

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60068-2-81**

Première édition  
First edition  
2003-07

---

---

**Essais d'environnement –**

**Partie 2-81:**

**Essais – Essai Ei: Chocs –**

**Synthèse du spectre de réponse au choc**

**Environmental testing –**

**Part 2-81:**

**Tests – Test Ei: Shock –**

**Shock response spectrum synthesis**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60068-2-81:2003

## Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## Editions consolidées

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

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60068-2-81**

Première édition  
First edition  
2003-07

---

---

**Essais d'environnement –**

**Partie 2-81:**

**Essais – Essai Ei: Chocs –**

**Synthèse du spectre de réponse au choc**

**Environmental testing –**

**Part 2-81:**

**Tests – Test Ei: Shock –**

**Shock response spectrum synthesis**

© IEC 2003 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**W**

*For price, see current catalogue*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	6
INTRODUCTION .....	10
1 Domaine d'application.....	12
2 Références normatives .....	12
3 Termes et définitions .....	12
4 Exigences pour l'appareillage d'essai .....	22
4.1 Mouvement fondamental.....	22
4.2 Mouvement transverse.....	22
4.3 Tolérance sur le signal .....	22
4.4 Système de mesure .....	22
5 Exigences d'essai.....	24
5.1 Pilotage d'essai .....	24
5.2 Tolérances sur le SRC.....	24
5.3 Calcul du SRC d'essai .....	24
5.4 Algorithmes pour le calcul des SRC.....	26
5.5 Plage de fréquences d'essai.....	26
5.6 Montage .....	26
6 Sévérités .....	28
6.1 SRC exigé .....	28
6.2 Durée de l'accélérogramme synthétisé .....	28
6.3 Nombre de répétitions .....	30
6.4 Plage de fréquences d'essai.....	30
6.5 Nombre de valeurs élevées dans un accélérogramme de réponse calculé d'un système à un seul degré de liberté.....	30
7 Préconditionnement.....	30
8 Mesures initiales.....	32
9 Essais.....	32
9.1 Généralités.....	32
9.2 Recherche et étude des fréquences critiques.....	32
9.3 Synthèse de l'accélérogramme d'essai .....	34
9.4 Essais avec accélérogramme d'essai synthétisé.....	36
10 Mesures intermédiaires.....	38
11 Reprise.....	38
12 Mesures finales .....	38
13 Renseignements devant figurer dans la spécification particulière.....	38
14 Renseignements devant figurer dans le rapport d'essai .....	40
Annexe A (informative) Accélérogramme d'essai – Informations d'ordre général.....	48
Annexe B (informative) Paramètres à utiliser pour la synthèse d'un accélérogramme d'essai .....	54
Annexe C (informative) Comment faire la synthèse d'un accélérogramme d'essai.....	62
Annexe D (informative) Plages de fréquences recommandées pour les accélérogrammes d'essai.....	70
Bibliographie.....	72

## CONTENTS

FOREWORD .....	7
INTRODUCTION .....	11
1 Scope .....	13
2 Normative references .....	13
3 Terms and definitions .....	13
4 Requirements for test apparatus .....	23
4.1 Basic motion .....	23
4.2 Cross-motion .....	23
4.3 Signal tolerance .....	23
4.4 Measuring system .....	23
5 Requirements for testing .....	25
5.1 Test control.....	25
5.2 Tolerances on SRS .....	25
5.3 Calculation of test SRS .....	25
5.4 Algorithms for calculation of SRS .....	27
5.5 Test frequency range .....	27
5.6 Mounting.....	27
6 Severities.....	29
6.1 Required SRS .....	29
6.2 Duration of the synthesized time-history .....	29
6.3 Number of repetitions.....	31
6.4 Test frequency range .....	31
6.5 Number of high peaks in a calculated response time-history of a single-degree-of-freedom system .....	31
7 Preconditioning .....	31
8 Initial measurements .....	33
9 Testing .....	33
9.1 General .....	33
9.2 Vibration response investigation .....	33
9.3 Synthesis of the test time-history.....	35
9.4 Testing with synthesized test time-histories .....	37
10 Intermediate measurements .....	39
11 Recovery .....	39
12 Final measurements.....	39
13 Information to be given in the relevant specification .....	39
14 Information to be given in the test report.....	41
Annex A (informative) Test time history – General background information.....	49
Annex B (informative) Parameters for use in synthesizing a test time-history.....	55
Annex C (informative) How to synthesize a test time-history.....	63
Annex D (informative) Recommended frequency ranges for test SRS.....	71
Bibliography .....	73

Figure 1 – Exemple de réponse d'un oscillateur à une sollicitation décrite par un signal temporel (valeur seuil spécifiée de 70 %).....	42
Figure 2 – Exemple d'identification des valeurs crêtes de la réponse dépassant une valeur seuil spécifiée (70 %) .....	42
Figure 3 – Graphique logarithmique typique d'un SRC exigé .....	44
Figure 4 – Accélérogramme typique .....	44
Figure 5 – Logigramme pour les essais avec accélérogramme d'essai synthétisé 9.4.....	46
Figure B.1 – Partie forte du SRS .....	60
Tableau D.1 – Exemples de plages de fréquences d'essai .....	70

Figure 1 – Example of a typical response of an oscillator excited by a specific time-history (specified threshold value of 70 %) .....43

Figure 2 – Example of identification of the peaks of the response higher than a specified (70 %) threshold value.....43

Figure 3 – Typical logarithmic plot of a required response spectrum .....45

Figure 4 – Typical time-history .....45

Figure 5 – Flow chart for testing with synthesized test time-histories 9.4 .....47

Figure B.1 – Strong part of the SRS .....61

Table D.1 – Examples of test frequency ranges .....71

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –**

**Partie 2-81: Essais – Essai Ei: Chocs –  
Synthèse du spectre de réponse au choc**

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente, les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60068-2-81 a été établie par le comité d'études 104 de la CEI: Conditions, classification et essais d'environnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
104/306/FDIS	104/310/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ENVIRONMENTAL TESTING –****Part 2-81: Tests – Test Ei: Shock –  
Shock response spectrum synthesis**

## FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60068-2-81 has been prepared by IEC technical committee 104: Environmental conditions, classification and methods of test.

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

FDIS	Report on voting
104/306/FDIS	104/310/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2010.  
A cette date, la publication sera

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2010. At this date, the publication will be

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

## INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60068, destinée aux essais par synthèse du spectre de réponse aux chocs (SRC), est une norme d'application générale pour les composants, les matériels et les autres produits, désignés dans la suite du texte par le terme "spécimens", lorsqu'une simulation de réponses transitoires de nature complexe est exigée. Cette méthode d'essai est basée sur l'utilisation du spectre de réponse aux chocs (SRC) et des techniques associées.

Ce type d'essai est destiné à démontrer la capacité du spécimen à résister à l'excitation transitoire spécifiée sans dégradation inacceptable de ses performances de fonctionnement et/ou de sa structure. Il est particulièrement adapté à la spécification d'excitations transitoires (chocs) pour lesquelles plusieurs mesures de l'environnement de fonctionnement sont disponibles. Toutefois, cet essai est applicable à toute excitation transitoire située dans les limites de l'appareillage d'essai.

Cette méthode d'essai est essentiellement basée sur l'utilisation d'un générateur de vibrations électrodynamique ou servo-hydraulique avec système de commande informatisé associé qui est utilisé comme système d'essais aux chocs.

D'autres machines pour les essais de chocs peuvent être utilisées si elles remplissent les prescriptions de cette norme.

Il est à noter que les essais spécifiés en SRC exigent toujours un certain niveau de compétence en ingénierie. Il convient que le fournisseur et l'acheteur en soient parfaitement conscients. Le rédacteur d'une spécification particulière prévoira de choisir la procédure d'essai et les valeurs de sévérité appropriées au spécimen et à son utilisation.

## INTRODUCTION

This part of IEC 60068, designed for testing with a synthesized shock response spectrum (SRS) is intended for general application for components, equipment and other products, hereinafter referred to as “specimens”, when simulation of transient responses of a complex nature is required. The test method centres on the use of SRS and techniques associated with SRS.

The purpose of the test is to demonstrate the adequacy of the test specimen to resist the specified transient excitation, without unacceptable degradation of its functional and/or structural performance. It is particularly useful for tailoring shock responses where measured data are available from the operational environment. However, the test is applicable to any transient excitation within the limits of the testing apparatus.

The test method is based primarily on the use of an electrodynamic or a servo-hydraulic vibration generator with an associated computer-based control system used as a shock testing system.

Other shock testing machines may be used, provided they fulfil the requirements of this standard.

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

## ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

### Partie 2-81: Essais – Essai Ei: Chocs – Synthèse du spectre de réponse au choc

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60068 spécifie des essais utilisant une synthèse du spectre de réponse aux chocs (SRC). Elle constitue une norme d'application générale pour les essais de spécimens lorsqu'une simulation d'excitation transitoire de nature complexe est exigée.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants sont indispensables à l'application de la présente norme internationale. Pour les références datées, tout amendement ou toute révision portant sur ces publications qui seraient publiés ultérieurement ne s'applique pas. Pour les références non datées, c'est l'édition la plus récente du document normatif indiqué qui s'applique.

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

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

CEI 60068-2-27:1987, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

CEI 60068-2-47:1999, *Essais d'environnement – Partie 2-47: Méthodes d'essais – Fixations des composants, matériels et autres articles pour essais dynamiques de vibrations, d'impacts et autres essais similaires*

CEI 60068-2-57:1999, *Essais d'environnement – Partie 2-57: Essais – Essai Ff: Vibrations – Méthode par accélérogrammes*

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

ISO 266:1997, *Acoustique – Fréquences normales*

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

#### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions contenus dans l'ISO 2041, la CEI 60068-1, la CEI 60068-2-6, la CEI 60068-2-27, la CEI 60068-2-57 et la CEI 60068-2-64, ainsi que les suivants s'appliquent.

##### 3.1

##### **largeur de bande de –3 dB**

largeur de bande entre deux points dans une fonction de transfert en fréquence qui est égale à 0,707 de la réponse maximale lorsqu'elle est associée à un seul pic de résonance

## ENVIRONMENTAL TESTING –

### Part 2-81: Tests – Test Ei: Shock – Shock response spectrum synthesis

#### 1 Scope

This part of IEC 60068 specifies tests using a synthesized shock response spectrum (SRS). It is intended for general application to specimens when simulation of transient excitation of a complex nature is required.

#### 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

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

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

IEC 60068-2-47:1999, *Environmental testing – Part 2-47: Test methods – Mounting of components, equipment and other articles for vibration, impact and similar dynamic tests*

IEC 60068-2-57:1999, *Environmental testing – Part 2-57: Tests – Test Ff: Vibration – Time-history method*

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

ISO 266:1997, *Acoustics – Preferred frequencies*

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

#### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO 2041, IEC 60068-1, IEC 60068-2-6, IEC 60068-2-27, IEC 60068-2-57 and IEC 60068-2-64, together with the following definitions, apply.

##### 3.1

##### –3 dB bandwidth

frequency bandwidth between two points in a frequency response function which is 0,707 of the maximum response when associated with a single resonance peak

**3.2****amortissement critique**

valeur minimale de l'amortissement visqueux qui permettra à un système ayant subi un déplacement de revenir à sa position initiale le plus rapidement possible sans oscillation

**3.3****fréquence critique**

fréquences auxquelles

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

**3.4****amortissement**

terme générique lié aux nombreux mécanismes de dissipation d'énergie dans un système. En pratique, l'amortissement dépend de nombreux paramètres, tels que le type de structure, le mode de vibration, la déformation, les forces appliquées, la vitesse, les matériaux, le glissement des joints, etc.

**3.5****taux d'amortissement**

rapport de l'amortissement réel sur l'amortissement critique dans un système à amortissement visqueux

**3.6****décibel****dB**

relation entre amplitudes écrite sous forme logarithmique:

$$L = 20 \log_{10} \left( \frac{X}{X_0} \right) \text{ (dB)}$$

où

$L$  est la valeur logarithmique en dB;

$X/X_0$  est le rapport des deux amplitudes  $X$  et  $X_0$

**3.7****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 lorsqu'il est utilisé

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

**3.8** **$g_n$** 

accélération normalisée due à la pesanteur, qui varie elle-même en fonction de l'altitude et de la latitude

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

**3.9****fenêtre de Hanning**

fonction de pondération des signaux temporels qui impose des valeurs nulles en début et fin du signal temporel pondéré. La fenêtre de Hanning a la forme d'une cloche en cosinus

NOTE Voir l'ISO 18431-2 pour une définition plus détaillée.

**3.2****critical damping**

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

**3.3****critical frequency**

frequencies at which

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

**3.4****damping**

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

**3.5****damping ratio**

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

**3.6****decibel****dB**

relation between magnitudes written in a logarithmic form:

$$L = 20 \log_{10} \left( \frac{X}{X_0} \right) \text{ (dB)}$$

where

$L$  is the logarithmic value in dB;

$X/X_0$  is the relation between magnitudes  $X$  and  $X_0$

**3.7****fixing point**

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

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

**3.8** **$g_n$** 

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

NOTE For the purposes of this standard, the value of  $g_n$  is rounded up to the nearest whole number, that is, 10 m/s<sup>2</sup>.

**3.9****Hanning window**

weighting function for time-histories that forces the start and the end of the time-history to a zero value in the selected time window. It has the shape of a cosine bell

NOTE See ISO 18431-2 for a more detailed definition.

### 3.10

#### **asymptote à haute fréquence**

#### **HFA (en anglais: high frequency asymptote)**

valeur asymptotique à haute fréquence de la courbe de SRC (voir Figure 3)

NOTE 1 L'asymptote à haute fréquence de SRC a une signification pratique car elle représente la valeur de crête la plus forte de l'accélérogramme d'excitation. A ne pas confondre avec la valeur de crête du SRC.

NOTE 2 L'autre nom de l'asymptote SRC à haute fréquence est l'accélération à période nulle (ZPA en anglais: zero period acceleration).

### 3.11

#### **points de mesure**

points particuliers où des données sont recueillies pour réaliser l'essai. Ces points sont de trois types comme défini ci-dessous

#### **3.11.1**

##### **point de vérification**

point situé sur le bâti de fixation, sur la table vibrante ou sur le spécimen le plus près possible d'un des points de fixation et, dans tous les cas, lié de manière rigide à ce dernier

NOTE 1 On utilise plusieurs points de vérification pour s'assurer que les exigences d'essai sont remplies.

NOTE 2 S'il n'y a pas plus de quatre points de fixation, chacun d'entre eux est utilisé comme point de vérification. S'il y a plus de quatre points de fixation, quatre points représentatifs seront définis dans la spécification particulière pour être utilisés comme points de vérification.

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

NOTE 4 Lorsqu'un grand nombre de spécimens de petite taille sont montés sur un seul bâti ou dans le cas d'un petit spécimen ayant plusieurs points de fixation, il est admis de choisir un seul point de vérification (qui est le point de référence) pour déduire le signal de pilotage. Ce signal est donc plutôt lié au bâti qu'aux points de fixation du ou des spécimens. Cette procédure n'est valable que lorsque la plus basse fréquence de résonance du bâti chargé est nettement supérieure à la limite supérieure de la fréquence de l'essai.

#### **3.11.2**

##### **point de référence**

point, choisi parmi les points de vérification, dont on utilise le signal pour piloter l'essai

#### **3.11.3**

##### **point de réponse**

point sur le spécimen utilisé pour la mesure de la réponse au cours des recherches et études des fréquences critiques ou au cours de l'essai. Ce point ne peut être ni un point de vérification, ni un point de référence

NOTE Plus d'un seul point de réponse peut être utilisé.

### 3.12

#### **fréquence naturelle**

fréquence de vibration amortie ou non sans contrainte d'une structure dépendant uniquement de ses propres caractéristiques physiques (masse, rigidité et amortissement)

### 3.13

#### **nombre de valeurs élevées de l'accélérogramme de réponse**

nombre de pics mesurés au point de réponse ou obtenus par le calcul de l'accélérogramme de réponse d'un système à un seul degré de liberté (oscillateur) excité par un accélérogramme et dépassant une valeur de seuil spécifiée (voir Figure 1)

NOTE 1 En pratique, on se réfère aux valeurs élevées de l'accélérogramme de réponse car il est difficile d'identifier les cycles de réponse complets dus à une excitation transitoire.

NOTE 2 Le pic est défini comme une déviation maximale positive ou négative par rapport au niveau zéro entre deux points de passage par zéro consécutifs (voir Figure 2).

NOTE 3 Dans cette norme, on utilise des pics calculés à la place de pics mesurés car il n'est pas toujours possible d'obtenir des pics mesurés d'accélérogrammes de réponse.

### 3.10

#### **high-frequency asymptote**

##### **HFA**

high-frequency asymptotic value of the SRS curve (see Figure 3)

NOTE 1 The SRS high-frequency asymptote is of practical significance as it represents the largest peak value of the excitation time-history. This is not to be confused with the peak value in the SRS.

NOTE 2 Another name of the SRS high-frequency asymptote is zero-period acceleration (ZPA).

### 3.11

#### **measuring points**

specific points at which data are gathered when conducting the test. These points are of three types, as defined below

##### **3.11.1**

###### **check point**

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

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

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

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

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

##### **3.11.2**

###### **reference point**

point, chosen from the check points, whose signal is used to control the test

##### **3.11.3**

###### **response point**

point on the specimen used for measurement of the response during vibration response investigation or during testing. This point is not a check or a reference point

NOTE More than one response point can be used.

### 3.12

#### **natural frequency**

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

### 3.13

#### **number of high peaks of the response time-history**

measured number of peaks at the response point or number of peaks of the calculated response time-history of one single-degree-of-freedom system (oscillator), excited by a time-history, exceeding a specified threshold value (see Figure 1)

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

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

NOTE 3 Calculated peaks instead of measured peaks are preferred in this standard, as it is not always possible to obtain measured peaks of response time-histories.

**3.14****oscillateur**

système à un seul degré de liberté destiné à produire ou capable d'entretenir des oscillations mécaniques

**3.15****pause**

intervalle entre deux accélérogrammes consécutifs

NOTE Il convient que la pause soit telle quelle ne donne pas lieu à une superposition significative dans le mouvement de réponse du spécimen et qu'elle puisse être obtenue à partir de la formule:

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

où

$T$  est la durée en secondes (s);

$F$  est la fréquence naturelle non amortie la plus basse en hertz (Hz);

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

**3.16****axes préférentiels d'essai**

trois axes orthogonaux correspondant aux axes les plus vulnérables du spécimen

**3.17****facteur de surtension  $Q$** 

grandeur qui est une mesure de la netteté de résonance ou de la sélectivité de fréquence d'un système mécanique oscillatoire résonant à un seul degré de liberté. Le facteur de surtension  $Q$  est égal à la moitié de la valeur réciproque du taux d'amortissement

**3.18****SRC exigé**

SRC stipulé dans la spécification particulière (voir Figure 3)

NOTE La spécification particulière peut contenir plus d'un SRC avec différents facteurs  $Q$  pour un cas d'essai particulier.

**3.19****spectre de réponse aux chocs****SRC**

représentation de la réponse maximale (déplacement, vitesse ou accélération) d'une batterie de systèmes à un seul degré de liberté, sollicités à leur base par un signal donné, en fonction de leurs fréquences naturelles non amorties et pour une valeur spécifiée du facteur de surtension  $Q$

NOTE 1 Sauf indication contraire, on considère pour le calcul des systèmes un seul degré de liberté, linéaires à base fixe et à amortissement visqueux.

NOTE 2 La spécification particulière peut contenir plusieurs SRC avec des facteurs  $Q$  différents pour un cas d'essai particulier, à partir desquels le SRC exigé doit être choisi en fonction du facteur de surtension  $Q$  du spécimen d'essai.

**3.20****fréquence d'échantillonnage**

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

**3.21****tolérance sur le signal**

tolérance sur le signal  $S_t$  exprimée en pour cent et définie comme suit:

**3.14****oscillator**

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

**3.15****pause**

interval between two consecutive time-histories

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

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

where

$T$  is the duration in seconds (s);

$f$  is the lowest undamped natural frequency in hertz (Hz);

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

**3.16****preferred testing axes**

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

**3.17** **$Q$ -factor**

quantity, which is a measure of the sharpness of resonance, or frequency selectivity of a resonant oscillatory mechanical system having a single degree of freedom. The  $Q$ -factor is one-half the reciprocal of the damping ratio

**3.18****required SRS**

SRS specified in the relevant specification (see Figure 3)

NOTE The relevant specification can contain more than one SRS with different  $Q$ -factors for a certain test case.

**3.19****shock response spectrum****SRS**

plot of the maximum response (displacement, velocity or acceleration) of a base-excited series of single-degree-of-freedom systems to a defined input motion as a function of their undamped natural frequencies and at a specified  $Q$ -factor

NOTE 1 For calculation purposes, linear fixed-base single-degree-of-freedom systems and viscous damping are assumed, if not otherwise defined.

NOTE 2 The relevant specification can contain several SRS with different  $Q$ -factors for a given test case, from which the required SRS shall be selected depending on the  $Q$ -factor of the test specimen.

**3.20****sampling frequency**

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

**3.21****signal tolerance**

signal tolerance  $S_t$  in per cent is defined as

$$S_t = \left( \frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100 \text{ (pour cent)}$$

où

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

$F$  est la valeur efficace du signal filtré

NOTE 1 Ce paramètre s'applique à tout signal, c'est-à-dire signal d'accélération, de vitesse ou de déplacement, qui est utilisé pour piloter l'essai.

NOTE 2 Ce paramètre ne s'applique qu'aux excitations vibratoires à composantes sinusoïdales.

### 3.22

#### partie forte de l'accélérogramme

partie de l'accélérogramme comprise entre le moment où la représentation atteint pour la première fois 25 % de la valeur maximale et celui où elle descend pour la dernière fois à 25 % (voir Figure 4)

### 3.23

#### accélérogramme synthétisé

accélérogramme calculé artificiellement de sorte que son SRC englobe le SRC exigé

### 3.24

#### plage de fréquences d'essai

plage de fréquences choisie pour les essais et dépendant du SRC exigé et des capacités de l'appareillage d'essai compte tenu du spécimen d'essai fixé. Elle possède une limite de fréquences inférieure ( $f_1$ ) et une limite supérieure ( $f_2$ ), correspondant aux fréquences minimales et maximales des ondelettes qui peuvent être utilisées

NOTE La plage de fréquences du SRC est plus étendue que la plage de fréquences d'essai et s'étend aux fréquences infinies (voir définition 3.10).

### 3.25

#### SRC d'essai

SRC obtenu à partir du mouvement réel du point de référence de la table vibrante, soit analytiquement soit en utilisant un matériel d'analyse de SRC (voir Figure 3)

### 3.26

#### accélérogramme

enregistrement temporel du signal, c'est-à-dire de l'accélération, de la vitesse ou du déplacement en fonction du temps

NOTE Une définition du terme mathématique "accélérogramme" est donnée dans l'ISO 2041 et elle se réfère à l'amplitude d'une grandeur exprimée en fonction du temps.

### 3.27

#### fenêtre temporelle

durée de l'accélérogramme synthétisé dans laquelle toutes les ondelettes sont contenues

NOTE Dans certains systèmes de pilotage des essais, la durée de cette fenêtre temporelle est doublée et l'accélérogramme synthétisé est centré sur le nouveau cadre temporel.

### 3.28

#### ondelette

accélérogramme avec une seule fréquence, c'est-à-dire ne comprenant qu'une composante fréquentielle de l'accélérogramme synthétisé pour les essais SRC

NOTE Il convient que le terme 'ondelette' utilisé dans la présente norme ne soit pas confondu avec l'ondelette telle que définie dans la théorie des ondelettes et les analyses par ondelettes.

$$S_t = \left( \frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100 \text{ (per cent)}$$

where

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

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

NOTE 1 This parameter applies to whichever signal, i.e. acceleration, velocity or displacement, is being used to control the test.

NOTE 2 This parameter applies only to excitation with sinusoidal vibration.

### 3.22

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

part of the time-history from the time when the plot first reaches 25 % of the maximum value to the time when it falls for the last time to the 25 % level (see Figure 4)

### 3.23

#### **synthesized time-history**

artificially generated time-history such that its SRS envelops the required SRS

### 3.24

#### **test frequency range**

frequency range chosen for testing depending on the synthesizing of the required SRS and on the capabilities of the test apparatus with the test specimen attached. It has a lower ( $f_1$ ) and an upper ( $f_2$ ) frequency limit, corresponding to the lowest and highest wavelet frequency that may be used

NOTE The frequency range of the SRS is larger than the test frequency range and extends to infinite frequency (see definition 3.10).

### 3.25

#### **test SRS**

SRS derived from the real motion of the reference point on the vibration generator table, either analytically or by using SRS analysis equipment (see Figure 3)

### 3.26

#### **time-history**

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

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

### 3.27

#### **time window**

duration of synthesis of the test time-history in which all the wavelets are contained

NOTE In some test control systems, this time window is doubled in duration and the synthesized time-history centred in the middle of the new time frame.

### 3.28

#### **wavelet**

time-history with a single frequency that is a component of the synthesized time-history for SRS testing

NOTE The term 'wavelet' as used in this standard should not be mixed up with wavelet as used in wavelet theory and wavelet analysis.

## 4 Exigences pour l'appareillage d'essai

Les caractéristiques exigées s'appliquent à l'appareillage d'essai complet, qui pour un système d'essai électrodynamique comprend un système de pilotage, un amplificateur de puissance, un vibreur, un bâti de fixation d'essai et un spécimen lorsqu'il est chargé pour les essais. Les composants sont les mêmes pour un système d'essai servo-hydraulique.

Les exigences sur l'appareillage d'essai définies de 4.1 à 4.3 doivent être vérifiées à l'aide d'une excitation vibratoire sinusoïdale.

### 4.1 Mouvement fondamental

Pour la vérification, le mouvement fondamental doit être un signal temporel sinusoïdal et doit être tel que les points de fixation du spécimen se déplacent sensiblement en phase et suivant des directions rectilignes et parallèles, compte tenu des limitations de 4.2 et 4.3.

### 4.2 Mouvement transverse

L'amplitude maximale du signal en accélération ou déplacement aux points de vérification suivant tout axe perpendiculaire à l'axe spécifié ne doit pas dépasser 50 % de l'amplitude du mouvement fondamental jusqu'à 1 000 Hz ou 100 % au-delà de 1 000 Hz. Les mesures doivent seulement couvrir la plage de fréquences d'essai spécifiée. Dans des cas particuliers, par exemple pour des spécimens de petite taille, le mouvement transverse maximal admissible peut être limité à 25 % si la spécification particulière le prescrit.

Lorsqu'un mouvement de rotation important de la table vibrante est vraisemblable, la spécification particulière doit prescrire un niveau tolérable qui doit ensuite être indiqué dans le rapport d'essai.

Dans certains cas, par exemple pour des spécimens de grande taille ou de masse élevée ou à certaines fréquences, il peut être difficile d'obtenir les chiffres indiqués ci-dessus. Dans de tels cas, la spécification particulière doit indiquer laquelle des exigences suivantes s'applique:

- a) tout mouvement transverse dépassant les limites spécifiées ci-dessus doit être indiqué dans le rapport d'essai; ou
- b) tout mouvement transverse reconnu comme ne présentant aucun risque pour le spécimen ne nécessite pas d'être contrôlé.

### 4.3 Tolérance sur le signal

Sauf stipulation contraire dans la spécification particulière, des mesures de la tolérance sur le signal d'accélération doivent être effectuées. Elles doivent être réalisées au point de référence et doivent couvrir les fréquences jusqu'à 5 000 Hz ou cinq fois la limite supérieure de la fréquence d'essai ( $f_2$ ) en prenant la plus faible de ces valeurs. Toutefois, cette fréquence maximale d'analyse peut être étendue à la limite supérieure de fréquence d'essai, ou au-delà si la spécification particulière le stipule. Sauf stipulation contraire dans la spécification particulière, la tolérance sur le signal ne doit pas dépasser 5 %.

Dans le cas de spécimens de grande taille ou complexes, pour lesquels les valeurs de tolérance sur le signal spécifiées ne peuvent pas être satisfaites en certains points de la plage de fréquences, la tolérance sur le signal doit être indiquée dans le rapport d'essai.

### 4.4 Système de mesure

Les caractéristiques du système de mesure doivent permettre de déterminer si la valeur vraie de l'accélérogramme telle qu'elle est mesurée selon l'axe prévu au point de référence se situe dans les limites des tolérances exigées pour l'essai.

## 4 Requirements for test apparatus

The required characteristics apply to the complete test apparatus, which for an electrodynamic testing system includes the control system, power amplifier, vibrator, test fixture and specimen when loaded for testing. The components are similar for a servo-hydraulic testing system.

The requirements for the test apparatus according to 4.1 to 4.3 shall be verified by means of sinusoidal vibration excitation.

### 4.1 Basic motion

The basic motion during verification shall be a sinusoidal function of time and such that the fixing points of the specimen move substantially in phase and straight parallel lines, subject to the limitation of 4.2 and 4.3.

### 4.2 Cross-motion

The maximum vibration amplitude of acceleration or displacement at the check points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed 50 % of the vibration amplitude of the basic motion up to 1 000 Hz and is allowed to go up to 100 % above 1 000 Hz. The measurements need only cover the specified test frequency range. In special cases, for example small specimens, the maximum permissible cross-motion may be limited to 25 % if required by the relevant specification.

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

In some cases, for example with large-size or high-mass specimens or at certain frequencies, it may be difficult to achieve the figures quoted above. In such cases the relevant specification shall state which of the following requirements applies:

- a) cross-motion in excess of that specified above shall be stated in the test report; or
- b) cross-motion which is known to offer no hazard to the specimen need not be monitored.

### 4.3 Signal tolerance

Unless otherwise stated in the relevant specification, acceleration signal tolerance measurements shall be performed. They shall be carried out at the reference point and shall cover the frequencies up to 5 000 Hz, or five times the upper test frequency ( $f_2$ ), whichever is the lesser value. However, this maximum analysing frequency may be extended to the upper test frequency, or beyond if specified by the relevant specification. Unless otherwise stated in the relevant specification, the signal tolerance shall not exceed 5 %.

In the case of large or complex specimens, where the specified signal tolerance values cannot be satisfied at some parts of the frequency range the signal tolerance shall be stated in the test report.

### 4.4 Measuring system

The characteristics of the measuring system shall be such that it can be determined that the true value of the time-history, as measured in the intended axis at the reference point, is within the tolerances required for the test.

La réponse en fréquence du système de mesure complet, qui inclut le capteur, le conditionneur de signal et le dispositif d'acquisition et de traitement des données ont un effet significatif sur la précision des mesures.

La plage de fréquences du système de mesure doit s'étendre au moins de 0,67 fois la limite inférieure de la fréquence de l'ondelette ( $f_1$ ) à 1,5 fois la limite supérieure de la fréquence de l'ondelette ( $f_2$ ) de la plage de fréquences d'essai. (Voir également 4.2 de la CEI 60068-2-27). La réponse en fréquence du système de mesure doit être plate dans les limites de  $\pm 5\%$  de cette plage de fréquences.

## 5 Exigences d'essai

### 5.1 Pilotage d'essai

L'accélérogramme d'essai doit être synthétisé à partir d'ondelettes comprises dans la fenêtre temporelle spécifiée. L'accélérogramme est obtenu à partir du SRC stipulé dans la spécification particulière comme indiqué en 9.3.

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, on doit utiliser une valeur de taux d'amortissement de 5 % (soit un facteur de surtension  $Q$  de 10). D'autres valeurs peuvent être obtenues à partir des recherches et études des fréquences critiques (voir 9.2). Une recherche et une étude des fréquences critiques peuvent également montrer quel facteur de surtension  $Q$  utiliser, si plusieurs SRC (avec différents facteurs de surtension  $Q$ ) sont indiqués dans la spécification particulière.

L'espacement en fréquence des ondelettes doit être choisi en fonction du facteur de surtension  $Q$  spécifié pour l'essai comme suit:

- en bandes de 1/3 d'octave si le facteur de surtension  $Q$  est inférieur ou égal à 5;
- en bandes de 1/6 d'octave si le facteur de surtension  $Q$  est compris entre 5 et 25;
- en bandes de 1/12 d'octave si le facteur de surtension  $Q$  est supérieur ou égal à 25.

NOTE Les valeurs préférentielles des bandes d'octave sont précisées dans l'ISO 266.

### 5.2 Tolérances sur le SRC

Le SRC d'essai, mesuré au point de référence doit être dans les limites de  $\pm 1,5$  dB du SRC exigé (voir Figure 3).

L'essai peut être encore acceptable si un nombre limité de points du SRC d'essai, contenus sur moins de 20 % de la plage de fréquences est situé dans la bande de tolérance  $\pm 3$  dB, et ce dans la mesure où de tels points ne coïncident pas avec les fréquences de résonance dominantes du spécimen dans la plage de fréquences d'essai. L'écart par rapport au SRC exigé doit être indiqué dans le rapport d'essai.

Au minimum, le SRC d'essai doit être vérifié avec le même espacement de fréquence que celui indiqué en 5.1 – choix dépendant du facteur de surtension  $Q$ .

### 5.3 Calcul du SRC d'essai

Afin de limiter les erreurs associées au calcul du SRC d'essai, une attention particulière doit être accordée à l'échantillonnage et au filtrage du signal à partir du point de référence.

Il est recommandé que la fréquence d'échantillonnage de l'accélérogramme soit au moins d'un facteur 10 ou plus élevée que la limite supérieure de fréquence ( $f_2$ ) pour le calcul de la réponse si un algorithme d'interpolation n'est pas utilisé dans le calcul de SRC qui suit.

The frequency response of the overall measuring system, which includes the transducer, the signal conditioner and the data acquisition and processing device, has a significant effect on the accuracy of the measurements.

The frequency range of the measuring system shall extend from at least 0,67 times the lowest wavelet frequency ( $f_1$ ) to 1,5 times the highest wavelet frequency ( $f_2$ ) of the test frequency range. (See also 4.2 in IEC 60068-2-27.) The frequency response of the measuring system shall be flat within  $\pm 5$  % in this frequency range.

## 5 Requirements for testing

### 5.1 Test control

The test time-history shall be a synthesized time-history composed of wavelets included within the specified time window. This time-history is obtained from the specified SRS in the relevant specification as shown in 9.3.

A value of the damping ratio of 5 % ( $Q$ -factor of 10) shall be used unless otherwise specified in the relevant specification. Alternative values can be obtained from a vibration response investigation (see 9.2). A vibration response investigation can also show which  $Q$ -factor to use if several SRS (with different  $Q$ -factors) have been specified in the relevant specification.

The spacing of the wavelets by frequency shall be selected depending on the specified  $Q$ -factor for the test as follows:

- in 1/3 octave bands if the  $Q$ -factor is lower than, or equal to, 5;
- in 1/6 octave bands if the  $Q$ -factor lies between 5 and 25;
- in 1/12 octave bands if the  $Q$ -factor is higher than, or equal to, 25.

NOTE Preferred frequencies for octave bands are given in ISO 266.

### 5.2 Tolerances on SRS

The test SRS, measured at the reference point, shall be within  $\pm 1,5$  dB of the required SRS (see Figure 3).

If a small portion of the test SRS, in less than 20 % of the frequency range, lies within the tolerance band  $\pm 3$  dB, the test may still be acceptable provided such points do not coincide with the critical resonance frequencies of the specimen in the test frequency range. The deviation from the required SRS shall be stated in the test report.

At a minimum, the test SRS shall be checked with the same frequency spacing as stated in 5.1 – selection depending on the  $Q$ -factor.

### 5.3 Calculation of test SRS

In order to keep errors to a minimum when calculating the test SRS, special consideration shall be given to sampling and filtering of the signal from the reference point.

It is recommended that the sampling frequency of the time-history be at least a factor of 10 or higher than the upper frequency ( $f_2$ ) for the response calculation if an interpolation algorithm is not used in the subsequent SRS calculation.

NOTE 1 Cette procédure permet de calculer la réponse de l'oscillateur  $f_2$  le plus élevé, soumis à un accélérogramme, avec une marge d'erreur inférieure à 5 %. Si une fréquence d'échantillonnage de  $2,56 f_2$  est utilisée, comme c'est fréquemment le cas pour les analyses en fréquences, il est possible d'obtenir une erreur supérieure à 60 % sur la réponse maximale de l'oscillateur  $f_2$  le plus élevé.

Si un algorithme d'interpolation est utilisé dans le calcul de SRC qui suit, la fréquence d'échantillonnage peut être jusqu'à 4 fois inférieure à la limite supérieure de fréquence ( $f_2$ ).

On doit toujours utiliser un filtre passe-bas avant de numériser l'accélérogramme analysé pour éviter les erreurs de repliement du spectre. Il est recommandé que la fréquence de coupure à la demi-puissance du filtre anti-repliement soit au moins égale à  $1,5 f_2$ . La pente doit être d'au moins  $-60$  dB/octave. L'utilisation de ces valeurs recommandées garantit l'obtention d'une réponse complète même pour l'oscillateur le plus élevé  $f_2$ . Cela supprime également les erreurs des oscillateurs élevés qui sont dues à des modifications de phase induites par les filtres anti-repliement. Les filtres doivent présenter une relation linéaire entre phase et fréquence.

Un filtre passe-haut doit être utilisé si des erreurs en basse fréquence ou des décalages en courant continu influencent l'essai. Il est recommandé que la fréquence de coupure à la demi-puissance d'un tel filtre ne soit pas supérieure à 0,1 fois la limite inférieure de fréquence ( $f_1$ ) pour le calcul de la réponse ou à 2 Hz, en prenant la plus élevée des deux valeurs.

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

NOTE 2 Un exposé du problème est donné à l'Annexe B de la CEI 60068-2-27 qui fournit les définitions de SRC "initial" et "résiduel". Pour l'évaluation du SRC d'essai, il convient de calculer un SRC de maximax.

#### **5.4 Algorithmes pour le calcul des SRC**

Il existe de nombreuses méthodes pour calculer les SRC et les algorithmes utilisés peuvent donner des résultats différents, en particulier à basses et hautes fréquences. C'est pourquoi il est important d'utiliser un algorithme validé qui permette un calcul correct du SRC au moins dans les limites de la plage des fréquences d'essai.

#### **5.5 Plage de fréquences d'essai**

La plage de fréquences d'essai choisie dépend de la fréquence maximale de l'environnement (chocs) à simuler et des fréquences qui peuvent être réellement générées par l'appareillage d'essai spécimen compris.

#### **5.6 Montage**

Le spécimen doit être monté conformément à la CEI 60068-2-47.

L'orientation et le montage du spécimen au cours des essais doivent être stipulés par la spécification particulière. Cela constitue le seul cas de figure pour lequel le spécimen est considéré comme conforme aux exigences de la norme, à moins qu'une justification convenable ne permette de l'étendre à d'autres conditions n'ayant pas été soumises aux essais (par exemple, s'il est démontré que les effets de la pesanteur n'influencent pas le comportement du spécimen).

Si un spécimen est normalement monté sur des amortisseurs, mais qu'il est nécessaire de réaliser un essai sans eux, le niveau spécifié d'excitation doit être modifié afin d'en tenir compte (voir CEI 60068-2-47).

L'influence des connexions, des câbles, des tuyauteries, etc., doit être prise en compte pour le montage du spécimen.

NOTE 1 In this way the response time-history for the highest  $f_2$  oscillator will be calculated with a magnitude error of less than 5 %. If a sampling frequency of  $2,56 f_2$  is used, as is common for frequency analysis, an error exceeding 60 % can be obtained in the maximum response of the highest  $f_2$  oscillator.

If an interpolation algorithm is used in the subsequent SRS calculation, the sampling frequency can be as low as four times the upper frequency ( $f_2$ ).

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

A high-pass filter shall be used if low-frequency errors or d.c. offset influence the test. It is recommended that the half-power cut-off frequency of such a filter is not higher than 0,1 of the lower frequency ( $f_1$ ) for the response calculation, or 2 Hz, whichever is higher.

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

NOTE 2 A rationale of the problem is reported in Appendix B of IEC 60068-2-27 which gives the definitions of "initial" and "residual" SRS. For the evaluation of the test SRS, a maximax SRS should be calculated.

#### **5.4 Algorithms for calculation of SRS**

There are many ways to calculate the SRS, and the algorithms used can give different results, especially at low and high frequencies. It is therefore important to use a validated algorithm that gives a correct calculation of the SRS at least in the test frequency range.

#### **5.5 Test frequency range**

The test frequency range chosen is dependent on the maximum frequency content of the shock environment to be simulated and the frequencies that can be truly generated by the test apparatus with the specimen attached.

#### **5.6 Mounting**

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

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

If a specimen is normally mounted on isolators, but it is necessary to carry out a test without them, the specified excitation level shall be modified to take this into account (see IEC 60068-2-47).

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

## 6 Sévérités

La sévérité d'essai doit être la résultante des paramètres suivants:

### a) Paramètres obligatoires

- SRC exigé y compris son facteur de surtension  $Q$ ;
- axes et direction d'essai;
- durée d'application de l'accélérogramme synthétisé;
- nombre de répétitions;
- plage de fréquences d'essai.

### b) Paramètres optionnels

- valeur asymptotique à haute fréquence (HFA) du SRC exigé;
- durée de la partie forte de l'accélérogramme synthétisé;
- nombre de valeurs élevées de l'accélérogramme de réponse;
- spectres de Fourier;
- densité spectrale d'énergie;
- valeur quadratique moyenne du signal temporel synthétisé (voir l'Article B.2),
- valeur quadratique moyenne du spectre de Fourier du signal temporel synthétisé (voir l'Article B.4).

NOTE La liste des paramètres optionnels n'est pas exhaustive, voir également l'Annexe B.

La spécification particulière doit indiquer les valeurs pour chaque paramètre sur la base des recommandations données de 6.1 à 6.5.

Les paramètres optionnels sont nécessaires en particulier si le spécimen est soumis aux essais non pas seulement pour le maintien d'une certaine réponse mais aussi pour une fatigue de cycle faible (réponses répétées).

### 6.1 SRC exigé

La spécification particulière doit indiquer le niveau et la forme du SRC exigé pour chaque cas d'essai, y compris son facteur de surtension  $Q$ , les tolérances et éventuellement la valeur asymptotique haute fréquence (HFA) du SRC. Le SRC doit être spécifié comme un spectre maximax. La spécification particulière doit également indiquer les axes du spécimen et les directions le long desquelles les spectres doivent être appliqués, lorsqu'ils ne sont pas identiques pour tous les axes.

NOTE La spécification particulière peut contenir plus d'un SRC avec différents facteurs  $Q$  pour un cas d'essai particulier.

### 6.2 Durée de l'accélérogramme synthétisé

La spécification particulière doit indiquer la durée de chaque accélérogramme pour laquelle des valeurs recommandées sont données en secondes ou fractions de secondes par la série suivante: ... 1; 2; 3; 5; 10....

NOTE Le choix de la durée de l'accélérogramme synthétisé dépend de la fréquence d'échantillonnage utilisée pour la synthèse du SRC et pour la fenêtre temporelle. C'est pourquoi il n'est pas toujours possible d'être proche de la série indiquée ci-dessus.

Dans certains cas, la spécification particulière peut exiger que la partie forte de l'accélérogramme soit un pourcentage donné de la durée totale. Faute de quoi, sauf lorsque les exigences de 6.5 s'appliquent, la valeur de la partie forte doit être choisie parmi les pourcentages suivants de la durée totale:

25 %, 50 %, 75 %.

## 6 Severities

The test severity shall be a combination of the following parameters:

### a) Mandatory parameters

- required SRS including its  $Q$ -factor;
- test axes and directions;
- duration of the synthesized time-history;
- number of repetitions;
- test frequency range.

### b) Optional parameters

- high-frequency asymptotic value (HFA) of the required SRS;
- duration of the strong part of the synthesized time-history;
- number of high peaks of the response time-history;
- Fourier spectra;
- energy spectral density;
- time domain root mean square of the synthesized time-history (see Clause B.2);
- frequency domain root mean square of the synthesized time-history (see Clause B.4).

NOTE The list of optional parameters is not complete, see also Annex B.

The relevant specification shall state the values for each parameter on the basis of the recommendations given in 6.1 to 6.5.

Optional parameters may be needed if the specimen is tested not only for survival of a certain response but also for low-cycle fatigue (repeated responses).

### 6.1 Required SRS

The relevant specification shall state the level and shape of the required SRS for each test case, including its  $Q$ -factor, tolerances, and optionally the SRS high-frequency asymptotic value (HFA). The SRS shall be specified as a maximax spectrum. The relevant specification shall also state the specimen axes and directions along which each spectrum shall be applied, when they are not identical for all the axes.

NOTE The relevant specification can contain several SRS with different  $Q$ -factors for a certain test case.

### 6.2 Duration of the synthesized time-history

The relevant specification shall state the duration of each time-history for which recommended values in seconds or parts of seconds are given by the following series: ... 1; 2; 3; 5; 10....

NOTE The choice of the duration of the synthesized time-history is dependent on the sampling frequency used for the SRS synthesis and the time window. It is therefore not always possible to get close to the series above.

In some cases, the relevant specification may require the strong part of the time-history to be a given percentage of the total duration. Otherwise, except when precluded by the requirements of 6.5, the value of the strong part shall be selected from the following percentages of the total duration:

25 %, 50 %, 75 %.

La valeur choisie doit être indiquée dans le rapport d'essai

### 6.3 Nombre de répétitions

La spécification particulière doit stipuler le nombre de répétitions d'accélérogrammes à appliquer au spécimen selon les axes et directions concernés.

Sauf spécification contraire, le nombre de répétitions à appliquer à chaque axe d'essai et à chaque direction pour chaque cas doit être choisi dans la série suivante: ... 1; 2; 5; 10; 20; 50...

Lorsque plusieurs niveaux d'essai d'accélérogramme sont utilisés, les essais doivent toujours commencer par le niveau le plus faible et continuer ensuite par niveau de valeur croissante. Chaque accélérogramme doit être suivi d'une pause.

### 6.4 Plage de fréquences d'essai

La plage de fréquences d'essai doit être donnée par la spécification particulière en choisissant les limites de fréquence aussi proches que possible des valeurs suivantes: ... 1; 2; 5; 10; 20; 50....La limite inférieure de fréquence ( $f_1$ ) doit avoir comme valeur minimale 0,1 Hz et la limite supérieure de fréquence ( $f_2$ ) ne doit pas dépasser 5 000 Hz.

NOTE Les valeurs de la plage de fréquences dépendent de la fréquence d'échantillonnage utilisée pour la synthèse SRC et la fenêtre temporelle. C'est pourquoi il n'est pas toujours possible d'être proche de la série indiquée ci-dessus.

### 6.5 Nombre de valeurs élevées dans un accélérogramme de réponse calculé d'un système à un seul degré de liberté

La spécification particulière peut indiquer le nombre de valeurs élevées dans l'accélérogramme de réponse calculé d'un système à un seul degré de liberté entraînant des réponses supérieures à la valeur de seuil spécifiée.

Les valeurs élevées des accélérogrammes de réponse constituent une sévérité supplémentaire applicable de préférence lorsqu'il est intéressant de réaliser les essais de fatigue de cycle faible.

Le calcul des valeurs élevées de réponse doit être réalisé sur l'accélérogramme de réponse complet produit par un système choisi à un seul degré de liberté excité par l'accélérogramme synthétisé. La fréquence naturelle non amortie et le facteur de surtension  $Q$  de ce système doivent être choisis à partir des résultats de la recherche et de l'étude des fréquences critiques ou d'une estimation de ces paramètres.

Les valeurs élevées des accélérogrammes de réponse doivent être exprimées en pourcentage de la valeur SRC exigée à la fréquence naturelle considérée pour le spécimen d'essai.

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, le nombre de valeurs élevées des accélérogrammes de réponse doit être compris entre 3 et 20, en se référant à une valeur de seuil de 70 %, pour un taux d'amortissement de 2 % à 10 % (facteur de surtension  $Q$  compris entre 5 et 25). Les alternances positives et négatives de crête doivent être à peu près régulièrement réparties.

## 7 Préconditionnement

La spécification particulière doit exiger un préconditionnement dont elle doit ensuite fixer les conditions.

The selected value shall be stated in the test report.

### 6.3 Number of repetitions

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

Unless otherwise specified, the number of repetitions to be applied to each test axis and direction and for each test case shall be selected from the following series: 1; 2; 5; 10; 20; 50...

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

### 6.4 Test frequency range

The test frequency range shall be given in the relevant specification by selecting the frequency limits as close as possible to the following series: ... 1; 2; 5; 10; 20; 50....The lower frequency limit ( $f_1$ ) shall start with 0,1 Hz as its lowest value and the upper frequency limit ( $f_2$ ) shall not exceed 5 000 Hz.

NOTE The values of the frequency range are dependent on the sampling frequency used for the SRS synthesis and of the time window. It is therefore not always possible to get close to the series indicated above.

### 6.5 Number of high peaks in a calculated response time-history of a single-degree-of-freedom system

The relevant specification may state the number of high peaks in the calculated response time-history of a single-degree-of-freedom system leading to values greater than a specified threshold value.

High peaks of the response time-histories are an optional severity, applicable preferably when testing for low-cycle fatigue is of interest.

Calculation of high peaks of response shall be made on the complete response time-history from a selected single-degree-of-freedom system excited by the synthesized time-history. The undamped natural frequency and  $Q$ -factor of this system shall be selected from results of the vibration response investigation or from an estimate of these parameters.

The high peaks of the response time-histories shall be expressed as a percentage of the required SRS value at the natural frequency of interest for the test specimen.

Unless otherwise prescribed by the relevant specification, the number of high peaks of response time-histories shall be within the range of 3 to 20, with reference to a threshold value of 70 %, for a 2 % to 10 % damping ratio ( $Q$ -factor from 5 to 25). The alternate positive and negative peaks shall be approximately equally distributed.

## 7 Preconditioning

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

## 8 Mesures initiales

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

La recherche et l'étude initiale des fréquences critiques doivent être réalisées sauf prescription contraire dans la spécification particulière (voir 9.2).

## 9 Essais

### 9.1 Généralités

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

Les capacités du générateur de vibration doivent permettre de restituer le SRC spécifié au niveau du matériel testé. Presque tous les fournisseurs de systèmes de pilotage pour générateurs de vibrations électrodynamiques fournissent un logiciel spécial pour générer le signal de pilotage adapté.

### 9.2 Recherche et étude des fréquences critiques

Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, l'étude du comportement dynamique du spécimen est obligatoire.

La recherche et l'étude des fréquences critiques doivent être réalisées avec une excitation sinusoïdale ou aléatoire dans la plage de fréquences d'essai ou à concurrence d'au moins 5 fois la première fréquence naturelle non amortie estimée du spécimen, en prenant la plus faible de ces valeurs, et ce avec le niveau d'essai prescrit par la spécification particulière.

Voir la CEI 60068-2-6 pour les vibrations sinusoïdales et la CEI 60068-2-64 pour les vibrations aléatoires.

Cette recherche doit être réalisée avec un niveau d'essai choisi de façon à ce que la réponse du spécimen reste inférieure à celle générée pendant l'épreuve SRC, tout en ayant un niveau suffisamment élevé pour détecter les fréquences critiques.

La recherche des fréquences critiques par excitation sinusoïdale doit être réalisée avec un cycle de balayage logarithmique ne dépassant pas un octave par minute, mais il peut être réduit s'il est nécessaire d'obtenir une meilleure définition des caractéristiques de la réponse. Il convient d'éviter les arrêts prolongés de balayage.

Cette recherche par vibrations aléatoires doit tenir compte de ce que la durée de l'essai doit être suffisamment longue pour minimiser les variations stochastiques de la réponse. La résolution de fréquence doit être suffisamment élevée pour déterminer de manière adéquate les valeurs de crêtes de la réponse (bande passante à  $-3$  dB la plus basse). Il est recommandé qu'au moins cinq lignes spectrales soient contenues dans la bande passante à  $-3$  dB la plus étroite.

Si la spécification particulière le prescrit, et sauf impossibilité, le spécimen doit fonctionner pendant cette recherche. S'il n'est pas possible d'accomplir cette recherche avec le spécimen qui fonctionne, il doit être effectué avec le spécimen qui n'est pas en fonction. Le spécimen doit être examiné pour déterminer les fréquences critiques qui doivent être notées dans le rapport d'essai.

## 8 Initial measurements

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

An initial response investigation shall be performed, unless otherwise prescribed by the relevant specification (see 9.2).

## 9 Testing

### 9.1 General

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

The specimen shall be excited in such a manner that the motion of the vibration generator fulfils the specified SRS. Almost all suppliers of control systems for electrodynamic vibration generators provide special software to generate the relevant drive signal.

### 9.2 Vibration response investigation

An investigation of the dynamic behaviour of the specimen is mandatory if not otherwise prescribed by the relevant specification.

The response investigation shall be performed with sinusoidal or random excitation in the test frequency range, or at least five times higher than the first undamped natural frequency, whichever is the lesser value, and with a test level as prescribed by the relevant specification.

Reference is made to IEC 60068-2-6 for sinusoidal vibration and to IEC 60068-2-64 for random vibration.

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

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

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

The specimen shall function during this investigation, if required by the relevant specification. If it is not possible to perform the response investigation with the specimen functioning, it shall be carried out with the specimen not functioning. The specimen shall be examined in order to determine the critical frequencies, which shall then be stated in the test report.

Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, il est obligatoire de réaliser une recherche de réponse complémentaire à l'issue des essais SRC, pour comparer les fréquences critiques avant et après ces essais SRC. Il est essentiel que les deux recherches de réponses soient réalisées de la même manière et au même niveau d'essai.

Les fréquences critiques relevées avant et après l'essai doivent être notées dans le rapport d'essai.

La spécification particulière doit indiquer ce qu'il est nécessaire de faire s'il on observe une évolution des fréquences critiques.

### 9.3 Synthèse de l'accélérogramme d'essai

Les différentes étapes à suivre pour la synthèse de l'accélérogramme d'essai sont résumées ci-dessous (voir aussi l'Annexe C). Il est nécessaire de synthétiser un accélérogramme d'essai pour chaque cas d'essai SRC en suivant les étapes suivantes et en choisissant les paramètres appropriés:

#### a) Ondelettes à utiliser pour synthétiser l'accélérogramme d'essai

Plusieurs types d'ondelettes peuvent être retenus. Les plus couramment utilisés sont

- 1) une sinusoïde à décroissance exponentielle;
- 2) un échantillon de sinusoïdes à amplitudes constantes;
- 3) une salve de plusieurs sinusoïdes dans une fenêtre de Hanning.

#### b) Plage de fréquences d'essai

Choisir la plage de fréquences d'essai sur la base des fréquences d'échantillonnage disponibles (voir 5.3, 5.5 et 6.4).

#### c) Fenêtre temporelle

Choisir la durée de la fenêtre temporelle par rapport à l'étape b) ci-dessus.

#### d) Espacement en fréquence des ondelettes

Choisir l'espacement en fréquence des ondelettes selon 5.1.

#### e) Facteur de surtension $Q$

Choisir le facteur de surtension  $Q$  utilisé au cours des essais selon la spécification particulière ou d'après une recherche de fréquence critique (voir 5.1 et 9.2).

#### f) Durée des ondelettes

Régler la durée des ondelettes selon 6.2.

#### g) SRC exigé

Régler la valeur crête de chaque ondelette selon le SRC spécifié.

#### h) D'autres valeurs initiales pour les paramètres utilisés pour synthétiser l'accélérogramme d'essai comme

- délai (déphasage pour les ondelettes);
- polarité (initialisation positive ou négative des ondelettes);
- nombre de demi-périodes (ondelettes de type 2) et 3)).

#### i) Synthèse d'un accélérogramme dans le système de commande

Faire la synthèse d'un accélérogramme d'essai initial dans le système de commande sans exciter la table vibrante.

#### j) Comparer le SRC d'essai initial et le SRC exigé

La comparaison doit être effectuée en ce qui concerne les tolérances et les paramètres dans la spécification particulière (voir 5.2 et l'Article 6).

It is mandatory to carry out an additional response investigation after completion of the SRS-testing, if not otherwise prescribed in the relevant specification, to compare the critical frequencies before and after the SRS-testing. It is essential that both vibration response investigations are carried out in the same manner and at the same test level.

The critical frequencies before and after the test shall be stated in the test report.

The relevant specification shall state what action has to be taken if any change of frequency occurs.

### 9.3 Synthesis of the test time-history

The different steps to synthesize the test time-history are summarized below (see also Annex C). It is necessary to synthesize a test time-history for each SRS test case by performing the following steps and selecting the appropriate parameters:

#### a) Wavelets to be used to synthesize the test time-history

There are several types of wavelets available for selection. The most commonly used are

- 1) an exponentially decaying sinusoid;
- 2) a sample of sine waves with constant amplitudes;
- 3) a sine burst with a number of sine waves within a Hanning window.

#### b) Test frequency range

Select the test frequency range, taking into account the sampling frequencies available (see 5.3, 5.5 and 6.4).

#### c) Time window

Select the duration of the time window taking into account step b) above.

#### d) Spacing in frequency of the wavelets

Select the spacing in frequency of the wavelets according to 5.1.

#### e) $Q$ -factor

Select the  $Q$ -factor used during testing according to the relevant specification or a vibration response investigation (see 5.1 and 9.2).

#### f) Duration of the wavelets

Adjust the duration of the wavelets according to 6.2.

#### g) Required SRS

Set the peak value of each wavelet according to the required SRS.

#### h) Other initial values for the parameters used to synthesize the test time-history, such as

- delay (starting time for the wavelets);
- polarity (positive or negative starting of the wavelets);
- number of half periods (type 2) and 3) wavelets).

#### i) Synthesizing of a time-history in the control system

Synthesize an initial test time-history in the control system without exciting the vibration generator table.

#### j) Comparing the initial test SRS with the required SRS

Comparison shall be made concerning the tolerances and parameters in the relevant specification (see 5.2 and Clause 6).

**k) Réglage des paramètres**

Réaliser les réglages des paramètres de l'accélérogramme à l'étape f), si nécessaire, et continuer les itérations aux étapes g) et h) jusqu'à ce que les tolérances et les paramètres pour le SRC exigé soient satisfaits et correspondent aux limitations en force, en déplacement, en vitesse et en accélération du générateur de vibrations.

**l) Sauvegarde de l'accélérogramme synthétisé**

Sauvegarder l'accélérogramme synthétisé et commencer les essais selon 9.4. L'itération de l'accélérogramme d'essai doit continuer pendant la phase d'essai.

**m) Axes et sens d'excitation restants**

Si les sévérités sont différentes dans ces axes et directions, répéter la procédure pour les axes et les directions d'excitation restant.

NOTE Cette étape peut également être effectuée après avoir réalisé un essai au niveau complet dans l'un ou l'autre des axes et direction (voir 9.4, étape e)).

**9.4 Essais avec accélérogramme d'essai synthétisé**

Les différentes étapes pour les essais avec un accélérogramme synthétisé sont indiquées ci-dessous (voir également Figure 5 et l'Annexe C):

**a) Installation du spécimen d'essai ou d'un dispositif fictif**

Installer le spécimen d'essai (ou un dispositif fictif dynamiquement équivalent) sur le générateur de vibrations selon l'axe et la direction prescrits.

**b) Exciter le spécimen avec un niveau d'essai réduit à –18 dB**

Exciter le spécimen d'essai avec le signal de l'accélérogramme synthétisé et sauvegardé selon 9.3 l) à un niveau de –18 dB. Laisser le système d'essai itérer au maximum six fois jusqu'à ce que la forme et les paramètres du SRC exigé soient atteints en correspondance avec un niveau d'essai réduit. Sauvegarder le signal de pilotage.

NOTE 1 Dans certains cas, l'étape c) à –12 dB peut être préférée comme première excitation d'essai.

**c) Exciter le spécimen avec un niveau d'essai réduit à –12 dB**

Exciter le spécimen d'essai à un niveau d'essai limité à –12 dB avec le signal sauvegardé à l'étape d'itération à –18 dB (9.4, étapes a) et b)). Laisser le système d'essai itérer en répétant l'essai SRC à ce niveau au maximum six fois jusqu'à ce que les paramètres du SRC exigé soient atteints. Sauvegarder le signal de pilotage.

NOTE 2 Dans certains cas, cela peut être un départ pour l'essai.

**d) Augmenter le niveau d'essai**

Augmenter le niveau d'essai par étapes d'abord de 6dB puis de 3 dB. Exciter avec un minimum de deux répétitions par niveau jusqu'au niveau d'essai complet et sauvegarder le signal de pilotage à chaque étape de l'essai. Laisser le système d'essai itérer après chaque excitation pour contrôler si le SRC exigé est satisfait dans les limites des tolérances spécifiées ou non.

NOTE 3 L'augmentation du niveau d'essai de –3dB au niveau complet peut être réalisée par pas de 1 dB si nécessaire. Le nombre d'itération doit être limité à 1 au maximum dans ce cas.

**e) Faire l'essai au niveau complet**

Répéter l'essai de niveau complet autant de fois qu'indiqué dans la spécification particulière dans le même axe et la même direction d'excitation. Laisser le système d'essai itérer pour contrôler le SRC.

Une pause de longueur suffisante doit être incluse entre accélérogrammes consécutifs, de manière à éviter toute superposition significative du déplacement en réponse du spécimen.

**k) Adjustment of parameters**

Make adjustments of parameters of the time-history in step f) if needed, and continue the iterations in steps g) and h) until the tolerances and parameters for the required SRS are met and relevant to the limitations in force, displacement, velocity and acceleration of the vibration generator.

**l) Saving of the synthesized time-history**

Save the synthesized time-history and start testing according to 9.4. Iteration of the test time-history shall continue during this testing phase.

**m) Remaining excitation axes and directions**

Repeat the procedure for the remaining excitation axes and directions, if the severities are different in these axes and directions.

NOTE This step may also be done after testing to full level in some axis and direction (see 9.4, step e)).

**9.4 Testing with synthesized test time-histories**

The different steps for testing with a synthesized test time-history are shown below (see also Figure 5 and Annex C):

**a) Installation of the test specimen or a dummy**

Install the test specimen (or a dynamically equivalent dummy) on the vibration generator table in the relevant excitation axis and direction.

**b) Exciting the specimen at a low test level of –18 dB**

Excite the specimen with the signal for the synthesized test time-history from 9.3 l) at a level of –18 dB. Let the test system iterate at a maximum of six times until the shape and the parameters of the required SRS are met in correspondence with the lower test level. Save the drive signal.

NOTE 1 In some cases step c) –12 dB may be preferred as the start of the testing.

**c) Excite the specimen at a low test level of –12 dB**

Excite the test specimen at a reduced test level of –12 dB with the drive signal saved from the –18 dB iteration phase (9.4, steps a) and b)). Let the control system iterate by repeating the SRS-test at this level at a maximum of six times until the parameters of the required SRS are met. Save the drive signal.

NOTE 2 In some cases this can be the preferred start of the testing.

**d) Increase the test level**

Increase the test level in steps of first 6 dB and then 3 dB. Excite with at least two repetitions per level up to full test level and save the drive signal at each step of the testing. Let the test system iterate after each excitation to control whether the required SRS is met within the specified tolerances or not.

NOTE 3 The increase of test level from –3 dB to full level can be done in steps of 1 dB if needed. The number of repetitions shall be reduced to a maximum of 1 in these cases.

**e) Test at full level**

Repeat the full level test as many times as are stated in the relevant specification in the same excitation axis and direction. Let the test system iterate to control the SRS.

Between consecutive time-histories a pause of sufficient length shall be included so that no significant superposition occurs of response motion of the specimen.

**f) Axe d'essai suivant**

Répéter les étapes a) à e) pour l'axe d'essai suivant ou direction d'essai, comme prescrit par la spécification particulière en tenant compte de 9.3, étape m).

NOTE 4 La décision de démarrer l'essai suivant le nouvel axe à l'étape b) ou c) du processus revient à l'opérateur.

**g) Documentation de l'essai**

Le SRC et les autres paramètres utiles doivent être documentés pour le niveau d'essai complet. Enregistrer chaque excitation si le nombre de répétitions est compris entre 1 et 10, et une sur trois, si ce nombre est supérieur à 10. La spécification particulière peut prescrire des conditions différentes.

**10 Mesures intermédiaires**

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

**11 Reprise**

Il est parfois nécessaire, lorsque la spécification particulière le prescrit, de laisser s'écouler un certain temps après les essais et avant les mesures finales pour permettre au spécimen de se retrouver dans les mêmes conditions, par exemple de température, que celles qui existaient pour les mesures initiales.

**12 Mesures finales**

Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, la recherche et l'étude des fréquences critiques du spécimen est obligatoire (voir 9.2).

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

La spécification particulière doit préciser les critères sur lesquels doit être fonder la décision d'acceptation ou du rejet du spécimen.

**13 Renseignements devant figurer dans la spécification particulière**

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

	Article ou paragraphe
a) Mouvement transverse	4.2
b) Tolérance sur le signal	4.3
c) Tolérance pour le SRC exigé*	5.2
d) Plage de fréquences d'essai*	5.5, 6.4
e) Montage du spécimen*	5.6
f) SRC exigé*	5.1, 6.1
g) Axes et directions d'essai*	6.1, 9.1
h) Durée de l'accélérogramme d'essai*	6.2
i) Durée de la partie forte de l'accélérogramme d'essai	6.2

**f) Next test axis**

Repeat steps a) to e) for the next test axis or direction, as prescribed by the relevant specification taking into account 9.3, step m).

NOTE 4 It is the decision of the test operator whether to start in the new axis with step b) or c).

**g) Documentation of test**

The SRS and other parameters of interest shall be documented for the full test level. Record each excitation if the number of repetitions is between 1 and 10, and every third, if the number is larger than 10. The relevant specification may prescribe different conditions.

**10 Intermediate measurements**

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

**11 Recovery**

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

**12 Final measurements**

A final response investigation shall be performed if not otherwise prescribed by the relevant specification (see 9.2).

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

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

**13 Information to be given in the relevant specification**

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

	Clause or subclause
a) Cross-motion	4.2
b) Signal tolerance	4.3
c) Tolerance on required SRS*	5.2
d) Test frequency range*	5.5, 6.4
e) Mounting of the specimen*	5.6
f) Required SRS*	5.1, 6.1
g) Test axes and directions*	6.1, 9.1
h) Test time-history duration*	6.2
i) Duration of the strong part of the test time-history	6.2

j) Nombre d'itérations*	6.3
k) Nombre de valeurs élevées dans un accélérogramme de réponse calculé	6.5
l) Préconditionnement	7
m) Mesures initiales*	8
n) Recherche et étude des fréquences critiques	9.2
o) Mesures intermédiaires	10
p) Reprise	11
q) Mesures finales*	12

#### 14 Renseignements devant figurer dans le rapport d'essai

Au minimum, le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes:

a) Client	Nom et adresse
b) Laboratoire d'essai	
c) Dates d'essai	
d) Type d'essai	(essai par synthèse du SRC, vibration, etc.)
e) Objet de l'essai	(essai de développement, qualification, etc.)
f) Norme d'essai, édition	(procédure d'essai particulière)
g) Description du spécimen d'essai	(numéro d'identification unique, dessin, photographie, quantité, etc.)
h) Montage du spécimen d'essai	(identification de fixation, dessin, photographie, etc.)
i) Performance de l'instrumentation	(signal de tolérance, mouvement transverse, etc.)
j) Système de mesures, position des capteurs	(description, dessin, photographie, etc.)
k) Incertitudes du système de mesures	(date d'étalonnage, dernière et prochaine dates)
l) Mesures initiales, intermédiaires et finales	
m) Sévérité exigées	(à partir des spécifications)
n) Sévérité d'essai et documentation	(points de mesures, spectre d'essai, etc.)
o) Observations pendant les essais et actions	
p) Résumé de l'essai	
q) Liste de diffusion	

NOTE Un relevé d'essai doit être rédigé pendant la réalisation de l'essai. Ce relevé contient une description du déroulement de l'essai, par exemple, la liste chronologique des différentes séquences et des paramètres associés, les observations faites pendant l'essai et les actions prises ainsi que les feuilles de données sur les mesures réalisées. Le relevé d'essai peut être joint au rapport d'essai.

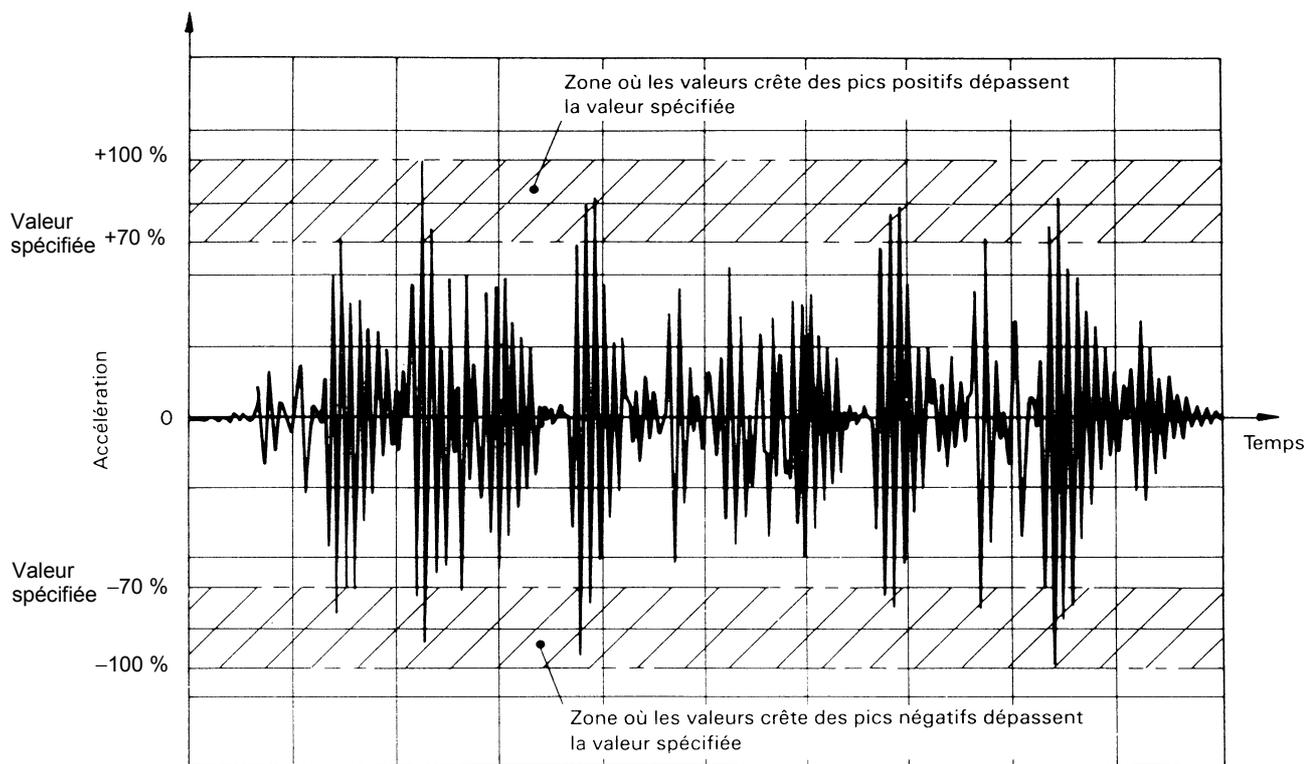
j) Number of repetitions*	6.3
k) Number of high peaks in a calculated response time-history	6.5
l) Preconditioning	7
m) Initial measurements*	8
n) Vibration response investigation	9.2
o) Intermediate measurements	10
p) Recovery	11
q) Final measurements*	12

#### 14 Information to be given in the test report

As a minimum, the test report shall show the following information:

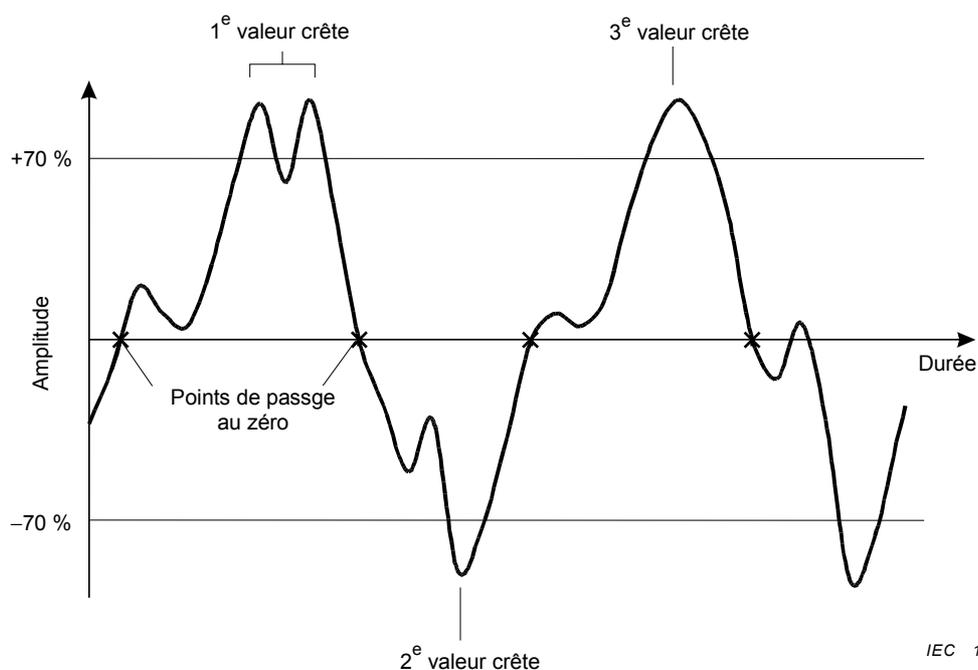
a) Customer	Name and address
b) Test laboratory	
c) Test dates	
d) Type of test	(SRS synthesis testing, vibration etc.)
e) Purpose of the test	(development test, qualification etc.)
f) Test standard, edition	(relevant test procedure)
g) Test specimen description	(unique identity no, drawing, photo, quantity, etc.)
h) Mounting of test specimen	(fixture identity, drawing, photo, etc.)
i) Performance of test apparatus	(signal tolerance, cross-motion etc.)
j) Measuring system, sensor location	(description, drawing, photo etc.)
k) Uncertainties of measuring system	(calibration data, last and next date)
l) Initial, intermediate or final measurements	
m) Required severities	(from test specification)
n) Test severities with documentation	(measurement points, spectra from test, etc.)
o) Observations during testing and actions taken	
p) Summary of test	
q) Distribution	

NOTE A test log shall be written during the testing. It should include a description of how the test is conducted, e.g. a chronological list of test runs and their associated parameters, observations made during testing and actions taken, as well as providing data sheets on measurements made. The test log can be attached to the test report.



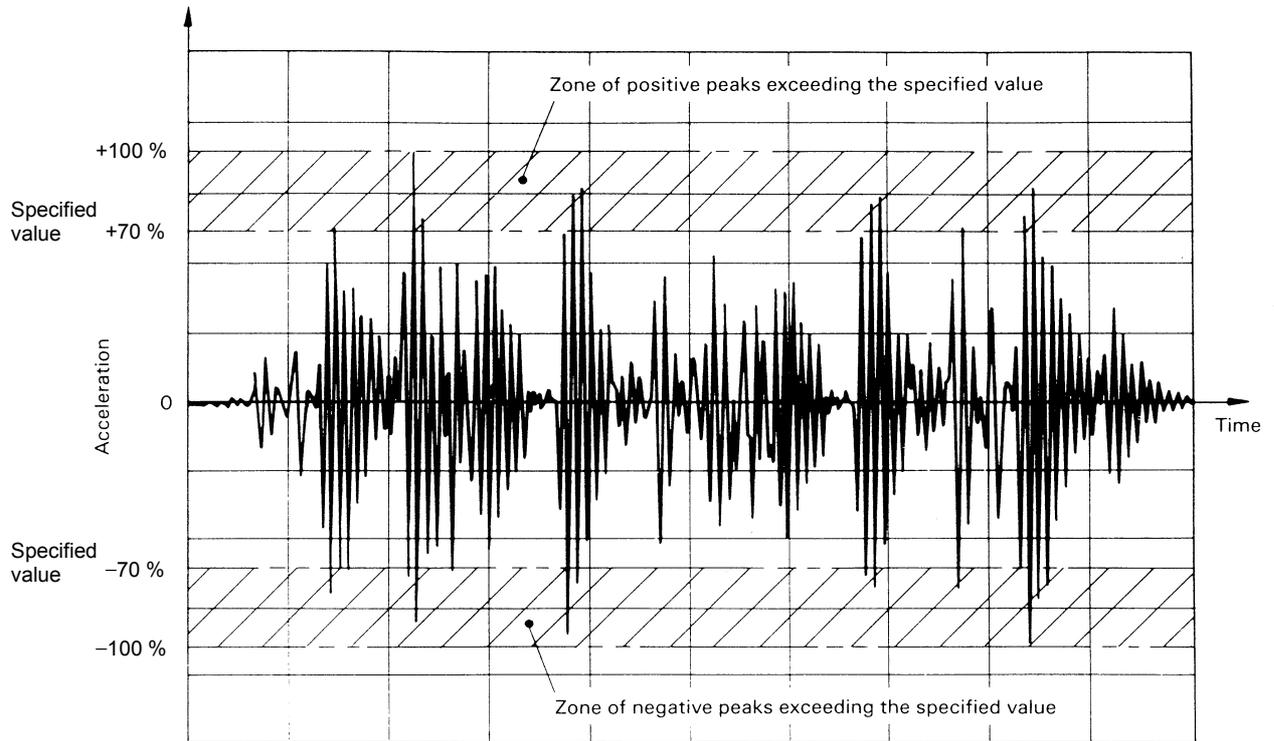
IEC 1550/99

**Figure 1 – Exemple de réponse typique d'un oscillateur à une sollicitation décrite par un accélérogramme spécifique (valeur seuil spécifiée de 70 %)**



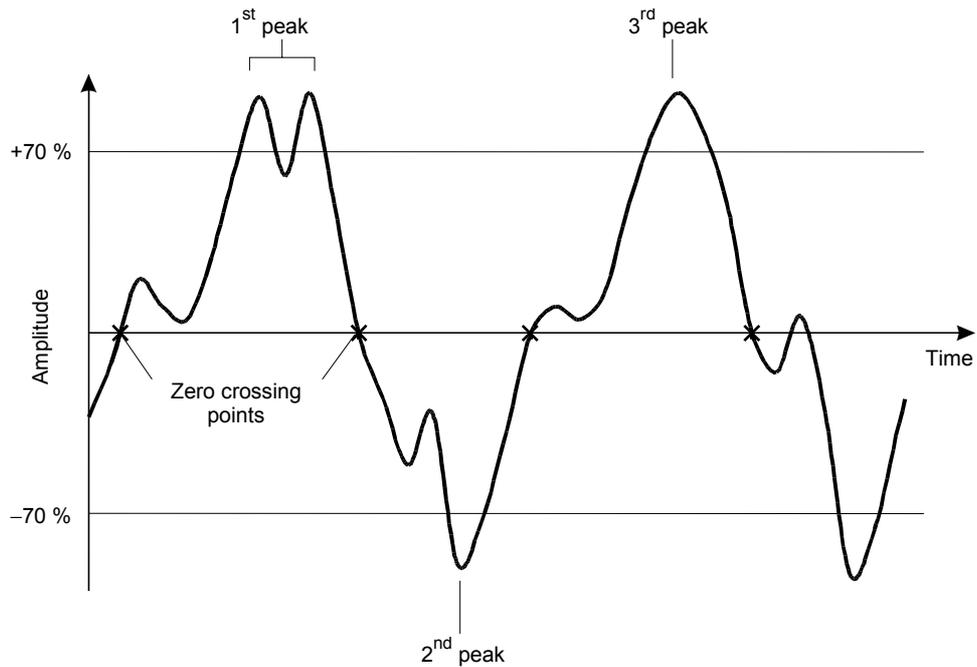
IEC 1551/99

**Figure 2 – Exemple d'identification des valeurs crêtes de la réponse dépassant une valeur seuil spécifiée (70 %)**



IEC 1550/99

**Figure 1 – Example of a typical response of an oscillator excited by a specific time-history (specified threshold value of 70 %)**



IEC 1551/99

**Figure 2 – Example of identification of the peaks of the response higher than a specified (70 %) threshold value**

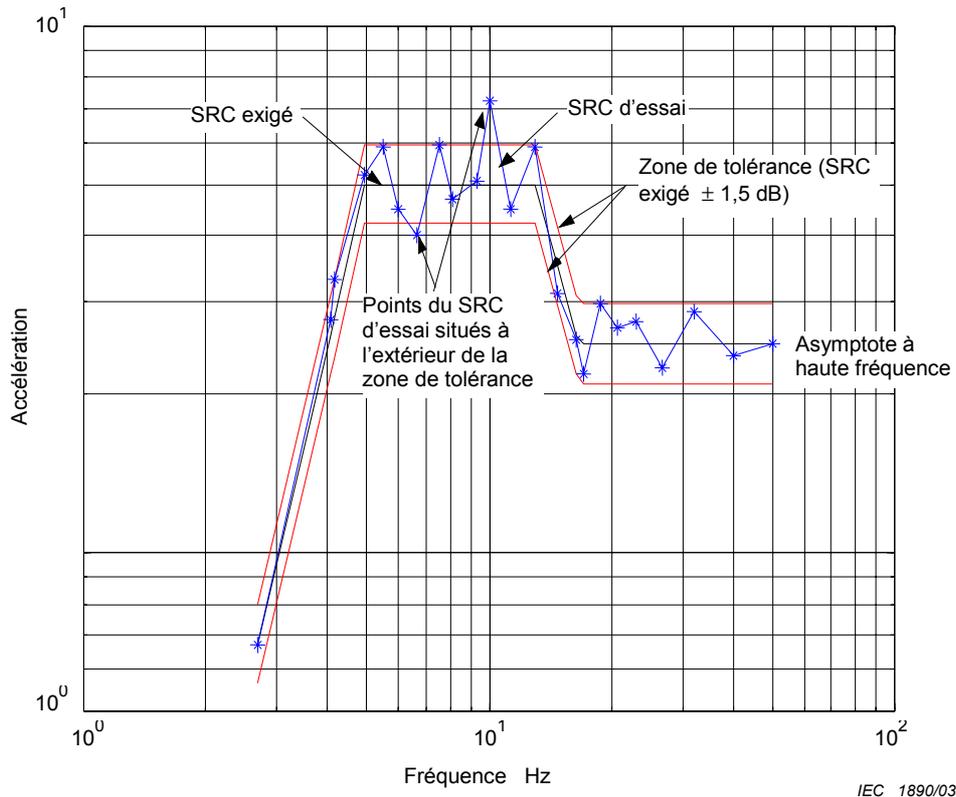


Figure 3 – Graphique logarithmique typique d'un SRC exigé

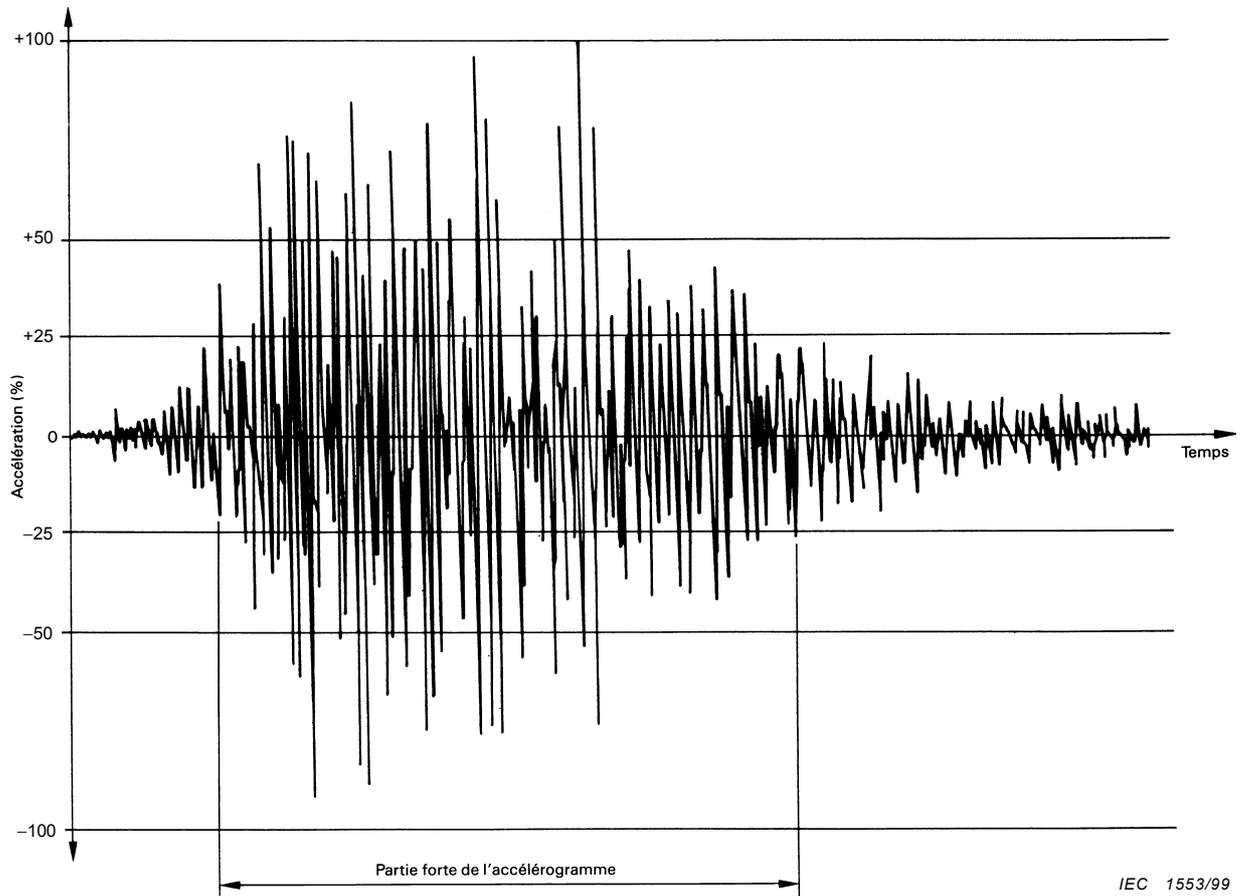


Figure 4 – Accélérogramme typique

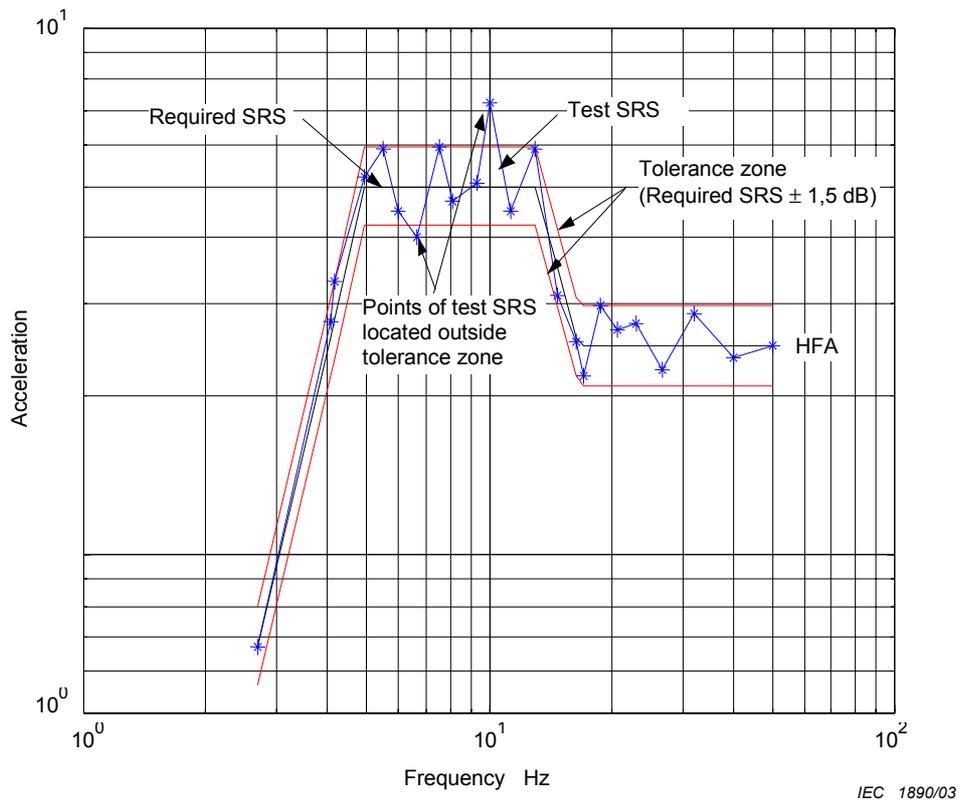


Figure 3 – Typical logarithmic plot of a required response spectrum

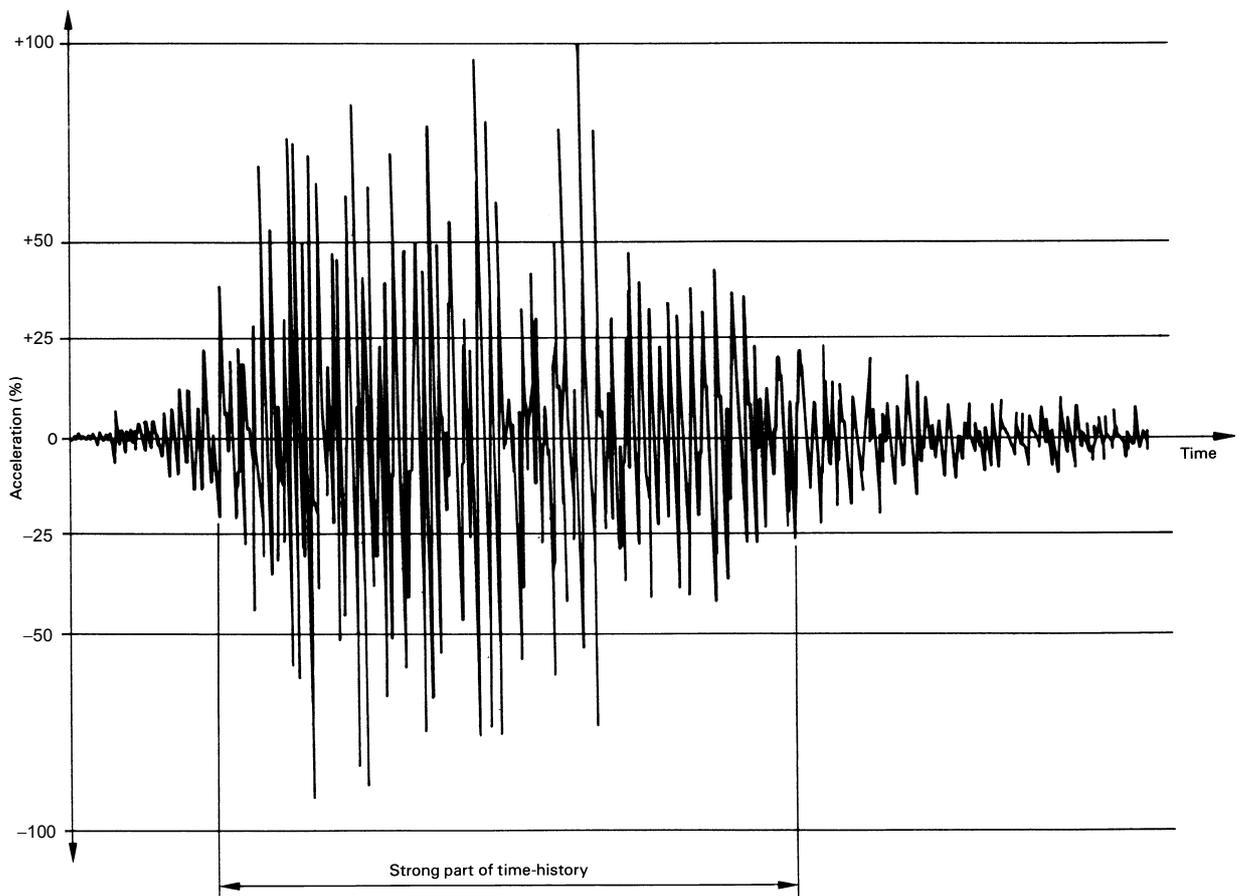
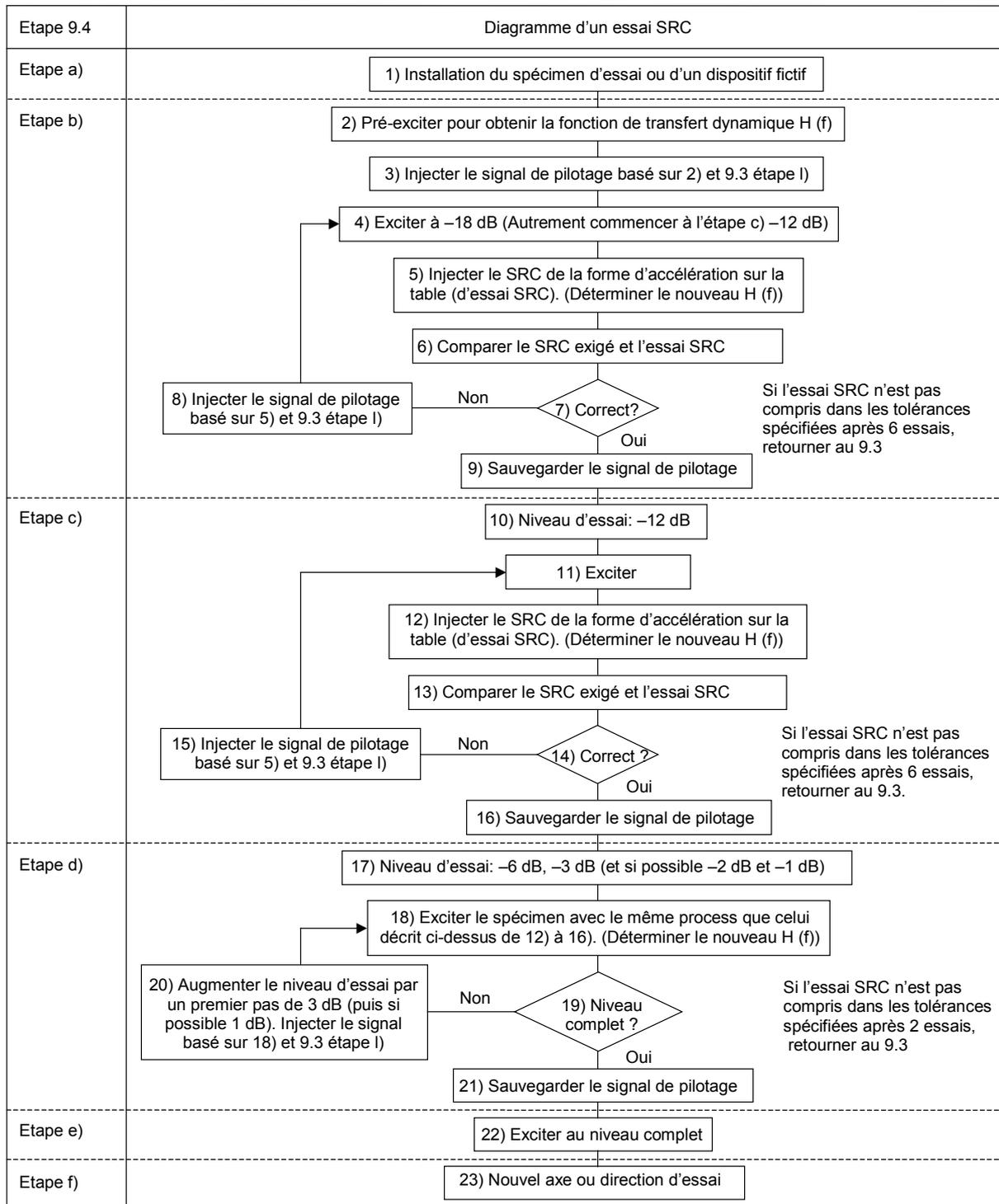
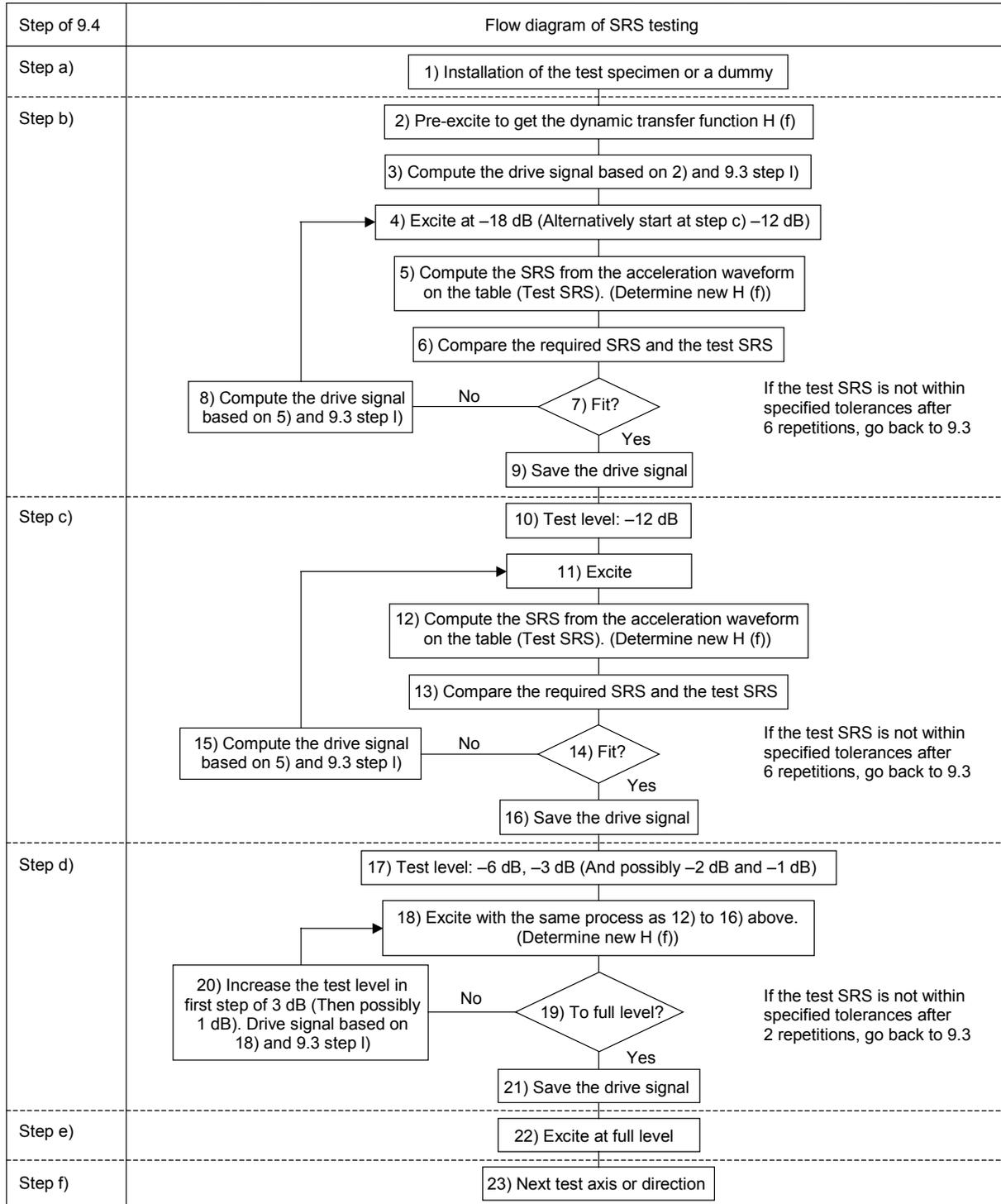


Figure 4 – Typical time-history



IEC 1891/03

Figure 5 – Logigramme pour les essais avec accélérogramme d'essai synthétisé 9.4



IEC 1891/03

Figure 5 – Flow chart for testing with synthesized test time-histories 9.4

## **Annexe A** (informative)

### **Accélérogramme d'essai – Informations d'ordre général**

#### **A.1 Généralités**

La dérivation d'un accélérogramme d'essai à partir d'un spectre de réponses aux chocs (SRC) n'est pas un processus mathématiquement précis ou unique. Il est possible de dériver de nombreux accélérogrammes d'essai d'un seul SRC particulier. De plus, les contraintes pratiques imposées par les limitations de l'appareil d'essai signifient généralement qu'un SRC ne peut pas être appréhendé de manière précise. Il en résulte qu'il est peu vraisemblable d'obtenir de manière fiable et reproductible la reproduction d'un accélérogramme de choc particulier au moyen d'une définition SRC seulement. C'est pourquoi, il est recommandé qu'un accélérogramme d'essai dérivé fasse toujours l'objet d'un accord avec le spécificateur d'essai.

Il existe de nombreuses méthodes de déduction d'un accélérogramme d'essai à partir d'un SRC. Généralement, chacune de ces méthodes donne des accélérogrammes d'essai ayant des caractéristiques différentes et traite différemment les contraintes pratiques imposées par les limitations de l'appareillage d'essai. De plus, différentes mises en œuvre (informatiques) des différentes méthodes peuvent imposer leurs propres limitations et hypothèses. Souvent, ces limitations et ces hypothèses sont utilisées pour atteindre un degré de fiabilité et de reproductibilité pour la production d'accélérogrammes d'essai.

Le premier critère pour le choix d'une méthode adaptée de dérivation d'un accélérogramme d'essai provenant d'un SRC consiste à prendre en compte les caractéristiques de l'accélérogramme exigé. Le choix dépendra généralement des caractéristiques de l'accélérogramme d'essai original à partir de laquelle le SRC de la spécification particulière a été dérivé. Cependant, comme il est peu vraisemblable que toutes les caractéristiques de l'accélérogramme original soient reproduites, il est nécessaire d'identifier des aspects spécifiques des caractéristiques qui doivent être reproduits dans l'accélérogramme d'essai. Généralement, les caractéristiques de l'accélérogramme original dépendront des conditions de fonctionnement à l'origine du choc et de l'emplacement de l'unité étudiée par rapport à la source de choc. Dans de nombreux cas, les aspects critiques des caractéristiques du choc reproduites dans l'accélérogramme d'essai dépendront également des susceptibilités du spécimen d'essai.

Le deuxième critère pour le choix d'une méthode adaptée de dérivation d'un accélérogramme d'essai provenant d'un SRC consiste à prendre en compte les contraintes pratiques imposées par les limitations de l'appareillage d'essai. Pour permettre l'application d'un accélérogramme de choc par des générateurs de vibrations électrodynamiques ou servo-hydrauliques, il faut que l'accélération et la vitesse initiales et finales soient égales à zéro. De même, comme avec toute machine d'essai, il faut que les valeurs maximales d'accélération, de vitesse et de déplacement se situent dans les limites normales des capacités de la machine. Toutes ces contraintes sont des contraintes importantes sur les accélérogrammes qui peuvent être appliquées de manière réaliste par les systèmes générateurs de vibrations. En général, les contraintes imposées par le système de génération de vibrations ont les effets les plus importants lorsqu'on tente de reproduire un choc provenant de sa source ou à proximité de celle-ci. La reproduction d'un accélérogramme dominée par des réponses de structure, typiques de celles observées à une certaine distance de la source de chocs, est plus vraisemblable sans limitations significatives imposées par le système de génération de vibrations.

## **Annex A** (informative)

### **Test time history – General background information**

#### **A.1 General**

The derivation of a test time-history from an SRS is not a mathematically precise or unique process. Many test time-histories can be derived from a single specific SRS. Moreover, practical constraints imposed by the limitations of the test apparatus usually means that an SRS cannot be precisely matched. As a result, the reproduction of a particular shock time-history by means of SRS definition alone is unlikely to be achieved reliably and repeatedly. It is therefore recommended that a derived test time-history should always be agreed upon with the test specifier.

Many methods exist by which a test time-history can be derived from an SRS. Generally each of the various methods produce test time-histories with different characteristics and also deal differently with the practical constraints imposed by the limitations of the test apparatus. In addition, different (computer) implementations of the various methods may impose their own limitations and assumptions. Often these limitations and assumptions are used to achieve a degree of reliability and repeatability in the generation of the test time-history.

The first criteria in the selection of a suitable method for the derivation of a test time-history from an SRS is the consideration of the characteristics of the required time-history. The selection will usually depend upon the characteristics of the original time-history from which the SRS in the relevant specification was derived. However, as the entire characteristics of the original time-history are unlikely to be reproduced, it is necessary to identify specific aspects of the characteristics which need to be reproduced in the test time-history. Generally, the characteristics of the original time-history will be dependent upon the operational conditions causing the shock and the location of the item under consideration, with respect to the shock source. In many instances, the critical aspects of the characteristics of the shock reproduced in the test time-history will also depend upon the susceptibilities of the test specimen.

The second criteria in the selection of a suitable method for the derivation of a test time-history from an SRS is the consideration of the practical constraints imposed by the limitations of the test apparatus. To permit a shock time-history to be applied by electrodynamic or servo-hydraulic vibration generators, the initial and the final acceleration and velocity must be zero. Also, as with any test machine, the maximum values of acceleration, velocity and displacement must be within the normal limits set for the machine. All of these are significant constraints on the time-histories that can be realistically applied by vibration generator systems. Generally, the constraints imposed by the vibration generator system have the greatest effect when attempting to reproduce a shock originating at or close to its source. Reproducing a time-history dominated by structural responses, typical of those observed some distance from the shock source, is more likely to be possible without significant limitations being imposed by the vibration generator system.

## A.2 Reproduction d'un accélérogramme classique

La reproduction d'un accélérogramme classique, telle une impulsion demi-sinusoïdale ou en dent de scie à pointe finale, sur un générateur de vibrations est souvent difficile à obtenir en raison des contraintes pratiques imposées par les limitations de l'appareillage d'essai. Cependant l'obtention de ce type d'accélérogramme d'essai à partir d'un SRC est généralement correct, fiable et reproductible. Cela est dû au fait que les SRC des impulsions classiques sont, dans les grandes lignes, uniques et, si le SRC concerné est une bonne représentation de l'impulsion originale, l'accélérogramme d'essai dérivé devrait être une bonne équivalence de l'original. La reproductibilité peut encore être améliorée en utilisant des informations complémentaires comme l'amplitude de crête et une durée type. La principale difficulté lorsqu'on applique des accélérogrammes classiques sur des systèmes de génération de vibrations est d'assurer que l'accélérogramme d'essai a une accélération et une vitesse initiale et finale de zéro. Cela nécessite généralement l'ajout d'une impulsion de compensation qui est normalement une impulsion d'amplitude négative avec une amplitude plus faible et une durée plus importante que l'impulsion exigée. L'amplitude, la forme et la durée, entre le début de l'impulsion de compensation et l'impulsion exigée, sont fixées pour s'assurer que l'accélération et la vitesse initiale et finale soient de zéro.

## A.3 Réponse sinusoïdale décroissante

Peu d'unités de matériel subissent des chocs ayant la forme d'une impulsion classique. Beaucoup d'unités de matériel subissent l'effet des chocs modifié par les caractéristiques dynamiques de la structure interposée. De telles réponses sont représentées typiquement par des accélérogrammes oscillatoires et transitoires. Dans le cas le plus simple, ces réponses auront la forme d'une sinusoïdale décroissante à une seule fréquence. Plus couramment, elle a la forme d'un mélange complexe de composantes individuelles de réponses. Généralement, plus un accélérogramme est oscillatoire et complexe, plus elle peut être facilement appliquée à un générateur de vibrations.

Une réponse sinusoïdale décroissante est typique de celle subie par le matériel à proximité d'une source de chocs. Le SRC d'une sinusoïdale décroissante à une seule fréquence est une description distinctive et l'accélérogramme d'essai dérivé est une bonne équivalence de l'original. Cependant, lorsque la réponse contient plus d'une composante à fréquence unique, il est peu probable que l'accélérogramme d'essai dérivé constitue une bonne équivalence de l'original sauf si des informations complémentaires sont fournies. Dans de tels cas, les renseignements complémentaires types incluront vraisemblablement l'amplitude de crête globale, la fréquence et l'amortissement de chaque composant ainsi que l'amplitude relative de chacun. On entreprend généralement de reproduire un accélérogramme d'essai en sinusoïdale décroissante complexe lorsque la réponse de crête et le "temps de montée" de l'impulsion sont considérés comme importants.

Les méthodes disponibles pour déterminer une forme d'onde sinusoïdale décroissante à partir d'un SRC sont bien documentées et largement similaires. Tandis que les méthodes sont similaires, une mise en œuvre différente des méthodes impose fréquemment des limitations destinées à assurer un degré de répétabilité de l'accélérogramme d'essai final. En pratique, ces limitations empêchent souvent d'obtenir un accélérogramme d'essai qui soit une bonne équivalence de la réponse originale. Virtuellement, toutes les méthodes adaptent le SRC de l'accélérogramme d'essai à celui du SRC exigé uniquement aux fréquences des sinusoïdales décroissantes. Alors que plusieurs procédures sont disponibles pour améliorer l'adaptation aux fréquences intermédiaires, aucune d'entre elles n'assure une bonne correspondance. Généralement une bonne correspondance peut être obtenue aux fréquences des sinusoïdales décroissantes mais des tolérances plus larges sont nécessaires aux fréquences intermédiaires. Des contraintes pratiques limitent généralement le nombre de composantes sinusoïdales décroissantes pouvant être utilisées.

## **A.2 Reproducing a classical time-history**

Reproducing a classical time-history, such as a half-sine pulse or a terminal peak saw-tooth, on a vibration generator is often difficult to achieve due to practical constraints imposed by the limitations of the test apparatus. However, synthesizing and testing with an SRS of a classical time-history is generally reasonable, reliable, and repeatable. This is because the SRS of classical pulses are broadly unique and, provided that the required SRS is a good representation of the original pulse, the derived test time-history should be a good equivalence of the original. Reproducibility can be further enhanced by quoting additional information such as peak value and a typical duration. The main difficulty in applying classical time-histories on vibration generator systems is ensuring that the test time-history has an initial and final acceleration and velocity of zero. This usually requires the addition of a compensation pulse which is typically a pulse with a negative peak with a lower value and a longer duration than the pulse required. The peak value, the shape and the duration of the compensation pulses, which are typically placed pre and post of the nominal pulse, are set to ensure that the test time-history has zero initial and final acceleration and velocity.

## **A.3 Decaying sinusoidal response**

Few items of equipment experience shocks that are in the form of a classical pulse. Many items of equipment experience the effect of shock modified by the dynamic characteristics of interposed structure. Such responses are typified by oscillatory and transitory time-histories. In the simplest case, these responses will be in the form of a single frequency decaying sinusoid. More commonly, it is in the form of a complex mixture of individual response components. Generally, the more oscillatory and complex a time-history, the more readily it can be applied on a vibration generator.

A decaying sinusoidal response is typical of that experienced by equipment relatively close to a shock source. The SRS of a single frequency decaying sinusoid is a distinctive description and the derived test time-history is a good equivalence of the original. However, when the response contains more than one single frequency component, the derived test time-history is unlikely to be a good equivalence of the original unless additional information is supplied. In such cases, typical additional information is likely to include overall peak value, the frequency and damping of each component as well as the relative magnitude of each. Reproducing a test time-history as a complex decaying sinusoid is usually undertaken when peak response and the 'rise time' of the pulse are considered important.

The methods available for determining a decaying sinusoidal time-history from an SRS are well documented and broadly similar. Whilst the methods are similar, different implementation of the methods frequently impose limitations aimed at ensuring a degree of repeatability of the final test time-history. In practice, these limitations often prevent achieving a test time-history which is a good equivalence of the original response. Virtually all the methods fit the SRS of the test time-history to that of the required SRS only at the frequencies of the decaying sinusoids. While several procedures are available to improve the fit at intermediate frequencies, none of these ensure a good match. Generally, a good match can be achieved at the frequencies of the decaying sinusoids but wider tolerances are required at intermediate frequencies. Practical constraints generally limit the number of decaying sinusoid components that can be used.

Une réponse sinusoïdale décroissante exige presque toujours l'ajout d'une impulsion de compensation adaptée pour assurer que l'accélérogramme d'essai a une accélération et une vitesse initiale et finale de zéro. Bien que l'impulsion de compensation soit moins sévère que ce qui serait nécessaire pour un accélérogramme de choc classique, elle affecte encore le SRC de l'accélérogramme d'essai. Il existe une certaine flexibilité dans les limitations pratiques du générateur de vibrations, comme la fréquence de l'impulsion de compensation. En général, plus la fréquence de l'impulsion de compensation est basse, mieux c'est.

#### **A.4 Réponse oscillatoire complexe**

Un accélérogramme transitoire et oscillatoire dominé par les effets des caractéristiques dynamiques de la structure d'interposition est typique de beaucoup de réponses aux chocs. Lorsque les caractéristiques de la source de chocs ne sont pas significatives, un accélérogramme d'essai peut être dérivé d'un SRC au moyen de différentes méthodes. Quelle que soit la méthode utilisée, il est peu vraisemblable que l'accélérogramme d'essai dérivé soit une bonne équivalence de l'original sauf si des informations complémentaires sont fournies. Dans de tels cas, les renseignements complémentaires types incluront vraisemblablement l'amplitude de crête globale ainsi que la fréquence et l'amplitude relative de chaque composante dans la réponse originale. On reproduit généralement un accélérogramme d'essai sous la forme d'une réponse oscillatoire complexe lorsque la réponse de crête du matériel à l'étude intervient immédiatement après l'application du choc de source.

Il existe différentes méthodes pour la détermination d'une réponse oscillatoire complexe à partir d'un SRC. Les différentes méthodes et mises en œuvre sont destinées à la fois à améliorer les capacités d'un système générateur de vibrations et à assurer un degré de reproductibilité de l'accélérogramme d'essai final. En pratique, ces limitations empêchent généralement d'obtenir un accélérogramme d'essai qui soit une bonne équivalence de la réponse originale. Virtuellement, toutes les méthodes adaptent le SRC de l'accélérogramme d'essai à celui du SRC exigé uniquement à des fréquences spécifiques. Généralement, une correspondance raisonnable peut être obtenue à des fréquences spécifiques mais avec des tolérances plus larges nécessaires aux fréquences intermédiaires.

Certaines méthodes disponibles pour la détermination d'une réponse oscillatoire complexe à partir d'un SRC exigent l'ajout d'une impulsion de compensation adaptée pour assurer que l'accélérogramme d'essai a une accélération et une vitesse initiale et finale de zéro. Cependant, certaines méthodes sont conçues pour produire une accélération et une vitesse initiale et finale de zéro sans compensation complémentaire. Lorsqu'une impulsion de compensation est nécessaire, elle est généralement moins significative que celle qui serait nécessaire pour un accélérogramme de choc classique ou une forme d'onde sinusoïdale décroissante.

A decaying sinusoidal response almost always requires the addition of a suitable compensation pulse to ensure that the test time-history has an initial and final acceleration and velocity of zero. While the compensation pulse is less severe than would be required for a classic shock time-history, it still affects the SRS of the test time-history. Within the practical limitations of the vibration generator, some flexibility exists as the frequency of the compensation pulse. Generally, the lower the frequency of the compensation pulse, the better.

#### **A.4 Complex oscillatory response**

A transitory and oscillatory time-history dominated by the effects of the dynamic characteristics of the interpose structure is typical of many shock responses. When the characteristics of the shock source are not significant, a test time-history can be derived from an SRS by means of a number of different methods. Whichever method is used, the derived test time-history is unlikely to be a good equivalence of the original unless additional information is supplied. In such cases, typical additional information is likely to include overall peak values as well as the frequency and the relative magnitude of each component in the original response. Reproducing a test time-history as a complex oscillatory response is usually undertaken when the peak response of the equipment under consideration occurs immediately after the application of the source shock.

The methods available for determining a complex oscillatory response from an SRS are diverse. The different methods and implementations are aimed at both enhancing the capabilities of a vibration generator system and ensuring a degree of repeatability of the final test time-history. In practice, these limitations usually prevent achieving a test time-history which is a good equivalence of the original response. Virtually all the methods fit the SRS of the test time-history to that of the required SRS only at specific frequencies. Generally, a reasonable match can be achieved at specific frequencies but with wider tolerances required at intermediate frequencies.

Some methods available for determining a complex oscillatory response from an SRS require the addition of a suitable compensation pulse to ensure that the test time-history has an initial and final acceleration and velocity of zero. However, some methods are designed to produce an initial and final acceleration and velocity of zero without additional compensation. When a compensation pulse is required, it is generally less significant than would be required for a classic shock time-history or a decaying sinusoidal time-history.

## **Annexe B** (informative)

### **Paramètres à utiliser pour la synthèse d'un accélérogramme d'essai**

#### **B.1 Généralités**

Les exigences d'environnement pour les essais des spécimens peuvent être déduites

- des données de terrain mesurées pour le spécimen concerné,
- de l'environnement de choc prévu sur la base des données de terrain d'applications similaires,
- de l'environnement de chocs calculé.

La mesure et l'analyse des données de terrain pour un environnement de chocs doivent être réalisées avec grand soin en raison de la plage dynamique souvent importante exigée dans les mesures. La référence [1]<sup>1</sup> offre une aide appréciable et un aperçu sur ce sujet.

Les exigences pour les essais avec le spectre de réponse aux chocs (SRC) doivent être déduites des sources mentionnées ci-dessus. Ces exigences doivent contenir certains paramètres spécifiques décrivant l'environnement de chocs d'essai. Cela peut inclure des paramètres qui décrivent

- la durée de choc,
- l'amplitude de choc,
- le contenu de fréquence du choc,
- le spectre de réponse aux chocs.

Les paramètres nécessaires aux essais dépendent du but de l'essai. Certains paramètres sont intéressants lorsqu'on réalise des essais d'amplitude, mais d'autres le sont aussi lorsqu'on réalise des essais de fatigue de cycle faible.

#### **B.2 Paramètres liés à la durée du choc**

Les paramètres suivants peuvent être utilisés pour la description de la durée  $T$  du choc:

- la partie forte de l'accélérogramme;
- la durée effective du choc / de la vibration transitoire.

La partie forte de l'accélérogramme est définie comme étant cette partie de l'accélérogramme comprise entre le moment où le signal atteint 25 % de la valeur maximale et celui où il descend pour la dernière fois à 25 %.

Il faut que la plage de fréquences pour l'accélérogramme soit soigneusement définie dans la mesure où elle a une grande influence sur le caractère de l'accélérogramme et ainsi sur sa valeur maximale et la partie forte de l'accélérogramme. En liaison avec la plage de fréquences, il faut que la fréquence d'échantillonnage soit définie ainsi que le filtre d'amortissement à la fois à l'extrémité basse et haute de la plage de fréquences.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

## **Annex B** (informative)

### **Parameters for use in synthesizing a test time-history**

#### **B.1 General**

Environmental requirements for testing of specimens can be derived from

- measured field data for the specimen in question,
- predicted shock environment based on a field data base of similar applications,
- calculated shock environment.

Measurement and analysis of field data for a shock environment shall be performed with great care due to the often large dynamic range required in the measurements. Reference [1]<sup>1</sup> gives valuable help and insight on this topic.

Requirements for testing with SRS shall be derived from the sources mentioned above. These requirements shall contain some specific parameters describing the shock test environment. This can include parameters that describe

- the duration of the shock,
- the peak value of the shock,
- the frequency content of the shock,
- the SRS.

The parameters needed for testing depend on the purpose of the test. Some parameters are of interest when testing for magnitudes, but others when testing for low-cycle fatigue are also of interest.

#### **B.2 Parameters connected to the duration of the shock event**

The following parameters can be used for description of the duration  $T$  of the shock event:

- the strong part of the time-history;
- the effective shock/transient vibration duration.

The strong part of the time-history is defined as being that part of the time-history from the time when the signal reaches 25 % of the maximum value to the time when it falls for the last time to the 25 % level.

The frequency range for the time-history must be carefully defined as it has a considerable influence on the character of the time-history and thus on its maximum value and on the strong part of the time-history. In connection with the frequency range, the sampling frequency must be defined as well as the filter roll-off, both at the low end and the high end of the frequency range.

---

<sup>1</sup> Figures in square brackets refer to the bibliography.

La durée effective du choc/de la vibration transitoire est définie (dans la MIL-STD-810F, méthode d'essai 516.5) comme suit:

- la durée minimale qui contient au moins 90 % des amplitudes d'accélérogramme de la valeur quadratique moyenne dépassant en valeur 10 % de l'amplitude d'accélérogramme de crête de la valeur quadratique moyenne associée au choc.

Cette méthode est moins sensible aux pointes de bruit, etc., mais il faut spécifier la plage de fréquences maximale et d'autres paramètres comme indiqué ci-dessus tout comme les paramètres pour le calcul de l'accélérogramme de la valeur quadratique moyenne.

### **B.3 Paramètres liés à l'amplitude du choc**

Les paramètres suivants peuvent être utilisés pour la description de l'amplitude du choc:

- valeur maximale et minimale de l'accélérogramme;
- densité de probabilité d'amplitude de l'accélérogramme;
- classement des crêtes (positives et négatives) de l'accélérogramme;
- débit calculé de l'accélérogramme.

Il faut que la plage de fréquences pour l'accélérogramme et d'autres paramètres soient définis comme indiqué ci-dessus dans la mesure où cela a une grande influence sur le caractère de l'accélérogramme et sur sa valeur maximale et minimale.

Toutes les méthodes donnent les valeurs maximale et minimale de l'accélérogramme, qui doivent être égales à la valeur asymptotique à haute fréquence (HFA) du SRC.

Le caractère double de l'accélérogramme est mieux perçu lorsqu'on utilise les deuxième et troisième méthodes. Les deux dernières méthodes sont les meilleurs indicateurs pour les effets de fatigue et peuvent également être utilisées pour étudier les accélérogrammes réponses comme "valeurs élevées de réponse". Voir ci-dessous.

Une autre méthode pouvant être utilisée à la place du classement de crête est celle du calcul des passages de niveaux.

### **B.4 Paramètres liés à la description de la fréquence du choc**

Les paramètres suivants peuvent être utilisés pour la description de la fréquence du choc:

- plage de fréquences;
- spectre de Fourier (Fourier Spectrum – FS);
- densité spectrale d'énergie (energy spectral density – ESD);
- valeur cumulative de valeur quadratique moyenne calculée à partir de FS ou ESD.

Il faut que la plage de fréquences pour l'accélérogramme soit définie pour obtenir une bonne reproductibilité des essais. Pour cette raison, il est également important de définir la fréquence d'échantillonnage et le filtrage des accélérogrammes avec la plage de fréquences exigée pour les essais.

Le FS et l'ESD décrivent la fréquence de l'accélérogramme et peuvent indiquer des composantes de fréquences remarquables. L'ESD normalise le spectre à la fois à la résolution de fréquence utilisée pour analyse et à la durée de l'accélérogramme. L'erreur statistique de l'analyse peut être réduite en faisant la moyenne des composantes de fréquence adjacentes dans le spectre.

The effective shock/transient vibration duration is defined (in MIL-STD-810F, test method 516.5) as follows:

- the minimum length of time which contains at least 90 % of the root-mean-square time-history exceeding in value 10 % of the peak root-mean-square time-history magnitude associated with the shock event.

This method is less sensitive to noise spikes etc., but the frequency range and other parameters must be specified as stated above as well as the parameters for calculating the root-mean-square time-history.

### **B.3 Parameters connected to the peak value of the shock event**

The following parameters can be used for description of the peak value of the shock event:

- maximum and minimum value of the time-history;
- probability density of the time-history;
- ranking of peaks (positive and negative) of the time-history;
- rainflow counting of the time-history.

The frequency range for the time-history and other parameters must be defined as stated above as it has considerable influence on the character of the time-history and its maximum and minimum value.

All methods give the maximum and minimum value of the time-history, which shall equal the high-frequency asymptotic value (HFA) of the SRS.

The two-sidedness of the time-history is best seen when using the second and third methods. The last two methods are the best indicator for fatiguing effects and can also be used for study of response time-histories as “high peaks of response”. See below.

An alternative method to peak ranking is calculation of level crossings.

### **B.4 Parameters connected to the frequency content of the shock event**

The following parameters can be used for description of the frequency content of the shock event:

- frequency range;
- Fourier spectrum (FS);
- energy spectral density (ESD);
- cumulative root-mean-square-value calculated from FS or ESD.

The frequency range for the time-history must be defined in order to get good reproducibility of the testing. For that reason, it is also important to define the sampling frequency and the filtering of the time-history in relation to the frequency range required for testing.

The FS and the ESD describe the frequency content of the time-history and can indicate outstanding frequency components. The ESD normalizes the spectrum both to the frequency resolution used for analysis and the duration of the time-history. The statistical error of the analysis can be reduced by averaging adjacent frequency components in the spectrum.

La valeur quadratique moyenne cumulative de FS ou ESD reflète la fréquence du spectre d'une manière cumulative et fournit également des valeurs numériques facilement interprétables.

## B.5 Paramètres pour le spectre de réponse aux chocs

Les paramètres suivants peuvent être utilisés pour la description du SRC:

- le facteur de surtension  $Q$  pour le calcul du SRC;
- la partie forte du SRC;
- la nature de crête du SRC.

La présentation la plus commune du SRC est le SRC maximax d'accélération. Une présentation alternative est donnée par le spectre de réponse de pseudo-vitesse de maximax ou le spectre de réponse de déplacement relatif.

L'algorithme pour calculer le SRC doit également être défini.

Il est recommandé de calculer le SRC à partir de données mesurées ou calculées avec plusieurs facteurs  $Q$ , par exemple 5, 10 et 25 (taux d'amortissement 10 %, 5 % et 2 %). Ces courbes reflètent les réponses internes possibles des spécimens d'essai en fonction de leurs fréquences de résonance et de leur amortissement internes.

La partie forte du SRC est définie (dans la CEI 60068-2-57) comme une partie du spectre pour laquelle l'accélération de réponse est supérieure à celle pour la bande passante  $-3$  dB du SRC (voir Figure B.1).

La zone de crête du SRC peut être décrite en comparant le spectre de réponse avec différents facteurs  $Q$  pour un choc donné. Une telle comparaison indique si le choc est plus de type à impulsion ou plus de type oscillatoire. Il est possible de définir les facteurs:

$$A = (\text{SRC de crête})_{Q=20} / (\text{SRC de crête})_{Q=10}$$

$$B = \text{SRC de crête} / \text{HFA}$$

Des valeurs faibles pour ces facteurs indiquent un choc d'impulsion (par exemple: une impulsion demi-sinusoïde) et des chocs oscillatoires à valeurs élevées avec des valeurs de limitation pour le cas de vibration sinusoïdale continue.

## B.6 Autres paramètres caractérisant le choc

Les autres paramètres suivants peuvent être utilisés pour la description du choc:

- nombre de valeurs élevées d'accélérogramme de réponse du SRC calculées pour des fréquences naturelles choisies;
- moments de la distribution de probabilité, comme la dissymétrie et la curtosis.

Le nombre de valeurs élevées de l'accélérogramme de réponse du SRC peut être calculé pour des fréquences naturelles choisies dans la plage de fréquences pour un facteur de surtension  $Q$  choisi du SRC.

Le facteur de surtension  $Q$  doit être représentatif pour l'unité d'essai. Un facteur de surtension  $Q$  de 10 est la valeur par défaut.

The cumulative root-mean-square-value of FS or ESD reflects the frequency content of the spectrum in a cumulative way and also provides readily interpretable numerical values.

## B.5 Parameters for the SRS

The following parameters can be used for description of the SRS:

- $Q$ -factor for the calculation of the SRS;
- strong part of the SRS;
- type of SRS peak.

The most common presentation of SRS is the acceleration maximax SRS. An alternative presentation is the maximax pseudo-velocity response spectrum or relative displacement response spectrum.

The algorithm for calculating SRS shall also be defined.

It is recommended that the SRS be calculated from measured or calculated data with several  $Q$ -factors, for example 5, 10 and 25 (damping ratio 10 %, 5 % and 2 %). These curves reflect the possible internal responses of test specimens depending on their internal resonance frequencies and damping.

The strong part of the SRS is defined (in IEC 60068-2-57) as part of the spectrum for which the response acceleration is higher than for the –3 dB bandpass of the SRS (see Figure B.1).

The nature of the SRS peak can be described by comparing the response spectrum with different  $Q$ -factors for a certain shock event. Such a comparison indicates if the shock event is of an impulsive type or more of an oscillatory type. It is possible to define factors:

$$A = (\text{peak SRS})_{Q=20} / (\text{peak SRS})_{Q=10}$$

$$B = \text{peak SRS} / \text{HFA}$$

Low values of these factors indicate an impulsive shock (for example, a half-sine pulse) and high values oscillatory shocks with limiting values for the case of continuous sinusoidal vibration.

## B.6 Other parameters characterizing the shock event

Other parameters that can be used for description of the shock event are as follows:

- number of high peaks of response time-history of the SRS calculated for selected natural frequencies;
- moments of the probability distribution, such as skewness and kurtosis.

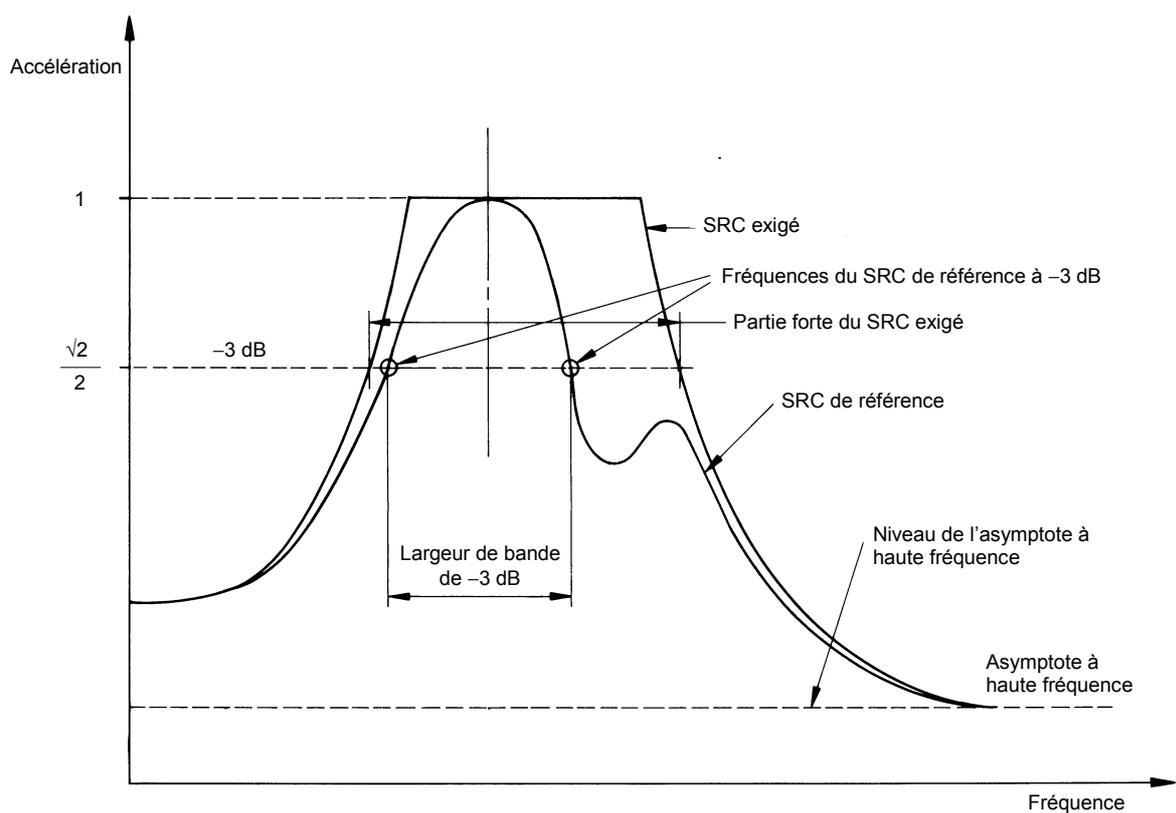
The number of high peaks of the response time-history of the SRS can be calculated for selected natural frequencies in the frequency range for a chosen  $Q$ -factor of the SRS.

The  $Q$ -factor shall be representative of the test item. A  $Q$ -factor of 10 is the default value.

Le nombre de valeurs élevées est défini comme les pics calculés de réponse d'un système à un seul degré de liberté (oscillateur), excité par un accélérogramme, dépassant une valeur de seuil spécifiée. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, le nombre de valeurs élevées doit être compris entre 3 et 20, avec référence à une valeur de seuil de 70 %, pour un taux d'amortissement de 2 % à 10 %.

Les pics de réponse peuvent encore être analysés en utilisant des critères de classement de crête, le calcul de passages de niveaux et le spectre de dommage de fatigue (FDS).

Les moments de distribution de probabilité comme la dissymétrie et la curtosis peuvent être utilisés pour caractériser le choc. Ils peuvent également être représentés comme des moyennes de fonctionnement. La dissymétrie est un indicateur du caractère double de l'accélérogramme, tandis que la curtosis est un indicateur du degré de crête dans un accélérogramme comparé au caractère double de sa nature.



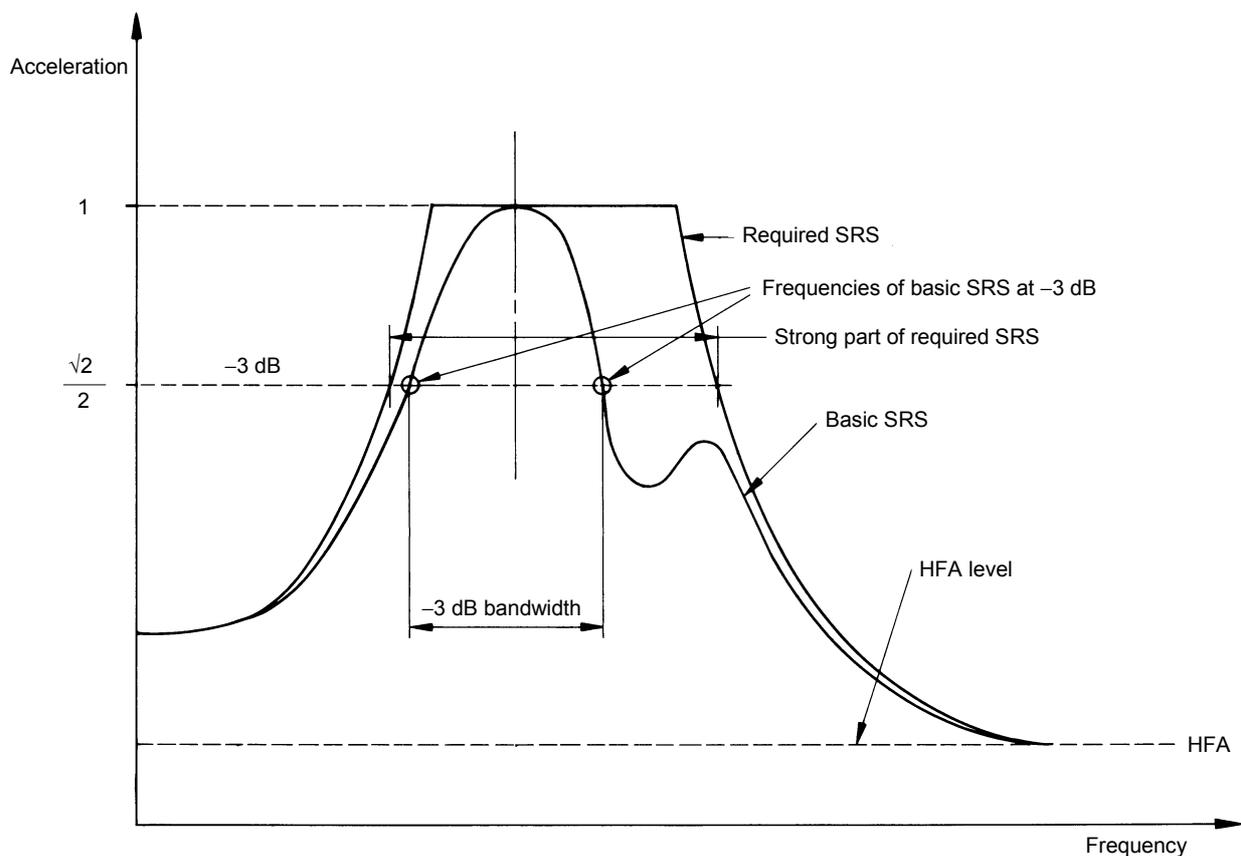
IEC 1892/03

Figure B.1 – Partie forte du SRS

The number of high peaks is defined as calculated peaks of the response of a single-degree-of-freedom system (oscillator), excited by a time-history, exceeding a specified threshold value. Unless otherwise described by the relevant specification, the number of high peaks shall be in the range 3 to 20, with reference to a threshold value of 70 % for a 2 % to 10 % damping ratio.

The response peaks can be further analysed using peak ranking criteria, calculation of level-crossings, and the fatigue damage spectrum (FDS).

Moments of the probability distribution such as skewness and kurtosis can be used to characterize the shock event. They can also be shown as running averages. Skewness is an indicator of the two-sidedness of the time-history, while kurtosis is an indicator of the degree of peaks in a time-history compared to the two-sidedness of it.



IEC 1892/03

**Figure B.1 – Strong part of the SRS**

## **Annexe C** (informative)

### **Comment faire la synthèse d'un accélérogramme d'essai**

#### **C.1 Introduction**

Pratiquement tous les fournisseurs de systèmes de pilotage pour générateurs de vibrations électrodynamiques offrent des logiciels d'essai SRC spécifiques. Avec cet outil, l'opérateur est capable de produire une tension par rapport à une transitoire temporelle comme signal de pilotage pour un amplificateur de puissance du générateur de vibrations.

Le SRC d'essai de la table de génération de vibrations correspondra au SRC exigé après quelques étapes d'itérations. Le signal est généré en mélangeant, dans une fenêtre temporelle définie, plusieurs paquets de fréquences (ondelettes), qui diffèrent par leur forme, leur fréquence et leur longueur. Ce faisant, les limitations du système de génération de vibrations doivent être prises en compte.

#### **C.2 Contraintes de l'appareillage d'essai de vibrations**

Dans de nombreux cas, le SRC exigé est stipulé dans la spécification particulière jusqu'à une fréquence trop élevée. Cela se passe fréquemment parce que le SRC n'a pas de limitation de fréquence et s'étend à l'infini en fréquence. Le SRC sera proche d'une valeur qui est égale à la crête maximale de l'accélérogramme correspondant aux fréquences élevées.

En ce qui concerne la spécification particulière, les contraintes les plus importantes de l'appareillage d'essai sont la plage de fréquences, la puissance de sortie de l'amplificateur et la résistance mécanique de l'armature du générateur de vibrations représentée par l'accélération de crête maximale admissible. Les valeurs pour les paramètres de limites dépendent du générateur de vibrations individuel et de l'amplificateur. Pour un générateur de vibrations électrodynamique normal, avec une force de 80 kN entraîné par un amplificateur de 96 kVA, la limite haute fréquence est de 2 500-3 000 Hz et la réponse maximale entre 350  $g_n$  et 400  $g_n$ . On peut atteindre des valeurs plus élevées avec des générateurs de vibrations électrodynamiques.

#### **C.3 Caractéristiques du logiciel de pilotage SRC**

Les paramètres suivants peuvent être choisis dans la plupart des logiciels de pilotage, lorsqu'on réalise la synthèse d'un accélérogramme de SRC:

##### **a) Type d'ondelettes (les plus couramment utilisées)**

- 1) sinusoïdale à décroissance exponentielle,
- 2) salve sinusoïdale à amplitude constante (sinusoïdale dans une fenêtre rectangulaire),
- 3) salve sinusoïdale à amplitude variable (sinusoïdale dans une fenêtre de Hanning).

L'opérateur doit décider du type d'ondelette à choisir. Aucun type particulier ne peut être recommandé puisque l'objectif qui consiste à satisfaire au SRC peut être atteint plus ou moins avec tous ces systèmes. Un mélange de différents types d'ondelettes n'est pas possible.

##### **b) Fenêtre temporelle**

Il s'agit du cadre temporel dans lequel toutes les ondelettes seront mélangées et qui limitera la durée de l'accélérogramme synthétisé d'essai.

## **Annex C** (informative)

### **How to synthesize a test time-history**

#### **C.1 Introduction**

Almost all suppliers of control systems for electrodynamic vibration generators provide special SRS test software. With this tool, the operator is able to generate a voltage-versus-time transient as a drive signal for the power amplifier of the vibration generator.

The test SRS at the vibration generator table will, after some iteration steps, match the required SRS. The signal is generated by mixing, in a defined time window, several frequency packages (wavelets), which differ in shape, frequency and length. By doing this, the limitations of the vibration generator system have to be taken into account.

#### **C.2 Constraints of the vibration test apparatus**

The required SRS is, in many cases, specified in the relevant specification up to a much too high frequency. This often occurs because the SRS has no limitation in frequency and extends to infinite frequency. The SRS will approach a value which is equal with the maximum peak of the corresponding time-history at high frequencies

With respect to the relevant specification, the most important constraints of the test apparatus are the frequency range, the output power of the amplifier and the mechanical strength of the vibration generator armature represented by the maximum allowable peak acceleration. Values for the limiting parameters depend on the individual vibration generator and amplifier. For a standard electrodynamic vibration generator with 80 kN force rate driven by a 96 kVA amplifier, the high-frequency limit is 2 500-3 000 Hz and the maximum response between 350  $g_n$  and 400  $g_n$ . With special electrodynamic vibration generators, higher values can be achieved.

#### **C.3 Characteristics of the SRS-control software**

The following parameters can be selected in most control softwares, when synthesizing an SRS time-history:

##### **a) Type of wavelets (most commonly used)**

- 1) exponentially decaying sinusoid,
- 2) sine burst with constant amplitude (sine within a rectangular window),
- 3) sine burst with changing amplitude (sine within a Hanning window).

The operator has to decide what type of wavelet to select. A special type cannot be recommended because the goal to fulfil the SRS can be reached more or less with each of them. A mixing of different wavelet types is not possible.

##### **b) Time window**

This is the time frame in which all the wavelets will be mixed and it will limit the duration of the synthesized time-history for testing.

c) **Espacement de fréquence des ondelettes**

En commençant avec la fréquence la plus faible du SRC, la fréquence de chaque ondelette sera automatiquement déterminée avec des espaces de  $1/n$ -octave, où ' $n$ ' est variable et doit être choisi pour chaque accélérogramme.

d) **Durée de chaque ondelette**

- Type 1) : pas de sélection de durée mais sélection des facteurs d'amortissement pour les ondelettes.
- Type 2) : sélection d'un nombre pair de demi-cycles.
- Type 3) : sélection d'un nombre impair de cycles dans la fenêtre de Hanning.

e) **Début de chaque ondelette**

Il faut que le délai à partir du début de la fenêtre temporelle soit choisi de manière à ce que la durée complète de l'ondelette entre dans les limites de la fenêtre temporelle définie.

f) **Facteur d'amortissement**

Cela est uniquement utilisé pour les ondelettes de type 1)

g) **Polarité de départ**

Chaque ondelette peut commencer soit dans le sens positif soit dans le sens négatif.

## C.4 Comment générer une transitoire de choc

Le SRC avec le facteur de surtension  $Q$  et d'autres paramètres applicables doivent être stipulés dans la spécification particulière. L'accélérogramme original, qui est la base du SRC dans la spécification particulière n'est pas toujours connu. Il est intéressant pour l'opérateur de comparer cet accélérogramme avec l'accélérogramme synthétisé si cela est possible.

Les différentes étapes d'un accélérogramme synthétisé raisonnable sont résumées et commentées ci-dessous:

a) **Type d'ondelette**

Chaque type d'ondelette conduit plus ou moins au résultat désiré.

La sinusoïdale à décroissance exponentielle (type 1)) avec son niveau élevé au début de l'ondelette est très utile pour simuler un pyrochoc mais elle conduit également souvent au niveau le plus élevé dans l'accélérogramme synthétisé.

Il est plus facile d'imaginer l'influence de chaque ondelette sur le signal synthétisé, si l'on utilise la salve sinusoïdale à amplitude constante (type 2)).

La salve sinusoïdale à amplitude variable (type3)) commence toujours par une augmentation régulière due à la forme de la fenêtre de Hanning et son amplitude la plus élevée se situe au milieu de la fenêtre temporelle.

Il est plus facile de contrôler la durée de l'accélérogramme synthétisé en utilisant les ondelettes de type 2) ou 3).

b) **Plage de fréquences**

Choisir la plage de fréquences d'essai sur la base des fréquences d'échantillonnage disponibles. La plage de fréquences d'essai choisie dépend du contenu en fréquence maximale de l'environnement de chocs simulé et des fréquences qui peuvent être réellement générées par l'appareillage d'essai, le spécimen étant fixé.

c) **Fenêtre temporelle**

La durée de la fenêtre temporelle doit couvrir la durée exigée de l'accélérogramme synthétisé. La durée dépend entre autres choses de la plage de fréquences choisie et de la fréquence d'échantillonnage.

Dans certains systèmes de pilotage des essais, la durée de la fenêtre temporelle est doublée et l'accélérogramme synthétisé est centré sur le nouveau cadre temporel.

**c) Frequency spacing of wavelets**

Starting with the lowest frequency of the SRS the frequency of each wavelet will automatically be determined in spaces of  $1/n$ -octave, where 'n' is variable and shall be selected for each time-history.

**d) Duration of each wavelet**

- Type 1): no selection of the duration but selection of damping factors for the wavelets.
- Type 2): selection of an even number of half-cycles.
- Type 3): selection of an uneven number of cycles within the Hanning window.

**e) Starting time of each wavelet**

The delay time from the start of the time window must be chosen so that the complete duration of the wavelet will find a place within the defined time window.

**f) Damping factor**

This is only used for wavelets of type 1).

**g) Starting polarity**

Each wavelet can be started either in a positive or a negative direction.

**C.4 How to generate a shock transient**

The SRS with  $Q$ -factor and other parameters of interest shall be specified in the relevant specification. The original time-history, which is the base of the SRS in the relevant specification, is not always known. It is of interest for the operator to compare this time-history with the synthesized time-history, if possible.

The steps to a reasonable synthesized time-history are summarized and commented as follows:

**a) Type of wavelet**

Each type of wavelet leads more or less to the desired result.

The exponentially decaying sinusoid (type 1)) with its high level at the beginning of the wavelet is very useful to simulate a pyroshock but it also often leads to the highest acceleration peak value in the synthesized time-history.

It is easiest to imagine the influence each wavelet has on the synthesized signal, when using the sine burst with constant amplitude (type 2)).

The sine burst with changing amplitude (type 3)) starts always with a smooth increase due to the shape of the Hanning window and has its highest value in the middle of the time window.

It is easiest to control the duration of the synthesized time-history by using type 2) or 3) wavelets.

**b) Frequency range**

Select the test frequency range considering the sampling frequencies available. The test frequency range selected is dependent on the maximum frequency content of the shock environment to be simulated and the frequencies that can be truly generated by the test apparatus with the specimen attached.

**c) Time window**

The duration of the time window shall cover the required duration of the synthesized time-history. The duration depends among other things on the frequency range selected and the sampling frequency.

In some test control systems, the time window is doubled in duration and the synthesized time-history centred in the middle of the new time frame.

**d) Espacement en fréquence des ondelettes**

L'espacement en fréquence choisi est fixé pour toute la plage de fréquences. La fréquence la plus basse est choisie de manière à satisfaire à la partie croissante du SRC. L'espacement des fréquences d'ondelettes suivantes ne doit pas être inférieur à 1/3-octave. Avec cet espacement, on obtient une précision de –2,5 dB dans le SRC (intervalle entre ondelettes voisines). Avec un espacement de 1/6 d'octave, la précision est supérieure à –0,5dB. Plus il y a d'ondelettes à manipuler, plus leur ajustement est compliqué.

**e) Durée des ondelettes**

La durée des ondelettes est déterminée par le nombre de cycles ou de demi-cycles sauf pour la sinusoïdale décroissante. La durée de celles ayant une fréquence faible est limitée par la fenêtre temporelle choisie pour l'accélérogramme synthétisé.

Il est recommandé de choisir le nombre de cycles de chaque ondelette entre 3 et 10.

Avec le facteur de surtension  $Q$  égal à 10, l'amplification réelle d'une ondelette individuelle dans le SRC est de 60 % avec 3 cycles, de 81 % avec 5 cycles et de 97 % avec 12 cycles. Il y a toutefois un autre effet. Deux fréquences voisines (1/3-octave) vont interagir et l'amplification totale de 10 sera déjà atteinte avec 10 cycles. Si l'espacement est de 1/6 d'octave, l'amplification de 10 est obtenue avec 7 cycles.

**f) Amplitude des ondelettes**

Lors de la phase de génération de la transitoire, l'amplitude de chaque ondelette peut être réglée à  $1/Q$  de la valeur spécifique dans le SRC. Ces amplitudes seront automatiquement réglées par le logiciel de pilotage au cours du processus d'itération .

**g) Début des ondelettes**

Le début de chaque ondelette (délai) peut être choisi de manière individuelle en tenant compte du fait que l'ondelette doit être à l'intérieur de la fenêtre temporelle choisie. En pratique, les ondelettes avec les fréquences dans les deux octaves les plus bas doivent démarrer au moment zéro ou presque en raison de leur durée. Il convient que les ondelettes avec l'amplitude la plus élevée, soient disposées l'une après l'autre dans la première moitié de la fenêtre temporelle sans chevauchement. Cela est fait pour éviter une valeur de crête trop élevée dans l'accélérogramme synthétisé et pour obtenir une forme décroissante. Toutes les ondelettes restantes doivent être placées dans la fenêtre temporelle en évitant de grands secteurs de chevauchement.

Il est très utile de connaître au cours des essais l'emplacement des différentes ondelettes dans la fenêtre temporelle car parfois il sera nécessaire de modifier leur emplacement. Cela peut être le cas si le mélange des ondelettes donne des crêtes d'accélération ou d'autres paramètres trop élevés pour l'appareillage d'essai.

**h) Polarité de départ des ondelettes**

La polarité de départ d'une ondelette peut être choisie positive ou négative, en donnant la première amplitude de l'ondelette dans le sens positif ou négatif. Il est recommandé d'utiliser au départ uniquement une polarité pour toutes les ondelettes et de la modifier individuellement pour éviter des crêtes extrêmes dans l'accélérogramme synthétisé.

**i) Amortissement des ondelettes**

Ce choix est seulement nécessaire lorsqu'on utilise le type d'ondelette à sinusoïdale exponentiellement décroissante (type 1)). Lorsqu'on utilise une sinusoïdale décroissante, le facteur d'amortissement des sinusoïdales peut être choisi dans une plage recommandée entre 2 % et 10 %.

**C.5 Performances d'essai**

Etant donné que l'essai SRC est un processus en boucle ouverte et que le premier accélérogramme synthétisé ne tient pas compte de la fonction de transfert dynamique du générateur de vibrations y compris le spécimen d'essai fixé, il convient que l'essai de processus d'itération soit lancé à – 12dB du niveau synthétisé final.

**d) Spacing in frequency of wavelets**

The selected frequency spacing is fixed for the whole frequency range. The lowest frequency is selected so that the increasing part of the SRS is fulfilled. The spacing of the following wavelet frequencies shall not be less than 1/3-octave. With this spacing, an accuracy of –2,5 dB is achieved in the SRS (gap between two neighbouring wavelets). With a spacing of 1/6-octave the accuracy is better than –0,5dB. The more wavelets have to be handled, the more complicated their adjustment.

**e) Duration of the wavelets**

The duration of the wavelets is determined by the number of cycles or half-cycles except for the decaying sinusoid. The duration of those with low-frequency content is limited by the selected time window for the synthesized time-history.

The number of cycles of each wavelet should be selected between 3 and 10.

With  $Q$ -factor 10, the real amplification of a single wavelet in the SRS is 60 % with 3 cycles, 81 % with 5 cycles and 97 % with 12 cycles. There is however another effect. Two neighbouring frequencies (1/3-octave) will interact and the full amplification of 10 will be already reached with 10 cycles. If the spacing is 1/6-octave, the amplification of 10 is reached with 7 cycles.

**f) Peak value of wavelets**

At the generation phase of the transient, the acceleration peak value of each wavelet can be set to  $1/Q$  of the specific value in the SRS. These peak values will be adjusted by the control software automatically during the iteration process.

**g) Starting time of wavelets**

The starting time (delay) of each wavelet can be selected individually, taking into account that the wavelet has to be within the selected time window. In practice, the wavelets with the frequencies in the lowest two octaves shall be started at zero, or close to zero, due to their duration. The wavelets with the highest peak value should be arranged one after another in the first half of the time window without any overlapping. This is done to avoid too high a peak value in the synthesized time-history and to achieve a decaying shape of the time-history. All the remaining wavelets shall be placed within the time window, avoiding long sectors of overlapping.

It is very helpful to know during the test where the different wavelets within the time window are located, because sometimes it will be necessary to modify their location. This can be the case if the mixing of the wavelets causes high acceleration peaks or other parameters to be too high for the test apparatus.

**h) Starting polarity of wavelets**

The polarity at the beginning of a wavelet can be selected as positive or negative, giving the first peak of the wavelet in the positive or negative test direction. It is recommended initially to use only one polarity for all wavelets and to change it individually to avoid extreme peaks in the synthesized time-history.

**i) Damping of wavelets**

This choice is only necessary when using the exponentially decaying sinusoid wavelet type (type 1)). When using the decaying sinusoid, the damping factor of the sinusoids can be chosen in a recommended range of 2 % to 10 %.

**C.5 Test performance**

Since the SRS test is an open-loop process and the first synthesized time-history does not take into account the dynamic transfer function of the vibration generator including the attached test specimen, the iteration process test should be started at –12 dB of the final synthesized level.

Normalement, un seul essai est exigé par axe. C'est pourquoi il est recommandé d'utiliser le générateur de vibrations dans la configuration de 'fixation d'essai simple' ou mieux encore avec la 'fixation chargée avec une masse fictive dynamique' pendant cette étape.

Au cours du processus d'itération, le niveau d'essai peut être augmenté par paliers de, au début 3 dB puis près du niveau d'essai plein par paliers de 1 dB. Ensuite, l'élément fictif doit être remplacé par le véritable spécimen d'essai et l'accélérogramme synthétisé doit être de nouveau établi avec les paramètres finaux. Il peut s'avérer nécessaire de réarranger la position des ondelettes ou de modifier leurs caractéristiques si les limites de l'appareillage d'essai sont atteintes. Ceci réalisé, le processus d'itération doit être répété, ce qui est également le cas lorsque l'axe d'excitation a été modifié.

Typically only one test per axis is required. It is therefore recommended to use the vibration generator in the 'bare test fixture' configuration or, even better, the 'fixture loaded with a dynamic dummy mass' during this step.

During the iteration process, increase the test level in steps of, at first 3 dB, and near the full test level, in steps of 1 dB. The dummy shall then be replaced with the real test specimen and the synthesized time-history released once again with its final parameters. It may be necessary to rearrange the position of the wavelets or to modify their characteristics if the limits of the test apparatus are reached. After this has been done, the iteration process has to be repeated, which is also the case when the excitation axis has been changed.

**Annexe D**  
(informative)

**Plages de fréquences recommandées  
pour les accélérogrammes d'essai**

Des exemples de plages de fréquences d'essai couramment utilisées pour différentes applications sont présentés ci-après.

**Tableau D.1 – Exemples de plages de fréquences d'essai**

Type d'application	Gamme Hz
<b>Sismique</b> (matériel monté au niveau du sol ou du plancher)	1 – 35
NOTE Si la fréquence naturelle du matériel est inférieure à 1 Hz, la gamme de fréquences recommandée est comprise entre 0,1 Hz et 35 Hz.	
<b>Transport</b>	1 – 100 10 – 100 10 – 150 10 – 500
<b>Aéronautique</b>	10 – 500 10 – 2 000
<b>Spatiale</b>	100 – 5 000

## Annex D (informative)

### Recommended frequency ranges for test SRS

The following are examples of test frequency ranges commonly used for different applications.

**Table D.1 – Examples of test frequency ranges**

Type of application	Range Hz
<b>Seismic</b> (ground and floor-mounted equipment)	1 – 35
NOTE In the case of equipment with a natural frequency below 1 Hz, the suggested frequency range is 0,1 Hz to 35 Hz.	
<b>Transport</b>	1 – 100 10 – 100 10 – 150 10 – 500
<b>Aircraft</b>	10 – 500 10 – 2 000
<b>Space</b>	100 – 5 000

## Bibliographie

ISO/DIS 15261, *Systèmes générateurs de vibrations et chocs – Vocabulaire*

ISO/CD 18431-2, *Vibrations et chocs mécaniques – Traitement du signal – Partie 2: Fenêtres des domaines temporels pour analyse par transformation de Fourier*

- [1] *Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis. (Report IES-RP-DTE 012.1, Institute of Environmental Sciences and Technologies)*
  - [2] *MIL-STD-810F. Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. (US Department of Defense Test Method Standard)*
-

## **Bibliography**

ISO/DIS 15261, *Vibration and shock generating systems – Vocabulary*

ISO/CD 18431-2, *Mechanical vibration and shock – Signal processing – Part 2: Time domain windows for Fourier transform signal processing*

- [1] *Handbook for Dynamic Data Acquisition and Analysis. (Report IES-RP-DTE 012.1, Institute of Environmental Sciences and Technologies)*
  - [2] *MIL-STD-810F. Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. (US Department of Defense Test Method Standard)*
-





Standards Survey

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

Customer Service Centre (CSC)

**International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Switzerland

or

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

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

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Customer Service Centre (CSC)

**International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé

1211 GENEVA 20

Switzerland



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

.....

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

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

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

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

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

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

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

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

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

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

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

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

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

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

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

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

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





Enquête sur les normes

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

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

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

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

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse



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

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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





ISBN 2-8318-7122-0



9 782831 871226

---

**ICS 19.040**

---

Typeset and printed by the IEC Central Office  
GENEVA, SWITZERLAND