues (voir article 7);
- b) l'essai à amplitude calculée: cet essai est appliqué lorsque les conditions d'utilisation du matériel sont suffisamment connues pour permettre la spécification des différents paramètres d'essai (voir article 8).

7 Essai conventionnel à amplitude normalisée

7.1 Application

Cet essai conventionnel comporte trois niveaux de performance, souvent nommés niveaux de qualification (voir tableau 2), et il est recommandé lorsque les conditions d'utilisation du matériel ne sont pas connues. Il convient que l'utilisateur du matériel s'assure que le niveau de performance auquel le matériel a été essayé convient à l'application prévue. Après avoir obtenu le niveau de performance spécifié, le matériel peut prétendre, dans l'avenir, à la qualification jusqu'à ce niveau inclus pourvu que toutes les autres exigences soient satisfaites.

Tableau 2 - Niveau de performance

Niveau de performance*	Accélération au plancher a_f	
	Horizontal	Vertical
	m/s ²	m/s ²
I	6	3
II	9	4,5
III	15	7,5
* Ces niveaux peuvent être utilisés au-dessus de la fréquence de transfert de 1,6 Hz. Au-dessous de cette fréquence, l'amplitude de vitesse est utilisée jusqu'à 0,8 Hz. Au-dessous de 0,8 Hz, l'amplitude de déplacement est utilisée (voir figure 7a).		

7.2 Conditions d'essai

L'essai conventionnel à amplitude normalisée est uniquement de type mono-axial. Les différents axes sont excités successivement. La valeur de l'accélération d'essai est définie à partir du niveau de performance (voir paragraphe 7.2.1), du facteur d'onde (voir paragraphe 9.2.1) et du facteur géométrique (voir paragraphe 9.2.2).

6.2 Selection of the test method

Two methods exist:

- a) standard amplitude conventional test: this is applied where the conditions of use of the equipment are unknown (see Clause 7);
- b) calculated amplitude test: this is applied where the conditions of use of the equipment are sufficiently known to allow the different parameters of the test to be specified (see Clause 8).

7 Standard amplitude conventional test method

7.1 Application

This conventional test has three performance levels, often referred to as qualification levels, (see Table 2) and it is recommended when the conditions of use of the equipment are unknown. The user of the equipment should decide if the qualification level for which the equipment has been tested is suitable for the considered application. After achieving a specified qualification level, the equipment may then claim qualification up to and including that level, provided that all other requirements have been satisfied.

Table 2 - Performance level

Performance level*	Floor acceleration a_f	
	Horizontal	Vertical
	m/s^2	m/s^2
I	6	3
II	9	4.5
III	15	7.5
* These levels can be used above a crossover frequency of 1.6 Hz. Below this frequency, the amplitude of velocity is used down to 0.8 Hz. Below 0.8 Hz the amplitude of displacement is used (see Figure 7a).		

7.2 Conditions of testing

The standard amplitude conventional test method is a single-axis test only. The different axes are excited one after another. The test acceleration is determined from the performance level (see Sub-clause 7.2.1), the wave factor (see Sub-clause 9.2.1) and the geometric factor (see Sub-clause 9.2.2).

7.2.1 Niveau de performance (essai conventionnel à amplitude normalisée)

Dans l'essai conventionnel à amplitude normalisée, l'accélération au plancher (a_f) est choisie directement à partir des niveaux présentés dans le tableau 2.

7.2.2 Choix de l'onde d'essai

La forme d'onde recommandée est la sinusoïde modulée de cinq cycles ou le balayage sinusoïdal. Toutefois, d'autres formes d'ondes peuvent être utilisées après justification. Il faut veiller à ce que la valeur maximale de l'accélération d'excitation, pour le niveau de qualification choisi, soit corrigée par le facteur d'onde (voir paragraphe 9.2.1) et par le facteur géométrique (voir paragraphe 9.2.2).

8 Essai à amplitude calculée

8.1 Application

La méthode d'essai à amplitude calculée est recommandée lorsqu'on dispose d'informations suffisantes sur les conditions d'utilisation et les caractéristiques du matériel pour permettre une estimation du niveau d'essai meilleure que celle résultant de la méthode d'essai conventionnel à amplitude normalisée (voir article 7).

8.2 Conditions d'essai

En principe, cet essai est de type monoaxial dans lequel les différents axes sont excités successivement. Cela est approprié lorsque, par exemple, il n'y a qu'un faible couplage entre les différents axes ou si ce couplage peut être justifié par l'application d'un facteur géométrique.

8.2.1 Niveau de performance

La sévérité de l'essai est déterminée par les valeurs attribuées aux paramètres suivants que devrait donner la spécification particulière du matériel:

- a) onde d'essai (voir paragraphe 8.2.2),
- b) amortissement du matériel (voir paragraphe 8.2.3),
- c) facteur d'amplification (voir paragraphe 8.2.5),
- d) facteur de direction (voir paragraphe 8.2.6),
- e) durée de l'essai (voir paragraphe 9.1);
- f) amplitude de l'onde d'essai (voir paragraphe 9.2).

8.2.2 Choix de l'onde d'essai

Le choix de l'onde d'essai a une influence non négligeable sur la réponse du matériel lorsque la valeur de son taux d'amortissement est sensiblement différente de 5% (voir figure 6) et ce malgré l'application du facteur d'onde.

7.2.1 Performance level (standard amplitude conventional test)

In the standard amplitude conventional test method the floor acceleration (a_f) is selected directly from the levels given in Table 2.

7.2.2 Test wave

The recommended test wave is the five-cycle sine beat or the sine sweep. However, other waves, if justification is given, are permissible. The maximum value of acceleration of the excitation for the selected level should be corrected by the wave factor (see Sub-clause 9.2.1) and the geometric factor (see Sub-clause 9.2.2).

8 Calculated amplitude test method

8.1 Application

The calculated amplitude test method is recommended when sufficient information is available on the characteristics and on the location of the equipment to allow a more accurate estimation of test level than is possible with the standard amplitude conventional test method (see Clause 7).

8.2 Conditions of testing

In principle this is a single-axis test, where the different axes are excited one after the other. This is appropriate where, for example, there is little interaction between the different axes or the interaction can be accounted for by applying a geometric factor.

8.2.1 Performance level

The severity of the test is determined by the values ascribed to the following parameters, which the relevant specification for the equipment should prescribe:

- a) test wave (see Sub-clause 8.2.2),
- b) damping of the equipment (see Sub-clause 8.2.3),
- c) superelevation factor (see Sub-clause 8.2.5),
- d) direction factor (see Sub-clause 8.2.6),
- e) duration of the test (see Sub-clause 9.1),
- f) amplitude of the test wave (see Sub-clause 9.2).

8.2.2 Test wave selection

The test wave selected will have a noticeable influence on the response of the equipment when its damping value is significantly different from 5% (see Figure 6) even with the use of a wave factor.

8.2.3 Taux d'amortissement

Un taux d'amortissement de 5% est recommandé lorsque l'amortissement critique du matériel se situe entre 2% et 10%. Si le taux d'amortissement est extérieur à cette gamme, il est recommandé d'utiliser une valeur représentative du comportement vibratoire réel du matériel pour déterminer le facteur d'onde applicable. Pour les détails complémentaires, voir le paragraphe 9.2.1 et la figure 6.

8.2.4 Accélération au sol (a_g)

L'accélération au sol (a_g) dépend des conditions sismiques du site où le matériel doit être implanté. Si elle est connue, il convient de l'indiquer dans la spécification particulière. Dans le cas contraire, il convient de choisir parmi celles recommandées dans le tableau 3.

Tableau 3 - Niveaux d'accélération au sol

Référence de l'accélération au sol	Caractéristiques du séisme				
	Généralités	a_g m/s ² ²⁾	A titre d'information		
			Magnitude dans l'échelle de Richter	Zone UBC ¹⁾	Intensité MSK ²⁾
AG2	Séisme d'intensité faible à moyenne	2	< 5,5	1-2	< VIII
AG3	Séisme d'intensité moyenne à forte	3	5,5 à 7,0	3	VIII à IX
AG5	Séisme d'intensité forte à très forte	5	> 7,0	4	> IX
1) Valeur approximative de "l'Uniform Building Code Zone" (Conférence internationale sur les édifices publics). 2) MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik correspondant à l'échelle d'intensité Mercalli modifiée). NOTE - A la figure 7b, on peut voir qu'à la fréquence de transfert de 1,6 Hz on passe à l'amplitude de vitesse constante et qu'à 0,8 Hz on passe à l'amplitude de déplacement constant.					

8.2.5 Facteur d'amplification (K)

Le facteur d'amplification K permet de tenir compte de l'amplification de l'accélération au sol résultant du comportement vibratoire des bâtiments et des structures.

Les valeurs recommandées sont celles indiquées dans le tableau 4 mais la spécification particulière peut prescrire d'autres valeurs lorsque les conditions de site sont connues.

8.2.3 Damping ratio

A damping ratio of 5% is recommended when the critical damping of the equipment lies between 2% and 10%. If the damping ratio is outside this range, it is recommended that a value representative of the actual vibrational behaviour of the equipment is used to determine the applicable wave factor. For further details, see Sub-clause 9.2.1 and Figure 6.

8.2.4 Ground acceleration (a_g)

The ground acceleration (a_g) depends upon the seismic conditions of the site where the equipment is to be located. When it is known, it should be prescribed by the relevant specification. Otherwise, the recommended values should be selected from those given in Table 3.

Table 3 - Ground acceleration levels

Ground acceleration reference	Description of earthquake				
	General	a_g m/s ²	For information only		
			Richter scale magnitude	UBC zone ¹⁾	Intensity MSK ²⁾
AG2	Light to medium earthquakes	2	< 5.5	1-2	< VIII
AG3	Medium to strong earthquakes	3	5.5 to 7.0	3	VIII to IX
AG5	Strong to very strong earthquakes	5	> 7.0	4	> IX
1) Approximate Uniform Building Code Zone (International Conference of Building Officials). 2) MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik corresponds to modified Mercalli intensity scale). NOTE - From Figure 7b it can be seen that there are crossover frequencies at 1.6 Hz to constant amplitude of velocity and at 0.8 Hz to constant amplitude of displacement.					

8.2.5 Superelevation factor (K)

The amplification of the ground acceleration resulting from the vibrational behaviour of buildings and structures is accounted for by means of the superelevation factor, K .

The recommended values are given in Table 4 but a relevant specification may prescribe other values for given site conditions, if known.

Tableau 4 - Facteurs d'amplification recommandés (K)

Facteur K	Application
1,0	Matériels montés sur des fondations rigides ou sur des charpentes à forte rigidité
1,5	Matériels rigidement liés aux bâtiments
2,0	Matériels montés sur des charpentes rigides liées rigidement aux bâtiments
3,0	Matériels montés sur des structures à faible rigidité liées aux bâtiments.

8.2.6 Facteur de direction (D)

Le mouvement sismique suivant chaque axe horizontal est normalement plus important que celui de l'axe vertical. Si les conditions de fixation du matériel sont spécifiées, il convient d'effectuer l'essai pour les axes horizontaux préférentiels d'essai, x et y, à 100% du niveau de l'essai, mais seulement à 50% suivant l'axe vertical, z.

Pour les matériels dont les conditions de fixation ne sont pas spécifiées, il convient de réaliser l'essai complet suivant les trois axes préférentiels d'essai, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

Les facteurs de direction sont indiqués dans le tableau 5.

Tableau 5 - Facteurs de direction (D)

Axe de vibration	Facteur D	Restrictions
Horizontal, D_x	$D_x = 1$	-
Horizontal, D_y	$D_y = 1$	-
Vertical, D_z	$D_z = 0,5$	Seulement si l'orientation verticale est précisée
Vertical, D_z	$D_z = 1$	Si l'orientation de fixation n'est pas précisée*
* Si l'effet de la pesanteur n'a pas d'influence sur le comportement du matériel, ces essais sont réalisés avec chacun des trois axes principaux du matériel successivement dans le plan vertical. Les facteurs de direction pour chacun des cas sont $D_x = 1$, $D_y = 1$, $D_z = 0,5$.		

Table 4 - Recommended superelevation factors, (K)

K factor	Application
1.0	Mounting of equipment on rigid foundations or on structures of high rigidity
1.5	Installations rigidly connected to buildings
2.0	Installations on stiff structures connected rigidly to buildings
3.0	Installations on low rigidity structures connected to buildings

8.2.6 Direction factor (D)

The seismic movement along either horizontal axis is normally greater than along the vertical axis. If the equipment mounting conditions are specified, the test should be carried out according to the preferred horizontal testing axes, x and y, with 100% of the test level, but with only 50% along the vertical axis, z.

In the case of specimens with unspecified mounting conditions, the full test should be carried out in all three preferred testing axes, unless otherwise prescribed by the relevant specification.

Direction factors are listed in Table 5.

Table 5 - Direction factors (D)

Axis of vibration	D factor	Limitations
Horizontal, D_x	$D_x = 1$	-
Horizontal, D_y	$D_y = 1$	-
Vertical, D_z	$D_z = 0.5$	Only with a specified vertical attitude
Vertical, D_z	$D_z = 1$	When the mounting attitude is not specified*
* If the effect of gravity does not influence the behaviour of the equipment, these tests are carried out with each of the three main axes of the equipment in turn in the vertical plane. The direction factors for each case are $D_x = 1$, $D_y = 1$, $D_z = 0.5$.		

8.2.7 Accélération au plancher (a_f)

Dans la méthode d'essai à amplitude calculée, l'avantage réside dans une meilleure connaissance des données. L'accélération au sol (a_g) est connue ou est donnée par la spécification particulière. L'accélération au plancher (a_f) est déterminée par la formule suivante:

$$a_f = a_g \times K \times D$$

où

- a_g = accélération au sol (voir paragraphe 8.2.4)
- K = facteur d'amplification (voir paragraphe 8.2.5)
- D = facteur de direction (voir paragraphe 8.2.6)

9 Paramètres d'essai

9.1 Durée de l'essai

Il est conseillé de choisir une durée d'essai qui soit appropriée à celle de la partie forte de l'accélérogramme du séisme (voir figure 5).

Pour les essais utilisant l'onde sinusoïdale modulée conformément au paragraphe 10.2.1, la durée de l'essai dépend de la fréquence d'essai, du nombre de sinusoïdes modulées spécifiées et des temps de pause. Dans le cas d'essais utilisant le balayage sinusoïdal conformément au paragraphe 10.2.2, la durée de l'essai dépend de la gamme de fréquences spécifiée, de la vitesse, du nombre de cycles de balayage et du nombre de directions d'essai.

Pour l'essai par sinusoïde continue, il est bon que cette durée soit suffisante pour atteindre au moins cinq cycles à l'amplitude d'accélération maximale (voir figure 9).

9.2 Accélération d'essai (a_t)

L'amplitude de l'onde d'essai peut être définie par le maximum de la valeur de crête de l'accélération, de la vitesse ou du déplacement mais on se réfère uniquement à l'accélération pour le comportement aux séismes.

L'accélération d'essai (a_t) est déterminée à partir de l'accélération au plancher (a_f) définie dans la méthode d'essai conventionnel à amplitude normalisée (voir paragraphe 7.2.1) ou dans la méthode d'essai à amplitude calculée (voir paragraphe 8.2.7) et en adaptant cette accélération au plancher (a_f) aux caractéristiques de l'onde d'essai utilisée et aux éventuels couplages entre les axes liés aux modalités d'installation. Cette adaptation est réalisée par l'introduction d'un facteur d'onde (α) et d'un facteur géométrique (G) à appliquer à l'accélération au plancher. La valeur a_t représente alors le niveau d'accélération à appliquer au matériel, calculé par la formule:

$$a_t = a_f \times \alpha \times G$$

où

- a_f = accélération au plancher (voir paragraphe 7.2.1 ou 8.2.7 selon le cas)
- α = facteur d'onde (voir paragraphe 9.2.1)
- G = facteur géométrique (voir paragraphe 9.2.2)

8.2.7 Floor acceleration (a_f)

In the calculated amplitude method of testing, advantage is taken of the greater knowledge of data. The ground acceleration (a_g) is known or has been prescribed by the relevant specification. Therefore the floor acceleration (a_f) can be determined from the formula:

$$a_f = a_g \times K \times D$$

where

a_g = ground acceleration (see Sub-clause 8.2.4)

K = superelevation factor (see Sub-clause 8.2.5)

D = direction factor (see Sub-clause 8.2.6)

9 Testing parameters

9.1 Duration of test

The duration of a seismic test should be appropriate to that of the strong part of the time-history of the earthquake (see Figure 5).

For tests using sine-beat waves in accordance with Sub-clause 10.2.1, the duration of the test depends upon the test frequency, number of beats specified, and pauses. In the case of tests using vibration sweeping techniques in accordance with Sub-clause 10.2.2, the duration of the test depends upon the required frequency range, the sweep rate, the number of sweep cycles and the number of test directions involved.

For a continuous sine test, the duration should be sufficient to reach at least five cycles at maximum acceleration amplitude (see Figure 9).

9.2 Test acceleration (a_t)

The amplitude of a test wave can be defined as the maximum value of an acceleration, velocity or displacement wave but only acceleration is referred to for earthquake behaviour.

The test acceleration (a_t) is established by taking the floor acceleration (a_f) as found in the standard amplitude conventional test method (see Sub-clause 7.2.1) or the calculated amplitude test method (see Sub-clause 8.2.7). The acceleration (a_f) is then adjusted for the test wave being utilized and any interaction between axes due to the installation location. This adjustment is accomplished by the application of a wave factor (α) and a geometric factor (G) to the floor acceleration. Thus, the value a_t represents the acceleration level to be applied to the equipment and is calculated from the formula:

$$a_t = a_f \times \alpha \times G$$

where

a_f = floor acceleration (see Sub-clause 7.2.1 or Sub-clause 8.2.7 as applicable)

α = wave factor (see Sub-clause 9.2.1)

G = geometric factor (see Sub-clause 9.2.2)

9.2.1 Facteur d'onde (α)

Chaque onde d'essai produit un niveau de sévérité différent qui dépend de l'amortissement du matériel. Cet effet est pris en compte par le facteur d'onde qui est pris égal à 1 pour la sinusoïde modulée de cinq cycles du fait qu'elle est similaire à l'onde au niveau du plancher après filtrage à travers les constructions.

La valeur du facteur α pour les autres ondes d'essai est déterminée normalement pour un taux d'amortissement de 5%. Le tableau 6 donne la valeur de α pour une sinusoïde continue, ou un balayage sinusoïdal, et pour différents taux d'amortissement. Ces valeurs sont calculées à partir de la figure 6 qui peut aussi être utilisée pour obtenir le facteur d'onde pour d'autres nombres de cycles par sinusoïde modulée et pour d'autres valeurs de taux d'amortissement. Des exemples de valeurs de taux d'amortissement du matériel sont donnés au paragraphe 14.4, dans le tableau 7.

Tableau 6 - Facteur d'onde

Taux d'amortissement du matériel (% de l'amortissement critique)	Facteur d'onde	
	Sinusoïde modulée de 5 cycles	Sinusoïde continue ou balayage sinusoïdal (1 octave/min)
$\zeta \leq 2\%$	1	0,3
$2\% < \zeta \leq 10\%$	1	0,55
$\zeta > 10\%$	1	0,8

9.2.2 Facteur géométrique (G)

S'il n'y a pas suffisamment d'informations sur les conditions d'excitation au point d'implantation du matériel, le facteur géométrique, G , est pris égal à:

1 dans le cas d'une excitation de type mono-axial sans couplage entre les axes,

1,5 dans le cas d'une excitation de type mono-axial avec couplage entre les axes.

10 Modalités d'essai

10.1 Recherche et étude des fréquences critiques

L'essai de recherche et d'étude des fréquences critiques fournit des données sur les fréquences critiques. Il peut également être utilisé pour fournir des informations sur le taux d'amortissement et pour permettre le choix des essais de type mono ou polyaxial.

9.2.1 Wave factor (α)

Different types of test waves produce different levels of severity depending upon the equipment damping. The effects are taken into account by the use of a wave amplification factor which is equal to 1 for the 5 cycle sine beat. The 5 cycle sine beat test wave is similar to the floor wave of an actual earthquake after filtering through the intervening structure.

The values of the wave factor α for the other test waves are normally determined with a damping ratio of 5%. Table 6 gives the value of α for a continuous sine wave or a sine sweep with various damping ratios. These values are calculated from Figure 6 which can also be used to obtain wave factors for various numbers of cycles per sine beat and damping ratios. Examples of equipment damping values are given in Sub-clause 14.4 in Table 7.

Table 6 - Wave factor

Damping of equipment (% of critical damping)	Wave factor	
	5 cycle sine-beat	Continuous sine and sine sweep (1 octave/min)
$\zeta \leq 2\%$	1	0.3
$2\% < \zeta \leq 10\%$	1	0.55
$\zeta > 10\%$	1	0.8

9.2.2 Geometric factor (G)

If there is insufficient information about the excitation at the installation site of the equipment, the geometric factor, G , is taken:

1 for single-axis excitation with no interaction with the other axis,

1.5 for single-axis excitation with interaction with the other axis.

10 Testing procedures

10.1 Vibration response investigation

The vibration response investigation supplies data on critical frequencies. It can also be used to supply data on damping ratios and to enable a choice of single or multi-axis testing to be made.

Il est généralement effectué en utilisant une excitation sinusoïdale sur un seul axe. L'essai de recherche et d'étude des fréquences critiques consiste en un cycle de balayage logarithmique dans la gamme de fréquences de 1 Hz à 35 Hz, à une vitesse de balayage suffisamment faible pour révéler les fréquences critiques sans dépasser 1 octave/min.

Il convient que l'effet de l'amplitude de la vibration appliquée au cours de l'essai de recherche et d'étude des fréquences critiques ne soit pas aussi important que celui produit par l'essai lui-même. Cependant, il est conseillé que son niveau soit suffisamment élevé pour tenir compte des effets de non-linéarités qui font dépendre les fréquences critiques et l'amortissement de l'amplitude de vibration.

NOTE - La valeur de 2 m/s^2 est souvent utilisée. Cette valeur peut être réduite à 1 m/s^2 ou moins en cas de résonance aiguë.

Il convient de noter que les essais de recherche et d'étude des fréquences critiques peuvent ne pas mettre en évidence toutes les fréquences critiques à cause de la complexité physique ou de l'accès restreint aux parties critiques (relais scellés, etc.). On notera également qu'en raison de non-linéarités, la réponse à la résonance aux niveaux élevés peut être différente en fréquence et en amortissement de celle relevée aux niveaux faibles et qu'en outre la résonance peut ne pas être visible aux faibles niveaux d'excitation. Le résultat d'une recherche à faible niveau risque donc de ne pas renseigner valablement sur le comportement dynamique du matériel.

10.2 Types d'essai

10.2.1 Essai par sinusoïde modulée

L'essai est de type monoaxial et consiste à appliquer une séquence de cinq sinusoïdes modulées selon la Publication 68-2-59 de la CEI (voir figure 4 et annexe A) sauf indication contraire dans la spécification particulière.

L'accélération à appliquer à la table vibrante est celle déterminée conformément au niveau de performance spécifié au paragraphe 7.2.1 ou au paragraphe 8.2.1.

L'essai sera effectué dans la gamme de fréquences spécifiée, comme indiqué au paragraphe 5.3.

a) Matériel ne présentant pas de fréquence critique

Les fréquences d'essai sont à appliquer dans la gamme de fréquences spécifiée comme indiqué au paragraphe 5.3 et espacées d'une demi-octave au plus; toute fréquence d'essai prédéterminée non couverte doit aussi être appliquée. Les essais comportant moins de fréquences d'essai que ci-dessus seront à justifier.

b) Matériel présentant des fréquences critiques

Les fréquences d'essai comportent les fréquences critiques et les fréquences d'essai prédéterminées conformément à la spécification particulière. Les essais comportant moins de fréquences d'essai que ci-dessus seront à justifier.

It is usually carried out using single-axis sinusoidal excitation. The vibration response investigation is run with a single logarithmic sweep cycle over a frequency range between 1 Hz and 35 Hz at a sweep rate sufficiently low to reveal the critical frequencies, but not exceeding one octave/min.

The amplitude of vibration applied in the course of the vibration response investigation should not be so large as to produce an effect comparable to the effect of the test itself. However, the level should be sufficiently high to take into account non-linearities which may cause the critical frequencies and the damping to be dependent upon the amplitude of vibration.

NOTE - An amplitude of vibration of 2 m/s^2 is often used. This value may be reduced to 1 m/s^2 or less in the case of sharp resonances.

It should be noted that due to physical complexity or restricted access to critical parts (sealed relays, etc.) these vibration response investigations may not detect all the critical frequencies. Also, because of non-linearities, resonance responses at high levels may differ in frequency and damping from those recorded at lower levels and some resonances may not be visible at low excitation. The result of a low-level exploratory test may, therefore, not always provide complete information regarding the dynamic of an equipment.

10.2 *Types of tests*

10.2.1 *Sine-beat test*

The test is of a single-axis type and consists of a sequence of 5 sine beats according to IEC Publication 68-2-59 (see Figure 4 and Appendix A) if not otherwise prescribed by the relevant specification.

The acceleration to be applied to the vibration table is that determined by the performance level in Sub-clause 7.2.1 or Sub-clause 8.2.1.

The test is carried out within the specified frequency range as stated in Sub-clause 5.3.

a) *Equipment without critical frequencies*

The test frequencies need to be applied over the specified frequency range as stated in Sub-clause 5.3 and in steps not greater than $1/2$ octave; any predetermined test frequencies not covered need also to be applied. Tests using less than these frequencies should be justified.

b) *Equipment with critical frequencies*

The test frequencies are the critical frequencies and the predetermined test frequencies as prescribed by the relevant specification. Tests using less than these frequencies should be justified.

10.2.2 Essai par balayage sinusoïdal

L'essai est de type monoaxial. L'accélération à appliquer à la table vibrante est déterminée conformément au niveau de performance spécifié au paragraphe 7.2.1 ou 8.2.1. Il est recommandé d'exécuter un balayage logarithmique à une vitesse de 1 octave/min dans la gamme de fréquences spécifiée, conformément au paragraphe 5.3.

10.2.3 Autres formes d'ondes d'essai

Si d'autres formes d'ondes, telles que l'accélérogramme, sont utilisées, la méthode d'essai spécifiée sera à justifier.

SECTION TROIS - CLASSE SISMIQUE SPECIFIQUE

11 Epreuve

Il est recommandé d'essayer le matériel selon la procédure décrite dans la classe sismique spécifique lorsque les paramètres suivants sont connus:

- a) soit un spectre de réponse spécifié et, éventuellement, la durée du séisme
- b) soit un accélérogramme spécifié.

Pour cette classe sismique, on indique également le nombre de séismes de niveaux S1 et S2 dont les effets sont à simuler ainsi que les contraintes (autres que sismiques) à prendre en compte.

Pour les matériels relevant de la classe sismique spécifique, les ondes d'essai préférées seront conformes aux normes relatives aux essais suivants:

- balayage sinusoïdal (principalement pour la recherche et l'étude des fréquences critiques) (Publication 68-2-6 de la CEI)
- sinusoïde modulée (Publication 68-2-59 de la CEI)
- accélérogramme (Publication 68-2-57 de la CEI)
- sinusoïde continue (endurance à des fréquences fixes de la Publication 68-2-6 de la CEI).

12 Choix des ondes d'essais

Il est conseillé de lire cet article en liaison avec l'article 14. Il y a lieu de choisir l'onde d'essai en tenant compte de la nature des signaux susceptibles d'apparaître du fait d'un séisme au point d'implantation du matériel. Quelle que soit la forme de l'onde d'essai retenue, il est bon que le spectre de réponse d'essai enveloppe le spectre de réponse spécifié et que la durée totale soit au moins égale à la partie forte du séisme (voir l'article 11).

Pour les besoins de ce guide, les ondes d'essais sont classées en deux catégories:

10.2.2 *Sine-sweep test*

The test is of a single-axis type. The acceleration to be applied to the vibration table is that determined by the performance level in Sub-clauses 7.2.1 or 8.2.1. A logarithmic sweep rate of 1 octave/min and with the frequency range as stated in Sub-clause 5.3.

10.2.3 *Other test wave forms*

If other wave forms, such as time-history, are used, the relevant testing procedure should be justified.

SECTION THREE - SPECIFIC SEISMIC CLASS

11 Conditioning

It is recommended that the equipment should be tested according to the procedure described in the specific seismic class when the following parameters are defined:

- a) a required response spectrum and, if applicable, the duration of the earthquake, or
- b) a required time-history.

For this seismic class, it is normal to indicate the number of S1 and S2-earthquakes for which the effects are to be simulated, as well as the load conditions (other than seismic) to be taken into account.

For specific seismic class testing, the test waves preferred are in accordance with the standards for the following:

- sine sweep (primarily for the vibration response investigation) (IEC Publication 68-2-6)
- sine beat (IEC Publication 68-2-59)
- time history (IEC Publication 68-2-57)
- continuous sine (endurance at fixed frequencies of IEC Publication 68-2-6):

12 Test wave selection

This clause should be read in conjunction with Clause 14. The test wave selection should take into account the anticipated characteristics of the equipment when it is in its installed position and under the influence of the specified earthquake. Whichever is the adopted wave form, the test response spectrum measured envelops the required response spectrum and the total duration of the test should be at least equal to the strong part of the earthquake (see Clause 11).

For the purpose of this guide the test waves are divided into two categories.

a) Les ondes à fréquences multiples:

- 1) accélérogramme (naturel, synthétisé ou échantillon de mouvement aléatoire);
- 2) autres ondes (justification requise).

b) Les ondes à fréquence unique:

- 3) balayage sinusoïdal;
- 4) sinusoïde modulée;
- 5) sinusoïde continue (figure 9);
- 6) autres ondes (justification requise).

12.1 Ondes à fréquences multiples

En principe, lorsque le spectre d'oscillateur est à bande large, l'onde d'essai est du type à fréquences multiples. Cependant, certaines dérogations peuvent être admises après justification (voir paragraphe 12.2).

12.2 Ondes à fréquence unique

Les essais par balayage sinusoïdal ne sont pas, généralement, utilisés pour les essais de classe sismique spécifique.

Si le mouvement sismique du sol est filtré par un des modes du bâtiment, le mouvement résultant au niveau des planchers peut présenter une fréquence prédominante. On obtient alors un spectre de réponse spécifié à bande étroite et, dans ce cas, une vibration à fréquence unique peut convenir.

Il ne faut pas confondre le spectre de réponse d'essai d'une onde à fréquence unique avec l'enveloppe des spectres de réponse d'essai obtenus à chaque fréquence d'essai. Il faut qu'à chaque fréquence d'essai corresponde un spectre de réponse d'essai qui soit supérieur ou égal à la partie forte (bande passante à -3 dB) du spectre de réponse fondamental (voir figure 1).

Il faut que l'enveloppe de spectre de réponse d'essai relatif à chaque fréquence d'essai soit supérieure ou égale à celle des spectres de réponse spécifiés (voir paragraphe 13.2).

Souvent, l'utilisateur n'a à sa disposition qu'un spectre de réponse qui a été préalablement élargi pour tenir compte, par exemple, de différents sites, des axes du bâtiment ou des incertitudes de calcul. Dans ce cas, sauf indications complémentaires montrant que le mouvement sismique du plancher est à bande étroite, il est recommandé de considérer, au vu de ce spectre de réponse élargi, que l'excitation est à fréquences multiples.

Les essais par ondes à fréquence unique peuvent être utilisés pour la qualification du matériel dans les cas suivants:

a) Multifrequency waves:

- 1) time-history (natural, synthesized or random motion sample);
- 2) other waves (requiring justification).

b) Single frequency waves:

- 3) sine sweep;
- 4) sine beat;
- 5) continuous sine (Figure 9);
- 6) other waves (requiring justification).

12.1 Multifrequency waves

In general, when the vibration spectrum is broad-band, the test wave should be of the multifrequency type. However, certain exceptions are allowed after justification (see Sub-clause 12.2).

12.2 Single frequency waves

Sine-sweep tests are not generally used for specific seismic class testing.

If the ground seismic motion is filtered by one of the structural modes, the resulting floor level motion may show a predominant frequency. This corresponds to a narrow-band required response spectrum and in this situation a single frequency vibration may be a satisfactory excitation.

The single frequency test response spectrum should not be mistaken for the envelope of the test response spectrum obtained for each test frequency. The test response spectrum corresponding to each test frequency should be larger than or equal to the strong part (3 dB bandpass) of the basic response spectrum (see Figure 1).

The envelope of the test response spectrum associated with each test frequency should be larger than or equal to that of the required response spectrum (see Sub-clause 13.2).

Frequently only an artificially broadened response spectrum is available to take account of uncertainties such as site variations, axes of the structure or design uncertainties. In this situation and in the absence of additional evidence to demonstrate floor seismic motions to be narrow-band, it should be assumed on the basis of this broadened response spectrum that the excitation is multifrequency.

Single frequency tests can be used to qualify the equipment in the following cases:

- a) les fréquences de résonance ne sont pas couplées (on considère que c'est le cas lorsqu'elles sont espacées de plus d'un quart d'octave);
- b) les fréquences de résonance du matériel sont situées en dehors de la partie forte des spectres de réponse spécifiés;
- c) si justifié, dans certains cas particuliers.

13 Ondes d'essai

13.1 Généralités

13.1.1 Spécification des ondes d'essai

Il est recommandé que l'onde d'essai utilisée:

- a) produise un spectre de réponse d'essai supérieur ou égal au spectre de réponse spécifié;
- b) ait une valeur de crête de l'amplitude maximale de l'accélération égale ou supérieure à celle de l'accélération à période nulle;
- c) reproduise, avec une marge de sécurité, les effets d'un séisme spécifié (voir paragraphe 13.1.2);
- d) si possible, ne comporte pas de fréquences supérieures à 35 Hz mais, s'il en existe dans l'onde d'essai, qu'elles ne soient pas prises en compte pour déterminer le spectre de réponse d'essai.

13.1.2 Reproduction des effets d'un séisme avec marge de sécurité

L'évaluation du risque sismique de chaque site doit comprendre des antécédents permettant d'estimer le nombre de séismes de niveau S1 et de niveau S2 que pourra subir le matériel pendant la durée de vie de l'installation. En général, sauf justification précise, on considère cinq séismes de niveau S1 et un de niveau S2. Toutefois, pour avoir une marge de sécurité plus grande, on peut appliquer au matériel deux essais correspondant au séisme de niveau S2.

Les essais de niveau S1 seront suivis par au moins un essai de niveau S2. On demande que la durée de chaque séisme soit au moins égale à celle de la partie du mouvement fort des accélérogrammes utilisés pour définir le spectre de réponse spécifié (voir paragraphe 14.5). Par ailleurs, il est bon qu'elle permette de reproduire au moins le même niveau de fatigue que celui qui est susceptible d'être subi par le matériel pendant les séismes de niveau S1 et de niveau S2.

Ainsi, il convient que chaque essai reproduise, avec la même marge de sécurité, les effets d'un séisme. La résistance à la fatigue décroît quand le niveau de contrainte augmente, et en conséquence, on peut éventuellement remplacer les essais de niveau S1 par un nombre d'essais de niveau S2 produisant le même vieillissement, pourvu que la justification de ce choix soit donnée.

- a) no interacting resonance frequencies (this is considered to be the case when they are more than 1/4 octave apart);
- b) resonance frequencies of the equipment are located outside the strong part of the required response spectrum;
- c) special cases, if justified.

13 Test waves

13.1 General

13.1.1 Specification of test waves

The test wave used should:

- a) produce a test response spectrum larger than or equal to the required response spectrum;
- b) possess a maximum peak acceleration value at least equal to that of the zero period acceleration;
- c) reproduce with a safety margin the effects of the required earthquake (see Sub-clause 13.1.2);
- d) ideally not include any frequency greater than 35 Hz, but if such frequencies exist in the testing wave they should not be taken into account in evaluating the test response spectrum.

13.1.2 Simulation with a safety margin of the effects of an earthquake

In evaluating the seismic risk of a particular site, it is necessary to make an allowance for the estimated number of S1 and S2-earthquakes to which the equipment might be subjected during the lifetime of the installation. Five S1-earthquakes and one S2-earthquake are generally assumed unless a different number can be justified. However, to achieve a greater safety margin, the equipment may be subjected to two tests corresponding to the level of the S2-earthquake.

The S1 tests should be followed by at least one S2 test. The duration of each should be at least equal to the strong part of the time-history used to define the required response spectrum (see Sub-clause 14.5). Alternatively the tests should simulate at least the same level of fatigue as that to which the equipment is liable to be subjected during both the S1 and S2-earthquakes.

Thus, each test should simulate with the same safety margin the effects of an earthquake. Resistance to fatigue decreases as the stress level increases and, therefore, the S1 test may be replaced by a number of S2 tests producing the same total ageing, providing the number chosen is justified.

La durée et le nombre d'essais de niveau S1 ou de niveau S2 appliqués au matériel peuvent dépasser les valeurs spécifiées lors des vérifications fonctionnelles prescrites par la spécification particulière. Dans ce cas, on applique autant d'ondes d'essai que nécessaire mais la probabilité d'une défaillance due à la fatigue est accrue.

Les ondes d'essais simulant des séismes de niveau S1 ou des séismes de niveau S2 peuvent être appliquées sous forme de "séquences d'ondes" (voir figure 4). Dans ce cas, les ondes doivent être suffisamment espacées entre elles (d'au moins 2 s) pour éviter la superposition des effets sur le matériel.

13.2 Essais par ondes à fréquences multiples

Les essais par ondes à fréquences multiples seront réalisés en observant les règles énoncées dans le paragraphe 13.1. En particulier, on contrôle par une analyse fine que le spectre de réponse d'essai enveloppe bien le spectre de réponse spécifié. Les valeurs d'analyse fine recommandées sont d'au moins un sixième d'octave pour un taux d'amortissement de 2% à 10% et d'un douzième d'octave pour un taux d'amortissement de 2% ou moins. Si le taux d'amortissement est supérieur ou égal à 10%, une analyse fine en un tiers d'octave est suffisante.

13.2.1 Essai par accélérogramme

L'essai est effectué en appliquant au matériel des accélérogrammes (voir paragraphe 3.33) pour simuler l'excitation probable du matériel. Il convient de vérifier que le spectre de réponse d'essai est égal ou supérieur au spectre de réponse spécifié (voir figure 2c).

Il convient que la durée de l'onde d'essai soit au moins égale à la durée de la partie forte du séisme. En général, celle-ci est comprise entre 5 s et 10 s.

13.2.2 Essai par accélérogramme avec superposition de sinusoïdes modulées

Pour respecter le spectre de réponse d'essai sans avoir à utiliser un niveau d'accélération maximal excessif, on peut ajouter à l'accélérogramme d'autres ondes, telles que des sinusoïdes modulées. Il est alors admis de modifier le signal d'excitation de façon à respecter le spectre de réponse spécifié sans qu'il soit nécessaire d'appliquer un niveau d'entrée sensiblement supérieur à l'accélération à période nulle du spectre de réponse spécifié.

Il convient de superposer une ou plusieurs sinusoïdes modulées à l'excitation pour obtenir un spectre de réponse d'essai égal ou supérieur à la totalité du spectre de réponse d'essai dans une gamme de fréquences comprenant les fréquences de résonance du matériel jusqu'à 35 Hz (voir figures 2a, 2b, 2c, 2d et 3).

Si la largeur de la bande du spectre nécessite des sinusoïdes modulées de plus d'une fréquence, celles-ci seront amorcées simultanément. Cependant, si la largeur de la partie forte du spectre de réponse spécifié a été élargie pour tenir compte du risque d'erreur de la fréquence d'analyse du bâtiment (ou de l'orientation du matériel, etc.), on peut les appliquer successivement ou utiliser les techniques du paragraphe 13.3.2. La technique utilisée sera à justifier.

The duration and number of S1 and S2 tests applied to the equipment may exceed the required values in order to provide for the functional checks prescribed by the relevant specification. In this case, as many test waves as necessary are applied but the probability of fatigue failure is increased.

The test waves simulating S1 or S2-earthquakes may be applied as "wave sequences" (see Figure 4). In this case, the waves must be sufficiently spaced (by at least 2 s) to avoid their effects being superimposed on the equipment.

13.2 *Multifrequency wave testing*

Multifrequency wave testing should be carried out in accordance with the recommendations indicated in Sub-clause 13.1. In particular, a check should be made using an appropriate analysis to demonstrate that the test response spectrum envelops the required response spectrum. The recommended values for the appropriate analysis are at least 1/6 octave for damping between 2% and 10% and 1/12 octave for 2% or less. If the damping is greater than or equal to 10%, an appropriate analysis in 1/3 octave is sufficient.

13.2.1 *Time-history test*

The test is performed by applying to the equipment a time-history (see Sub-clause 3.33) to simulate the probable excitation of the equipment. It should be demonstrated that the test response spectrum is equal to or greater than the required response spectrum (see Figure 2c).

The duration of the test wave should be at least equal to the duration of the strong part of an earthquake. This is generally taken to be between 5 s and 10 s.

13.2.2 *Time-history, with superimposed sine beat, test*

To develop a suitable test response spectrum without using an unreasonably high peak value of the input, other waves, such as sine beats, may be added to the time-history. It is acceptable, therefore, to adjust the input to meet the required response spectrum without using an input level substantially greater than the zero period acceleration of the required response spectrum.

One or more sine beats should be superimposed on the input to provide a test response spectrum larger than or equal to the entire required response spectrum over a frequency range which includes the resonance frequencies of the equipment up to 35 Hz (see Figures 2a, 2b, 2c, 2d and 3).

If the bandwidth of the spectrum requires sine beats of more than one frequency, they are initiated simultaneously. However, if the bandwidth of the required response spectrum has been artificially broadened to account for building response uncertainty, or for the direction of the equipment, etc., the sine beats may be applied in sequence or the techniques of Sub-clause 13.3.2 applied. These variations in testing techniques should be justified.

13.3 Essais par ondes à fréquence unique

L'onde à fréquence unique est appliquée à une fréquence et avec une amplitude telle que le spectre de réponse d'essai soit supérieur ou égal à la partie maximale du spectre de réponse fondamental (voir figure 1). Si le spectre de réponse d'essai ne couvre pas la bande passante à -3 dB, une justification sera donnée.

En général, les spectres de réponse fondamentaux peuvent être considérés comme identiques entre eux à une translation en fréquence ou à une homothétie en amplitude près, du fait des différences des modules de sol, des bâtiments, ou de la cote d'implantation du matériel. Dans ce cas, sauf justification (voir paragraphe 12.2), on appliquera des ondes à fréquence unique aux fréquences critiques du matériel situées dans la partie forte du spectre et aux fréquences prédéterminées. Ces fréquences d'essai seront appliquées dans la gamme de fréquences spécifiée comme indiqué au paragraphe 5.3 et espacées d'un demi-octave au plus (voir figure 2d). Cela permet de se prémunir contre toute fréquence critique qui n'aurait pas été mise en évidence lors de l'essai de recherche et d'étude de fréquences critiques réalisées, généralement, lors de l'essai par balayage sinusoïdal. S'il y a lieu, on effectuera des essais aux fréquences latérales situées de part et d'autre de la résonance d'ensemble du matériel.

Le niveau d'entrée à appliquer à la table vibrante est calculé en tenant compte de l'amplification de l'onde d'essai et de la courbe du spectre de réponse fondamental au taux d'amortissement de 5%. Il est recommandé que le niveau maximal de cette onde soit au moins égal à l'accélération à période nulle du spectre de réponse spécifié. Lorsque le matériel présente des fréquences critiques avec un taux d'amortissement inférieur à 2% ou supérieur à 10% dans la partie forte du spectre, on détermine le niveau d'entrée en se référant à la courbe du spectre de réponse fondamental au taux d'amortissement correspondant à celui du matériel. Après l'exécution de chacun des essais selon chaque axe du matériel, il peut arriver que l'on constate une modification de ses caractéristiques mécaniques. Dans ce cas, on s'assure par une recherche et une étude des fréquences critiques que les nouvelles fréquences relevées sont restées à l'intérieur de l'intervalle de fréquences défini par les fréquences latérales initiales.

13.3.1 Essai par balayage sinusoïdal

L'essai par balayage sinusoïdal en fréquence est effectué à l'aide d'un balayage logarithmique continu de faible niveau, à une vitesse faible mais ne descendant pas au-dessous d'un octave/min dans une gamme de fréquences égale ou supérieure à celle pour laquelle le matériel doit être qualifié.

13.3.2 Essai par sinusoïde modulée

On ajuste le nombre de cycles par sinusoïde modulée de façon que le spectre de réponse d'essai soit supérieur ou égal à la bande passante à -3 dB du spectre de réponse fondamental (voir figure 1). La valeur de crête de l'accélération de la sinusoïde modulée doit être au moins égale à celle de l'accélération à période nulle du spectre de réponse spécifié (sauf aux basses fréquences, lorsque le spectre de réponse spécifié devient inférieur à l'accélération à période nulle) (voir figure 2a).

13.3 *Single frequency testing*

The single frequency wave is applied at a frequency and with an amplitude such that the test response spectrum is larger than or equal to the maximum part of the basic response spectrum (see Figure 1). If the test response spectrum does not cover the -3 dB bandpass, justification is required.

In general, basic response spectra which may have similar amplitudes will show different frequencies depending upon the differences in soil modules, building height, or position of the equipment. In this case, single frequency waves are applied at the critical frequencies of the equipment which occur in the strong part of the spectrum and at any specified predetermined frequencies unless justified (see Sub-clause 12.2). The test frequencies are applied over the specified frequency range as stated in Sub-clause 5.3 in steps not greater than 1/2 octave (see Figure 2d). This guards against the possibility that some critical frequencies are undetected during the vibration response investigation generally made by a sine-sweep test. If applicable, tests should be carried out at the lateral frequencies as well as at the overall resonance frequency of the equipment.

The input level to be applied to the vibration table is calculated taking into account the amplification of the test wave and the plot of the basic response spectrum at a damping ratio of 5%. The maximum level of this wave should be at least equal to the zero period acceleration of the required response spectrum. When the equipment possesses critical frequencies in the strong part of the spectrum with a damping ratio lower than 2% or higher than 10%, then the input level is determined by reference to the plot of the basic response spectrum at a damping ratio corresponding to that of the equipment. After carrying out all the tests along each axis of the equipment, a modification of its mechanical characteristics may be noticed. In this case, it should be demonstrated that the new critical frequencies, recorded by means of a repeated vibration response investigation test, remain within the frequency interval defined by the initial lateral frequencies.

13.3.1 *Sine-sweep test*

The sine-sweep test is performed by means of a continuous, low level logarithmic frequency sweep cycle at a rate not exceeding 1 octave/min over a frequency range equal to or larger than that for which the equipment is to be qualified.

13.3.2 *Sine-beat test*

The number of cycles per beat is adjusted so that the test response spectrum envelops the -3 dB bandpass of the basic response spectrum (see Figure 1). The peak value of acceleration of the beat should be at least equal to that of the zero period acceleration of the required response spectrum (except at low frequencies when the required response spectrum becomes lower than the zero period acceleration) (see Figure 2a).

Pour une valeur de crête donnée de l'amplitude d'accélération de la sinusoïde modulée, la marge de sécurité de l'essai croît avec le nombre de cycles. Pour que le spectre de réponse d'essai soit supérieur ou égal à la bande passante à 3 dB du spectre de réponse fondamental il faut, en général, utiliser des sinusoïdes modulées comportant de 5 à 10 cycles. Il convient que l'enveloppe des spectres de réponse d'essai de ces sinusoïdes modulées couvre le spectre de réponse spécifié.

Il convient d'appliquer une séquence d'ondes de cinq sinusoïdes modulées (ou sinusoïdes continues) dans la gamme de fréquences spécifiée comme indiqué au paragraphe 5.3, avec des fréquences d'essai espacées de moins d'un demi-octave. Il est recommandé que l'amplitude d'essai ait un niveau au moins égal à l'accélération à période nulle correspondant au séisme de niveau S1, suivi d'une sinusoïde modulée définie comme ci-dessus avec un niveau d'accélération à période nulle correspondant au séisme de niveau S2. Il est recommandé que l'enveloppe des spectres de réponse d'essai de ces sinusoïdes modulées couvre le spectre de réponse spécifié.

13.3.3 Essai par sinusoïde continue

A chaque fréquence d'essai on applique au matériel un mouvement sinusoïdal continu de façon que le spectre de réponse d'essai enveloppe le spectre de réponse spécifié au moins autour de la gamme de fréquences considérée (bande passante à -3 dB du spectre fondamental) (voir figure 1) et d'un niveau au moins égal à l'accélération à période nulle du spectre de réponse spécifié. Il est recommandé que la durée de l'excitation soit suffisante pour comporter au moins cinq cycles à amplitude maximale correspondant à l'accélération à période nulle (voir figure 9).

13.4 Autres ondes d'essai

On peut utiliser d'autres ondes d'essai à condition qu'elles satisfassent aux critères énoncés au paragraphe 13.1.

14 Conditions d'essai

14.1 Introduction

Les procédures présentées dans cet article sont recommandées pour les essais des matériels devant résister aux séismes. Les essais sismiques sont réalisés en soumettant le matériel à un mouvement vibratoire qui reproduit, avec une marge de sécurité, celui défini, soit par un spectre de réponse spécifié, soit par un accélérogramme. Ce guide n'a pas pour but de fournir des bases théoriques pour les procédures d'essai mais celles-ci peuvent être obtenues en se référant à la littérature traitant de la dynamique des essais.

Quand on cherche à définir des essais permettant de qualifier les matériels, un problème délicat se présente pour le choix de l'onde d'essai qui convient, comme décrit à l'article 12. De nombreux facteurs sont à envisager tels que le type de matériel, sa position, la nature du séisme attendu, etc. Un autre point important consiste à se demander si le matériel est destiné ou non à une application déterminée. Dans le premier cas, il est probable que le mouvement sismique pourra être bien spécifié et l'essai sera choisi pour satisfaire à cette condition tandis que, dans le second cas, l'essai sera conçu pour qualifier le matériel en vue d'une application future pour laquelle un spectre de réponse spécifié plus général est à définir.

For a given peak value of sine-beat acceleration, the safety margin of the test increases with the number of cycles. For the test response spectrum to be larger than or equal to the -3 dB bandpass of the basic response spectrum, it is usual to use between 5 and 10 cycles per sine beat. The envelope of the test response spectra of these sine beats should include the required response spectrum.

A sequence of five sine beats (or continuous sine) should be applied at test frequencies over the specified frequency range as stated in Sub-clause 5.3 and in steps not greater than 1/2 octave. The test amplitude should correspond to the zero period acceleration level corresponding to the S1-earthquake followed by one sine beat defined as above with the zero period acceleration level corresponding to the S2-earthquake. The envelope of the test response spectra of these sine beats should include the required response spectrum.

13.3.3 *Continuous sine test*

For each test frequency a continuous sine motion is applied to the equipment so that the test response spectrum envelops the required response spectrum at least in a range around the considered frequency (-3 dB bandpass of basic response spectrum) (see Figure 1) and with a level at least equal to the zero period acceleration of the required response spectrum. The input signal should be of sufficient duration for at least five cycles to be at the maximum amplitude corresponding to the zero period acceleration (see Figure 9).

13.4 *Other test wave forms*

Other wave forms can be used if justified in accordance with the recommendations of Sub-clause 13.1.

14 *Testing conditions*

14.1 *Introduction*

The procedures indicated in this clause are recommended for use in the testing of equipments designed to withstand earthquakes. The seismic tests are performed by subjecting the equipments to a vibratory motion simulating the seismic motion with a safety margin defined either by a required response spectrum or by a time-history. The theoretical basis for this test procedure is considered to be outside the scope of this guide but can be readily obtained from relevant technical literature.

A difficult problem in attempting to define tests for qualifying equipments is in the selection of suitable test waves, as described in Clause 12. Numerous factors should be taken into account, for example the type of equipment, its position and the nature of the earthquake expected. A further point is the need to determine whether the equipment is to be used for a specific application or for a more general purpose. In the first case, the seismic motion will probably be closely specified and the testing is then selected so as to comply with this condition, whereas in the latter case the test should be designed to qualify the equipment for a future application for which a more general required response spectrum is to be specified.

Lorsque l'on utilise un spectre de réponse spécifié, celui-ci est généralement élargi dans sa partie forte pour couvrir l'étude des facteurs inconnus ou variables comme les fréquences naturelles de la structure du bâtiment, qui ne sont pas connues avec précision, et l'orientation du matériel dans le bâtiment. On l'appelle spectre de réponse spécifié élargi (voir figure 1). Il convient que le degré d'élargissement du spectre utilisé soit prescrit par la spécification particulière.

Un autre facteur à prendre en considération est la nature multidirectionnelle du séisme. Il est conseillé de tenir compte de cet effet lors de l'essai du matériel. Cela est décrit dans l'article 15.

Un autre problème délicat se pose lorsque l'on aborde la définition des essais d'éléments individuels (relais, moteurs, capteurs, etc.) ou d'assemblages complexes tels que les armoires de commande. Dans le premier cas, il est raisonnable de s'assurer que l'élément peut être soumis aux essais sismiques pendant que les conditions de fonctionnement sont appliquées ou simulées et que l'on contrôle ses performances. Dans le deuxième cas, cela peut parfois devenir impraticable lorsque le matériel est complexe et peut contenir plusieurs éléments qui font partie de plusieurs systèmes reliés à d'autres matériels localisés en des points multiples de la structure.

S'il s'avère impossible d'essayer de tels matériels en fonctionnement, les variantes ci-dessous sont recommandées. Dans une première méthode, chaque élément est essayé séparément avec simulation des conditions de service afin de spécifier les niveaux d'accélération maximale pour l'essai. Le matériel avec ses éléments installés mais hors service, ou sans ses éléments, mais avec des dispositifs simulant leurs propriétés dynamiques, est alors soumis à un essai de vibrations pour vérifier si les spectres d'accélération au point d'implantation de l'élément sont inférieurs ou égaux à ceux pour lesquels l'élément a été qualifié.

Une deuxième méthode consiste à appliquer l'excitation appropriée au spectre de réponse spécifié au matériel avec ses éléments hors fonctionnement ou en simulant leurs propriétés dynamiques. Les niveaux d'accélération aux points d'implantation des éléments sont mesurés et utilisés comme paramètres d'entrée à spécifier pour essayer séparément les éléments en service.

Le but de l'installation des éléments hors service est de s'assurer que le matériel possède bien les mêmes caractéristiques dynamiques que celles qu'il aura en service normal. Par exemple, quand cela est possible, les armoires de commande peuvent être traitées comme des assemblages et les éléments essayés individuellement.

14.2 Recherche et étude des fréquences critiques

L'essai de recherche et d'étude des fréquences critiques fournit des données sur les fréquences critiques. Il peut également être utilisé pour fournir des informations sur le taux d'amortissement et pour permettre le choix des essais de type mono ou polyaxial.

In writing the relevant specification a required response spectrum is normally generated and it is usually broadened in the maximum amplification area to cover the effects of unknown or variable factors such as the natural frequencies of the building structure which are not known with accuracy and the position of the equipment inside the building. This is called a broad band required response spectrum (see Figure 1). The extent to which the spectrum used can be broadened is to be prescribed by the relevant specification.

Another factor to be taken into account is the multi-directional nature of the earthquake. The equipment is tested so as to take these effects into account. This is described in Clause 15.

Difficulty arises when attempting to define the testing of individual components (relays, motors, sensors, etc.) or complex assemblies such as control cabinets. In the first case, it is reasonable to ensure that the component is subjected to the actual seismic tests whilst its operating conditions are applied or simulated and has its performance checked during the testing. This might, however, prove to be impractical in the second case, that of complex equipments, which may include many components forming parts of several systems and being connected to other equipments located at numerous positions within the structure.

The following alternatives are acceptable if it proves impossible to test such equipments in operation. In the first method each component is tested separately, simulating its service conditions so as to establish the maximum level of acceleration for which the equipment shows an acceptable performance. Then the equipment, with its components installed but out of service, or without its components and with devices simulating their dynamic properties, is subjected to a vibration test to demonstrate that the acceleration spectrum at the location of each component is equal to or less than the level for which that individual component has been qualified.

A second method consists in applying the input vibration appropriate to the required response spectrum to the equipment of which the components are inoperative or have their dynamic properties simulated. The acceleration levels at the component locations are then measured and used as the input acceleration to qualify separately the components in service.

The purpose of installing inoperative components is to ensure that the equipment possesses the same dynamic characteristics as in normal operation. For instance, whenever possible, control cabinets should be dealt with as complete units and their components tested individually.

14.2 *Vibration response investigation*

The vibration response investigation supplies data on critical test frequencies. It can also be used to supply data both on the damping ratio of the equipment and to enable a choice of single or multi-axis testing to be made.

Il est généralement effectué en utilisant une excitation sinusoïdale suivant un seul axe et avec un seul cycle de balayage logarithmique dans la gamme de fréquences de 1 Hz à 35 Hz aller et retour, à une vitesse de balayage suffisamment faible pour déterminer les fréquences critiques sans dépasser un octave/min.

Il est recommandé que l'effet de l'amplitude de la vibration appliquée au cours de l'essai de recherche et d'étude des fréquences critiques ne soit pas aussi important que celui produit par l'essai lui-même. Cependant, il est conseillé que son niveau soit suffisamment élevé pour tenir compte des effets des non-linéarités dont dépendent les fréquences critiques et le taux d'amortissement avec l'amplitude de vibration.

NOTE - La valeur de 2 m/s^2 est souvent utilisée. En cas de résonance aiguë, cette valeur peut être réduite à 1 m/s^2 ou moins.

Il convient de noter que les essais de recherche et d'étude des fréquences critiques peuvent ne pas mettre en évidence toutes les fréquences critiques à cause de la complexité physique ou de l'accès restreint aux parties critiques (relais scellés, etc.). On notera également qu'en raison de non-linéarités, la réponse à la résonance aux niveaux élevés peut être différente en fréquence et en amortissement de celle relevée aux niveaux faibles et, qu'en outre, la résonance peut ne pas être visible aux faibles niveaux d'excitation. Le résultat d'une recherche à faible niveau risque donc de ne pas renseigner valablement sur le comportement dynamique du matériel. En conséquence, si aucune fréquence critique n'a été mise en évidence, il faut, néanmoins, effectuer l'essai selon les recommandations du paragraphe 14.3.1.

14.3 Méthodes d'essai

14.3.1 Méthodes d'essai pour les matériels ne présentant pas de fréquence critique

Comme il a été souligné au paragraphe 14.2, bien que l'essai de recherche et d'étude des fréquences critiques n'ait décelé aucune fréquence critique, cela ne garantit pas que celles-ci n'apparaîtront pas pour des niveaux d'excitation plus élevés. Ceci peut être attribué:

- a) aux non-linéarités des structures (en particulier à la génération de chocs lorsque l'on dépasse certains niveaux);
- b) à l'absence de mesure en un point donné, lors de l'essai. Par exemple, il n'est pas possible, d'une manière simple, de mesurer la vibration de contacts de relais non alimentés. Cependant, ces contacts peuvent être soumis à des micro-fermetures ou micro-ouvertures, gênantes pour le bon fonctionnement du matériel, qui apparaissent lorsque le niveau vibratoire dépasse un certain seuil;
- c) au niveau d'excitation trop faible ne mettant pas en évidence certaines fréquences critiques.

Après l'essai de recherche et d'étude des fréquences critiques, exécuté comme indiqué au paragraphe 14.2 et montrant qu'il n'y a pas de fréquence critique décelable inférieure à 35 Hz, le matériel est essayé selon les spécifications de l'article 15 et l'une des options suivantes est choisie:

It is usually carried out using single-axis sinusoidal excitation and is run with a single logarithmic sweep cycle over a frequency range between 1 Hz and 35 Hz up and down at a sweep rate sufficiently low to determine the critical frequencies but not exceeding 1 octave/min.

The amplitude of vibration applied in the course of the vibration response investigation should not be so large as to produce an effect comparable to the effect of the test itself. However, the level should be sufficiently high to take into account the non-linearity effects which cause the critical frequencies and the damping to be dependent upon the amplitude of vibration.

NOTE - An amplitude of vibration of 2 m/s^2 is often used. This value may be reduced to 1 m/s^2 or less in the case of sharp resonances.

It should be noted that due to physical complexity or restricted access to critical parts (for example sealed relays), these vibration response investigation tests may not detect all the critical frequencies. Also, because of non-linearities, resonance responses at high levels may differ in frequency and damping from those recorded at lower levels and some resonances may not be visible at low excitation. The result of a low-level exploratory test may, therefore, not always provide complete information regarding the dynamic behaviour of an equipment. For these reasons, if no critical frequency has been noted, the test is performed according to the recommendations of Sub-clause 14.3.1.

14.3 Test methods

14.3.1 Test method for equipments without critical frequencies

As outlined in Sub-clause 14.2, even if the vibration response investigation test detects no critical frequencies, this does not guarantee that they will not occur at higher excitation levels. This may result from the following:

- a) non-linearity of the structures (especially the generation of shocks when certain levels are exceeded);
- b) the absence of measurements in a critical position during the test. For instance, it is not possible to measure in a simple manner the vibrations of electrical contacts in unexcited relays. However, these contacts may be subjected to micro-closings or micro-openings detrimental to good operation of the equipment when the vibratory levels reach a certain threshold;
- c) the excitation level may be too weak to allow certain critical frequencies to be detectable.

After carrying out the vibration response investigation as indicated in Sub-clause 14.2 and showing that there is no detectable critical frequency lower than 35 Hz, the equipment is tested in accordance with Clause 15 and one of the following options chosen:

d) un cycle de balayage logarithmique en fréquence à une vitesse comprise entre 1 et 2 octaves/min (un cycle de 1 Hz - 35 Hz - 1 Hz) avec le niveau de l'accélération à période nulle requis correspondant respectivement au séisme de niveau S1 et au séisme de niveau S2;

e) une séquence de cinq sinusoïdes modulées (ou sinusoïdes continues), appliquée aux fréquences d'essai dans la gamme spécifiée comme indiqué au paragraphe 5.3, et à des pas de fréquence ne dépassant pas un demi-octave. Il est recommandé que l'amplitude d'essai corresponde à l'accélération à période nulle du séisme de niveau S1, suivi d'une seule sinusoïde modulée définie comme ci-dessus, ayant une amplitude égale à celle de l'accélération à période nulle correspondant au séisme de niveau S2;

f) d'autres formes d'ondes (accélérogrammes, par exemple) produisant un spectre de réponse d'essai au moins égal au spectre de réponse spécifié correspondant au séisme de niveau S1 ou au séisme de niveau S2.

14.3.2 Méthodes d'essai pour les matériels ayant des fréquences critiques

Les matériels présentant des fréquences critiques doivent être essayés conformément aux articles 12 et 15.

14.4 Choix du taux d'amortissement

Les spectres de réponse spécifiés sont normalement donnés pour plusieurs taux d'amortissement. Il est normal de choisir une seule courbe ayant un taux d'amortissement représentatif de l'un des principaux modes de vibration du matériel en essai, bien que la plupart des constituants du matériel présentent plusieurs modes de vibrations, ayant chacun des taux d'amortissement différents. En règle générale, un spectre de réponse spécifié avec un taux d'amortissement de 5% est considéré comme approprié pour un cas de contraintes proche de l'aptitude limite de la plupart des matériaux.

Il convient de contrôler que le spectre de réponse d'essai correspondant couvre le spectre de réponse spécifié. Si nécessaire, on peut se référer soit à un spectre de réponse spécifié ayant un taux d'amortissement correspondant à celui mesuré sur le matériel, soit à une valeur choisie dans le tableau 7.

Tableau 7 - Valeurs types de taux d'amortissement
(en pourcentage de la valeur critique)

Articles	Contraintes correspondant à		
	1/4 de l'aptitude limite	1/2 de l'aptitude limite ¹⁾	1'aptitude limite ²⁾
Structures soudées en acier	0,5 - 1	2	4
Structures boulonnées en acier	0,5 - 1	4	7
Structures en béton armé	0,5 - 1	4	7
Racks, armoires	0,5 - 1	2	5
Assemblages	0,5 - 1	2	7
Grosses tuyauteries d'un diamètre > 300 mm	0,5 - 1	2	3
Petites tuyauteries d'un diamètre ≤ 300 mm	0,5 - 1	1	2
1) Souvent utilisé pour le séisme de niveau S1. 2) Souvent utilisé pour le séisme de niveau S2.			

d) a logarithmic sweep cycle at between 1 and 2 octaves/min (one cycle of 1 Hz to 35 Hz to 1 Hz) with the required zero period acceleration levels corresponding respectively to S1 and S2-earthquakes;

e) a sequence of five sine beats (or continuous sine) should be applied at test frequencies over the specified frequency range as stated in Sub-clause 5.3 and in steps not greater than 1/2 octave. The test amplitude should correspond to the zero period acceleration level of the S1-earthquake followed by one sine beat defined as above with the zero period acceleration level corresponding to the S2-earthquake;

f) other waveforms (as, for example, time-histories) producing a test response spectrum at least equal to the required response spectrum corresponding either to S1 or S2-earthquakes.

14.3.2 Test method for equipments with critical frequencies

Equipments that have been found to have critical frequencies are tested in accordance with Clauses 12 and 15.

14.4 Selection of damping

Required response spectra are usually specified for various damping ratios. It is normal to select a single curve with a damping value representative of one of the main items of equipment being investigated, although most equipments possess several vibration modes, each with a different damping ratio. As a general rule a required response spectrum with a damping of 5% is considered to be appropriate for stresses near to the yield point of most materials.

A check should be made that the corresponding test response spectrum exceeds the required response spectrum. If necessary, reference can be made to either a required response spectrum possessing a damping level corresponding to that measured on the equipment or to a value selected from table 7.

Table 7 - Typical damping ratios (percent of critical)

Item	Stresses corresponding to		
	1/4 yield	1/2 yield ¹⁾	At yield ²⁾
Welded steel structures	0.5 - 1	2	4
Bolted steel structures	0.5 - 1	4	7
Reinforced concrete structures	0.5 - 1	4	7
Cabinets and panels	0.5 - 1	2	5
Assemblies	0.5 - 1	2	7
Large equipments, steel pipes > 300 mm dia.	0.5 - 1	2	3
Small pipes ≤ 300 mm dia.	0.5 - 1	1	2
¹⁾ Often used for S1-earthquakes. ²⁾ Often used for S2-earthquakes.			

La courbe des taux d'amortissement de référence du spectre de réponse spécifié doit être:

- 2%, si l'amortissement du matériel est inférieur ou égal à 2%;
- 5%, si l'amortissement du matériel est compris entre 2% et 10%;
- 10%, si l'amortissement du matériel est supérieur ou égal à 10%.

14.5 Essais aux séismes de niveau S1 et S2

Les définitions des séismes de niveaux S1 et S2 sont actuellement couramment utilisées dans le domaine nucléaire mais, pour d'autres types d'application, on peut concevoir des niveaux de sévérité équivalents à ceux-ci.

Lorsque les spécifications d'essai prévoient la tenue à un (ou plusieurs) séisme(s) de niveaux S1 et S2, le nombre d'essais correspondant au niveau S1 sera à justifier pour chaque site. En général, en l'absence d'informations précises, on prend en compte cinq séismes de niveau S1 et un séisme de niveau S2.

L'objet de ces essais de niveau S1 est de démontrer que le séisme de faible intensité, dont la probabilité d'apparition est la plus grande, n'affecte pas défavorablement la sécurité fonctionnelle du matériel. De plus, il ne conduit pas à un niveau de fatigue ou à un vieillissement dont l'existence pourrait entraîner, si elle n'était pas décelée, une défaillance pendant un séisme ultérieur de niveau S2.

Tous les essais indiqués dans les articles suivants peuvent être utilisés pour la détermination des performances du matériel pour un séisme de niveau S1. Quand le nombre de vérifications des états de bon fonctionnement est élevé, on peut être conduit à simuler plus de séismes de niveau S2 que le nombre requis pour permettre de vérifier le matériel, partie par partie.

Les spectres, en forme et en niveau, peuvent être différents pour les séismes de niveaux S1 et S2. Il est donc nécessaire de connaître, pour chaque axe, les spectres correspondant à chacun de ces niveaux. Fréquemment, on considère que le spectre correspondant au séisme de niveau S2 a la même forme que celui du séisme de niveau S1, mais avec une amplitude double.

14.6 Essai pour une application spécifique

Cet essai a pour but de démontrer qu'un matériel, destiné à un site défini et pour une application spécifique, peut résister à un séisme de niveau spécifié. Dans le cas des applications à un matériel de sécurité des centrales nucléaires, ce type d'essai est assimilé à un essai de qualification sismique.

14.7 Essai des assemblages

Il est préférable de soumettre aux essais des grands ensembles complexes en simulant les conditions de service les plus critiques. Il n'est cependant pas toujours possible de simuler simultanément l'ensemble des conditions de service, par exemple, dans le cas des tableaux de commande comprenant des pièces appartenant à des systèmes différents. On admet alors que l'épreuve soit effectuée avec le matériel "hors service" mais avec les éléments réels ou simulés installés pendant l'épreuve effectuée sur l'assemblage.

The required response spectrum reference damping curve is:

- 2%, if the equipment damping is equal to or less than 2%;
- 5%, if the equipment damping is between 2% and 10%;
- 10%, if the equipment damping is equal to or greater than 10%.

14.5 *S1-earthquake and S2-earthquake testing*

The definitions of S1 and S2 levels are currently used only in relation to nuclear power plants, but equivalent levels may be used for other types of application.

When seismic testing specifications include the effect of one (or more) S1 and S2-earthquakes, the number of tests corresponding to the S1 should be justified for each site. Five S1 tests and one S2 test are usually considered to be sufficient in the absence of more accurate information.

The purpose of multiple S1 testing is to demonstrate that low intensity earthquakes, which have the highest probability of occurring, are not detrimental to functional safety or the performance of the equipment. In addition that fatigue or ageing condition the undetected presence of which could lead to defective performance during a subsequent S2-earthquake are not generated.

All tests indicated in the following clauses may be used for the determination of the performance of an equipment for an S1-earthquake. When the required number of equipment operational checks is high, it may be necessary to carry out more S2 tests than specified to allow checking of the equipment part by part.

Both the shape and magnitude of the spectrum may differ for the two seismic levels of S1 and S2. It is therefore necessary to know the spectra corresponding to each of these seismic levels. It is commonly assumed that the S2 spectrum has the same shape as that of S1, but twice the level.

14.6 *Specific application testing*

The purpose of this type of testing is to demonstrate that a particular equipment in a defined location for a specific application can withstand a specified earthquake. In the testing of safety related equipment in nuclear power plants this type of testing is referred to as "seismic qualification".

14.7 *Assembly testing*

It is normal to test large complex assemblies by simulating the most critical in-service conditions. It is not, however, always possible to simulate all these in-service conditions at the same time, for example in the case of control panels containing items belonging to different circuits. In this situation, it is acceptable to perform "out of service" testing of the equipment with real or dummy components installed during testing of the assembly.

L'essai permet de définir la réponse vibratoire à l'emplacement de chaque élément, soit par mesure directe, soit par détermination de la fonction de transfert des points de montage de l'ensemble à ceux des éléments. Pour chaque élément simulé, il convient que cette réponse vibratoire soit inférieure à celle pour laquelle l'élément a été essayé.

Dans les deux cas, les ondes d'essai auxquelles les articles 12 et 13 se réfèrent ou d'autres ondes justifiables peuvent être utilisées. L'ensemble sera examiné après essai et l'intégrité des pièces non surveillées (câblages, par exemple) sera vérifiée.

14.8 Essai des éléments

Chaque élément est soumis à l'essai en simulant ses conditions de service. Il est fixé sur la table vibrante dans des conditions assurant la simulation dynamique du montage requis, à moins que la réponse de la structure à l'emplacement où l'élément est fixé ne soit reproduite dans l'essai comme indiqué au paragraphe 14.7. Les éléments peuvent être soumis à l'essai avec l'une des ondes d'essai décrites à l'article 12 ou par tout autre onde justifiable.

15 Essais de types monoaxial et polyaxial

Le mouvement sismique au sol se produit simultanément dans toutes les directions sous forme complexe mais ceci n'exclut pas les essais de type mono ou biaxiaux tels que décrits ci-dessous.

15.1 Essais de type monoaxial

Les essais de type monoaxial, exécutés successivement selon les trois axes préférentiels d'essai du matériel, peuvent être justifiés dans les circonstances suivantes :

- soit lorsque le matériel n'est soumis qu'à une excitation pouvant être considérée comme monoaxiale, du fait de ses conditions de montage;
- soit lorsqu'il n'existe pas de couplage (ou s'il est très faible) entre les trois axes préférentiels d'essai du matériel, pris deux à deux.

Par exemple, si un élément est normalement monté sur une structure qui amplifie le mouvement dans une seule direction, ou si la construction ou la fixation de cet élément réduit son mouvement à une direction, un essai de type monoaxial peut être suffisant. Cependant, si les essais ne sont pas effectués selon les trois axes, il y a lieu d'en donner une justification.

15.2 Essais de type biaxial

Les essais de type biaxial s'imposent lorsqu'il existe des couplages non négligeables entre deux axes préférentiels d'essai du matériel. Le choix du type d'essai dépend des axes de couplage.

15.2.1 Deux axes horizontaux

Les deux cas suivants peuvent être rencontrés, selon le type d'installation disponible.

The test should enable the vibratory response at the point of installation of each component to be determined either by direct measurement or by transfer functions. For each simulated component, this response should be lower than that for which the individual components have been qualified.

In testing assemblies, the test waves referred to in Clause 12 and 13 or any other justifiable wave, may be used. After testing, the assembly is inspected and the integrity of all the unmonitored components, such as cabling, etc., checked.

14.8 *Component testing*

Each component is subjected to testing by simulating its in-service condition. It is also installed on the vibration table under conditions which ensure dynamic simulation of the required installation, unless the response at the installation point of the component is reproduced in the assembly testing as described in Sub-clause 14.7. The component may be tested by the test waves referred in Clause 12 and 13 or any other wave.

15 *Single and multi-axis testing*

Seismic ground motion may occur simultaneously in all directions and in a random fashion, but this does not exclude single-axis or biaxial testing.

15.1 *Single-axis testing*

Single-axis testing applied successively in the three preferred testing axes of the equipment can be justified either:

- when the equipment is subjected only to single-axis excitation due to its installation conditions, or
- when there is little or no coupling between the three preferred testing axes of the equipment when taken in pairs.

For example, if a component is normally installed in an equipment which amplifies motion in a single direction, or if the construction and/or mounting of a component restricts its motion to one direction, a single-axis test may suffice. However, if testing in all three axes is not carried out, a justification should be given.

15.2 *Biaxial testing*

Biaxial testing is necessary when significant coupling exists between two of the preferred testing axes of the equipment. The choice of the type of test depends upon the plane of the coupling.

15.2.1 *Two horizontal axes*

The two following cases may be encountered, according to the type of testing installation available.

a) *Installation de type biaxial*

Dans le cas d'une installation permettant l'excitation simultanée avec des ondes indépendantes, on applique celles-ci suivant deux des axes préférentiels d'essai du matériel. Le spectre de réponse d'essai selon chaque axe sera au moins égal au spectre de réponse spécifié correspondant. Si les ondes ne sont pas indépendantes, l'essai peut être très pénalisant car les valeurs maximales d'excitation ont lieu en même temps, suivant les deux axes.

On fait alors pivoter le matériel de 90° autour d'un axe vertical et on lui applique de nouveau le même essai que ci-dessus.

b) *Installation de type monoaxial*

Dans le cas où l'on ne dispose que d'une installation de type monoaxial, on peut néanmoins solliciter simultanément le matériel suivant ses deux axes préférentiels d'essai horizontaux (en utilisant une seule onde) en procédant comme indiqué ci-dessous.

On monte d'abord le matériel de telle sorte que l'axe d'excitation soit à 45° par rapport à ces deux axes préférentiels d'essai. La vibration suivant l'axe d'excitation doit être alors égale à $\sqrt{2}$ fois celle nécessaire pour un essai de type biaxial. Cet essai est pénalisant car les valeurs maximales d'excitation suivant les axes préférentiels d'essai ont lieu simultanément.

On fait alors pivoter le matériel de 90° autour d'un axe vertical et on répète le même essai que ci-dessus.

15.2.2 *Un axe horizontal et un axe vertical*

Comme ci-dessus, au paragraphe 15.2.1, selon le type d'installation d'essai disponible, les deux cas suivants peuvent être rencontrés:

a) *Installation de type biaxial*

L'essai est effectué en appliquant une excitation indépendante et simultanée, suivant deux des axes préférentiels d'essai du matériel, en vérifiant que le spectre de réponse spécifié suivant chaque axe est respecté. Si les ondes ne sont pas indépendantes, l'essai peut être très pénalisant car les valeurs maximales de l'excitation ont lieu en même temps, suivant les deux axes.

On fait alors pivoter le matériel de 90° autour d'un axe vertical et on lui applique de nouveau le même essai que ci-dessus.

b) *Installation de type monoaxial*

Dans le cas où l'on ne dispose pas d'installation de type biaxial, on pourra utiliser une table vibrante se déplaçant sur un plan incliné, le plan de pose restant horizontal. Le matériel est monté sur la table vibrante de façon qu'un des axes préférentiels d'essai horizontaux considérés forme un angle donné par rapport à l'axe d'excitation (voir figure 8).

Le mouvement selon les deux directions n'étant pas indépendant, quatre essais avec les ondes d'essai en phase et en opposition de phase doivent être exécutés. Le matériel doit être monté sur la table vibrante comme indiqué ci-dessous:

a) *Biaxial installation*

In the case of an installation capable of simultaneous excitation by independent waves, the vibration is applied along two of the preferred testing axes of the equipment, the test response spectrum along each axis being at least equal to the corresponding required response spectrum. If the waves are not independent, the test may impose a penalty since the excitation peaks are occurring simultaneously along both axes.

The equipment is then rotated through 90° around the vertical axis and the above test repeated.

b) *Single-axis installation*

In the case when only a single-axis installation is available, the equipment may still be excited simultaneously along the two preferred testing axes in the horizontal plane using a single wave as follows.

The equipment is mounted so that the excitation axis is at a 45° angle with respect to both these testing axes. The vibration along the excitation axis is then increased to $\sqrt{2}$ times that used in biaxial testing. This imposes a penalty because the vibration peaks along the preferred testing axes occur simultaneously.

The equipment is then rotated through 90° around the vertical axis and the above test repeated.

15.2.2 *One horizontal axis and one vertical axis*

As in Sub-clause 15.2.1, two cases may be encountered according to the type of testing installation available:

a) *Biaxial installation*

The test is carried out by applying separate and independent simultaneous excitation waves along two of the preferred testing axes of the equipment, checking that the required response spectrum along each axis is achieved. If the waves are not independent, the test may be very conservative since the excitation peaks are occurring simultaneously along both axes.

The equipment is then rotated through 90° around the vertical axis and the above test repeated.

b) *Single-axis installation*

If a biaxial installation is not available, a table moving along an inclined plane is acceptable, the installation plane remaining horizontal. The equipment is mounted on the vibration table so that one of the two preferred testing axes in the horizontal plane is at a specified angle to the direction of excitation (see Figure 8).

Since in this case the motions along the two directions are not independent, four tests are then carried out in order to test both in and out-of-phase effects. The equipment is installed on the vibration table as indicated below:

- position 1: matériel dans sa position initiale
- position 2: rotation du matériel de 180° autour d'un axe vertical
- position 3: rotation du matériel de 90°, par rapport à la position 1, autour d'un axe vertical
- position 4: rotation du matériel de 180°, par rapport à la position 3, autour d'un axe vertical.

Avec ce type d'essai, on obtient, suivant les trois axes préférentiels d'essai du matériel, des spectres de même forme mais dont les niveaux vertical et horizontal sont déterminés par l'inclinaison du mouvement de la table vibrante. Si l'inclinaison du mouvement de la table vibrante est réglable, on l'ajuste pour obtenir le rapport souhaité entre les niveaux d'accélération à période nulle (APN) vertical et horizontal. L'excitation est définie comme un niveau d'accélération à période nulle égal à

$$\text{excitation} = \left(\text{APN}_{\text{horizontal}}^2 + \text{APN}_{\text{vertical}}^2 \right)^{1/2}$$

et tel que le spectre de réponse d'essai projeté suivant chacun des deux axes préférentiels d'essai du matériel soit au moins égal au spectre de réponse spécifié de l'axe correspondant. Cet essai peut être très pénalisant car les valeurs maximales d'excitation ont lieu en même temps, suivant les deux axes.

Lorsque l'inclinaison nécessaire du mouvement de la table vibrante ne peut être obtenue, on augmente le niveau d'entrée jusqu'à satisfaire le niveau le plus élevé de l'accélération à période nulle des spectres de réponse spécifiés.

15.3 Essais de type triaxial

Il convient d'effectuer les essais de type triaxial lorsqu'il existe simultanément des couplages non négligeables entre les trois axes préférentiels d'essai du matériel.

15.3.1 Installation de type triaxial

On effectue un essai avec des excitations indépendantes et simultanées suivant les trois axes préférentiels d'essai du matériel en respectant les spectres de réponse spécifiés selon chaque axe.

15.3.2 Installation de type biaxial (un axe horizontal, un axe vertical)

Les excitations, verticale et horizontale, sont indépendantes. On peut utiliser une table vibrante de type biaxial en excitant horizontalement le matériel à 45° par rapport à ses axes préférentiels d'essai. On procède alors selon les indications du paragraphe 15.2.2 a) pour définir le niveau d'excitation horizontale avec un spectre de réponse d'essai suivant chaque axe préférentiel d'essai du matériel au moins égal au spectre de réponse spécifié correspondant.

- position 1: in the position as described
- position 2: rotated through 180° around the vertical axis
- position 3: rotated through 90° around the vertical axis with respect to position 1
- position 4: rotated through 180° around the vertical axis with respect to position 3.

With this type of test, the spectra obtained have the same shape for all three preferred testing axes of the equipment but with horizontal relative to vertical levels determined by the slope of the table. If the table slope can be adjusted, it can be set to obtain the required ratio between the horizontal and vertical zero period acceleration (ZPA) levels. The excitation is defined as a zero period acceleration level by

$$\text{excitation} = \left(\text{ZPA}_{\text{horizontal}}^2 + \text{ZPA}_{\text{vertical}}^2 \right)^{1/2}$$

and such that the zero period acceleration projected along each of the two axes of the equipment is at least equal to the required response spectrum for the corresponding axis. This test may impose a penalty since the excitation peaks are occurring simultaneously along both axes.

When the required slope of the vibration table cannot be obtained, the input level is increased to the highest zero period acceleration level of the required response spectrum.

15.3 *Triaxial testing*

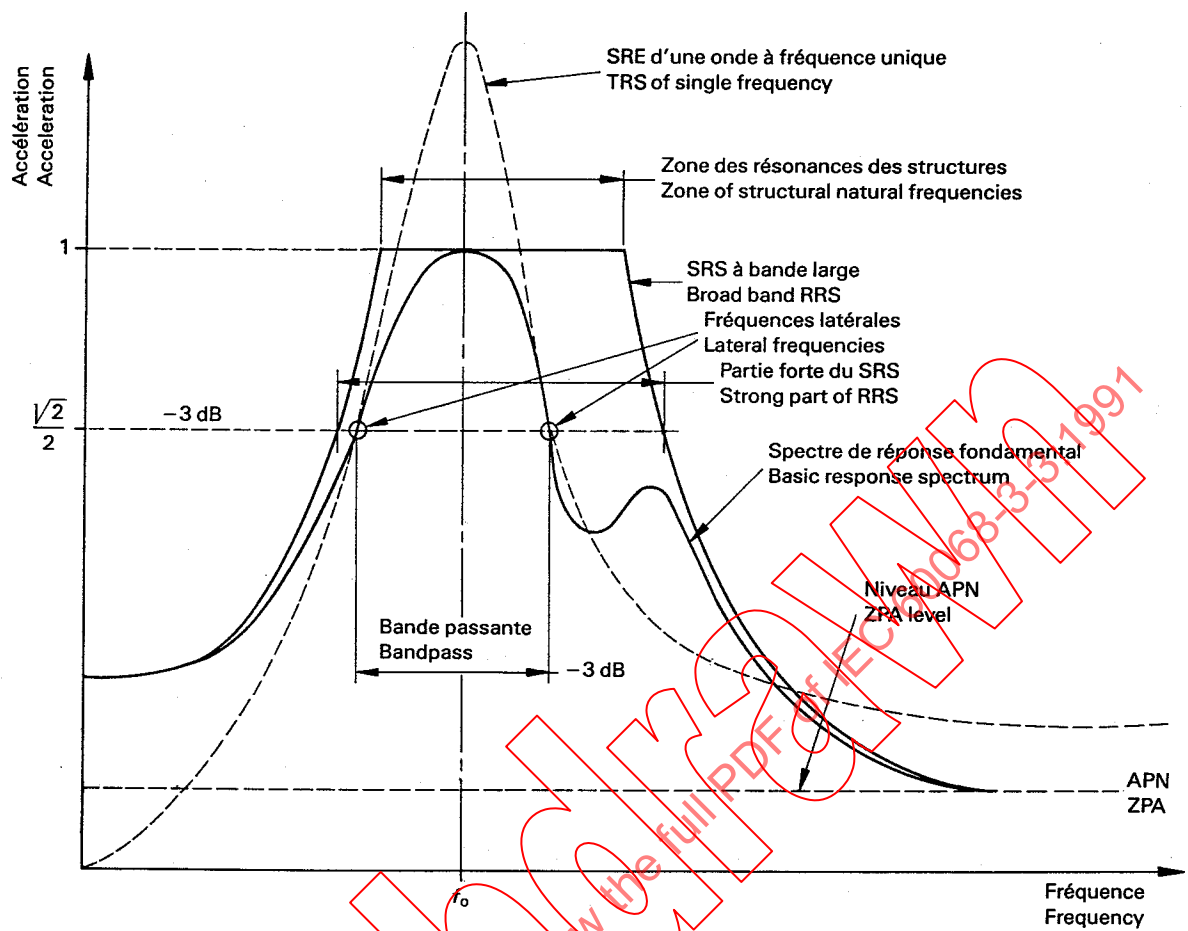
Triaxial testing is desirable when significant couplings exist simultaneously between all three preferred testing axes of the equipment.

15.3.1 *Triaxial installation*

The test is performed with simultaneous but independent inputs into the three preferred testing axes of the equipment, each producing the required response spectrum along that axis.

15.3.2 *Biaxial installation (one horizontal axis, one vertical axis)*

The vertical and horizontal waves are independent. Use can be made of a biaxial table by exciting the equipment horizontally at 45° with respect to its preferred testing axes. The procedure is similar to that indicated in Sub-clause 15.2.2 a), namely to define the horizontal excitation level with the test response spectrum along each of the preferred testing axes of the equipment adjusted to be at least equal to the corresponding required response spectrum.



033/90

- SRE = spectre de réponse d'essai
 SRS = spectre de réponse spécifié
 APN = accélération à période nulle
- TRS = test response spectrum
 RRS = required response spectrum
 ZPA = zero period acceleration

Figure 1 - Spectre de réponse enveloppe typique

Typical envelope response spectrum