

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 68-2-6

Cinquième édition — Fifth edition
1982

Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique

Deuxième partie: Essais

Essai Fc et guide: Vibrations (sinusoïdales)

Basic environmental testing procedures

Part 2: Tests

Test Fc and guidance: Vibration (sinusoidal)



© CEI 1982

Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1 rue de Varembe
Genève, Suisse

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 68-2-6

Cinquième édition — Fifth edition
1982

Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique

Deuxième partie: Essais

Essai Fc et guide: Vibrations (sinusoïdales)

Basic environmental testing procedures

Part 2: Tests

Test Fc and guidance: Vibration (sinusoidal)

Mots clés: électrotechnique; essais de vibrations sinusoïdales;
mesure; exigences; définitions

Key words: electrical engineering; sinusoidal vibration tests;
measurement; requirements; definitions



© CEI 1982

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

1 rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Historique de l'essai Fc Vibrations (sinusoïdales)	6
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Objet	8
2 Généralités	8
3 Définitions	10
4 Description de l'appareillage d'essai	12
5 Sévérités	16
6 Préconditionnement	22
7 Mesures initiales	22
8 Epreuve	24
9 Mesures intermédiaires	26
10 Reprise	26
11 Mesures finales	26
12 Renseignements que doit donner la spécification particulière	28
FIGURES	30
ANNEXE A — Guide pour l'essai Fc	34
ANNEXE B — Exemples de sévérités destinées principalement aux composants	52
ANNEXE C — Exemples de sévérités destinées principalement aux matériels	54
ANNEXE D — Corrélation entre les méthodes de la quatrième édition de la Publication 68-2-6 (1970) et la présente norme	58

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Historical survey of Test Fc Vibration (sinusoidal)	7
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Object	9
2 General description	9
3 Definitions	11
4 Description of test apparatus	13
5 Severities	17
6 Pre-conditioning	23
7 Initial measurements	23
8 Conditioning	25
9 Intermediate measurements	27
10 Recovery	27
11 Final measurements	27
12 Information to be given in the relevant specification	29
FIGURES	30
APPENDIX A — Guide to Test Fc	35
APPENDIX B — Examples of severities primarily intended for components	53
APPENDIX C — Examples of severities primarily intended for equipment	55
APPENDIX D — Correlation between procedures of the fourth edition of Publication 68-2-6 (1970) and this standard	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**ESSAIS FONDAMENTAUX CLIMATIQUES
ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE****Deuxième partie: Essais – Essai Fc et guide:
Vibrations (sinusoïdales)**

PRÉAMBULE

- 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.

PRÉFACE

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 climatiques et mécaniques

La présente norme remplace les essais précédemment publiés dans la quatrième édition de la Publication 68-2-6

Un premier projet du présent essai Fc a été discuté au cours de la réunion tenue à Moscou en juin 1977. A la suite de cette réunion, un projet, document 50A(Bureau Central)145, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1978

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication

Afrique du Sud (République d')	Etats-Unis d'Amérique
Allemagne	Finlande
Australie	France
Autriche	Hongrie
Belgique	Israël
Brésil	Italie
Canada	Pays-Bas
Corée (République de)	Royaume-Uni
Corée (République Démocratique Populaire de)	Suède
Danemark	Suisse
Egypte	Turquie
Espagne	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

BASIC ENVIRONMENTAL TESTING PROCEDURES**Part 2: Tests – Test Fc and guidance:
Vibration (sinusoidal)**

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

This standard supersedes the previous test procedures published in the fourth edition of Publication 68-2-6

A first draft of the present Test Fc was discussed at the meeting held in Moscow in June 1977. As a result of this meeting, a draft, Document 50A(Central Office)145, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1978

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication

Australia
Austria
Belgium
Brazil
Canada
Denmark
Egypt
Finland
France
Germany
Hungary
Israel

Italy
Korea (Democratic People's Republic of)
Korea (Republic of)
Netherlands
South Africa (Republic of)
Spain
Sweden
Switzerland
Turkey
Union of Soviet Socialist Republics
United Kingdom
United States of America

HISTORIQUE DE L'ESSAI Fc VIBRATIONS (SINUSOÏDALES)

Première édition (1954)

La Publication 68 de la CEI Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique, prévoyait une méthode d'essai Essai F Vibrations (recherche des résonances) était toujours à l'étude

Deuxième édition (1960)

Comportait deux méthodes d'essai

Essai Fa Recherche des résonances, était toujours à l'étude

Essai Fb Fatigue, qui donnait les détails des mesures initiales, de l'épreuve et des mesures finales

Troisième édition (1966)

Introduisait

Essai F qui remplaçait les essais Fa et Fb

Cet essai comprenait la recherche initiale des résonances, l'épreuve d'endurance par balayage, l'épreuve d'endurance sur les fréquences de résonance, l'épreuve d'endurance à des fréquences prédéterminées, la recherche finale des résonances Cette édition comportait une méthode d'essai A et quatre méthodes d'essai B Les annexes donnant des sévérités préférentielles étaient à l'étude

Un premier complément à l'essai F Vibrations, parut en 1967 Il ajoutait des sévérités préférentielles destinées en premier lieu aux composants

Un deuxième complément à l'essai F parut également en 1967 Il ajoutait les considérations sur lesquelles était basé l'essai de vibration

Quatrième édition (1970)

Englobait trois annexes considérations sur lesquelles l'essai de vibration est basé, sévérités préférentielles destinées en premier lieu aux composants, sévérités préférentielles pour matériels

Cinquième édition (1981)

Elle ne propose plus une méthode d'essai préférentielle englobant la recherche initiale des résonances, l'épreuve d'endurance par balayage et la recherche finale des résonances Elle introduit une fréquence de transfert supplémentaire afin de donner plus de souplesse aux sévérités

Comme spécification immédiatement connexe voir Publication 68-1 Première partie Généralités

HISTORICAL SURVEY OF TEST Fc VIBRATION (SINUSOIDAL)

First edition (1954)

IEC Publication 68 Basic Environmental Testing Procedures, envisaged a method of test Test F Vibration (resonance search) was still under consideration

Second edition (1960)

Contained two test procedures

Test Fa Resonance search, was still under consideration

Test Fb Fatigue, gave details of initial measurement, conditioning and final measurement

Third edition (1966)

Introduced

Test F Vibration superseding Tests Fa and Fb

It included initial resonance search, endurance conditioning by sweeping, endurance conditioning at resonance frequencies, endurance conditioning at predetermined frequencies, final resonance search. It contained one Test Procedure A and four Test Procedures B. Appendices giving preferred severities were under consideration.

First supplement to Test F Vibration, was published in 1967. Added preferred severities primarily intended for components.

Second supplement to Test F was published in 1967. Added the considerations on which the vibration test is based.

Fourth edition (1970)

Included three appendices, viz considerations on which the vibration test is based, preferred severities primarily for components, preferred severities for equipment.

Fifth edition (1981)

No longer nominates a preferred test procedure for initial resonance search, endurance conditioning by sweeping, and final resonance search. Introduces an additional cross-over frequency for greater flexibility of severities.

For directly related specification, see Publication 68-1 Part 1 General

ESSAIS FONDAMENTAUX CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE

Deuxième partie: Essais – Essai Fc et guide: Vibrations (sinusoïdales)

INTRODUCTION

La présente norme donne une méthode d'essai applicable aux composants, matériels et autres articles qui peuvent, pendant leur transport ou leur utilisation, être soumis à des conditions comprenant des vibrations de nature harmonique engendrées surtout par des forces rotatives, pulsatoires ou oscillantes comme il en existe à bord des navires, des avions, des véhicules terrestres, des appareils à voilure tournante et dans les applications spatiales, ou qui peuvent être causées par des machines ou par des phénomènes sismiques. Elle consiste essentiellement à soumettre un spécimen à des vibrations sinusoïdales dans une gamme de fréquences données ou à des fréquences discrètes pendant une durée déterminée.

1 Objet

Cet essai a pour objet de donner des règles d'exécution normalisées pour déterminer l'aptitude des composants, matériels et autres articles à supporter des sévérités de vibrations sinusoïdales spécifiées.

2 Généralités

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

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 marche après avoir été soumis à ces vibrations.

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.

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

Les annexes A à D donnent des directives d'ordre général ainsi qu'une sélection de sévérités destinées aux composants et aux matériels. En outre, afin d'aider les utilisateurs, des renseignements sont donnés concernant la corrélation entre la présente norme et sa quatrième édition.

BASIC ENVIRONMENTAL TESTING PROCEDURES

Part 2: Tests – Test Fc and guidance:

Vibration (sinusoidal)

INTRODUCTION

This standard gives a method of test applicable to components, equipment and other articles which, during transportation or in service, may be subjected to conditions involving vibration of a harmonic pattern, generated primarily by rotating, pulsating or oscillating forces, such as occur in ships, aircraft, land vehicles, rotorcraft and space applications or are caused by machinery and seismic phenomena. It consists basically of subjecting a specimen to sinusoidal vibration over a given frequency range or at discrete frequencies for a given period of time.

1 Object

To provide a standard procedure to determine the ability of components, equipment and other articles to withstand specified severities of sinusoidal vibration.

2 General description

The purpose of this test is to determine mechanical weakness and/or degradation in specified performance and to use the information, in conjunction with the relevant specification, to decide whether an equipment or component, hereinafter referred to as a specimen, is acceptable or not. It may be used, in some cases, to determine the structural integrity of specimens and/or to study their dynamic behaviour. Categorization of components can also be made on the basis of a selection from within the severities quoted in the test.

Whether a specimen has to function during vibration or merely to survive conditions of vibration will need to be stated in the relevant specification.

It is emphasized that vibration testing always demands a certain degree of engineering judgement, and both the supplier and purchaser should be fully aware of this fact.

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

Appendices A to D give general guidance and a selection of severities for components and for equipment. In addition, in order to assist users, information is given regarding the correlation between this standard and the previous fourth edition.

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

Afin de faciliter l'utilisation de cette norme, des renvois figurent dans la partie principale lorsque le lecteur est invité à se reporter à l'annexe A. Les numéros d'articles de la partie principale sont d'autre part rappelés en référence dans l'annexe A.

3 Définitions

Les termes utilisés sont généralement ceux qui sont définis dans la Norme ISO 2041 Vibrations et chocs — Vocabulaire. Cependant, les deux termes suivants ont un sens particulier dans la présente norme.

— cycle de balayage : le fait de parcourir une fois dans chaque sens la gamme de fréquences spécifiées, par exemple 10 Hz à 150 Hz à 10 Hz.

— distorsion $d = \frac{\sqrt{a_{\text{tot}}^2 - a_1^2}}{a_1} \times 100$ (en pour-cent)

ou :

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

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

Enfin, les termes suivants ne sont pas définis dans la Norme ISO 2041.

3.1 Point de fixation

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

3.2 Points de mesure

L'essai doit être conduit en utilisant les informations recueillies en certains points particuliers. Ils sont de deux types principaux, définis ci-après.

Note — On peut faire des mesures en certains points du spécimen afin de connaître son comportement; ces points ne sont pas considérés comme des points de mesure au sens de cette norme. Pour plus de détails, voir paragraphe A2.1 de l'annexe A.

3.2.1 Point de vérification

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

On utilise plusieurs points de vérification pour s'assurer que les exigences de l'essai sont satisfaites.

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.

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

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

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 referenced in Appendix A.

3 Definitions

The terms used are generally as defined in ISO Standard 2041 Vibration and Shock—Vocabulary. However, the two following terms have specific meanings in this standard.

– sweep cycle a traverse of the specified frequency range once in each direction, for example 10 Hz to 150 Hz to 10 Hz,

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

where:

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

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

Finally, the following terms are not defined in ISO Standard 2041.

3.1 Fixing point

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

3.2 Measuring points

The test shall be carried out using data gathered at certain specific points. These are of two main types, the definitions of which are given below.

Note — Measurements may be made at points within the specimen in order to assess its behaviour, but these are not considered as measuring points in the sense of this standard. For further details, see Sub-clause A2.1 of Appendix A.

3.2.1 Check point

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

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

If four or fewer fixing points exist, each shall be used as a check point. If more than four fixing points exist, four representative fixing points shall be defined in the relevant specification and these shall be used as check points.

In special cases, for example for large or complex specimens, the check points shall be prescribed in the relevant specification if required to be other than close to the fixing points.

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

3.2.2 *Point de référence*

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

3.3 *Points de pilotage*

3.3.1 *Pilotage à partir d'un seul point*

On utilise le signal venant du capteur placé au point de référence, afin de maintenir ce point au niveau de vibrations spécifié (voir paragraphe 4.1.4.1).

3.3.2 *Pilotage à partir de plusieurs points*

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

4 **Description de l'appareillage d'essai**

4.1 *Caractéristiques requises*

Les caractéristiques requises pour le générateur de vibration et le bâti de fixation, quand le générateur est chargé en vue de l'exécution d'une épreuve, doivent répondre aux exigences ci-après.

4.1.1 *Mouvement fondamental*

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

4.1.2 *Mouvement transversal*

Le niveau maximal de vibration aux points de vérification et selon tout axe perpendiculaire à l'axe spécifié, ne doit dépasser 50% de l'amplitude spécifiée jusqu'à 500 Hz ni 100% pour les fréquences dépassant 500 Hz. Les mesures n'ont besoin de couvrir que la gamme de fréquences spécifiées. Dans les cas spéciaux, par exemple pour les petits spécimens, l'amplitude du mouvement transversal toléré peut être limitée à 25% si la spécification particulière le prescrit.

Dans certains cas, par exemple pour de grands spécimens ou pour des fréquences élevées, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut. Dans de tels cas, la spécification particulière doit dire laquelle des exigences suivantes s'applique.

- a) noter dans la documentation tout mouvement transversal dépassant les limites ci-dessus,
- b) ne pas contrôler le mouvement transversal.

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

3.2.2 *Reference point*

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

3.3 *Control points*

3.3.1 *Single point control*

This is achieved by using the signal from the transducer at the reference point in order to maintain this point at the specified level (see Sub-clause 4.1.4.1).

3.3.2 *Multipoint control*

This is achieved by using the signals from each of the transducers at the check points. The signals are either continuously averaged arithmetically or processed by using comparison techniques depending upon the relevant specification (see Sub-clause 4.1.4.1).

4 **Description of test apparatus**

4.1 *Required characteristics*

The required characteristics of the vibration generator and fixture when the generator is loaded for the conditioning process shall be as follows.

4.1.1 *Basic motion*

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

4.1.2 *Transverse motion*

The maximum vibration amplitude at the check points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed 50% of the specified amplitude up to 500 Hz or 100% for frequencies in excess of 500 Hz. The measurements need only cover the specified frequency range. In special cases, e.g. small specimens, the amplitude of the permissible transverse motion may be limited to 25%, if required by the relevant specification.

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

- a) any transverse motion in excess of that stated above shall be noted and recorded in the documentation,
- b) transverse motion need not be monitored.

4 1 3 *Distorsion*

La mesure de la distorsion d'accélération doit être faite au point de référence et doit couvrir les fréquences allant jusqu'à 5 000 Hz, ou cinq fois la fréquence d'excitation si cette dernière valeur est la plus grande

La distorsion, comme définie à l'article 3, ne doit pas dépasser 25%. Dans certains cas, cette tolérance ne peut pas être respectée et on peut alors tolérer 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 la distorsion soit notée et fasse l'objet d'une référence dans la documentation (paragraphe A2 2 de l'annexe A)

La spécification particulière peut demander que l'on note les valeurs de la distorsion définie ci-dessus ainsi que la gamme de fréquences concernée, qu'un filtre de poursuite ait été utilisé ou non (paragraphe A2 2 de l'annexe A)

4 1 4 *Tolérances sur l'amplitude de la vibration*

L'amplitude réelle de la vibration suivant l'axe requis, aux points de vérification et de référence, doit être égale à la valeur spécifiée avec les tolérances ci-après. Celles-ci comprennent les erreurs dues à l'instrumentation

4 1 4 1 *Point de référence*

Tolérance sur le signal de pilotage au point de référence $\pm 15\%$ (paragraphe A2 3 de l'annexe A)

La spécification particulière doit indiquer si l'on doit faire le pilotage à partir d'un ou de plusieurs points. S'il est prescrit un pilotage à partir de plusieurs points, la spécification particulière doit indiquer si l'on doit maintenir au niveau de vibrations spécifié la valeur moyenne des signaux aux points de vérification, ou la valeur du signal en un point particulier, par exemple celui qui a la plus grande amplitude (paragraphe A2 3 de l'annexe A)

4 1 4 2 *Points de vérification*

En chaque point de vérification

$\pm 25\%$ jusqu'à 500 Hz

$\pm 50\%$ au-dessus de 500 Hz

Dans certains cas, par exemple pour les fréquences basses, ou les grands spécimens à certaines fréquences, il peut être difficile de respecter ces exigences à certaines fréquences discrètes à l'intérieur d'une plage. Dans ces cas-là, une tolérance plus large ou une autre méthode d'évaluation doit faire l'objet d'une référence dans la documentation

4 1 5 *Tolérances sur la fréquence*

$\pm 0,05$ 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-dessus de 50 Hz

4 1 3 *Distortion*

The acceleration distortion measurement shall be carried out at the reference point and shall cover the frequencies up to 5 000 Hz or five times the driving frequency whichever is the greater

The distortion, as defined in Clause 3, shall not exceed 25%. In some instances, it may not be possible to achieve this, in which case a distortion value greater than 25% is acceptable if the acceleration amplitude of the control signal at the fundamental frequency is restored to the specified value, for example by use of a tracking filter

In the case of large or complex specimens, where the specified distortion values cannot be satisfied at some parts of the frequency range and it is impracticable to use a tracking filter, the acceleration amplitude need not be restored, but the distortion shall be noted and recorded in the documentation (Sub-clause A2 2 of Appendix A)

The relevant specification may require that the distortion defined as above together with the frequency range affected is noted, whether or not a tracking filter has been used (Sub-clause A2 2 of Appendix A)

4 1 4 *Vibration amplitude tolerances*

The actual vibration amplitude in the required axis at the check and reference points shall be equal to the specified value, within the following tolerances. These tolerances include instrumentation errors

4 1 4 1 *Reference point*

Tolerance on the control signal at the reference point $\pm 15\%$ (Sub-clause A2 3 of Appendix A)

The relevant specification shall state whether single point or multipoint control shall be used. If multipoint control is prescribed the relevant specification shall state whether the averaged value of the signal at the check points or the value of the signal at a selected point (for example, that with the largest amplitude) shall be controlled to the specified level (Sub-clause A2 3 of Appendix A)

4 1 4 2 *Check points*

At each check point

$\pm 25\%$ up to 500 Hz

$\pm 50\%$ above 500 Hz

In some cases, for example for low frequencies or large specimens at some frequencies, it may be difficult to achieve the figures quoted at some discrete frequencies within the frequency range. In such cases, it is expected that a wider tolerance or an alternative method of assessment will be stated in the documentation

4 1 5 *Frequency tolerances*

± 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

Quand il faut comparer des fréquences critiques (voir paragraphe 8.1) avant et après l'épreuve d'endurance, c'est-à-dire lors de l'étude des fréquences critiques, les tolérances suivantes doivent être respectées

$\pm 0,05$ 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-dessus de 100 Hz

4.1.6 Balayage

Le balayage doit être continu et la fréquence doit varier exponentiellement en fonction du temps (paragraphe A4.3 de l'annexe A)

La vitesse de balayage doit être d'une octave par minute $\pm 10\%$

4.2 Fixation

Le montage des spécimens est traité dans la Publication 68-2-47 de la CEI. Pour les spécimens normalement montés sur amortisseurs, voir aussi aux paragraphes A3.1 et A3.2 ainsi qu'à l'article A5 de l'annexe A.

5 Sévérités

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

Pour chaque paramètre, la spécification particulière doit choisir l'exigence appropriée parmi celles qui sont énumérées ci-dessous. Toutefois, si l'environnement connu est sensiblement différent, les exigences seront déterminées en fonction de celui-ci par la spécification particulière.

Des exemples de sévérités destinées principalement aux composants sont données à l'annexe B, et à l'annexe C pour les matériels (paragraphes A4.1 et A4.2 de l'annexe A).

5.1 Gamme de fréquences

La spécification particulière doit déterminer la gamme de fréquences en choisissant la fréquence inférieure parmi celles que donne le tableau I et la fréquence supérieure parmi celles du tableau II.

TABLEAU I

Fréquence inférieure
f_1 (Hz)
0,1
1
5
10
55
100

TABLEAU II

Fréquence supérieure
f_2 (Hz)
10
20
35
55
100
150
300
500
2 000
5 000

When the critical frequencies (see Sub-clause 8.1) before and after endurance are to be compared, i.e. during a vibration response investigation, the following tolerances shall 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

4.1.6 Sweep

The sweeping shall be continuous and the frequency shall change exponentially with time (Sub-clause A4.3 of Appendix A)

The sweep rate shall be one octave per minute $\pm 10\%$

4.2 Mounting

Mounting of specimens is dealt with in IEC Publication 68-2-47. For specimens normally mounted on isolators, see in addition Sub-clauses A3.1 and A3.2 and Clause A5 of Appendix A

5 Severities

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

For each parameter, the relevant specification shall choose the appropriate requirements from those listed below. If the known environment, however, is substantially different, the requirements shall be related to it by the relevant specification

Examples of severities for components are given in Appendix B and for equipment in Appendix C (Sub-clauses A4.1 and A4.2 of Appendix A)

5.1 Frequency range

The frequency range shall be given in the relevant specification by selecting a lower frequency from Table I and an upper frequency from Table II

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
5 000

Les gammes recommandées sont données au tableau III

TABLEAU III

Gammes de fréquences recommandées	
De f_1 à f_2 (Hz)	
1–	35
1–	100
10–	55
10–	150
10–	500
10–	2 000
10–	5 000
55–	500
55–	2 000
55–	5 000
100–	2 000

5.2 Amplitude des vibrations

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

En dessous d'une certaine fréquence appelée «fréquence de transfert», toutes les amplitudes sont spécifiées à déplacement constant, alors qu'au-dessus de cette fréquence, elles sont données à accélération constante. Les valeurs recommandées sont données dans les tableaux IV et V et les figures 1, 2 et 3 pour les deux fréquences de transfert

Chaque valeur de l'amplitude du déplacement est associée à une valeur correspondante de l'amplitude de l'accélération (indiquée sur la même ligne des tableaux IV et V) de sorte que le niveau de vibration est le même à la fréquence de transfert (paragraphe A4.1 de l'annexe A)

TABLEAU IV

Amplitudes de vibration recommandées, cas d'une fréquence de transfert basse (≈ 8 Hz à 9 Hz)

Amplitude du déplacement au-dessous de la fréquence de transfert		Amplitude de l'accélération au dessus de la fréquence de transfert	
mm	(in)	m/s ²	(g _n)
0,35	(0,014)	0,98	(0,1)
0,75	(0,03)	1,96	(0,2)
1,5	(0,06)	4,9	(0,5)
3,5	(0,14)	9,8	(1,0)
7,5	(0,30)	19,6	(2,0)
10	(0,40)	29,4	(3,0)
15	(0,60)	49	(5,0)

Notes 1 — Toutes les valeurs sont données en amplitude (valeur de crête)

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

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

The recommended ranges are shown in Table III

TABLE III

Recommended frequency ranges	
From f_1 to f_2 (Hz)	
1 to	35
1 to	100
10 to	55
10 to	150
10 to	500
10 to	2 000
10 to	5 000
55 to	500
55 to	2 000
55 to	5 000
100 to	2 000

5.2 Vibration amplitude

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

Below a certain frequency known as the cross-over frequency, all amplitudes are specified as constant displacement, whilst above this frequency, amplitudes are given as constant acceleration. The recommended values are given in Tables IV and V and Figures 1, 2 and 3 for the two different cross-over frequencies.

Each value of displacement amplitude is associated with a corresponding value of acceleration amplitude (shown on the same line in Tables IV and V) so that the magnitude of vibration is the same at the cross-over frequency (Sub-clause A4.1 of Appendix A).

TABLE IV

Recommended vibration amplitudes with lower cross-over frequency (≈ 8 Hz to 9 Hz)

Displacement amplitude below the cross over frequency		Acceleration amplitude above the cross over frequency	
mm	(in)	m/s ²	(g_n)
0.35	(0.014)	0.98	(0.1)
0.75	(0.03)	1.96	(0.2)
1.5	(0.06)	4.9	(0.5)
3.5	(0.14)	9.8	(1.0)
7.5	(0.30)	19.6	(2.0)
10	(0.40)	29.4	(3.0)
15	(0.60)	49	(5.0)

Notes 1 — All figures quoted are amplitudes (peak values)

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

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

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

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

TABLEAU V

Amplitudes de vibration recommandées, cas d'une fréquence de transfert élevée (57 Hz à 62 Hz)

Amplitude du déplacement au-dessous de la fréquence de transfert		Amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert	
mm	(in)	m/s ²	(g _n)
0,035	(0,0014)	4,9	(0,5)
0,075	(0,003)	9,8	(1,0)
0,15	(0,006)	19,6	(2,0)
0,35	(0,014)	49	(5,0)
0,75	(0,03)	98	(10)
1,0	(0,04)	147	(15)
1,5	(0,06)	196	(20)
2,0	(0,08)	294	(30)
3,5	(0,14)	490	(50)

Notes 1 — Toutes les valeurs sont données en amplitude (valeur de crête)

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

TABLEAU VI

Amplitudes de vibration recommandées (déplacement) applicables seulement aux gammes de fréquences ayant une limite supérieure de fréquence de 10 Hz

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

Notes 1 — Toutes les valeurs sont données en amplitude (valeur de crête)

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

3 — Les amplitudes de déplacement supérieures à 10 mm sont destinées en premier lieu aux générateurs hydrauliques de vibrations.

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

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

TABLE V

Recommended vibration amplitudes with higher cross-over frequency (57 Hz to 62 Hz)

Displacement amplitude below the cross over frequency		Acceleration amplitude above the cross over frequency	
mm	(in)	m/s ²	(g _n)
0.035	(0.0014)	4.9	(0.5)
0.075	(0.003)	9.8	(1.0)
0.15	(0.006)	19.6	(2.0)
0.35	(0.014)	49	(5.0)
0.75	(0.03)	98	(10)
1.0	(0.04)	147	(15)
1.5	(0.06)	196	(20)
2.0	(0.08)	294	(30)
3.5	(0.14)	490	(50)

Notes 1 — All figures quoted are amplitudes (peak values)

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

TABLE VI

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

Displacement amplitude	
mm	(in)
10	(0.40)
35	(1.4)
75	(3.0)
100	(4.0)

Notes 1 — All figures quoted are amplitudes (peak values)

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

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

5.3 *Durée de l'endurance*

La spécification particulière doit choisir la ou les durées parmi les valeurs recommandées données plus loin. Si la valeur spécifiée conduit à une durée d'endurance de 10 h ou plus par axe ou par fréquence, on peut subdiviser ce temps en périodes à condition que cela n'entraîne pas une diminution des contraintes appliquées au spécimen (contraintes dues à l'échauffement, etc.)

5.3.1 *Endurance par balayage*

La durée de l'endurance suivant chaque axe doit être donnée en nombre de cycles de balayage (voir article 3), choisi par la spécification particulière parmi les valeurs suivantes

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

Quand un nombre de cycles plus élevé est requis, la même série est de préférence applicable (paragraphe A4.3 de l'annexe A)

Note — La quatrième édition de la Publication 68-2-6 de la CEI contenait des durées par balayage spécifiées par leurs durées. Cette cinquième édition spécifie des nombres de cycles de balayage (paragraphe A6.1 de l'annexe A). Afin de permettre aux spécifications actuelles de continuer à être utilisées jusqu'à ce qu'elles soient révisées, des indications sur les correspondances sont données dans l'annexe D.

5.3.2 *Endurance à des fréquences fixes*

5.3.2.1 *Endurance aux fréquences critiques*

La durée de l'endurance selon chaque axe approprié et à chaque fréquence retenue pendant l'étude des fréquences critiques (voir paragraphe 8.1) doit être choisie par la spécification particulière parmi les valeurs suivantes (paragraphe A6.2 de l'annexe A)

10 min $\pm$ 0,5 min

30 min $\pm$ 1 min

90 min $\pm$ 1 min

10 h $\pm$ 5 min

5.3.2.2 *Endurance à des fréquences prédéterminées*

La durée prescrite par la spécification particulière doit tenir compte de la durée totale pendant laquelle le spécimen est susceptible d'être soumis à de telles vibrations au cours de sa vie opérationnelle. Pour chaque combinaison de fréquence et d'axe spécifiée, la durée de l'épreuve ne doit pas dépasser 10^7 alternances (paragraphe A6.2 de l'annexe A).

6 **Préconditionnement**

La spécification particulière peut prescrire un préconditionnement (voir Publication 68-1 de la CEI).

7 **Mesures initiales**

Le spécimen doit être soumis aux vérifications électriques et mécaniques prescrites par la spécification particulière (article A9 de l'annexe A).

5.3 *Duration of endurance*

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

5.3.1 *Endurance by sweeping*

The duration of the endurance in each axis shall be given as a number of sweep cycles (see Clause 3) chosen by the relevant specification from the list given below:

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

When a higher number of sweep cycles is required, the same series should be applied (Sub-clause A4.3 of Appendix A).

Note — The fourth edition of IEC Publication 68-2-6, contained endurance by sweeping specified in terms of time. This fifth edition specifies numbers of sweep cycles (Sub-clause A6.1 of Appendix A). To enable current relevant specifications to continue to be used until their revision, cross-referencing details are given in Appendix D.

5.3.2 *Endurance at fixed frequencies*

5.3.2.1 *Endurance at critical frequencies*

The duration of the endurance in each appropriate axis at each frequency found during the vibration response investigation (see Sub-clause 8.1) shall be chosen by the relevant specification from the values given below (Sub-clause A6.2 of Appendix A):

10 min $\pm$ 0.5 min
30 min $\pm$ 1 min
90 min $\pm$ 1 min
10 h $\pm$ 5 min

5.3.2.2 *Endurance at predetermined frequencies*

The duration stated in the relevant specification shall take into account the total time the specimen is expected to be submitted to such vibration during its operational life. An upper limit of 10^7 reversals shall apply for each stated combination of frequency and axis (Sub-clause A6.2 of Appendix A).

6 **Pre-conditioning**

The relevant specification may call for pre-conditioning (see IEC Publication 68-1).

7 **Initial measurements**

The specimen shall be electrically and mechanically checked as required by the relevant specification (Clause A9 of Appendix A).

8 Epreuve

La spécification particulière doit indiquer le nombre d'axes suivant lesquels on doit faire vibrer le spécimen, ainsi que leurs positions respectives. En l'absence d'une telle indication, on fait vibrer le spécimen successivement selon trois axes perpendiculaires entre eux et choisit de telle sorte que les défaillances aient toutes chances d'être mises en évidence.

Le signal de pilotage doit provenir des signaux aux points de vérification et être utilisé pour faire soit du pilotage à partir d'un seul point, soit du pilotage à partir de plusieurs points.

La spécification particulière doit choisir, parmi les phases données ci-dessous, les modalités d'exécution de l'essai. Des directives sont données dans les annexes A et D. En général, les phases de l'essai doivent être exécutées à la suite l'une de l'autre suivant un même axe et reprises ensuite pour les autres axes (article A3 de l'annexe A).

Des dispositions particulières sont à prendre quand un spécimen, normalement destiné à être utilisé avec amortisseurs de vibration, doit être essayé sans ceux-ci (article A5 de l'annexe A).

Lorsque la spécification particulière le prescrit, on doit ajouter au contrôle de l'amplitude de vibration spécifiée une limite maximale de la force de commande appliquée au système vibrant. La méthode de limitation de la force doit être indiquée dans la spécification particulière (article A7 de l'annexe A).

8.1 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. Normalement, on fait cette étude durant un cycle de balayage dans les mêmes conditions que pour l'endurance (voir paragraphe 8.2), mais on peut diminuer l'amplitude de vibration et la vitesse de balayage en dessous de la valeur spécifiée si, en le faisant, on peut obtenir une détermination plus précise des caractéristiques de la réponse. Les arrêts prolongés de balayage sont à éviter.

Si la spécification particulière le prescrit, on fera fonctionner le spécimen pendant l'étude des fréquences critiques. S'il n'est pas possible d'évaluer le comportement mécanique du spécimen sous l'effet des vibrations parce qu'il est en fonctionnement, on fera une étude supplémentaire des fréquences critiques, le spécimen n'étant pas mis en fonctionnement.

Pendant cette phase, le spécimen sera examiné pour déterminer les fréquences critiques auxquelles :

- a) il apparaît un mauvais fonctionnement et/ou une altération des propriétés du spécimen, dus aux vibrations,
- b) se produisent des résonances mécaniques et autres manifestations d'une réponse, par exemple des martèlements.

On notera toutes les fréquences et amplitudes appliquées auxquelles ces effets se produisent, ainsi que le comportement du spécimen (article A1 de l'annexe A). La spécification particulière précisera les mesures à prendre.

Dans certains cas, la spécification particulière peut demander de faire une nouvelle étude des fréquences critiques à l'issue d'une épreuve d'endurance pour pouvoir comparer les fréquences avant et après l'épreuve. La spécification particulière doit dire ce qu'il faut faire s'il se produit une variation de ces fréquences. Il est essentiel que ces deux études des fréquences critiques soient exécutées de la même manière et aux mêmes amplitudes de vibration (paragraphe A3.1 de l'annexe A).

8 Conditioning

The relevant specification shall state the number of axes in which the specimen shall be vibrated and their relative positions. If not stated in the relevant specification, the specimen shall be vibrated in three mutually perpendicular axes in turn which should be so chosen that faults are most likely to be revealed.

The control signal at the reference point shall be derived from the signals at the check points and shall be used for single point or multipoint control.

The test procedure to be applied shall be chosen, by the relevant specification, from the stages given below. Guidance is given in Appendices A and D. In general, the test stages shall be performed in sequence in the same axis and then repeated for the other axes (Clause A3 of Appendix A).

Special action is necessary when a specimen normally intended for use with vibration isolators needs to be tested without them (Clause A5 of Appendix A).

When called for by the relevant specification, control of the specified vibration amplitude shall be supplemented by a maximum limit of the driving force applied to the vibrating system. The method of force limitation shall be stated in the relevant specification (Clause A7 of Appendix A).

8.1 *Vibration response investigation*

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

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

During this stage, the specimen shall be examined in order to determine critical frequencies at which

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

All frequencies and applied amplitudes at which these effects occur and the behaviour of the specimen shall be noted (Clause A1 of Appendix A). The relevant specification shall state what action shall be taken.

In certain circumstances, the relevant specification may require an additional response investigation on completion of an endurance procedure so that the critical frequencies before and after can then be compared. The relevant specification shall state what action is to be taken if any change of frequency occurs. It is essential that both response investigations are carried out in the same manner and at the same vibration amplitudes (Sub-clause A3.1 of Appendix A).

8.2 Endurance

La spécification particulière doit prescrire, parmi les modalités d'exécution de l'épreuve d'endurance qui suivent, celle qui est à utiliser (paragraphe A3.2 de l'annexe A)

8.2.1 Endurance par balayage

Cette méthode est préférentielle

Exécuter un balayage de fréquence sur toute la gamme de fréquences avec l'amplitude et la durée choisies par la spécification particulière (voir paragraphe 5.3.1). Si nécessaire, on peut subdiviser la gamme de fréquences, à condition que les contraintes dans le spécimen ne s'en trouvent pas diminuées.

8.2.2 Endurance à fréquence fixe

Faire vibrer le spécimen

- a) soit aux fréquences découlant de l'étude des fréquences critiques, traitée au paragraphe 8.1,
- b) soit aux fréquences prédéterminées que prescrit la spécification particulière

L'essai est exécuté dans les conditions d'amplitude et de durée prescrites par la spécification particulière (paragraphe A3.2 de l'annexe A)

Dans le cas où la fréquence découle de l'étude des fréquences critiques, il faut toujours maintenir la fréquence appliquée sur la fréquence critique réelle

Notes 1 — Si la fréquence critique réelle n'est pas évidente, par exemple s'il y a des martèlements ou quand on essaie simultanément un certain nombre de spécimens individuels, il peut être bon d'exécuter un balayage sur une gamme de fréquences restreinte autour de la fréquence critique afin d'être sûr d'exciter l'effet complètement

- 2 — Dans le cas d'un spécimen monté sur amortisseurs, la spécification particulière doit préciser si l'on doit ou non choisir, pour cette épreuve d'endurance, les fréquences de résonance du spécimen sur ses amortisseurs (article A5 de l'annexe A)

9 Mesures intermédiaires

Lorsque la spécification particulière le demande, faire fonctionner le spécimen pendant l'épreuve et vérifier ses performances pour la proportion spécifiée de la durée totale (paragraphe A3.2 et article A8 de l'annexe A)

10 Reprise

Il peut être parfois nécessaire, si la spécification particulière l'exige, de laisser s'écouler un certain temps après l'épreuve d'endurance, 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 électriques et mécaniques prescrites par la spécification particulière (article A9 de l'annexe A)

8.2 *Endurance procedures*

The relevant specification shall prescribe which of the following endurance procedures shall be employed (Sub-clause A3.2 of Appendix A)

8.2.1 *Endurance by sweeping*

This endurance procedure is preferred

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

8.2.2 *Endurance at fixed frequencies*

Vibration shall be applied either at

- a) those frequencies derived from the vibration response investigation given in Sub-clause 8.1, or
- b) predetermined frequencies stated in the relevant specification

The test shall be applied at the amplitude and for the duration stated in the relevant specification (Sub-clause A3.2 of Appendix A)

In the case of a frequency derived from the vibration response investigation, the applied frequency shall always be maintained at the actual critical frequency

Notes 1 — If the actual critical frequency is not clearly evident, for example if there is chatter, or where a number of individual items are being tested simultaneously, it may be convenient to sweep over a restricted frequency range around the critical frequency in order to be sure of exciting the effect fully

- 2 — In the case of a specimen mounted on isolators the relevant specification shall state whether or not the resonance frequencies of the specimen on its isolators should be chosen for this endurance (Clause A5 of Appendix A)

9 **Intermediate measurements**

When called for by the relevant specification, the specimen shall be functioning during conditioning and its performance checked during the conditioning for the specified proportion of the total time (Sub-clause A3.2 and Clause A8 of Appendix A)

10 **Recovery**

It is sometimes necessary, when prescribed in the relevant specification, to provide a period of time after the conditioning in which to allow the specimen to attain the same conditions as existed for the initial measurements, for example as regards temperature

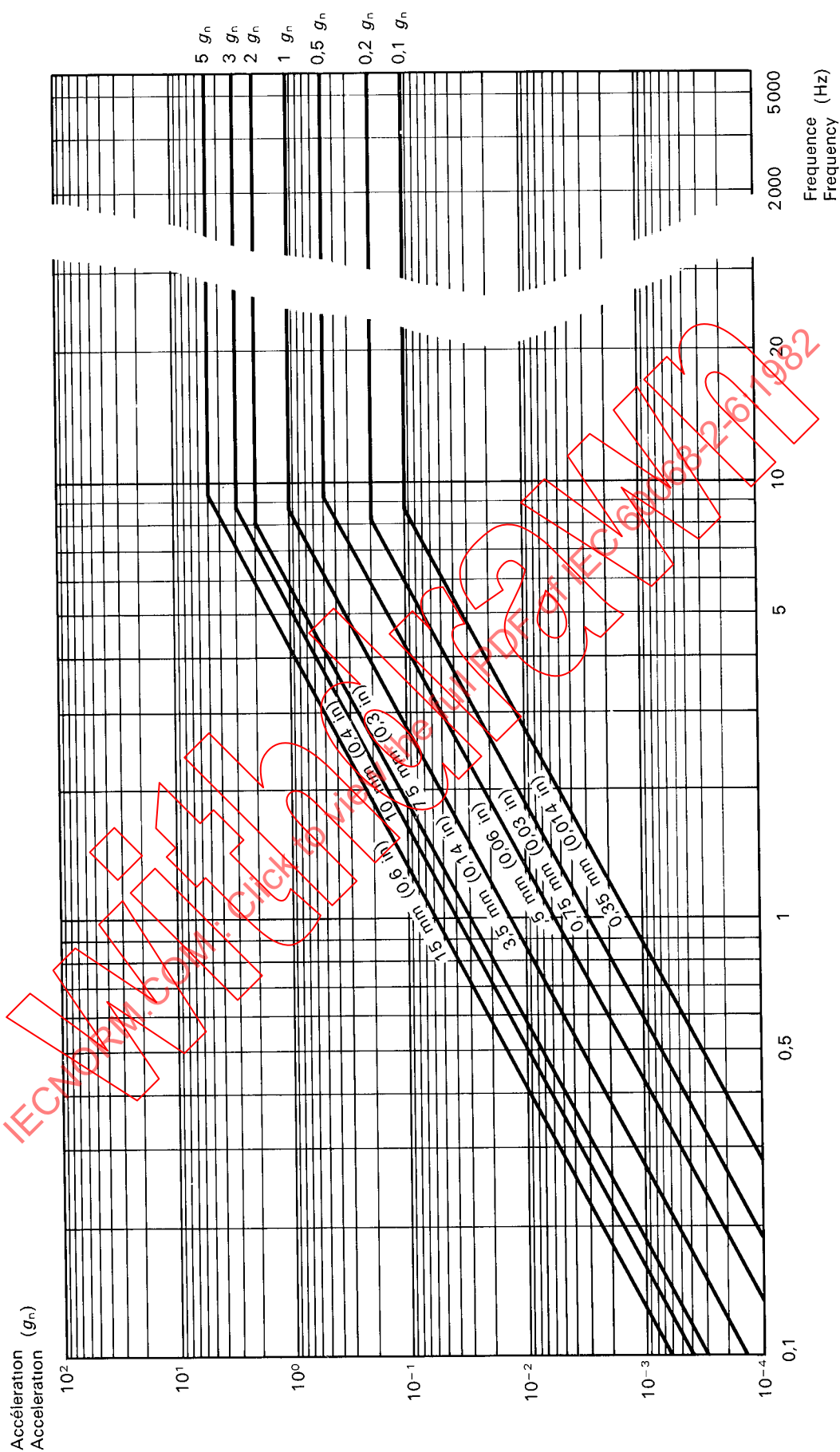
11 **Final measurements**

The specimen shall be electrically and mechanically checked as required by the relevant specification (Clause A9 of Appendix A)

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 soient applicables. Le rédacteur de la spécification doit donner les renseignements requis dans les articles cités ci-après, en faisant particulièrement attention aux points repérés par un astérisque (*) pour lesquels des renseignements doivent être donnés dans tous les cas.

	<i>Articles et/ou paragraphes</i>
a) Points de mesure	3 2
b) Mouvement transversal	4 1 2
c) Distorsion	4 1 3
d) Provenance du signal de pilotage	4 1 4 1
e) Tolérances aux points de vérification	4 1 4 2
f) Montage du ou des spécimens	4 2
g) Gamme de fréquences*	5 1
h) Amplitude des vibrations*	5 2
i) Fréquences de transfert particulières	5 2
j) Type et durée de l'endurance*	5 3
k) Préconditionnement	6
l) Mesures initiales*	7
m) Axes de vibration	8
n) Limitation de la force	8
o) Phases de l'essai à exécuter et leur séquence*	8, 8 1 et 8 2
p) Fonctionnement et contrôles fonctionnels*	8 1 et 9
q) Mesures à prendre après étude des fréquences critiques	8 1
r) Mesures à prendre si l'on trouve une variation des fréquences critiques lors de l'étude finale de ces fréquences	8 1
s) Fréquences prédéterminées	8 2 2
t) Epreuve aux fréquences de résonance du spécimen monté sur ses amortisseurs	8 2 2
u) Mesures finales*	11



189/82

Fig. 1. — Amplitude des vibrations, cas d'une fréquence de transfert basse (≈ 8 Hz a 9 Hz).
Vibration amplitude with lower cross-over frequency (≈ 8 Hz to 9 Hz).

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. The specification writer shall supply information as required in the clauses listed below, paying particular attention to the items marked with an asterisk (*) where this information is always required.

	<i>Clause and/or sub-clause</i>
a) Measuring points	3 2
b) Transverse motion	4 1 2
c) Distortion	4 1 3
d) Derivation of control signal	4 1 4 1
e) Tolerances at check points	4 1 4 2
f) Mounting of specimen(s)	4 2
g) Frequency range*	5 1
h) Vibration amplitude*	5 2
i) Special cross-over frequency	5 2
j) Type and duration of endurance*	5 3
k) Pre-conditioning	6
l) Initial measurements*	7
m) Axes of vibration	8
n) Force limitation	8
o) Test stages to be performed and sequence*	8, 8 1 and 8 2
p) Functioning and functional checks*	8 1 and 9
q) Action to be taken after the vibration response investigation	8 1
r) Action to be taken if a change of response frequency is found when a final response investigation is performed	8 1
s) Predetermined frequencies	8 2 2
t) Conditioning at the resonance frequencies of the specimen on its isolators	8 2 2
u) Final measurements*	11

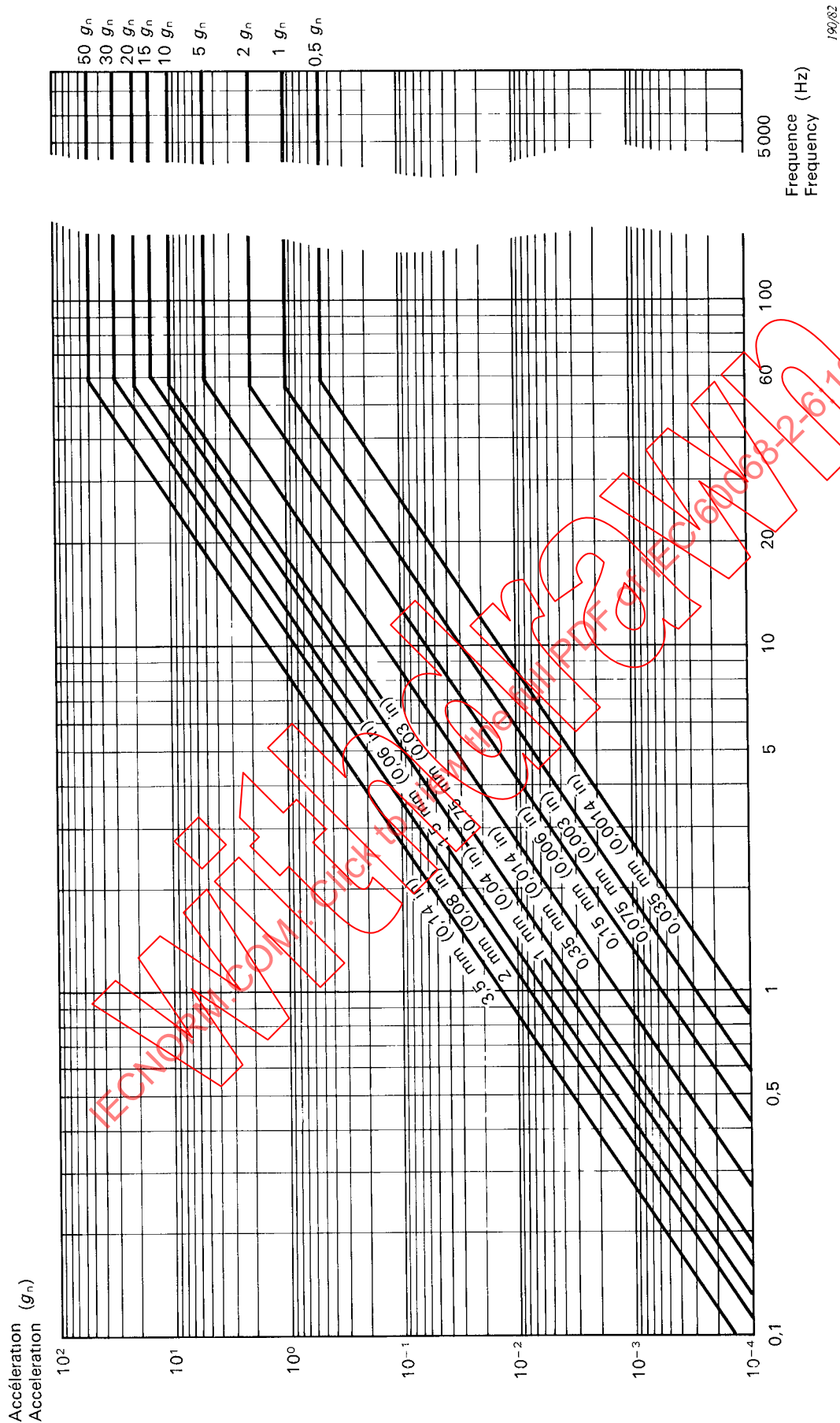


FIG. 2. — Amplitude des vibrations, cas d'une fréquence de transfert élevée (57 Hz à 62 Hz).
Vibration amplitude with higher cross-over frequency (57 Hz to 62 Hz).

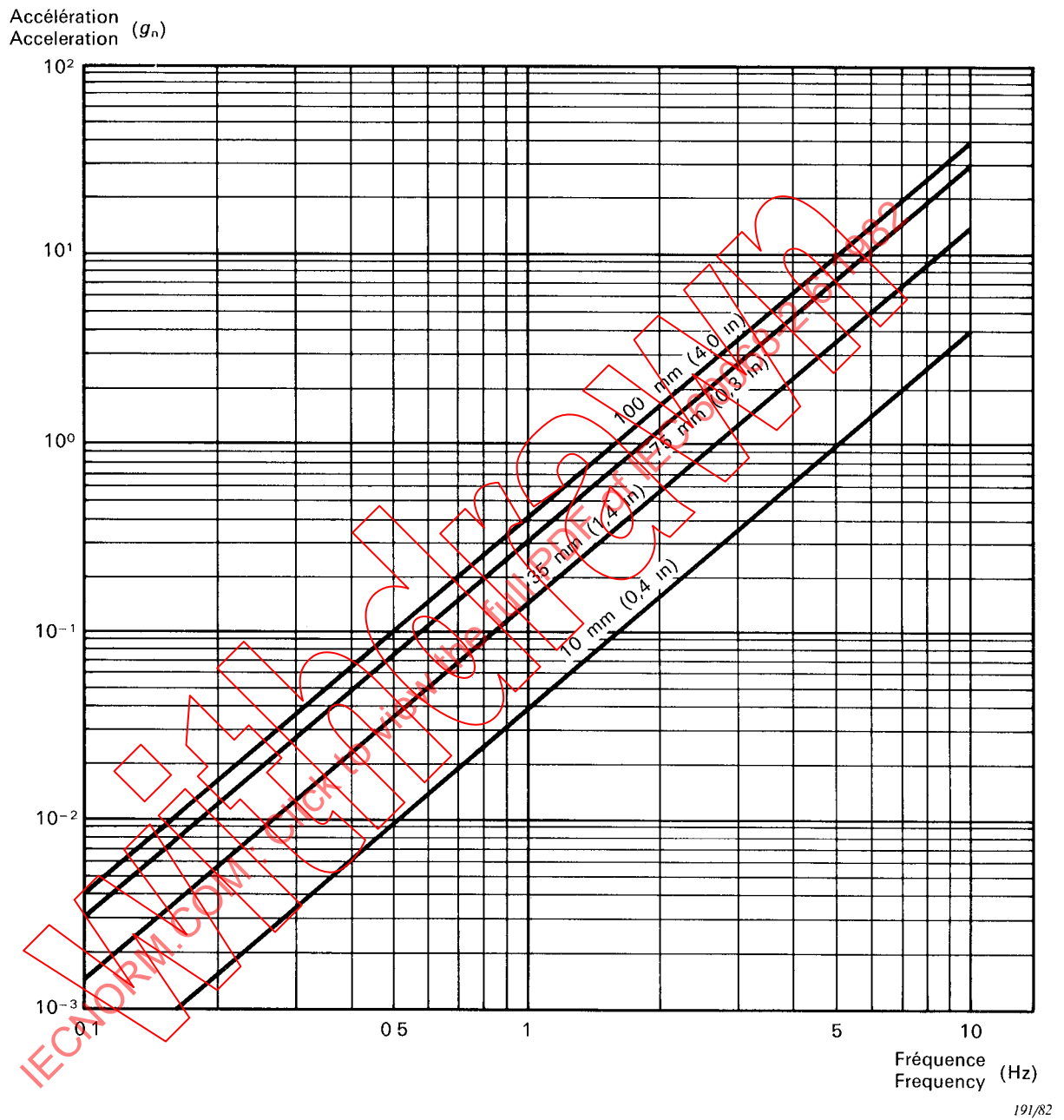


FIG 3 — Amplitude de déplacement (applicable seulement dans les gammes de fréquences ayant une limite supérieure de fréquence de 10 Hz)

Vibration displacement amplitude (only applicable for frequency ranges with an upper frequency of 10 Hz)

— Page blanche —

— Blank page —

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60068-2-6:1982

Withd2Wm

ANNEXE A

GUIDE POUR L'ESSAI Fc

A1 Introduction

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

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

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

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

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

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

APPENDIX A

GUIDE TO TEST Fc

A1 Introduction

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

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

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

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

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

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

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

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

A2 Mesures et pilotage

A2.1 Points de mesure

On a défini à l'article 3 deux types principaux de points de mesure. Il peut cependant être nécessaire, pendant le développement, de mesurer les réponses locales dans un spécimen afin de s'assurer que les vibrations en ces points ne risquent pas de causer des dommages. Dans certains cas, il peut même être nécessaire d'incorporer les signaux venant de ces points de mesure dans la boucle de pilotage afin d'éviter au spécimen des dégradations coûteuses. Il faut noter que cette technique n'est pas recommandée dans cette norme car elle ne peut être normalisée (voir paragraphe 3.2.1).

A2.2 Erreurs dues à la distorsion

Quand la distorsion est forte, le système de mesure indique un niveau de vibration incorrect puisqu'il contient la fréquence désirée et beaucoup de fréquences parasites. Il en résultera une amplitude plus faible que celle spécifiée à la fréquence requise. Jusqu'à la valeur spécifiée pour la distorsion au paragraphe 4.1.3, cette erreur est tolérable, mais au-dessus de cette valeur, il peut être nécessaire de rétablir le niveau de la fondamentale à son amplitude requise. Il y a plusieurs moyens pour ce faire, mais il est recommandé d'utiliser un filtre de poursuite. Si le niveau de la fondamentale est rétabli la contrainte voulue sera appliquée au spécimen à la fréquence requise. Cependant, le niveau des fréquences parasites va augmenter lui aussi et il en résultera des contraintes supplémentaires. Si cela conduit à des contraintes exagérément élevées, il peut être préférable de déroger à l'exigence sur le niveau de distorsion requise par la documentation (voir paragraphe 4.1.3).

A2.3 Provenance du signal de pilotage

Il existe plusieurs méthodes pour obtenir le signal de pilotage.

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

Si l'on utilise un système à échantillonnage, on peut prendre une fréquence d'échantillonnage égale à la fréquence d'excitation. Il peut néanmoins y avoir des difficultés lorsqu'un tel système est utilisé avec un filtre de poursuite et, dans ce cas, il faut agir avec précaution.

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

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

A2 Measurement and control

A2.1 *Measuring points*

Two main types of measuring points are defined in Clause 3. However, during development it may be necessary to measure local responses within a specimen in order to establish that the vibration at these points is not likely to cause damage. Under certain circumstances, it may even be necessary to incorporate the signals from such measuring points into the control loop in order to avoid costly degradation of the specimen. It should be noted that this technique is not recommended in this standard as it cannot be standardized (see Sub-clause 3.2.1).

A2.2 *Errors caused by distortion*

In cases where distortion is high, the measuring system will indicate a vibration level which is incorrect since it contains the required frequency and many unwanted frequencies. This will result in a lower amplitude at the required frequency than is specified. Up to the distortion value specified in Sub-clause 4.1.3, this error can be tolerated, however, above this value it may be necessary to restore the level of the fundamental to its required amplitude. There are a number of ways of doing this, but it is recommended that a tracking filter be used. If the level of the fundamental is restored, the specimen will be subjected to the intended stress at the required frequency. However, the unwanted frequencies will also increase and as a result some additional stresses will be caused. If this gives rise to unrealistically high stresses, it may be more appropriate to waive the distortion level requirement prescribed in the documentation (see Sub-clause 4.1.3).

A2.3 *Derivation of control signal*

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

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

If a sampled data system is utilized, a sampling frequency equal to the driving frequency may be used. There may, however, be problems where such a system is used in conjunction with a tracking filter and due care must be taken under these circumstances.

Le système à échantillonnage peut aussi causer des difficultés quand l'essai doit être piloté à amplitude de déplacement constante, puisque le signal de l'accélération, après une double intégration, ne sera pas proportionnel à l'amplitude du déplacement à cause de la distorsion créée par les différences de phase entre les signaux échantillonnés (voir paragraphe 3 3 2)

Il importe que le système de vibration entier ait un bas niveau de bruit résiduel de façon à pouvoir garder disponible pour l'essai la plus grande part des tolérances données (voir paragraphe 4 1 4 1)

A3 Exécution de l'essai

A3 1 *Etude des fréquences critiques (voir paragraphe 8 1)*

L'étude des fréquences critiques est de la plus grande importance quand on a des renseignements suffisants sur l'environnement rencontré en utilisation. Cela peut se justifier quand on sait que le spécimen sera soumis aux vibrations périodiques importantes que l'on rencontre dans les navires, les avions à hélice et les machines tournantes. On utilise aussi cette technique quand on estime important d'étudier le comportement dynamique du spécimen. Cela peut également convenir aux spécimens pour lesquels il faut évaluer la fatigue.

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

En prescrivant une étude des fréquences critiques, la spécification particulière doit indiquer clairement, le cas échéant, ce qu'il faut faire au cours et à l'issue de l'essai, par exemple les valeurs particulières du coefficient d'amplification qui, si elles sont dépassées, devraient conduire à faire une épreuve d'endurance par balayage, les variations de fréquence ou les niveaux de réponse qui ne sont pas acceptables, le bruit d'origine électrique.

Il importe que toute disposition prise pour déceler les effets produits sur les parties internes pendant l'étude des fréquences critiques ne change pas de manière appréciable le comportement dynamique du spécimen pris dans son ensemble. Il faut aussi se rappeler que, dans le cas des résonances non linéaires, un spécimen peut répondre différemment suivant le sens de variation de la fréquence pendant le balayage.

Lorsque la spécification particulière prescrit une étude des fréquences critiques, il est extrêmement important de pouvoir disposer des amortisseurs utilisés. S'ils sont disponibles, on fera souvent une première étude en bloquant ou en enlevant les amortisseurs afin de déterminer les fréquences critiques du spécimen. On peut alors procéder à une deuxième phase dans laquelle l'étude est répétée avec les amortisseurs en place et débloqués de telle sorte que les effets qui leur sont dus puissent être déterminés. Dans les deux cas, on utilisera une amplitude de vibration différente, afin de tenir compte des caractéristiques de transmissibilité des amortisseurs.

Si les amortisseurs ne sont pas disponibles, voir le paragraphe A5 1.

A3 2 *Endurance (voir paragraphe 8 2)*

L'endurance par balayage est la méthode la plus appropriée pour simuler les effets des contraintes subies par des spécimens pendant leur utilisation (voir paragraphe 8 2 1).

The sampled data system may cause problems when the test is to be controlled to a constant displacement amplitude since the acceleration signal, which is integrated twice, will not be proportional to the displacement amplitude owing to the distortion caused by the phase difference between the sampled signals (see Sub-clause 3 3 2)

It is important that the complete vibration system has a low residual noise level so that most of the tolerance quoted is available during the test (see Sub-clause 4 1 4 1)

A3 Testing procedures

A3 1 *Vibration response investigation (see Sub-clause 8 1)*

Vibration response investigations are of most use when sufficient information is available concerning the operational environment. It is justifiable when it is known that the specimen will experience considerable vibration of a periodic nature such as is found in ships, propeller-driven aircraft, and rotating machinery. The response investigation is also of use when it is considered important to investigate the dynamic behaviour of the specimen. It may also be appropriate for specimens where fatigue is to be assessed.

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

When prescribing the vibration response investigation, the relevant specification should clearly state, where appropriate, the actions to be taken during and following the test, for example any special values of dynamic magnification which, if exceeded, would require endurance by sweeping, changes in frequency, levels of response which are unacceptable, electrical noise.

It is important that any arrangements made to detect the effect upon internal parts during a vibration response investigation should not substantially change the dynamic behaviour of the specimen as a whole. It should also be remembered that, in the case of a non-linear resonance, a specimen may respond differently depending upon the direction of the frequency variation during the sweep.

When a vibration response investigation is called for in the relevant specification the availability of any isolators used is of fundamental importance. If the isolators are available, a first investigation is often carried out with the isolators removed or blocked in order to determine the critical frequencies of the specimen. A second stage may then also be performed in which the investigation is repeated with the isolators mounted and free so that the effects which they introduce can be determined. At the two stages, different vibration amplitudes will be needed in order to take into account the transmissibility characteristics of the isolators.

If the isolators are not available, see Sub-clause A5 1

A3 2 *Endurance (see Sub-clause 8 2)*

Endurance by sweeping is the most appropriate method for simulating the effect of the stresses undergone by specimens in use (see Sub-clause 8 2 1)

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

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

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

Pour l'essai d'endurance, un matériel normalement monté sur amortisseurs est habituellement essayé avec ceux-ci en place. S'il n'est guère possible de le faire avec les amortisseurs appropriés, par exemple si le matériel doit être installé avec d'autres dans un bâti de montage commun, on fera l'essai sans amortisseurs mais à une sévérité différente que doit donner la spécification particulière. Cette amplitude sera déterminée en tenant compte de la transmissibilité du système amortisseur selon chaque axe requis pour l'essai. Quand on ne connaît pas les caractéristiques des amortisseurs, voir paragraphe A5.1.

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

A4 Sévérités d'essai

A4.1 Sélection des sévérités d'essai

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

Comme la valeur de l'amplitude de déplacement est associée à une valeur correspondante d'amplitude d'accélération de telle sorte que le niveau de vibration soit le même à la fréquence de transfert, on peut balayer constamment la gamme de fréquences en passant du déplacement constant à l'accélération constante, ou vice versa à la fréquence de transfert. Des fréquences de transfert comprises entre, à peu près, 8 Hz et 9 Hz et entre 57 Hz et 62 Hz sont données. Des fréquences de transfert autres que ces fréquences normales peuvent être nécessaires lorsqu'on désire simuler l'environnement réel, si on le connaît. S'il en résulte une fréquence de transfert élevée, il faut tenir compte des possibilités du générateur de vibrations. Il est important que l'amplitude de déplacement choisie ne corresponde pas à une amplitude d'accélération, dans la zone des basses fréquences, qui soit comparable au niveau de bruit résiduel du générateur de vibration (voir paragraphe 5.2).

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

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

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

For endurance testing of an equipment normally mounted on isolators, the isolators are usually fitted. If it is not practicable to carry this out with the appropriate isolators, for example if the equipment is installed together with other equipment on a common mounting device, the equipment may be tested without them at a different severity to be stated in the relevant specification. This amplitude should be determined by taking into account the transmissibility of the isolating system in each axis used for the test. When the characteristics of the isolators are not known, see Sub-clause A5.1.

The relevant specification may require an additional test on a specimen with the external isolators removed or blocked in order to demonstrate that minimum acceptable structural resistance has been achieved. In this case, the severity to be applied should be given in the relevant specification.

A4 Test severities

A4.1 Selection of test severities

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

As the value of displacement amplitude is associated with a corresponding value of acceleration amplitude in such a manner that the magnitude of vibration is the same at the cross-over frequency, the frequency range may be swept continuously, changing from constant displacement to constant acceleration and vice versa at the cross-over frequency. Cross-over frequencies between, approximately, 8 Hz and 9 Hz and between 57 Hz and 62 Hz are given. Cross-over frequencies other than the standard ones may be required where it is desirable to simulate the actual environment, if known. If this results in a high cross-over frequency the capability of the vibration generator must be borne in mind. It is important that the displacement amplitude chosen does not correspond to an acceleration amplitude in the low-frequency region comparable to the residual noise level of the vibration system (see Sub-clause 5.2).

A4.2 Sélection des sévérités pour les composants

La sélection des sévérités pour les composants est compliquée par le fait que, dans bien des cas, on ne sait pas dans quel matériel ils seront montés, ni à quelles contraintes ils seront soumis. Même quand on sait qu'ils sont destinés à des matériels déterminés, il faut penser que l'environnement vibratoire auquel le composant sera soumis pourra être différent de celui que subira le matériel, à cause de la réponse dynamique du bâti, du matériel, des sous-ensembles, etc.

Il faut donc faire attention en choisissant les sévérités d'essai pour les composants par rapport aux sévérités pour les matériels, et il peut être bon de prévoir une certaine marge pour tenir compte de ces réponses.

Quand les composants sont montés dans un matériel de façon à les protéger des vibrations, les sévérités applicables au matériel, ou éventuellement une sévérité inférieure, peuvent convenir.

Une autre manière de choisir les sévérités d'essai pour les composants peut être de les essayer et de les classer selon des sévérités d'essai données, de sorte que les concepteurs de matériels puissent choisir les composants convenant à leur application.

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

A4.3 Balayage

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

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

où :

f = fréquence
 f_1 = fréquence limite inférieure du balayage
 k = facteur dépendant de la vitesse de balayage
 t = temps

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

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

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

ou

N = nombre d'octaves
 f_1 = fréquence limite inférieure du balayage
 f_2 = fréquence limite supérieure du balayage

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

A4.2 Selection of test severities for components

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

Caution should, therefore, be observed in selecting component test severities related to equipment severities and some margin may need to be allowed for the effect of these responses.

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

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

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

A4.3 Sweep

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

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

where:

f = frequency

f_1 = lower frequency limit of the sweep

k = factor depending on sweep rate

t = time

For this test, the sweep rate is one octave per minute (see Sub-clause 4.1.6) and thus $k = \log_e 2 = 0.693$, if the time is expressed in minutes.

The number of octaves for a sweep cycle is given by

$$N = 2 \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = \frac{2}{\log_{10} 2} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = 6.644 \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

where:

N = number of octaves

f_1 = lower frequency limit of the sweep

f_2 = upper frequency limit of the sweep

Values produced utilizing the above formula are given in Table AI and show the rounded times associated with the recommended numbers of sweep cycles and frequency ranges (see Sub-clause 5.3.1).

TABLEAU A1

Nombre de cycles de balayage et durées d'endurance par axe

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

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

2 — Les valeurs soulignées sont tirées des annexes B et C.

A5 Matériels normalement utilisés avec amortisseurs de vibrations

A5.1 Facteurs de transmissibilité pour les amortisseurs

Quand un spécimen doit être normalement monté sur amortisseurs, mais que ceux-ci ne sont pas disponibles et que l'on ne connaît pas leurs caractéristiques, il faut modifier le niveau spécifié de façon à appliquer au spécimen une vibration plus proche de la réalité. Il est recommandé que ce nouveau niveau soit déterminé en utilisant les valeurs données par les courbes de la figure A1.

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

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

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

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

Il faut choisir la courbe de transmissibilité la mieux adaptée et multiplier les niveaux de vibrations spécifiés par les valeurs tirées de cette courbe pour la gamme de fréquences requise.

TABLE AI

Number of sweep cycles and associated endurance times per axis

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

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

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

A5 Equipment normally used with vibration isolators

A5.1 Transmissibility factors for isolators

When a specimen would normally be mounted on isolators, but they are not available and their characteristics are unknown, it is necessary to modify the specified level in such a way as to provide a more realistic vibration input to the specimen. It is recommended that this modified level be derived by using values taken from the curves given in Figure A1 described below.

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

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

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

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

The most appropriate transmissibility curve should be selected and the specified vibration levels should be multiplied by values taken from this curve over the required frequency range.

Le produit des valeurs prises sur ces deux courbes peut conduire à des niveaux que les ingénieurs d'essai peuvent trouver impossibles à reproduire dans leur laboratoire. Dans ce cas, l'ingénieur d'essai doit ajuster ces niveaux de telle sorte qu'ils soient reproduits le mieux possible, à tout moment et sur toute la gamme de fréquences. Il est de la plus grande importance que les valeurs effectivement utilisées soient enregistrées.

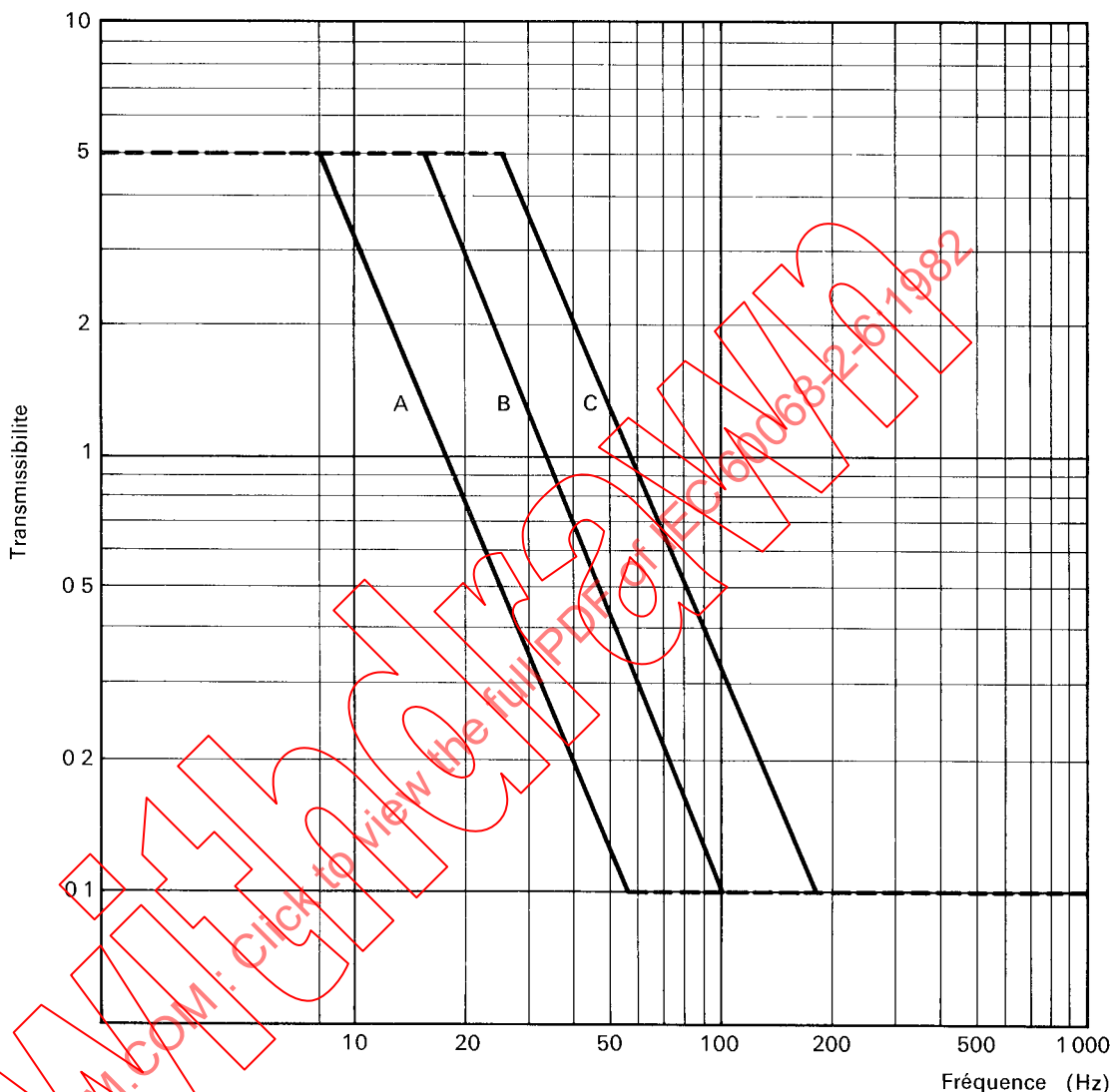


FIG A1 — Facteurs de transmissibilité généralisés pour amortisseurs

192/82

A5.2 Effet de la température

Il importe de noter que beaucoup d'amortisseurs contiennent des matériaux dont les caractéristiques dépendent de la température. Si la fréquence de résonance fondamentale du spécimen sur ses amortisseurs tombe à l'intérieur de la gamme de fréquences de l'essai, il faudra faire attention quand on décidera de la durée pendant laquelle l'épreuve d'endurance est à effectuer. Dans certains cas cependant, il peut être déraisonnable d'appliquer au spécimen une excitation continue sans lui accorder quelque répit. Si l'on sait comment se répartit effectivement dans le temps l'excitation de cette fréquence de résonance fondamentale, on doit tenter de la reproduire. Si l'on ignore cette répartition dans le temps, il faut alors éviter les surchauffes exagérées en limitant les périodes d'excitation d'une manière qui fasse appel au bon sens technique de l'expérimentateur, compte tenu du paragraphe 5.3.

The product of values taken from these two curves may result in test levels which test engineers might find impossible to reproduce in the laboratory. In this case the test engineer should adjust the levels in such a way that the maximum possible level is achieved at all times throughout the complete frequency range. It is of the utmost importance that the actual values used are recorded.

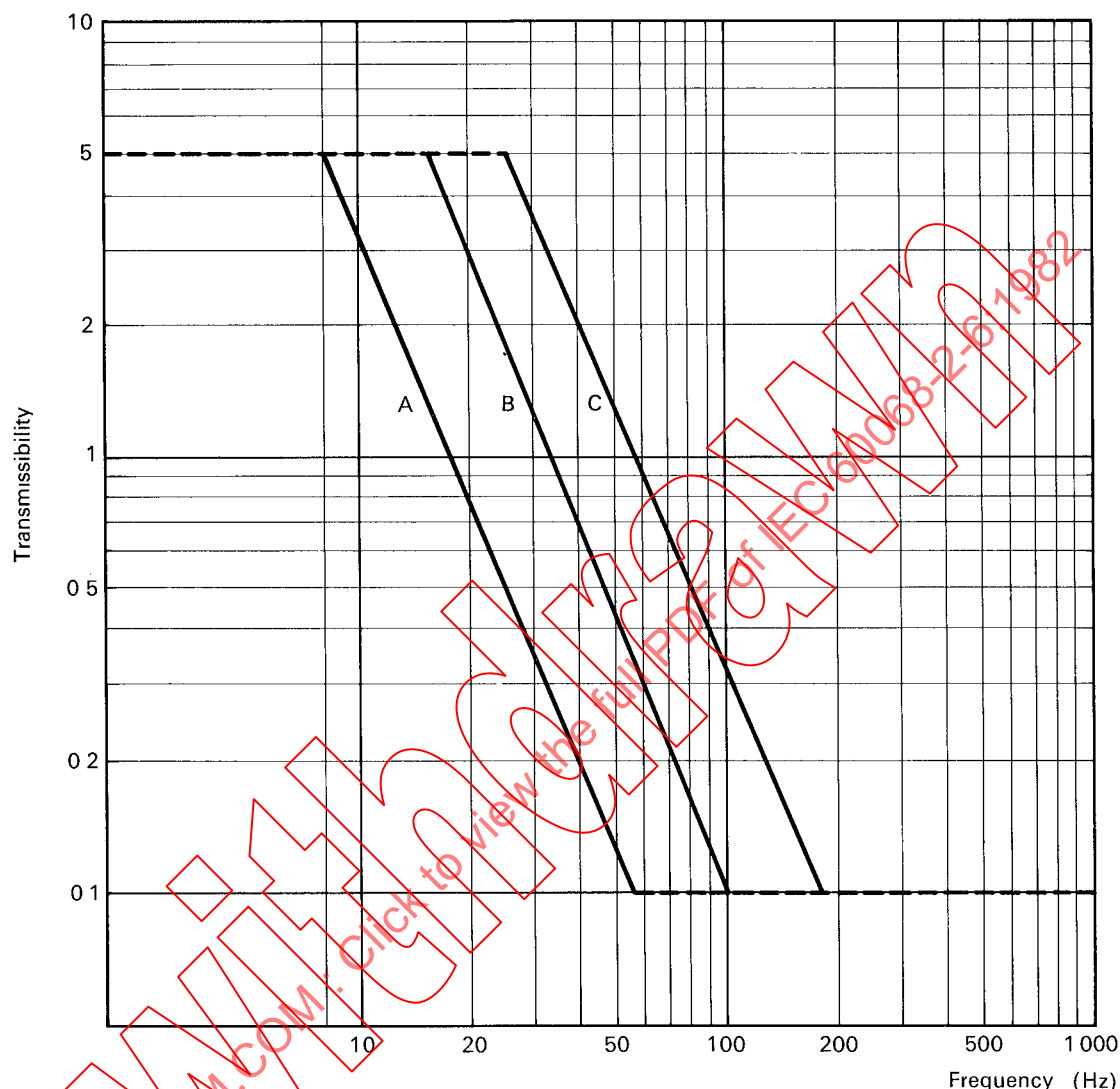


FIG A1 — Generalized transmissibility factors for isolators

192/82

A5.2 Temperature effect

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