

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

60068-2-59

Première édition
First edition
1990-11

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

Essais d'environnement –

Partie 2-59:

**Méthodes d'essai – Essai Fe: Vibrations –
Méthode par sinusoides modulées**

Environmental testing –

Part 2-59:

**Test methods – Test Fe: Vibration –
Sine-beat method**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60068-2-59:1990



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 1993 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60068-2-59

Première édition
First edition
1990-11

**BASIC SAFETY PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ**

Essais d'environnement –

Partie 2-59:

**Méthodes d'essai – Essai Fe: Vibrations –
Méthode par sinusoides modulées**

Environmental testing –

Part 2-59:

**Test methods – Test Fe: Vibration –
Sine-beat method**



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

T

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	6
Articles	
1 Objet	6
2 Description générale	8
3 Définitions	8
4 Conditions de réalisation de l'essai	14
5 Sévérités	22
6 Préconditionnement	30
7 Mesures initiales	30
8 Épreuve	30
9 Mesures intermédiaires	32
10 Reprise	32
11 Mesures finales	32
12 Renseignements que doit donner la spécification particulière	34
Annexe A - Guide	36
Figures	
1 Séquence de cinq sinusoïdes modulées de cinq cycles	44
2 Amplitude d'essai recommandée pour une fréquence de transfert de 0,8 Hz	45
3 Amplitude d'essai recommandée pour une fréquence de transfert de 1,6 Hz	46
4 Amplitude d'essai recommandée pour une fréquence de transfert de 8 Hz	47
5 Nombre de cycles par sinusoïde modulée	48
6 Facteur d'amplification de différentes sinusoïdes modulées	49
7 Présentation normalisée de sinusoïdes modulées exprimées en accélération, vitesse et déplacement (avec sinusoïde modulée de l'accélération de cinq cycles)	50

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
RELATED DOCUMENTS	7
 Clause	
1 Object	7
2 General description	9
3 Definitions	9
4 Requirements for conditioning	15
5 Severities	23
6 Pre-conditioning	31
7 Initial measurements	31
8 Conditioning	31
9 Intermediate measurements	33
10 Recovery	33
11 Final measurements	33
12 Information to be given in the relevant specification	35
 Annex A - Guide	 37
 Figures	
1 Sequence of five sine beats with five cycles	44
2 Recommended test level with crossover frequency at 0,8 Hz	45
3 Recommended test level with crossover frequency at 1,6 Hz	46
4 Recommended test level with crossover frequency at 8 Hz	47
5 Number of cycles per sine beat	48
6 Amplification factors of different sine beats	49
7 Standardized presentation of matched sine beats of acceleration, velocity and displacement (five cycles within the sine beat of acceleration)	50

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

Deuxième partie: Méthodes d'essai – Essai Fe: Vibrations – Méthode par sinusoïdes modulées

AVANT-PROPOS

- 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.

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
50A(BC)175	50A(BC)180

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING –

**Part 2: Test methods – Test Fe: Vibration –
Sine-beat method**

FOREWORD

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

This standard has been prepared by subcommittee 50A: Shock and vibration tests, of IEC technical committee 50: Environmental testing.

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

Six Months' Rule	Report on voting
50A(CO)175	50A(CO)180

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

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

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT

Deuxième partie: Méthodes d'essai

Essai Fe: Vibrations – Méthode par sinusoïdes modulées

INTRODUCTION

La présente norme décrit une méthode d'essai applicable aux composants, matériels et autres produits électrotechniques, dénommés ci-après «spécimens», qui peuvent, pendant leur utilisation, être soumis à des sollicitations transitoires ou oscillatoires de courte durée, comme celles qui résultent de séismes, de phénomènes explosifs ou de vibrations de machines.

Dans cet essai, le spécimen est excité à des fréquences discrètes avec un nombre prédéterminé de sinusoïdes modulées (voir figure 1). Ces fréquences discrètes d'essai sont, soit des fréquences prédéterminées, soit des fréquences critiques décelées par l'essai de balayage sinusoïdal (voir CEI 68-2-6), soit les deux. Des pauses sont respectées entre chaque sinusoïde modulée pour permettre l'atténuation de la réponse libre du spécimen.

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

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Ce texte fait référence aux normes internationales suivantes:

CEI 68, *Essais d'environnement*

CEI 68-1: 1988, *Première partie: Généralités et guide*

CEI 68-2-6: 1982, *Deuxième partie: Essais - Essai Fc et guide: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 68-2-47: 1982, *Fixation de composants, matériels et autres articles pour essais dynamiques tels que chocs (Ea), secousses (Eb), vibrations (Fc et Fd) et accélération constante (Ga) et guide*

CEI 68-3-3: 19.., *Troisième partie: Informations. Section 3: Méthodes d'essai sismiques applicables aux matériels*

ISO 2041: 1975, *Vibrations et chocs - Vocabulaire*

1 Objet

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

ENVIRONMENTAL TESTING

Part 2: Test methods

Test Fe: Vibration - Sine-beat method

INTRODUCTION

This standard details methods for testing components, equipments and other electrotechnical products (hereinafter referred to as "specimens") which in service can be subjected to pulsating or oscillating forces of short duration caused, for example, by seismic or explosive phenomena or by vibration in machinery.

In this test the specimen is excited at fixed frequencies with a preset number of sine beats (see figure 1). These fixed test frequencies are predetermined frequencies, critical frequencies identified by means of a sinusoidal vibration test (IEC 68-2-6) or both. Pauses are provided between the individual sine beats in order to allow decay of the free response of the specimen.

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

RELATED DOCUMENTS

The following international standards are directly referred to in this standard:

IEC 68, *Environmental testing*

IEC 68-1: 1988, *Part 1: General and guidance*

IEC 68-2-6: 1982, *Part 2: Tests - Test Fc and guidance: Vibration (sinusoidal)*

IEC 68-2-47: 1982, *Mounting of components, equipment and other articles for dynamic tests including shock (Ea), bump (Eb), vibration (Fc and Fd) and steady-state acceleration (Ga) and guidance*

IEC 68-3-3: 19..., *Part 3: Guidance. Section 3: Seismic test methods for equipments*

ISO 2041: 1975, *Vibration and shock - Vocabulary*

1 Object

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

2 Description générale

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

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

Les modalités de l'essai sont décrites pour son exécution et pour les mesures des vibrations en des points donnés. Les exigences sur le mouvement vibratoire et le choix des sévérités (y compris la gamme de fréquences, l'amplitude, le nombre de cycles et le nombre de sinusoïdes modulées) sont aussi énumérées.

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

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

Afin de faciliter l'utilisation de cette norme, la partie principale comporte des références à l'annexe A où le lecteur est prié de se référer; réciproquement, les numéros d'articles de la partie principale sont rappelés dans l'annexe A, qui donne également une indication spécifique sur la corrélation entre sinusoïdes modulées exprimées en déplacement, vitesse et accélération.

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

3 Définitions

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

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

3.1 fréquence critique (définition équivalente à celle du 8.1 de la CEI 68-2-6): Fréquence pour laquelle:

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

2 General description

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

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

Procedures are described for conducting the test and for the measurement of the vibration at given points. The requirements for the vibration motion and for the choice of severities (including frequency range, test levels, sine-beat cycles and number of sine beats) are also detailed.

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

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

In order to facilitate the use of this standard, references are given in the main part where the reader is invited to refer to annex A; additionally the clause numbers in the main part are referred to in annex A which also gives specific information on the correlation between sine beats of displacement, velocity and acceleration.

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

3 Definitions

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

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

3.1 critical frequency (definition technically equivalent to that of 8.1 of IEC 68-2-6): Frequencies at which:

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

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

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

3.3 amortissement (définitions différentes de celles de l'ISO 2041): Terme générique lié à de nombreux mécanismes de dissipation de l'énergie dans un système. En pratique, l'amortissement dépend de plusieurs facteurs, tels que le type de structure, le mode de vibration, la déformation, la force appliquée, la vitesse, les matériaux, le glissement des joints, etc.

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

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

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

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

où

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

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

3.5 point de fixation (définition équivalente à celle du 3.1 de la CEI 68-2-6): Partie du spécimen en contact avec le bâti de fixation ou la table vibrante en un point où le spécimen est normalement fixé en utilisation.

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

3.6 « g_n » accélération normalisée de la pesanteur (variable en fonction de l'altitude et de la latitude).

NOTE - Dans le cadre de la présente norme, la valeur de g_n est arrondie au nombre entier le plus proche, c'est-à-dire 10 m/s².

3.7 points de mesure (définition techniquement identique à celle du 3.2 de la CEI 68-2-6): Points particuliers où des informations sont recueillies pour la conduite de l'essai. Ils sont de deux types principaux définis ci-après.

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

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

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

3.3 damping (not identical with ISO 2041 definitions): Damping is the generic term ascribed to the numerous energy dissipation mechanisms in a system. In practice, damping depends on many parameters, such as the structural system, mode of vibration, strain, applied forces, velocity, materials, joint slippage, etc.

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

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

3.4 distortion (definition identical with that in clause 3 of IEC 68-2-6; not identical with ISO 2041 definition):

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

where

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

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

3.5 fixing point (definition technically equivalent to that of 3.1 of IEC 68-2-6): Part of the specimen in contact with the fixture or vibration table at a point where the specimen is normally fastened in service.

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

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

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

3.7 measuring points (definition technically identical with that of 3.2 of IEC 68-2-6): Specific points at which data are gathered for conducting the test. These points are of two main types as defined below.

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

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

NOTES

- 1 On peut être conduit à utiliser plusieurs points de vérification pour s'assurer que les exigences de l'essai sont satisfaites.
- 2 S'il n'y a pas plus de quatre points de fixation, chacun d'eux sera pris comme point de vérification. S'il y a plus de quatre points de fixation, la spécification particulière désignera les quatre points de fixation représentatifs à utiliser comme points de vérification.
- 3 Dans les cas particuliers, par exemple pour des spécimens complexes ou volumineux, la spécification particulière indiquera les points de vérification, s'ils ne sont pas à proximité des points de fixation.
- 4 Dans le cas d'un grand nombre de petits spécimens fixés sur un seul bâti, ou dans celui d'un petit spécimen ayant plusieurs points de fixation, on peut sélectionner, pour obtenir le signal de pilotage, un seul point de vérification (point de référence) qui sera lié au support plutôt qu'aux points de fixation du(des) spécimen(s). Cela n'est valable que lorsque la plus basse fréquence de résonance du support chargé est située nettement au-dessus de la limite supérieure de la fréquence de l'essai.

3.7.2 point de référence (définition techniquement identique à celle du 3.2.2 de la CEI 68-2-6): Point choisi parmi les points de vérification, dont on utilise le signal pour piloter l'essai afin de satisfaire aux conditions d'essai spécifiées.

3.8 fréquence de modulation: Fréquence utilisée pour moduler la fréquence d'essai (voir articles A.2, A.3 et figure 1).

3.9 cycles de réponse de niveau élevé: Cycles de réponse atteignant des niveaux de contrainte qui peuvent entraîner une fatigue du spécimen.

3.10 pause: Intervalle entre deux sinusoïdes modulées consécutives.

NOTE - Il convient que la pause soit d'une durée suffisante pour qu'il n'en résulte pas de superposition significative dans le mouvement de réponse du spécimen. Elle peut être déterminée au moyen de la formule:

$$T > \frac{1}{f} \cdot \frac{100}{d}$$

où

T est la durée (s)

f est la fréquence d'essai (Hz)

d est le taux d'amortissement à la fréquence d'essai (en pourcentage).

3.11 axes préférentiels d'essai: Trois axes orthogonaux correspondant aux axes les plus vulnérables du spécimen.

3.12 sinusoïde modulée: Onde sinusoïdale à fréquence fixe, modulée en amplitude par une onde sinusoïdale de fréquence inférieure. La durée d'une sinusoïde modulée est égale à une demi-période de la fréquence de modulation (voir figure 5).

NOTE - Voir, en A.2.1, l'expression mathématique d'une sinusoïde modulée.

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

NOTES

- 1 A number of check points are used as a means of ensuring that the test requirements are satisfied.
- 2 If four or fewer fixing points exist, each is used as a check point. If more than four fixing points exist, four representative fixing points will be defined in the relevant specification to be used as check points.
- 3 In special cases, for example for large or complex specimens, the check points will be prescribed by the relevant specification if not close to the fixing points.
- 4 Where a large number of small specimens are mounted on one fixture, or in the case of a small specimen where there are several fixing points, a single check point (that is the reference point) may be selected for the derivation of the control signal. This signal is then related to the fixture rather than to the fixing points of the specimen(s). This procedure is only valid when the lowest resonance frequency of the loaded fixture is well above the upper frequency of the test.

3.7.2 reference point (definition technically identical with that of 3.2.2 of IEC 68-2-6): Point, chosen from the check points, whose signal is used to control the test, so that the requirements of this standard are satisfied.

3.8 modulating frequency: Frequency with which the test frequency is modulated (see clauses A.2 and A.3 and figure 1).

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

3.10 pause: Interval between two consecutive sine beats.

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

$$T > \frac{1}{f} \cdot \frac{100}{d}$$

where

T is the duration (s)

f is the test frequency (Hz)

d is the critical damping at the test frequency (in per cent).

3.11 preferred testing axes: Three orthogonal axes which correspond to the most vulnerable axes of the specimen.

3.12 sine beat: Continuous sinusoidal wave of one frequency which is modulated by a sinusoidal wave of a lower frequency. The duration of one sine beat is half the period of the modulating frequency (see figure 5).

NOTE - See A.2.1 for a mathematical explanation of the sine-beat signal.

3.13 cycle de balayage (définition techniquement équivalente à celle qui est contenue dans l'article 3 de la CEI 68-2-6): Parcours, une fois dans chaque sens, de la gamme de fréquences spécifiée, par exemple de 1 Hz à 35 Hz à 1 Hz.

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

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

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

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

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

NOTE - Elle est égale ou légèrement inférieure à la valeur de crête de la demi-onde modulatrice.

4 Conditions de réalisation de l'essai

Le paragraphe 4.1 présente les spécifications pour la recherche et l'étude des fréquences critiques et 4.2 celles pour l'épreuve par sinusoïdes modulées; 4.3 traite de la fixation en vue de la réalisation de l'essai. Les tolérances applicables à la recherche et à l'étude des fréquences critiques et à l'épreuve par sinusoïdes modulées sont comparées dans le tableau 1.

Tableau 1 - Comparaison des tolérances

	Tolérances	
	Recherche et étude des fréquences critiques	Epreuve par sinusoïdes modulées
Distorsion	25% (voir 4.1.5) du mouvement fondamental	Pas applicable
Vibration au point de référence	±15% (voir 4.1.6.1) du mouvement fondamental	
Vibration aux points de vérification	±25% jusqu'à 500 Hz (voir 4.1.6.2) de l'accélération ±50% au-delà de 500 Hz (voir 4.1.6.2) de l'accélération	
Mouvement transversal	50% (voir 4.1.2) ou 25% (dans certains cas spéciaux)	25% (voir 4.2)
Fréquences d'essai	(Voir 4.1.7) ±0,05 Hz jusqu'à 0,5 Hz ±10% de 0,5 Hz à 5 Hz ±0,5 Hz de 5 Hz à 100 Hz ±0,5% au-delà de 100 Hz	a) Prédéterminées (voir 4.2.5.1) ±0,05 Hz jusqu'à 0,5 Hz ±10% de 0,5 Hz à 5 Hz ±0,5 Hz de 5 Hz à 100 Hz ±0,5% au-delà de 100 Hz b) D'investigation (voir 4.2.5.2): ±2%

3.13 sweep cycle (definition technically equivalent to that of clause 3 of IEC 68-2-6): Traverse of the specified frequency range once in each direction, for example 1 Hz to 35 Hz to 1 Hz.

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

A test frequency is one of two types which are defined below.

3.14.1 predetermined test frequency: Frequency prescribed by the relevant specification.

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

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

NOTE - This is equal to or negligibly smaller than the peak value of the modulating half-wave.

4 Requirements for conditioning

The requirements for a vibration response investigation are given in 4.1, those for sine-beat conditioning in 4.2 while 4.3 deals with mounting for conditioning. The tolerances applicable to the vibration response investigation and to sine-beat conditioning are compared in table 1.

Table 1 - Comparison of tolerances

	Tolerance	
	Vibration response investigation	Sine-beat conditioning
Distortion	25% (see 4.1.5) of basic motion	Not applicable
Vibration at reference point	±15% (see 4.1.6.1) of basic motion	
Vibration at check points	±25% up to 500 Hz (see 4.1.6.2) of acceleration ±50% above 500 Hz (see 4.1.6.2) of acceleration	
Transverse motion	50% (see 4.1.2) or 25% (for special cases)	25% (see 4.2)
Test frequency	(See 4.1.7) ±0,05 Hz up to 0,5 Hz ±10% from 0,5 Hz to 5 Hz ±0,5 Hz from 5 Hz to 100 Hz ±0,5% above 100 Hz	a) Predetermined (see 4.2.5.1) ±0,05 Hz up to 0,5 Hz ±10% from 0,5 Hz to 5 Hz ±0,5 Hz from 5 Hz to 100 Hz ±0,5% above 100 Hz b) Investigated (see 4.2.5.2): ±2%

4.1 Recherche et étude des fréquences critiques

Lorsque la spécification particulière le prescrit, la recherche et l'étude des fréquences critiques (voir 8.2) doivent être réalisées en se référant à la CEI 68-2-6 et en respectant, en particulier, les points traités de 4.1.1 à 4.1.8 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 sur la table vibrante, qui doivent être prescrits par la spécification particulière, se déplacent sensiblement en phase et suivant des directions rectilignes et parallèles, compte tenu des limitations de 4.1.2, 4.1.3 et 4.1.5.

4.1.2 Mouvement transversal

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

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

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

4.1.3 Mouvements de rotation

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

4.1.4 Points de mesure

4.1.4.1 Point de référence

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

4.1.4.2 Points de vérification

A certaines fréquences ou pour des spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les tolérances requises en 4.1.6.2 (voir aussi l'article A.1). Dans ce cas-là, une tolérance plus large doit figurer dans la spécification particulière ou une autre méthode d'évaluation doit être notée dans le rapport d'essai.

4.1.5 Distorsion de l'accélération

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

4.1 *Vibration response investigation*

When prescribed by the relevant specification, the vibration response investigation (see 8.2) shall be carried out in a manner based on that of IEC 68-2-6 particularly taking account of 4.1.1 to 4.1.8 below.

4.1.1 *Basic motion*

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

4.1.2 *Transverse motion*

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

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

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

4.1.3 *Rotational motion*

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

4.1.4 *Measuring points*

4.1.4.1 *Reference point*

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

4.1.4.2 *Check points*

At some frequencies or with large size or high mass specimens, it may be difficult to achieve the required tolerances in 4.1.6.2 (see also clause A.1). In these cases, it is expected that a wider tolerance will be prescribed by the relevant specification or that the use of an alternative method of assessment will be reported in the test report.

4.1.5 *Acceleration distortion*

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

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

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

Dans le cas de spécimens volumineux 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 cette distorsion doit être notée dans le rapport d'essai (voir l'article A.1).

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

4.1.6 Tolérances sur l'amplitude de la vibration

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

4.1.6.1 Point de référence

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

4.1.6.2 Point de vérification

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

4.1.7 Gamme de fréquences et tolérances

La gamme de fréquences doit être choisie parmi celles qui sont présentées en 5.1.2 dans les tableaux 2, 3 et 4 et doit inclure au moins la gamme retenue pour l'épreuve par sinusoïdes modulées.

Les tolérances sur les fréquences critiques sont les suivantes:

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

4.1.8 Balayage

Le balayage doit être continu et la fréquence doit varier de façon exponentielle en fonction du temps à une vitesse ne dépassant pas une octave par minute (voir 3.13).

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

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

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

In the case of large or complex specimens, where the specified values of distortion cannot be satisfied at some parts of the frequency range and it is impracticable to use a tracking filter, the acceleration need not be restored but the distortion shall then be reported in the test report (see clause A.1).

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

4.1.6 *Vibration amplitude tolerances*

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

4.1.6.1 *Reference point*

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

4.1.6.2 *Check points*

Tolerance at each check point: up to 500 Hz: $\pm 25\%$ of acceleration; above 500 Hz: $\pm 50\%$ of acceleration.

4.1.7 *Frequency range and tolerances*

The frequency range shall be selected from tables 2, 3 and 4 given in 5.1.2 and shall include at least the range for sine-beat conditioning.

The tolerances on the critical frequencies shall be as follows:

$\pm 0,05$ Hz up to 0,5 Hz
 $\pm 10\%$ from 0,5 Hz to 5 Hz
 $\pm 0,5$ Hz from 5 Hz to 100 Hz
 $\pm 0,5\%$ above 100 Hz

4.1.8 *Sweeping*

Sweeping shall be continuous with the frequency changing exponentially with time at a rate not exceeding one octave per minute (see 3.13).

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

4.2 *Epreuve par sinusoïdes modulées*

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

4.2.1 *Mouvement fondamental*

Le mouvement fondamental doit être une sinusoïde modulée exprimée en fonction du temps et tel que les points de fixation du spécimen sur la table vibrante, qui doivent être prescrits par la spécification particulière, se déplacent sensiblement en phase et suivant des directions rectilignes et parallèles, compte tenu des limitations des 4.2.2, 4.2.3 et 4.2.4.

4.2.2 *Mouvement transversal*

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

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

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

4.2.3 *Mouvements de rotation*

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

4.2.4 *Tolérances sur l'amplitude de la vibration*

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

4.2.4.1 *Point de référence*

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

4.2.4.2 *Point de vérification*

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

4.2 Sine-beat conditioning

Sine-beat conditioning shall take into account the following:

4.2.1 Basic motion

The basic motion shall be a sine-beat function of time and such that the fixing points of the specimen on the vibration table, which shall be prescribed by the relevant specification, move substantially in phase and in straight parallel lines, subject to the limitations imposed in 4.2.2, 4.2.3 and 4.2.4.

4.2.2 Transverse motion

The maximum peak value of displacement at the check points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed 25% of the specified peak value in a sine beat unless otherwise stated in the relevant specification. The measurements need only cover the specified frequency range.

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

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

4.2.3 Rotational motion

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

4.2.4 Vibration amplitude tolerances

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

4.2.4.1 Reference point

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

4.2.4.2 Check points

Tolerance at each check point: up to 500 Hz: $\pm 25\%$ of acceleration; above 500 Hz: $\pm 50\%$ of acceleration.

A certaines fréquences ou pour des spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut (voir aussi l'article A.1). Dans de tels cas, une tolérance plus large doit figurer dans la spécification particulière ou une autre méthode d'évaluation doit être notée dans le rapport d'essai.

4.2.5 Tolérances sur les fréquences d'essai

Les tolérances sur les fréquences d'essai sont les suivantes, selon le type:

4.2.5.1 Fréquences d'essai prédéterminées

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

4.2.5.2 Fréquences d'essai d'investigation

L'écart entre la fréquence d'essai et la fréquence critique, obtenue par la recherche et l'étude des fréquences critiques, ne doit pas excéder $\pm 2\%$.

4.3 Fixation

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

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

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

NOTE - Il est conseillé d'inclure, dans la structure prévue pour l'épreuve, le dispositif de fixation du spécimen dans les conditions normales de service.

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

5 Sévérités

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

- gamme de fréquences d'essai;
- amplitude d'essai;
- nombre de cycles par sinusoïde modulée;
- nombre de sinusoïdes modulées.

At some frequencies or with large size or high mass specimens, it may be difficult to achieve these values (see also clause A.1). In these cases, it is expected that a wider tolerance will be prescribed by the relevant specification or that the use of an alternative method of assessment will be reported in the test report.

4.2.5 Test frequency tolerances

The tolerances on the test frequency are as follows for the two types:

4.2.5.1 Predetermined test frequency

$\pm 0,05$ Hz up to 0,5 Hz
 $\pm 10\%$ from 0,5 Hz to 5 Hz
 $\pm 0,5$ Hz from 5 Hz to 100 Hz
 $\pm 0,5\%$ above 100 Hz

4.2.5.2 Investigated test frequency

The deviation of the test frequency from the critical frequency obtained by the vibration response investigation shall not exceed $\pm 2\%$.

4.3 Mounting

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

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

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

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

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

5 Severities

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

- test frequency range;
- test level;
- number of cycles in the sine beat;
- number of sine beats.

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

5.1 Fréquences d'essai

Les fréquences d'essai et la gamme de fréquences d'essai sont obtenues comme suit:

5.1.1 Détermination des fréquences d'essai

Les fréquences d'essai à appliquer comprennent les fréquences critiques relevées lors de la recherche et de l'étude des fréquences critiques, toute autre fréquence prédéterminée et les deux.

Si aucune fréquence critique n'est relevée au cours de l'essai de recherche et d'étude des fréquences critiques et si la spécification particulière n'indique pas la méthode à suivre pour définir les fréquences d'essai, l'essai doit être réalisé à des fréquences espacées au plus d'une demi-octave dans la gamme de fréquences choisie parmi celles qui sont indiquées en 5.1.2.

5.1.2 Gammes de fréquences d'essai

La spécification particulière doit indiquer la gamme de fréquences d'essai en choisissant une fréquence inférieure parmi celles du tableau 2 et une fréquence supérieure parmi celles du tableau 3. Les gammes de fréquences d'essai recommandées sont données dans le tableau 4.

Tableau 2 - Fréquences inférieures

f_1 (Hz)
0,1
1
5
10

Tableau 3 - Fréquences supérieures

f_2 (Hz)
10
20
35
55
100

Tableau 4 - Gammes de fréquences d'essai recommandées

de f_1 à f_2 (Hz)		
0,1	à	10*
1	à	35
1	à	100
5	à	35*
10	à	100*
NOTE - Les gammes de fréquences signalées par un astérisque ne correspondent pas à celles qui sont recommandées dans la CEI 68-2-6.		

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

5.1 Test frequencies

The test frequencies and the test frequency range are obtained as follows:

5.1.1 Test frequency determination

The test frequencies to be used are the critical frequencies as determined by the vibration response investigation, any predetermined frequencies or both.

In the event that no critical frequencies are identified during the vibration response investigation and the relevant specification does not state the method to be used to select the test frequencies, the test shall be carried out at frequencies in steps of not greater than one-half octave over the test frequency range selected from the values given in 5.1.2.

5.1.2 Test frequency range

The test frequency range shall be given in the relevant specification by selecting a lower frequency from table 2 and an upper frequency from table 3. The recommended ranges are shown in table 4.

Table 2 - Lower frequency

f_1 (Hz)
0,1
1
5
10

Table 3 - Upper frequency

f_2 (Hz)
10
20
35
55
100

Table 4 - Recommended test frequency ranges

from f_1 to f_2 (Hz)		
0,1	to	10*
1	to	35
1	to	100
5	to	35*
10	to	100*
NOTE - The ranges marked with an asterisk are not in the recommended ranges of IEC 68-2-6.		

5.2 Amplitude d'essai

Pour chaque axe, la spécification particulière doit indiquer l'amplitude d'essai (en déplacement, en accélération ou les deux) (voir aussi l'article A.3).

Au-dessous de la fréquence de transfert, l'amplitude d'essai est spécifiée à déplacement constant et, au-dessus de cette fréquence, à accélération constante. Les valeurs recommandées sont données dans les tableaux 5, 6 et 7 et aux figures 2, 3 et 4 pour les fréquences de transfert choisies.

Tableau 5 - Amplitudes d'essai recommandées pour une fréquence de transfert de 0,8 Hz (voir figure 2)

Amplitude du déplacement au-dessous de la fréquence de transfert mm	Amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert m/s ²
40	1
80	2
120	3
200	5

NOTES

- 1 Les valeurs indiquées représentent la valeur maximale de crête de la sinusoïde modulée.
- 2 Dans le cadre de la présente norme, à l'intention de ceux qui souhaitent continuer à exprimer les valeurs d'accélération en « g_n », la valeur conventionnelle de 10 m/s² lui est attribuée (voir 3.6).

Tableau 6 - Amplitudes d'essai recommandées pour une fréquence de transfert de 1,6 Hz (voir figure 3)

Amplitude du déplacement au-dessous de la fréquence de transfert mm	Amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert m/s ²
10	1
20	2
30	3
50	5
100	10
200	20

NOTES

- 1 Les valeurs indiquées représentent la valeur maximale de crête de la sinusoïde modulée.
- 2 Dans le cadre de la présente norme, à l'intention de ceux qui souhaitent continuer à exprimer les valeurs d'accélération en « g_n », la valeur conventionnelle de 10 m/s² lui est attribuée (voir 3.6).

5.2 Test level

The relevant specification shall state the value of test level (displacement or acceleration or both) for each axis (see also clause A.3).

Below the crossover frequency, all peak values are specified at constant displacement and, above this frequency, peak values are specified at constant acceleration. The recommended values are given in tables 5, 6 and 7 and figures 2, 3 and 4 for the different chosen crossover frequencies.

Table 5 - Recommended test levels with a crossover frequency of 0,8 Hz (see figure 2)

Displacement levels below the crossover frequency	Acceleration levels above the crossover frequency
mm	m/s ²
40	1
80	2
120	3
200	5

NOTES

- 1 All levels quoted are peak values in a sine beat.
- 2 For those wishing to continue giving values of acceleration in " g_n ", the value of 10 m/s² is conventionally ascribed to " g_n " (see 3.6) for the purpose of this standard.

Table 6 - Recommended test levels with a crossover frequency of 1,6 Hz (see figure 3)

Displacement levels below the crossover frequency	Acceleration levels above the crossover frequency
mm	m/s ²
10	1
20	2
30	3
50	5
100	10
200	20

NOTES

- 1 All values quoted are peak values in a sine beat.
- 2 For those wishing to continue giving values of acceleration in " g_n ", the value of 10 m/s² is conventionally ascribed to " g_n " (see 3.6) for the purpose of this standard.

Tableau 7 - Amplitudes d'essai recommandées pour une fréquence de transfert de 8 Hz (voir figure 4)

Amplitude du déplacement au-dessous de la fréquence de transfert	Amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert
mm	m/s ²
0,4	1
0,8	2
1,2	3
2,0	5
4,0	10
8,0	20
12,0	30
20,0	50

NOTES

- 1 Les valeurs indiquées représentent la valeur maximale de crête de la sinusoïde modulée.
- 2 Dans le cadre de la présente norme, à l'intention de ceux qui souhaitent continuer à exprimer les valeurs d'accélération en « g_n », la valeur conventionnelle de 10 m/s² lui est attribuée (voir 3.6).

Lorsqu'il ne convient pas d'adopter les fréquences de transfert présentées dans ce paragraphe, la spécification particulière peut coupler des amplitudes de déplacement et d'accélération qui donnent une valeur différente de fréquence de transfert. Pour des applications spéciales on peut aussi spécifier plusieurs fréquences de transfert.

5.3 Epreuve par sinusoïdes modulées

La sinusoïde modulée est définie par la fréquence d'essai et par le nombre de cycles contenus dans la sinusoïde modulée (voir figure 5) en accord avec 5.3.1 et 5.3.2.

5.3.1 Nombre de cycles dans la sinusoïde modulée

La spécification particulière doit prescrire le nombre de cycles par sinusoïde modulée en choisissant parmi les valeurs suivantes (voir figure 5):

3, 5, 10, 20.

NOTE - La valeur de cinq cycles est préférée car elle constitue un compromis, résultant de l'expérience, entre un signal à large bande couvrant les imprécisions des fréquences critiques et la nécessité d'avoir une réponse d'un niveau élevé (voir figure 6).

5.3.2 Fréquence de modulation

La fréquence de modulation est déduite de la fréquence d'essai et du nombre de cycles dans la sinusoïde modulée (voir aussi A.2.2).

5.4 Nombre de sinusoïdes modulées

Le nombre de sinusoïdes modulées doit être prescrit par la spécification particulière parmi les valeurs de la série suivante (voir figure 1):

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

Table 7 - Recommended test levels with a crossover frequency of 8 Hz (see figure 4)

Displacement levels below the crossover frequency	Acceleration levels above the crossover frequency
mm	m/s ²
0,4	1
0,8	2
1,2	3
2,0	5
4,0	10
8,0	20
12,0	30
20,0	50

NOTES

1 All levels quoted are peak values in a sine beat.

2 For those wishing to continue giving values of acceleration in " g_n ", the value of 10 m/s² is conventionally ascribed to " g_n " (see 3.6) for the purposes of this standard.

Where it is not appropriate to adopt the crossover frequencies stated in this sub-clause, the relevant specification may couple peak values of displacement and acceleration giving a different crossover frequency. For special applications, more than one crossover frequency may be specified.

5.3 Sine-beat test wave

The sine-beat test wave is determined by the test frequency and the number of cycles within the sine beat (see figure 5) in accordance with 5.3.1 and 5.3.2.

5.3.1 Number of cycles in the sine beat

The number of cycles in the sine beat shall be prescribed by the relevant specification from the following values (see figure 5):

3, 5, 10, 20.

NOTE - A value of five cycles is preferred since this value represents a compromise, supported by practical experience, between a broad-band signal covering the uncertainties of the critical frequency and a need for a high response value (see figure 6).

5.3.2 Modulating frequency

The modulating frequency is derived from the test frequency and the number of cycles in the sine beat (see also A.2.2).

5.4 Number of sine beats

The number of sine beats shall be prescribed by the relevant specification from the following series (see figure 1):

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

5.5 *Fatigue de type oligocyclique*

La spécification particulière peut prescrire le nombre requis de cycles de niveau élevé chacun entraînant des réponses de contrainte supérieures à la valeur spécifiée (voir l'article A.4).

6 Préconditionnement

La spécification particulière peut prescrire un preconditionnement.

7 Mesures initiales

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

8 Epreuve

8.1 *Généralités*

Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, le spécimen doit être excité, comme il est décrit en 8.2 et en 8.3 suivant chacun des trois axes préférentiels d'essais. Sauf lorsque la spécification particulière l'exige, l'ordre des essais selon ces axes n'a pas d'importance.

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

8.2 *Recherche et étude des fréquences critiques*

Si la spécification particulière le prescrit, on doit étudier le comportement du spécimen en vibration dans la gamme de fréquences d'essai. La recherche et l'étude des fréquences critiques sont réalisées avec une onde sinusoïdale dans la gamme de fréquences et avec l'amplitude d'essai prescrite dans la spécification particulière. Normalement, on effectue cette recherche et cette étude des fréquences critiques par un cycle de balayage logarithmique avec une vitesse ne dépassant pas une octave par minute mais qui peut être réduite afin d'obtenir une meilleure définition des caractéristiques de la réponse. Il convient d'éviter les arrêts prolongés de balayage.

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

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

Dans certains cas, la spécification particulière peut demander de faire une nouvelle étude des fréquences critiques à l'issue de l'épreuve par sinusoïdes modulées, pour comparer les fréquences critiques avant et après l'épreuve par sinusoïdes modulées. La spécification particulière doit indiquer ce qu'il faut faire s'il se produit une variation de ces

5.5 *Low-cycle high-stress fatigue effects*

The relevant specification may prescribe the required number of high-stress cycles each resulting in a greater than specified value of stress (see clause A.4).

6 Pre-conditioning

The relevant specification may call for pre-conditioning.

7 Initial measurements

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

8 Conditioning

8.1 *General*

The specimen shall be excited as described in 8.2 and 8.3 in each of the three preferred testing axes unless otherwise prescribed by the relevant specification. The order of the conditioning along these axes is not important unless prescribed by the relevant specification.

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

8.2 *Vibration response investigation*

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

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

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

In certain circumstances, the relevant specification may prescribe an additional vibration response investigation on completion of the sine-beat conditioning so that the critical frequencies can then be compared before and after the sine-beat conditioning. The relevant specification shall state what action is to be taken if any change of frequency

fréquences. Il est essentiel que ces deux études des fréquences critiques soient exécutées de la même manière et avec les mêmes amplitudes d'essai.

8.3 *Epreuve par sinusoïdes modulées*

Pour l'épreuve par sinusoïdes modulées, les valeurs de sévérité sont données dans la spécification particulière suivant les indications de l'article 5. Une pause d'une durée suffisante doit être respectée entre deux sinusoïdes modulées consécutives afin d'éviter toute superposition significative dans la réponse du spécimen. Un enregistrement du signal de pilotage au point de référence incluant les effets de l'utilisation éventuelle de filtres doit être noté dans le rapport d'essai. La spécification particulière doit aussi indiquer si l'épreuve doit être de type monoaxial ou biaxial.

8.3.1 *Epreuve de type monoaxial*

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

8.3.2 *Epreuve de type biaxial*

Lorsque la spécification particulière le prescrit, l'épreuve doit être réalisée en appliquant simultanément les sinusoïdes modulées suivant deux axes préférentiels d'essai. A chaque fréquence d'essai, la séquence doit être exécutée avec une phase relative de 0° puis de 180° entre ces deux ondes.

NOTE - Ceci est identique à l'effet obtenu par une série d'essais de type monoaxial avec des axes d'excitation différents de ceux du spécimen.

8.3.3 *Epreuve de type triaxial*

L'épreuve de type triaxial est considérée comme inappropriée lorsque la sinusoïde modulée est utilisée.

9 Mesures intermédiaires

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

10 Reprise

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

11 Mesures finales

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

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

occurs. It is essential that both vibration response investigations are carried out in the same manner and at the same test level.

8.3 *Sine-beat conditioning*

For sine-beat conditioning, values for the severity are given by the relevant specification according to clause 5. Between consecutive sine beats a pause shall be included, such that no significant superposition of response motion of the specimen occurs. A recording of the actual control signal at the reference point, including the effects of any filters used, shall be provided in the test report. The relevant specification shall also state whether single axis or biaxial conditioning is required.

8.3.1 *Single axis conditioning*

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

8.3.2 *Biaxial conditioning*

When prescribed by the relevant specification, the conditioning shall be carried out by applying the sine beats simultaneously along two of the preferred testing axes. At each test frequency, the sequence shall be performed with a relative phase shift between signals of 0° and then 180° .

NOTE - This is identical in effect to a series of single axis tests in different angular planes.

8.3.3 *Triaxial conditioning*

Triaxial conditioning is inappropriate for the sine-beat method.

9 *Intermediate measurements*

When prescribed by the relevant specification, the specimen shall be functioning during a prescribed number of sine beats and its performance shall be checked.

10 *Recovery*

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

11 *Final measurements*

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

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

12 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, en faisant particulièrement attention aux points repérés par un astérisque (*) pour lesquels des renseignements doivent être donnés dans tous les cas.

	Articles
a) Points de fixation*	4.1.1 et 4.2.1
b) Mouvement transversal	4.1.2 et 4.2.2
c) Mouvement de rotation	4.1.3 et 4.2.3
d) Points de mesure	4.1.4
e) Distorsion de l'accélération	4.1.5
f) Tolérances sur l'amplitude de la vibration	4.1.6 et 4.2.4
g) Fixation du spécimen*	4.3
h) Fréquences d'essai*	5.1.1
i) Gamme de fréquences d'essai*	5.1.2
j) Amplitude d'essai* (voir aussi l'article A.3)	5.2
k) Nombre de cycles dans la sinusoïde modulée*	5.3.1
l) Nombre de sinusoïdes modulées*	5.4
m) Nombre de cycles de réponse de niveau élevé (voir aussi l'article A.4)	5.5
n) Préconditionnement	6
o) Mesures initiales*	7
p) Axes préférentiels d'essai	8.1
q) Limitation de la force de pilotage	8.1
r) Recherche et étude des fréquences critiques	8.2
s) Fonctionnement et vérifications fonctionnelles	8.2
t) Epreuve de type mono ou biaxial*	8.3
u) Mesures intermédiaires	9
v) Reprise	10
w) Mesures finales*	11

12 Information to be given in the relevant specification

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

	Clause
a) Fixing points *	4.1.1 and 4.2.1
b) Transverse motion	4.1.2 and 4.2.2
c) Rotational motion	4.1.3 and 4.2.3
d) Measuring points	4.1.4
e) Acceleration distortion	4.1.5
f) Vibration amplitude tolerances	4.1.6 and 4.2.4
g) Mounting of the specimen*	4.3
h) Test frequencies*	5.1.1
i) Test frequency range*	5.1.2
j) Test level* (see also clause A.3)	5.2
k) Number of cycles in the sine beat*	5.3.1
l) Number of sine beats*	5.4
m) Number of high-stress cycles (see also clause A.4)	5.5
n) Pre-conditioning	6
o) Initial measurements*	7
p) Preferred testing axes	8.1
q) Driving force limitation	8.1
r) Vibration response investigation	8.2
s) Performance and functional check	8.2
t) Single-axis or biaxial conditioning*	8.3
u) Intermediate measurements	9
v) Recovery	10
w) Final measurements*	11

Annexe A (informative)

Guide

A.1 Introduction

Un grand nombre de procédures d'essai répertoriées existent pour déterminer l'aptitude d'un spécimen à supporter différents types de sollicitations vibratoires. Cet éventail de procédures va de l'essai simple en vibrations sinusoïdales à la méthode d'essai complexe et très spécialisée par accélérogrammes. Chacune d'elles convient pour une exigence particulière ou pour la représentation d'un environnement vibratoire particulier. Cette norme fournit une méthode capable de reproduire en laboratoire des effets comparables à ceux que subira le matériel en service, mais cela ne constitue pas son principal objectif.

La méthode d'essai par sinusoïdes modulées est adaptée au cas de matériels qui peuvent, pendant leur service, être soumis à des forces transitoires ou oscillatoires de courte durée qui ne sont pas définies avec précision. Elle convient particulièrement bien pour essayer un matériel monté dans des structures qui, du fait de l'environnement, peuvent être soumises à une excitation à fréquences multiples ou aléatoires. En vibrant sur leurs fréquences de résonance, ces structures engendrent des sinusoïdes modulées qui représentent le mouvement d'entrée perçu par le matériel. Ainsi, un essai par sinusoïdes modulées soumet le matériel qui est monté de cette façon, à une excitation proche de celle qui est rencontrée dans la pratique. De plus, la sinusoïde modulée produit un spectre de réponse plus large et moins contraignant que celui qui est obtenu avec une onde sinusoïdale.

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

L'essai de vibration est, en général, réalisé pour rechercher et étudier les fréquences critiques du spécimen situées dans la gamme de fréquences spécifiées. On fait alors subir au spécimen un essai d'endurance souvent réalisé en le faisant vibrer un nombre de fois spécifié à chacune des fréquences critiques.

La recherche et l'étude des fréquences critiques sont généralement réalisées par un essai sinusoïdal de type monoaxial à l'aide d'un cycle de balayage couvrant la gamme de fréquences spécifiée. Il convient que l'amplitude des vibrations pendant cette étude ne soit pas trop élevée pour ne pas conduire à un niveau comparable à celui qui est produit par l'épreuve par sinusoïdes modulées et que la vitesse de balayage soit suffisamment lente pour déterminer les fréquences critiques.

On peut réaliser une recherche et une étude des fréquences critiques avant et après l'épreuve par sinusoïdes modulées afin de noter les écarts de fréquence de résonance ou tout autre phénomène. Une évolution de la fréquence peut indiquer qu'une certaine fatigue a eu lieu et que le spécimen peut ne plus convenir pour fonctionner dans les conditions réelles d'utilisation.

Annex A **(informative)**

Guide

A.1 Introduction

Many recognized testing procedures exist for demonstrating the ability of a specimen to withstand various types of vibrational forces. These procedures range from the simple continuous sinusoids to complex, highly-specialized, time-history methods, each being best suited for particular requirements or circumstances or for representing a particular vibration environment. This standard provides a method by which effects comparable with those likely to be experienced in practice can be reproduced in the test laboratory but the basic intention is not necessarily to reproduce the real environment.

The sine-beat method is suitable for the testing of equipment which is subjected in service to pulsating or oscillating forces of short duration which are not accurately defined. It is particularly suitable for testing equipment which is to be mounted in structures that may then be subjected in service to random or multi-frequency excitations. These structures respond at their resonance frequencies producing a sine-beat motion which would then become the input to the equipment of interest. Thus testing with a sine-beat wave subjects equipment mounted in this manner to excitation, close to those found in practice. In addition, the sine beat produces a broader, less damaging response than that obtained from a continuous sine wave.

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

In vibration testing, the usual approach is to conduct a vibration response investigation to search for the critical frequencies of the specimen in the required frequency range. Then some form of endurance test is undertaken, often by vibrating a specimen for prescribed times at each of these critical frequencies.

The vibration response investigation is normally carried out using single-axis sinusoidal excitation with a single sweep cycle over the required frequency range. The amplitude of vibration during this investigation should not be so large as to produce effects comparable to those of the endurance test itself and should be at a sufficiently low sweep rate to determine the critical frequencies.

A vibration response investigation 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.

Il convient de prendre certaines précautions lorsque l'essai est réalisé avec des spécimens volumineux ou lourds, ou si leur centre de gravité est nettement différent de leur centre géométrique. De tels spécimens peuvent avoir tendance à engendrer sur la table vibrante des mouvements transverses ou de rotation. Dans de tels cas, il peut être difficile de respecter les tolérances exigées, au point de vérification par exemple.

L'épreuve par sinusoïdes modulées est réalisée aux fréquences relevées lors de la recherche et de l'étude des fréquences critiques, à toute autre fréquence prédéterminée ou aux deux. Si aucune fréquence critique n'a été relevée ou spécifiée, l'épreuve est normalement réalisée à des fréquences espacées, au plus d'une demi-octave dans la gamme de fréquences considérée. Lorsqu'un nombre important de fréquences critiques est relevé, l'utilisation de la méthode d'essai par sinusoïdes modulées peut n'être plus appropriée car elle entraîne une accumulation de fatigue. Une autre méthode d'essai peut lui être préférée.

A.2 Corrélation entre sinusoïdes modulées exprimées en déplacement, vitesse et accélération

A.2.1 Expression mathématique d'une sinusoïde modulée (voir 3.12)

L'expression mathématique générale d'une sinusoïde modulée est donnée par:

$$a(t) = a_0 \cdot \sin 2\pi ft \cdot \sin \frac{2\pi ft}{\rho}$$

où

$$0 \leq t \leq \frac{\rho}{2f}$$

a_0 est l'amplitude d'essai

f est la fréquence d'essai

ρ est le rapport entre la fréquence d'essai et la fréquence de modulation dans le cas général.

L'accélération, la vitesse et le déplacement étant corrélés, une seule de ces expressions peut être choisie comme fonction de base, ce qui aura une certaine répercussion sur les autres.

Si l'accélération exprimée comme indiqué ci-dessus est choisie comme signal de référence, on obtiendra un déplacement résiduel à la fin de chaque sinusoïde modulée.

Pour éviter ce phénomène, on présente en A.2.2 des formules prenant la vitesse comme signal de référence.

A.2.2 Corrélation entre les différentes expressions de sinusoïdes modulées

Lorsque la vitesse est utilisée comme fonction de référence, la corrélation entre sinusoïdes modulées d'accélération, de vitesse et de déplacement est celle qui est indiquée ci-après:

There should be some caution in the testing of large size or high mass specimens or if the centre of gravity is greatly offset from the centre of the specimen. Such specimens may have a tendency to cause a transverse motion or rotational motion of the vibration table. In such cases, it may be difficult to achieve the required tolerances, such as at a check point.

The sine-beat test is undertaken at the frequencies determined by the vibration response investigation, at any other predetermined frequencies or at both. If no frequencies have been determined or specified, the test is usually carried out in steps of one-half octave over the full frequency range of interest. As the number of critical frequencies increases, the sine-beat method may become less appropriate because of the problem of accumulated fatigue damage. In this situation, other test methods should be considered.

A.2 Correlation of sine beats of displacement, velocity and acceleration

A.2.1 Sine-beat function (see 3.12)

The general mathematical expression for a sine beat is:

$$a(t) = a_0 \cdot \sin 2\pi ft \cdot \sin \frac{2\pi ft}{\rho}$$

where

$$0 \leq t \leq \frac{\rho}{2f}$$

a_0 is the test level

f is the test frequency

ρ is the ratio between the test frequency and the modulating frequency in the general case.

Since acceleration, velocity and displacement are interrelated, only one of these can be selected as the basic function and this will have some effect on the others.

With acceleration as the reference signal, there will be a residual displacement at the end of each beat.

To avoid this effect, formulae based on velocity as the reference signal are given in A.2.2.

A.2.2 Correlation of sine beats

The correlation of sine beats of acceleration, velocity and displacement with velocity as the reference function is as follows:

Sinusoïde modulée d'accélération
$$a(t) = a_o \cdot \frac{1}{2} \left[\left\{ -\left(1 - \frac{1}{m}\right) \cdot \sin 2\pi \left(1 - \frac{1}{m}\right) ft \right\} + \left\{ \left(1 + \frac{1}{m}\right) \cdot \sin 2\pi \left(1 + \frac{1}{m}\right) ft \right\} \right]$$

Sinusoïde modulée de vitesse
$$v(t) = \frac{a_o}{2\pi f} \cdot \frac{1}{2} \left[\cos 2\pi \left(1 - \frac{1}{m}\right) ft - \cos 2\pi \left(1 + \frac{1}{m}\right) ft \right]$$

$$v(t) = \frac{a_o}{2\pi f} \sin 2\pi ft \cdot \sin \frac{2\pi ft}{m}$$

Sinusoïde modulée de déplacement
$$d(t) = \frac{a_o}{(2\pi f)^2} \cdot \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{1 - \frac{1}{m}} \right) \cdot \sin 2\pi \left(1 - \frac{1}{m}\right) ft - \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{m}} \right) \cdot \sin 2\pi \left(1 + \frac{1}{m}\right) ft \right]$$

où $0 \leq t \leq \frac{m}{2f}$

et où m est le rapport de la fréquence d'essai à la fréquence de modulation de l'accélération. Ce rapport est égal à $(2n - 1)$ où n est le nombre de cycles dans la sinusoïde modulée d'accélération.

NOTES

1 L'expression mathématique exploite aussi la possibilité d'exprimer une sinusoïde modulée par la superposition de deux vibrations cosinusoidales. Les signaux basés sur cette définition sont représentés à la figure 7 pour une sinusoïde modulée de cinq cycles.

2 Tous les signaux résultant d'une différenciation ou d'une intégration par rapport au temps d'une sinusoïde modulée telle que celle qui est définie en A.2.1 sont désignés dans cette norme par les termes de sinusoïdes modulées.

3 Il convient de noter que cette explication ne veut pas être une preuve mathématique rigoureuse et que, de façon à avoir une valeur nulle à la fin de toutes les sinusoïdes modulées, la valeur de p a été légèrement modifiée pour devenir m (voir l'article A.3).

A.3 Amplitude d'essai (voir 5.2)

Comme avec une vibration sinusoïdale à fréquence fixe, l'amplitude d'essai exprimée en déplacement, vitesse ou accélération peut être définie, avec une précision suffisante, par exemple en se référant à l'amplitude d'essai a_o de la sinusoïde modulée. L'amplitude de la vitesse v_o ou du déplacement d_o est exprimée par:

$$v_o \approx \frac{a_o}{2\pi f}$$

$$d_o \approx \frac{a_o}{4\pi^2 f^2}$$

Sine beat of
acceleration

$$a(t) = a_o \cdot \frac{1}{2} \left[\left\{ -\left(1 - \frac{1}{m}\right) \cdot \sin 2\pi \left(1 - \frac{1}{m}\right) ft \right\} + \left\{ \left(1 + \frac{1}{m}\right) \cdot \sin 2\pi \left(1 + \frac{1}{m}\right) ft \right\} \right]$$

Sine beat of
velocity

$$v(t) = \frac{a_o}{2\pi f} \cdot \frac{1}{2} \left[\cos 2\pi \left(1 - \frac{1}{m}\right) ft - \cos 2\pi \left(1 + \frac{1}{m}\right) ft \right]$$

$$v(t) = \frac{a_o}{2\pi f} \sin 2\pi ft \cdot \sin \frac{2\pi ft}{m}$$

Sine beat of
displacement

$$d(t) = \frac{a_o}{(2\pi f)^2} \cdot \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{1 - \frac{1}{m}} \right) \cdot \sin 2\pi \left(1 - \frac{1}{m}\right) ft - \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{m}} \right) \cdot \sin 2\pi \left(1 + \frac{1}{m}\right) ft \right]$$

where $0 \leq t \leq \frac{m}{2f}$

and m is the ratio of test frequency to the modulating frequency for acceleration and is equal to $(2n - 1)$ where n is the number of cycles in the sine beat of acceleration.

NOTES

- 1 In the mathematical explanation, use is made of the possibility that a single sine beat can also be expressed as two superimposed cosinus vibrations. Signals resulting from this definition are shown in figure 7 for a five-cycle sine beat.
- 2 All signals resulting from the differentiation or integration with respect to time of a sine beat as defined in A.2.1 are characterized as sine beats for the purpose of this standard.
- 3 It should be noted that this explanation is not intended as a rigorous mathematical proof and in order to get zero values at the end of all sine-beat functions the value of p is slightly modified and becomes m (see clause A.3).

A.3 Test level (see 5.2)

The values of the test levels of displacement, velocity and acceleration can be derived with sufficient accuracy in the same way as for sinusoidal vibration with constant frequency, that is, based upon the test level a_o of the sine beat of acceleration. The vibrational peak values of the velocity v_o or displacement d_o are given by:

$$v_o \approx \frac{a_o}{2\pi f}$$

$$d_o \approx \frac{a_o}{4\pi^2 f^2}$$