

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

68-2-57

Première édition
First edition
1989-06

Essais d'environnement

**Deuxième partie: Méthodes d'essai
Essai Ff: Vibrations –
Méthode par accélérogrammes**

Environmental testing

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 68-2-57: 1989

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

68-2-57

Première édition
First edition
1989-06

Essais d'environnement

**Deuxième partie: Méthodes d'essai
Essai Ff: Vibrations –
Méthode par accélérogrammes**

Environmental testing

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

© CEI 1989 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

T

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

SOMMAIRE

	Pages
PREAMBULE	4
PREFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Objet	8
2. Description générale	8
3. Définitions	8
4. Conditions de réalisation de l'essai	16
5. Sévérités	26
6. Préconditionnement	30
7. Mesures initiales	30
8. Epreuve	30
9. Mesures intermédiaires	32
10. Reprise	34
11. Mesures finales	34
12. Renseignements que doit donner la spécification particulière ..	34
ANNEXE A - Guide	36
FIGURES	42

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Object	9
2. General description	9
3. Definitions	9
4. Requirements for conditioning	17
5. Severities	27
6. Pre-conditioning	31
7. Initial measurements	31
8. Conditioning	31
9. Intermediate measurements	33
10. Recovery	35
11. Final measurements	35
12. Information to be given in the relevant specification	35
APPENDIX A - Guide	37
FIGURES	43

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT

Deuxième partie: Méthodes d'essai - Essai Ff: Vibrations - Méthode par accélérogrammes

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 ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
50A(BC)176	50A(BC)178

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°s 68: Essais d'environnement.
- 68-1 (1988): Première partie: Généralités et guide.
 - 68-2: Deuxième partie: Méthodes d'essai.
 - 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.
 - 68-3: Troisième partie: Informations.
 - 68-3-xx (---): Méthodes d'essai sismiques applicables aux matériels. (Publication approuvée).

Autre publication citée:

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING

Part 2: Test methods - Test Ff: Vibration -
Time-history method

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 report is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
50A(C0)176	50A(C0)178

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

The following IEC publications are quoted in this standard:

- Publications Nos. 68: Environmental testing.
- 68-1 (1988): Part 1: General and guidance.
 - 68-2: Part 2: Test methods.
 - 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.
 - 68-3: Part 3: Guidance.
 - 68-3-xx (---): Seismic test methods for equipment. (Publication approved).

Other publication quoted:

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

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT

Deuxième partie: Méthodes d'essai - Essai Ff: Vibrations - Méthode par accélérogrammes

INTRODUCTION

La présente norme décrit une méthode d'essai applicable aux composants, matériels et autres produits électrotechniques, dénommés ci-après "spécimens", qui peuvent, pendant leur utilisation, être soumis à des sollicitations dynamiques de caractère aléatoire et de durée brève, comme celles qui résultent d'un séisme, d'une explosion, de certaines phases de transport.

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

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

Les accélérogrammes peuvent provenir ou être obtenus à partir:

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

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

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

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

Les rédacteurs de spécification trouveront dans l'article 12 une liste des points particuliers à prendre en considération en vue de leur inclusion dans les spécifications et, dans l'annexe A, les compléments d'information nécessaires.

ENVIRONMENTAL TESTING

Part 2: Test methods - Test Ff: Vibration -
Time-history method

INTRODUCTION

This standard details methods for testing components, equipment and other electrotechnical products (hereinafter referred to as "specimens") which in service can be subjected to short-duration random type dynamic forces of which typical examples are the stresses induced in equipment as a result of earthquakes, explosions and some phases of transportation.

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

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

A time-history may be developed or obtained from:

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

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

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

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

Specification writers will find in Clause 12 a list of details to be considered for inclusion in specifications and, in Appendix A, the guidance.

1. Objet

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

2. Description générale

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

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

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

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

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

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

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

3. Définitions

Les termes utilisés sont généralement ceux qui sont définis dans l'ISO 2041 et dans la Publication 68-1 ou la Publication 68-2-6 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.

1. Object

To provide a standard procedure for determining, by the time-history method, the ability of a specimen to withstand specified severities of transient vibration.

2. General description

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

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

Procedures are described for conducting the test and for the measurement of the vibration at given points. The requirements for the vibration motion and for the choice of severities (including frequency range, required response spectrum, number of high-stress response cycles and number of time-histories) are also detailed.

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

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

In order to facilitate the use of this standard, references are given in the main part where the reader is invited to refer to Appendix A, and the clause numbers in the main part are also referred to in Appendix A.

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

3. Definitions

The terms are generally defined in ISO 2041 and in IEC Publication 68-1 or in IEC Publication 68-2-6. Where, for the convenience of the reader, a definition from one of those sources is included here, the derivation is indicated. Departures from the definitions in those sources are also indicated.

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

3.1 *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.

3.2 *Amortissement* (définitions différentes de celles de l'ISO 2041)

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.

3.2.1 *Amortissement critique*

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

3.2.2 *Taux d'amortissement*

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

3.3 *Distorsion* (définition identique à celle qui est contenue à l'article 3 de la Publication 68-2-6 de la CEI, mais différente de la définition de l'ISO 2041):

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

où:

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

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

3.4 *Point de fixation* (définition équivalente à celle du paragraphe 3.1 de la Publication 68-2-6 de la CEI)

Partie du spécimen en contact avec le bâti de fixation ou la table vibrante en un point où le spécimen est normalement fixé en utilisation.

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

3.1 *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.

3.2 *Damping* (not identical with ISO 2041 definition)

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

3.2.1 *Critical damping*

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

3.2.2 *Damping ratio*

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

3.3 *Distortion* (definition identical with that in Clause 3 of IEC Publication 68-2-6; not identical with ISO 2041 definition):

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

where:

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

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

3.4 *Fixing point* (definition technically equivalent with that of Sub-clause 3.1 of IEC Publication 68-2-6)

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

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

3.5 " g_n "

Accélération normalisée de la pesanteur (variable en fonction de l'altitude et de la latitude).

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

3.6 Cycles de réponse de niveau élevé

Cycles de réponse atteignant des niveaux de contrainte qui peuvent entraîner une fatigue du spécimen.

3.7 Points de mesure (définition techniquement identique à celle du paragraphe 3.2 de la Publication 68-2-6 de la CEI)

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

Note.- On peut faire des mesures en certains points du spécimen afin de connaître son comportement; ces points ne sont pas considérés comme des points de mesure au sens de la présente norme.

3.7.1 Point de vérification

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

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

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

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

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

3.7.2 Point de référence (définition techniquement identique à celle de la Publication 68-2-6 de la CEI, paragraphe 3.2.2)

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

3.5 " g_n "

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

Note.- For the purposes of this standard, the value of g_n is rounded up to the nearest whole number, that is 10 m/s^2 .

3.6 High stress cycles

Response cycles giving rise to values of stress which would cause fatigue in the specimen.

3.7 Measuring points (definition technically identical with that of Sub-clause 3.2 of IEC Publication 68-2-6)

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

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

3.7.1 Check point

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

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

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

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

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

3.7.2 Reference point (definition technically identical with that of Sub-clause 3.2.2 of IEC Publication 68-2-6)

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

3.8 *Accélérogramme naturel*

Enregistrement, en fonction du temps, de l'accélération, de la vitesse ou du déplacement, etc., résultant d'un phénomène donné.

3.9 *Oscillateur*

Système à un degré de liberté produisant ou entretenant des oscillations mécaniques.

3.10 *Pause*

Intervalle entre deux accélérogrammes consécutifs.

Note.- Il convient que la pause soit d'une durée suffisante pour qu'il n'en résulte pas de superposition significative dans le mouvement de réponse du spécimen.

3.11 *Axes préférentiels d'essai*

Trois axes orthogonaux correspondant aux axes les plus vulnérables du spécimen.

3.12 *Echantillon de mouvement aléatoire*

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

3.13 *Spectre de réponse spécifié*

Spectre de réponse établi par l'utilisateur.

3.14 *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.

3.15 *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 1).

3.16 *Cycle de balayage* (définition techniquement équivalente à celle qui est contenue dans l'article 3 de la Publication 68-2-6 de la CEI)

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

3.17 *Accélérogramme synthétique*

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

3.8 *Natural time-history*

Recording, as a function of time, of the acceleration, velocity or displacement, etc., resulting from a given event.

3.9 *Oscillator*

Single degree of freedom system intended to produce or be capable of maintaining mechanical oscillations.

3.10 *Pause*

Interval between two consecutive time-histories.

Note.— A pause should be such as to result in no significant superposition of the response motion of the specimen.

3.11 *Preferred testing axes*

Three orthogonal axes which correspond to the most vulnerable axes of the specimen.

3.12 *Random motion sample*

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

3.13 *Required response spectrum*

Response spectrum specified by the user.

3.14 *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.

3.15 *Strong part of the 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 1).

3.16 *Sweep cycle* (definition technically equivalent to that of Clause 3 of IEC Publication 68-2-6)

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

3.17 *Synthesized time-history*

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

3.18 *Amplitude d'essai*

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

3.19 *Spectre de réponse d'essai*

Spectre de réponse d'oscillateur obtenu soit par analyse soit à partir du mouvement réel de la table vibrante en utilisant les moyens d'analyse spectrale.

3.20 *Accélérogramme*

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

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

3.21 *Accélération à période nulle*

Valeur asymptotique du spectre de réponse d'accélération aux fréquences élevées (voir par exemple la figure 2).

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.

4. *Conditions de réalisation de l'essai*

Le paragraphe 4.1 présente les spécifications pour la recherche et l'étude des fréquences critiques et le paragraphe 4.2 celles pour l'épreuve par accélérogrammes; le paragraphe 4.3 traite de la fonction en vue de la réalisation de l'essai.

4.1 *Recherche et étude des fréquences critiques*

Lorsque la spécification particulière le prescrit, la recherche et l'étude des fréquences critiques doit être réalisée en se référant à la Publication 68-2-6 et en respectant en particulier les points traités aux paragraphes 4.1.1 à 4.1.9 ci-dessous pour déterminer les fréquences critiques et, lorsqu'on le demande, le taux d'amortissement.

4.1.1 *Mouvement fondamental*

Le mouvement fondamental doit être une fonction sinusoïdale du temps et tel que les points de fixation du spécimen sur la table vibrante qui doivent être prescrits par la spécification particulière, se déplacent sensiblement en phase et suivant des directions rectilignes et parallèles, compte tenu des limitations des paragraphes 4.1.2, 4.1.3 et 4.1.5.

4.1.2 *Mouvement transversal*

Le niveau maximal de vibration aux points de vérification et suivant tout axe perpendiculaire à l'axe spécifié, ne doit pas dépasser 50% du mouvement fondamental. Dans les cas spéciaux, par exemple pour les petits spécimens, l'amplitude de crête du mouvement transversal toléré peut être limitée à 25% si la spécification particulière le prescrit.

3.18 *Test level*

Largest peak value within a test wave.

3.19 *Test response spectrum*

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

3.20 *Time-history*

Recording, as a function of time, of acceleration, velocity or displacement.

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

3.21 *Zero period acceleration*

High frequency asymptotic value of acceleration of the response spectrum (for an example see Figure 2).

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

4. *Requirements for conditioning*

The requirements for a vibration response investigation are given in Sub-clause 4.1, those for time-history conditioning in Sub-clause 4.2, while Sub-clause 4.3 deals with mounting for conditioning.

4.1 *Vibration response investigation*

When prescribed by the relevant specification, the vibration response investigation shall be carried out in a manner based on that of IEC Publication 68-2-6 particularly taking account of Sub-clauses 4.1.1 to 4.1.8 below in order to determine the critical frequencies and, where required, the damping ratio.

4.1.1 *Basic motion*

The basic motion shall be a sinusoidal function of time and such that the fixing points of the specimen on the vibration table, which shall be prescribed by the relevant specification, move substantially in phase and in straight parallel lines, subject to the limitations imposed in Sub-clauses 4.1.2, 4.1.3 and 4.1.5.

4.1.2 *Transverse motion*

The maximum vibration at the check points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed 50% of the basic motion. In special cases, for example a small specimen, the peak value of the permissible transverse motion may be limited to 25% if required by the relevant specification.

A certaines fréquences ou pour des spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut (voir aussi article A1). Dans de tels cas, la spécification particulière doit dire laquelle des exigences suivantes s'applique:

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

4.1.3 *Mouvements de rotation*

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

4.1.4 *Points de mesure*

4.1.4.1 *Point de référence*

La spécification particulière doit indiquer si l'on doit faire le pilotage à partir d'un ou de plusieurs points. S'il est prescrit un pilotage à partir de plusieurs points, la spécification particulière doit indiquer si l'on doit maintenir au niveau de vibrations spécifié la valeur moyenne des signaux aux points de vérification, ou la valeur du signal en un point particulier.

4.1.4.2 *Points de vérification*

A certaines fréquences ou pour les spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les tolérances requises au paragraphe 4.1 6.2 (voir aussi article A1). Dans ce cas-là, une tolérance plus large doit figurer dans la spécification particulière ou une autre méthode d'évaluation doit être notée dans le rapport d'essai.

4.1.5 *Distorsion de l'accélération*

La mesure de distorsion de l'accélération doit être faite au point de référence, sur une gamme de fréquences allant jusqu'à cinq fois la fréquence d'essai.

La distorsion, comme définie dans l'article 3, ne doit pas dépasser 25% du mouvement fondamental.

Note.- Dans certains cas, cette tolérance ne peut pas être respectée et on peut alors admettre une distorsion supérieure à 25% si l'amplitude de l'accélération du signal de pilotage à la fréquence fondamentale est rétablie à la valeur spécifiée, par exemple en utilisant un filtre de poursuite.

Dans le cas de spécimens grands ou complexes, où les valeurs de distorsion spécifiées ne peuvent pas être respectées en certains points de la gamme de fréquences et où il n'est guère possible d'utiliser un filtre de poursuite, il n'est pas besoin de rétablir l'amplitude de l'accélération; mais il faut que cette distorsion soit notée dans le rapport d'essai (voir article A1).

At some frequencies or with large size or high mass specimens it may be difficult to achieve these values (see also Clause A1). In such cases, the relevant specification shall state which of the following applies:

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

4.1.3 *Rotational motion*

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

4.1.4 *Measuring points*

4.1.4.1 *Reference point*

The relevant specification shall state whether single point or multi-point control is to be used. Where multipoint control is prescribed by the relevant specification, it shall specify whether the average value of the signal at the check points or the value of the signal at a selected point is to be controlled at the specified level.

4.1.4.2 *Check points*

At some frequencies or with large size or high mass specimens it may be difficult to achieve the required tolerances in Sub-clause 4.1.6.2 (see also Clause A1). In these cases it is expected that a wider tolerance will be prescribed by the relevant specification or that the use of an alternative method of assessment will be reported in the test report.

4.1.5 *Acceleration distortion*

The acceleration distortion measurement shall be carried out at the reference point at frequencies up to five times the test frequency.

The distortion as defined in Clause 3 shall not exceed 25% of the basic motion.

Note.- In some instances it may not be possible to achieve this, in which case a value of distortion greater than 25% is acceptable if the test amplitude of the control signal at the fundamental frequency is restored to the specified value, for example by the use of a tracking filter.

In the case of large or complex specimens, where the specified values of distortion cannot be satisfied at some parts of the frequency range and it is impracticable to use a tracking filter, the acceleration need not be restored and the distortion shall then be reported in the test report (see Clause A1).

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

4.1.6 *Tolérances sur l'amplitude de la vibration*

Le mouvement fondamental suivant l'axe requis, aux points de vérification et de référence, doit être égal à la valeur spécifiée avec les tolérances ci-après. Celles-ci comprennent les erreurs dues à l'instrumentation.

4.1.6.1 *Point de référence*

Tolérance sur le signal de pilotage au point de référence: $\pm 15\%$ du mouvement fondamental.

4.1.6.2 *Point de vérification*

Tolérances en chaque point de vérification: jusqu'à 500 Hz: $\pm 25\%$ de l'accélération; au-delà de 500 Hz: $\pm 50\%$ de l'accélération (voir aussi paragraphe 4.1.4.2).

4.1.7 *Tolérances sur les fréquences*

Les tolérances sur les fréquences critiques sont les suivantes:

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

Lorsque l'on doit comparer les fréquences critiques (voir paragraphe 8.2) avant et après l'épreuve, les tolérances suivantes s'appliquent:

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

4.1.8 *Balayage*

Le balayage doit être continu et la fréquence doit varier de façon exponentielle en fonction du temps à une vitesse ne dépassant pas une octave par minute (voir paragraphe 3.16).

Note. - Avec les moyens de pilotage numérique, le balayage n'est pas strictement "continu" mais la différence n'est pas significative.

4.1.9 *Taux d'amortissement*

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

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

4.1.6 *Vibration amplitude tolerances*

The basic motion along the required axis at the check and reference points shall be equal to the specified values within the following tolerances. These tolerances include instrument errors.

4.1.6.1 *Reference point*

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

4.1.6.2 *Check points*

Tolerance at each check point: up to 500 Hz: $\pm 25\%$ of acceleration; above 500 Hz: $\pm 50\%$ of acceleration (see also Sub-clause 4.1.4.2).

4.1.7 *Frequency tolerances*

The tolerances on the critical frequencies shall be as follows:

- ± 0.05 Hz up to 0.25 Hz
- $\pm 20\%$ from 0.25 Hz to 5 Hz
- ± 1 Hz from 5 Hz to 50 Hz
- $\pm 2\%$ above 50 Hz

When the critical frequencies (see Sub-clause 8.2) are to be compared before and after conditioning, the following tolerances apply:

- ± 0.05 Hz up to 0.5 Hz
- $\pm 10\%$ from 0.5 Hz to 5 Hz
- ± 0.5 Hz from 5 Hz to 100 Hz
- $\pm 0.5\%$ above 100 Hz

4.1.8 *Sweeping*

Sweeping shall be continuous with the frequency changing exponentially with time at a rate not exceeding one octave per minute (see Sub-clause 3.16).

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

4.1.9 *Damping ratio*

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

4.2 *Epreuve par accélérogrammes*

Les caractéristiques requises pour l'épreuve par accélérogrammes sont les suivantes:

4.2.1 *Mouvement fondamental*

L'accélérogramme peut être obtenu à partir:

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

La valeur du taux d'amortissement (voir paragraphe 3.14) peut être définie par la spécification particulière ou obtenue par ailleurs (voir paragraphe 4.1.9). La valeur de 5% est normalement retenue.

4.2.2 *Mouvement transversal*

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

A certaines fréquences ou pour les spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut (voir aussi article A1). Dans de tels cas, la spécification particulière doit dire laquelle des exigences suivantes s'applique:

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

4.2.3 *Mouvements de rotation*

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

4.2.4 *Zone de tolérance sur le spectre de réponse spécifié*

La zone de tolérance sur le spectre de réponse spécifié doit être comprise entre 0% et +50% (voir figure 2).

Note. - L'essai peut être encore acceptable même si un nombre limité de points du spectre de réponse d'essai est situé en dehors de cette tolérance. Il est alors conseillé de noter ces valeurs dans le rapport d'essai (voir aussi article A1).

4.2 Time-history conditioning

Time-history conditioning shall take into account the following:

4.2.1 Basic motion

The time-history used can be obtained from either:

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

The value of the damping ratio (see Sub-clause 3.14) may be defined by the relevant specification or otherwise obtained (see Sub-clause 4.1.9). A value of 5% is normally taken.

4.2.2 Transverse motion

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

At some frequencies or with large size or high mass specimens it may be difficult to achieve these values (see also Clause A1). In such cases the relevant specification shall state which of the following applies:

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

4.2.3 Rotational motion

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

4.2.4 Tolerance zone for the required response spectrum

The tolerance zone to be applied to the required response spectrum shall be in a range between 0% and +50% as shown in Figure 2.

Note. - If a small proportion of the individual points on the test response spectrum lies outside this zone, the test may still be acceptable. The values for these points should then be reported in the test report (see also Clause A1).

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

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

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

4.2.5 Gamme de fréquences

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

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

4.3 Fixation

La fixation doit être réalisée suivant les spécifications de la Publication 68-2-6 de la CEI, qui se réfère à la Publication 68-2-47 de la CEI.

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

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

Note.- Il est conseillé d'inclure, dans le montage prévu pour l'épreuve, le dispositif de fixation du spécimen dans les conditions normales de service.

L'orientation et la fixation du spécimen pendant l'épreuve doivent être prescrites par la spécification particulière et constituent la seule attitude pour laquelle le spécimen est qualifié, à moins qu'une justification convenable ne 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 spécimen).

The test response spectrum shall be checked at least:

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

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

4.2.5 Frequency range

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

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

4.3 Mounting

The specimen shall be mounted in accordance with IEC Publication 68-2-6, in which there is reference to IEC Publication 68-2-47.

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

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

Note.- The normal "in service" mounting structure of the specimen should be included in the test.

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

5. Sévérités

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

- gamme de fréquences d'essai;
- spectre de réponse spécifié;
- nombre et durée des accélérogrammes;
- nombre de cycles de réponse de niveau élevé (si nécessaire).

Pour chaque paramètre, la spécification particulière doit indiquer la valeur appropriée selon les recommandations des paragraphes 5.1 à 5.4.

5.1 Gammes de fréquences d'essai

La spécification particulière doit indiquer la gamme de fréquences d'essai en choisissant la fréquence inférieure parmi celles du tableau I et la fréquence supérieure parmi celles du tableau II. Les gammes de fréquences d'essai recommandées sont données dans le tableau III.

TABLEAU I

Fréquences inférieures f_1 (Hz)
0,1
1
5
10
55
100

TABLEAU II

Fréquences supérieures f_2 (Hz)
10
20
35
55
100
150
300
500
2 000

TABLEAU III

Gammes de fréquences d'essai recommandées de f_1 à f_2 (Hz)		
0,1	à	10*
1	à	35
1	à	100
5	à	35*
10	à	100*
10	à	500
10	à	2 000
55	à	2 000

Note.- Les gammes de fréquences signalées par un astérisque ne correspondent pas à celles qui sont recommandées dans la Publication 68-2-6 de la CEI.

5. Severities

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

- test frequency range;
- required response spectrum;
- number and duration of time-histories;
- number of high stress response cycles (if applicable).

The relevant specification shall state the values for each parameter on the basis of the information given in Sub-clauses 5.1 to 5.4.

5.1 Test frequency range

The test frequency range shall be given in the relevant specification by selecting a lower frequency from Table I and an upper frequency from Table II. The recommended ranges are shown in Table III.

TABLE I

Lower frequency f_1 (Hz)
0.1
1
5
10
55
100

TABLE II

Upper frequency f_2 (Hz)
10
20
35
55
100
150
300
500
2 000

TABLE III

Recommended test frequency ranges From f_1 to f_2 (Hz)		
0.1	to	10*
1	to	35
1	to	100
5	to	35*
10	to	100*
10	to	500
10	to	2 000
55	to	2 000

Note.— The ranges marked with an asterisk are not in the recommended ranges of IEC Publication 68-2-6.

5.2 *Spectre de réponse spécifié*

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

Lorsque les conditions d'environnement ne sont pas bien connues, on peut s'aider de l'article A2 pour définir le spectre de réponse spécifié.

5.3 *Nombre et durée des accélérogrammes*

5.3.1 *Nombre d'accélérogrammes*

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

Sauf spécification contraire, le nombre d'accélérogrammes à appliquer par axe d'essai et pour chaque niveau est choisi dans la série: ... 1, 2, 5, 10, 20, 50 ...

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

5.3.2 *Durée de l'accélérogramme*

La spécification particulière doit indiquer la durée de chaque accélérogramme. Les valeurs recommandées en secondes sont choisies dans la série: ... 1, 2, 5, 10, 20, 50 ...

5.3.3 *Durée de la partie forte de l'accélérogramme*

Dans certains cas, la spécification particulière peut exiger que la partie forte de l'accélérogramme soit un pourcentage donné de la durée totale. Dans les autres cas, la durée relative de cette partie forte doit être choisie parmi les valeurs suivantes, sauf lorsque les exigences du paragraphe 5.4 s'appliquent:

25%, 50% et 75%.

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

5.4 *Nombre de cycles de réponse de niveau élevé*

La spécification particulière peut indiquer le nombre de cycles de niveau élevé entraînant des réponses supérieures à la valeur spécifiée (voir article A3).

Sauf lorsque la spécification particulière le demande, le nombre de cycles de réponse de niveau élevé doit être choisi parmi ceux de la série suivante: ... 4, 8, 16, 32 ... Les alternances positives et négatives doivent être à peu près réparties comme indiqué sur la figure 4.

5.2 *Required response spectrum*

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

Guidance for the development of a required response spectrum in the situation where environmental conditions are not well known is provided in Clause A2.

5.3 *Number and duration of time-histories*

5.3.1 *Number of time-histories*

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

Unless otherwise specified, the number of time-histories to be applied for each test axis and for each time-history level shall be selected from the following series: ... 1, 2, 5, 10, 20, 50 ...

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

5.3.2 *Time-history duration*

The relevant specification shall state the duration of each time-history for which recommended values in seconds are given by the following series: ... 1, 2, 5, 10, 20, 50 ...

5.3.3 *Duration of the strong part of the time-history*

In some cases, the relevant specification may require the strong part of the time-history to be a given percentage of the total duration. Otherwise, except when precluded by the requirements of Sub-clause 5.4, the value of the strong part shall be selected from the following percentages of the total duration:

25%, 50%, 75%.

The selected value shall be reported in the test report.

5.4 *Number of high stress cycles*

The relevant specification may state the number of high stress cycles leading to values of stress greater than a specified value (see Clause A3).

The number of high stress cycles shall, except when otherwise prescribed by the relevant specification, be selected from the following series: ... 4, 8, 16, 32 ... The alternate positive and negative cycles shall be approximately equally distributed as shown in Figure 4.

Ces cycles de réponse de niveau élevé, exprimés en pourcentage du spectre de réponse spécifié, correspondant à l'une des fréquences critiques situées dans la partie forte du spectre, sont à choisir parmi les valeurs suivantes:

50%, 70% (préféré) et 90%.

6. Préconditionnement

La spécification particulière peut prescrire un preconditionnement.

7. Mesures initiales

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

8. Epreuve

8.1 Généralités

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

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

8.2 Recherche et étude des fréquences critiques

Si la spécification particulière le prescrit, on doit étudier le comportement du spécimen en vibration dans la gamme de fréquences d'essai. La recherche et l'étude des fréquences critiques est réalisée avec une onde sinusoïdale appliquée dans la gamme de fréquences et avec l'amplitude d'essai spécifiée. Normalement, on fait cette recherche par un cycle de balayage logarithmique avec une vitesse ne dépassant pas une octave par minute mais celle-là peut demander d'être réduite afin d'obtenir une meilleure définition des caractéristiques de la réponse. Les arrêts prolongés de balayage sont à éviter.

Il est conseillé de choisir l'amplitude de crête de l'excitation de façon que la réponse du spécimen reste inférieure à celle de l'épreuve par accélérogrammes tout en ayant un niveau suffisamment élevé pour mettre en évidence les fréquences critiques.

Si la spécification particulière le prescrit, on fera fonctionner le spécimen pendant cet essai d'investigation. S'il n'est pas possible d'évaluer le comportement mécanique du spécimen sous l'effet des vibrations parce qu'il est en fonctionnement, on fera un essai de recherche et d'étude des fréquences critiques supplémentaire, avec le spécimen hors fonctionnement. Pendant cette phase le spécimen sera examiné pour déterminer les fréquences critiques, qui seront notées dans le rapport d'essai.

These high stress cycles should be expressed as a percentage of the required response spectrum value at specific critical frequencies that are located in the strong part of the required response spectrum. They shall be selected from the following values:

50%, 70% (preferred), 90%.

6. Pre-conditioning

The relevant specification may call for pre-conditioning.

7. Initial measurements

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

8. Conditioning

8.1 General

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

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

8.2 *Vibration response investigation*

When prescribed by the relevant specification, the test frequency range shall be investigated in order to study the behaviour of the specimen under vibration. The vibration response investigation is performed with a sinusoidal wave in a test frequency range and with a test level as prescribed by the relevant specification. Normally the vibration response investigation shall be carried out with a logarithmic sweep rate not higher than 1 octave per minute but it may require to be decreased if more precise determination of the response characteristics can thereby be obtained. Undue dwell should be avoided.

The peak value of the excitation should be selected so that the response of the specimen remains smaller than during time-history conditioning but at a sufficiently high level to detect critical frequencies.

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

Dans certains cas, la spécification particulière peut demander de faire une nouvelle étude des fréquences critiques à l'issue de l'épreuve par accélérogrammes pour comparer les fréquences critiques avant et après l'épreuve par accélérogrammes. La spécification particulière doit indiquer ce qu'il faut faire s'il se produit une variation de ces fréquences. Il est essentiel que ces deux études des fréquences critiques soient exécutées de la même manière et avec les mêmes amplitudes d'essai.

8.3 *Epreuve par accélérogrammes*

Pour l'épreuve par accélérogrammes, les valeurs de sévérité sont données dans la spécification particulière suivant les indications de l'article 5. Une pause d'une durée suffisante doit être respectée entre deux accélérogrammes consécutifs afin d'éviter toute superposition significative dans la réponse du spécimen. La spécification particulière doit aussi indiquer si l'épreuve doit être de type monoaxial, biaxial ou triaxial.

8.3.1 *Epreuve de type monoaxial*

Elle est réalisée successivement suivant chaque axe préférentiel d'essai. Sauf lorsque la spécification particulière l'exige, l'ordre des essais selon ces axes n'a pas d'importance.

8.3.2 *Epreuve de type biaxial*

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

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

8.3.3 *Epreuves de type triaxial*

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

9. *Mesures intermédiaires*

Lorsque la spécification particulière le prescrit, on fait fonctionner le spécimen pendant un nombre donné d'épreuves par accélérogrammes et on vérifie ses performances.

In certain circumstances, the relevant specification may prescribe an additional vibration response investigation on completion of the time-history conditioning so that the critical frequencies can then be compared. The relevant specification shall state what action is to be taken if any change of frequency occurs. It is essential that both vibration response investigations are carried out in the same manner and at the same test level.

8.3 *Time-history conditioning*

For time-history conditioning, values for the severity are given by the relevant specification according to Clause 5. Between consecutive time-histories a pause shall be included, such that no significant superposition of response motion of the specimen occurs. The relevant specification shall also state whether single axis, biaxial or triaxial conditioning is required.

8.3.1 *Single axis conditioning*

Conditioning is carried out successively along each preferred testing axis. The order of the conditioning along these axes is not important, unless prescribed by the relevant specification.

8.3.2 *Biaxial conditioning*

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

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

8.3.3 *Triaxial conditioning*

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

9. *Intermediate measurements*

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

10. Reprise

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

11. Mesures finales

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

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

12. Renseignements que doit donner la spécification particulière

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

	Articles
a) Points de fixation*	4.1.1
b) Mouvement transversal	4.1.2 et 4.2.2
c) Mouvement de rotation	4.1.3 et 4.2.3
d) Points de mesure	4.1.4
e) Distorsion de l'accélération	4.1.5
f) Tolérances sur l'amplitude de la vibration	4.1.6
g) Taux d'amortissement	4.2.1
h) Fixation du spécimen*	4.3
i) Gamme de fréquences d'essai	5.1
j) Spectre de réponse spécifié* (voir aussi article A2)	5.2
k) Nombre d'accélérogrammes*	5.3.1
l) Durée de l'accélérogramme*	5.3.2
m) Durée de la partie forte de l'accélérogramme	5.3.3
n) Nombre de cycles de réponse de niveau élevé (voir aussi article A3)	5.4
o) Préconditionnement	6
p) Mesures initiales*	7
q) Axes préférentiels d'essai	8.1
r) Limitation de la force de pilotage	8.1
s) Recherche et étude des fréquences critiques	8.2
t) Fonctionnement et vérifications fonctionnelles	8.2 et 8.3
u) Epreuve de type mono, bi ou triaxial*	8.3
v) Mesures intermédiaires	9
w) Reprise	10
x) Mesures finales*	11

10. Recovery

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

11. Final measurements

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

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

12. Information to be given in the relevant specification

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

	Clause
a) Fixing points*	4.1.1
b) Transverse motion	4.1.2 and 4.2.2
c) Rotational motion	4.1.3 and 4.2.3
d) Measuring points	4.1.4
e) Acceleration distortion	4.1.5
f) Vibration amplitude tolerances	4.1.6
g) Damping ratio	4.2.1
h) Mounting of the specimen*	4.3
i) Test frequency range*	5.1
j) Required response spectrum* (see also Clause A2)	5.2
k) Number of time-histories*	5.3.1
l) Duration of time-history*	5.3.2
m) Duration of strong part of time-history	5.3.3
n) Number of high stress cycles (see also Clause A3)	5.4
o) Pre-conditioning	6
p) Initial measurements*	7
q) Preferred testing axes	8.1
r) Driving force limitation	8.1
s) Vibration response investigation	8.2
t) Performance and functional check	8.2 and 8.3
u) Single axis, biaxial or triaxial conditioning*	8.3
v) Intermediate measurements	9
w) Recovery	10
x) Final measurements*	11

ANNEXE A

GUIDE

A1. Introduction

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

La méthode d'essai par accélérogrammes est intéressante:

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

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

Afin de bien simuler l'environnement réel, le rédacteur de spécification doit définir un spectre de réponse. Normalement, ce spectre de réponse est défini pour un facteur d'amortissement qui représente celui du spécimen. Ce spectre de réponse est appelé "spectre de réponse spécifié". Il représente l'un des éléments de la spécification qu'il faut respecter lors des essais. Pendant l'essai du spécimen, le laboratoire d'essai reproduit un environnement similaire qui détermine le spectre de réponse d'essai. Celui-ci est obtenu à partir du mouvement de la table vibrante relevé pendant l'essai. Il est alors comparé au spectre de réponse spécifié pour vérifier si les exigences de l'essai sont satisfaites. C'est le cas lorsque le spectre de réponse d'essai enveloppe le spectre de réponse spécifié. Pour réaliser cet essai, il est souvent nécessaire d'appliquer d'abord des prétests en remplaçant sur la table vibrante le spécimen par des masses factices. Cela permet de mieux ajuster le niveau d'essai sans fatiguer ni surcharger inutilement le spécimen.

Les tolérances à appliquer au spectre de réponse spécifié doivent être notées dans la spécification, mais l'essai peut être encore acceptable même si un nombre limité de points du spectre de réponse d'essai est situé en dehors de cette tolérance (voir figure 2). Dans certains cas, quand le spécimen est volumineux ou lourd, il n'est pas possible de respecter ces exigences à certaines fréquences. Dans ces cas-là, soit la spécification permet une tolérance plus large, soit une autre méthode d'essai est utilisée (voir aussi paragraphe 4.1.4.2).

APPENDIX A

GUIDE

A1. Introduction

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

The time-history method becomes important for:

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

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

In reproducing the real or field environment, a response spectrum is developed by the specifier. Usually a damping factor is assigned which represents the damping of the specimen. This developed response spectrum is called the Required Response Spectrum and is a part of the specification and represents the test criterion which has to be fulfilled. During the testing of the specimen, the test laboratory produces a similar environment and creates a Test Response Spectrum. This produces a similar environment and creates a Test Response Spectrum. This Test Response Spectrum is generated by monitoring the vibration table motion during a test run. The Test Response Spectrum is then compared with the Required Response Spectrum so that it can be determined whether the test criterion has been fulfilled. To fulfil the test criterion, the Test Response Spectrum has to envelop the Required Response Spectrum. In developing the Test Response Spectrum, trial, or preliminary, runs are often made with the test specimen exchanged for an equivalent mass. Thus, the test laboratory can adjust the test levels and not fatigue and overstress the test specimen unnecessarily.

The tolerances to be applied to the Required Response Spectrum will be stated in the specification but if a small proportion of the individual points lies outside the tolerance zone (see Figure 2) the test may still be acceptable. In some instances, when testing with high mass or large size specimens it may not be possible to achieve the required tolerances at certain frequencies. In these cases either the specification will allow a wider tolerance to be applied or an alternative method of testing will need to be used (see also Sub-clause 4.1.4.2).

Le degré de complexité de l'épreuve par accélérogrammes requiert que le laboratoire d'essai utilise des moyens d'essai et de mesure précis tels que les systèmes numériques de traitement et de pilotage.

Les paramètres donnés sont normalisés et les tolérances convenables choisies pour obtenir des résultats comparables lorsque l'essai est réalisé en des lieux différents. Les valeurs normalisées permettent de classer le matériel en catégories correspondant à leur capacité à résister à certaines sévérités vibratoires.

A2. Recommandations pour la définition d'un spectre de réponse spécifié (voir paragraphe 5.2)

Lorsque l'application ou l'environnement n'est pas bien connu, le spectre de réponse spécifié peut être défini à l'aide de la figure 3 et des recommandations ci-après:

- a) La gamme de fréquences d'essai doit être choisie de préférence parmi celles du paragraphe 5.1, tableau III.
- b) La valeur de l'amplitude de l'accélération à période nulle, en g_n , (voir paragraphe 3.5), doit être choisie de préférence parmi les valeurs de la série suivante: ... 1, 2, 5, 10, 20 ...
- c) Entre f_1 et $2f_1$, l'amplitude de l'accélération est définie par une pente de 12 dB/octave.
- d) La valeur maximale de l'amplitude de l'accélération entre $2f_1$ et $1/3 f_2$ doit être égale à:
 - 2,24 fois celle de l'accélération à période nulle pour un taux d'amortissement de 10%;
 - 3 fois celle de l'accélération à période nulle pour un taux d'amortissement de 5%;
 - 5 fois celle de l'accélération à période nulle pour un taux d'amortissement de 2%.

Notes 1.- Lorsque le taux d'amortissement type du spécimen est situé entre 2% et 10%, on se réfère au spectre de réponse spécifié à 5%. Si le taux d'amortissement type du spécimen est inférieur ou égal à 2%, on se réfère au spectre de réponse spécifié à 2% et, s'il est supérieur ou égal à 10%, on se réfère au spectre de réponse spécifié à 10%.

2.- Lorsque la fréquence f_1 est inférieure à 0,8 Hz, l'amplitude au-dessous de 1,6 Hz est définie par une pente de 12 dB/octave.

A3. Nombre de cycles de réponse de niveau élevé (voir paragraphe 5.4)

La reproduction des effets résultant d'une vibration (par exemple séisme, explosion) nécessite de simuler aussi fidèlement que possible cet environnement avec une certaine marge de sécurité. Lorsque cet environnement est mal connu ou difficile à simuler, une marge de sécurité doit être prise pour s'assurer que le cas le plus défavorable a bien été considéré.

Time-history testing requires the test laboratory to utilize sophisticated and accurate instrumentation, as well as digital computer equipment for control and analysis.

The parameters given are standardized and suitable tolerances are chosen in order to obtain similar results when a test is conducted at different locations. The standardization of values also enables equipments to be grouped into categories corresponding to their ability to withstand certain given vibration severities.

A2. Recommendations for obtaining a required response spectrum
(see Sub-clause 5.2)

When the application or the environment is not well known the following recommendations are given for defining a required response spectrum according to Figure 3:

- a) The test frequency range should be selected from Sub-clause 5.1, Table III.
- b) The zero period acceleration value, in g_n , (see Sub-clause 3.5) is normally selected from the series: ... 1, 2, 5, 10, 20 ...
- c) Between f_1 and $2f_1$, the acceleration is specified by the slope of 12 dB/octave.
- d) The maximum value of the acceleration between $2f_1$ and $1/3 f_2$ is equal to:
 - 2.24 times that of zero period acceleration for a 10% damping ratio;
 - 3 times that of zero period acceleration for a 5% damping ratio;
 - 5 times that of zero period acceleration for a 2% damping ratio.

Notes 1.- When the typical damping ratio of the specimen lies between 2% and 10%, the required response spectrum at 5% is recommended. If the typical damping ratio of the specimen is lower than or equal to 2%, only the required response spectrum at 2% is recommended, and if the damping ratio is higher than or equal to 10%, the required response spectrum at 10% is recommended.

2.- When the frequency f_1 is lower than 0.8 Hz, the acceleration below 1.6 Hz will be specified by the slope of 12 dB/octave.

A3. Number of high stress cycles (see Sub-clause 5.4)

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