

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1463**

Première édition
First edition
1996-07

Traversées – Qualification sismique

Bushings – Seismic qualification



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1463: 1996

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 2**

**TECHNICAL
REPORT – TYPE 2**

**CEI
IEC**

1463

Première édition
First edition
1996-07

Traversées – Qualification sismique

Bushings – Seismic qualification

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Page
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Définitions	12
4 Symboles et abréviations	12
5 Méthodes de qualification sismique	12
6 Sévérités	14
6.1 Au niveau du sol	14
6.2 Au niveau de la bride de la traversée	16
7 Qualification par calcul statique	18
8 Qualification par analyse dynamique	20
8.1 Analyse modale utilisant la méthode par accélérogrammes	20
8.2 Analyse modale utilisant le spectre de réponse spécifiée (SRS)	22
9 Qualification par essai de vibrations	22
9.1 Généralités	22
9.2 Essai sur le matériel complet	26
9.3 Essai sur la traversée montée sur une structure factice	26
9.4 Essai sur la traversée seule	26
10 Évaluation de la qualification sismique	26
10.1 Combinaison de contraintes	26
10.2 Essai de flexion	28
10.3 Critères d'acceptation	28
11 Nécessité d'un échange d'informations	28
11.1 Informations fournies par le constructeur du matériel	28
11.2 Informations fournies par le constructeur de la traversée	30
Figures	
1 SRS pour matériel monté au sol	32
2 Facteur de réponse R	34
3 Essai avec structure factice conformément à 9.3	36
4 Détermination de la sévérité	38
Annexes	
A Diagramme de qualification sismique	40
B Essai d'oscillation libre	42
C Oscillations au centre de gravité	46
D Qualification par calcul statique – Exemple sur une traversée de transformateur	54

CONTENTS

	Page
FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 Definitions.....	13
4 Symbols and abbreviations	13
5 Methods of seismic qualification.....	13
6 Severities.....	15
6.1 At the ground.....	15
6.2 At the bushing flange	17
7 Qualification by static calculation.....	19
8 Qualification by dynamic analysis.....	21
8.1 Modal analysis using the time-history method	21
8.2 Modal analysis using the RRS.....	23
9 Qualification by vibration test.....	23
9.1 General	23
9.2 Test on complete apparatus	27
9.3 Test on the bushing mounted on a simulating support.....	27
9.4 Test on the bushing alone.....	27
10 Evaluation of the seismic qualification.....	27
10.1 Combination of stresses	27
10.2 Cantilever test	29
10.3 Acceptance criteria.....	29
11 Necessary exchange of information.....	29
11.1 Information supplied by the apparatus manufacturer.....	29
11.2 Information supplied by the bushing manufacturer	31
Figures	
1 RRS for ground mounted equipment	33
2 Response factor R	35
3 Test with simulating support according to 9.3	37
4 Determination of the severity.....	39
Annexes	
A Flow chart for seismic qualification.....	41
B Free oscillation test	43
C Oscillation at the centre of gravity	47
D Qualification by static calculation – Example on transformer bushing	55

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRAVERSÉES – QUALIFICATION SISMIQUE

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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 1463, rapport technique de type 2, a été établie par le sous-comité 36A: Traversées isolées, du comité d'études 36 de la CEI: Isolateurs.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

BUSHINGS – SEISMIC QUALIFICATION

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 1463, which is a technical report of type 2, has been prepared by sub-committee 36A: Insulated bushings, of IEC technical committee 36: Insulators.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
36A/48/CDV	36A/56/RVC

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.3.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine des traversées, car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

Les annexes A, B, C et D sont données uniquement à titre d'information.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 1463:1996

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Report on voting
36A/48/CDV	36A/56/RVC

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

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.3.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of bushings because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 of technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years or conversion to an International Standard or withdrawal.

Annexes A, B, C and D are for information only.

Withd 2000
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 1463-1:1996

INTRODUCTION

Sachant qu'il n'est pas toujours possible de définir avec précision la sévérité sismique au niveau des brides des traversées, le présent rapport technique propose trois méthodes différentes de qualification. Ces trois méthodes sont également acceptables. Si l'on ne connaît pas le spectre de réponse spécifié (SRS) au niveau de la bride de la traversée, on peut utiliser une sévérité (exprimée en accélération) basée sur des spectres de réponse normalisés au niveau du sol pour réaliser la qualification selon l'une des trois méthodes décrites ci-après.

En l'absence d'informations suffisantes sur les caractéristiques de l'environnement, la qualification peut être fondée sur le calcul statique. En revanche, lorsqu'un matériel à haut niveau de fiabilité est nécessaire pour un environnement particulier, l'utilisation de données précises s'impose et il est alors recommandé de faire reposer la qualification sur une analyse dynamique ou sur un essai de vibrations. Le choix entre l'analyse dynamique et l'essai est essentiellement guidé, d'une part, par les performances des moyens d'essai par rapport à la masse et au volume du spécimen et, d'autre part, par la possibilité de rencontrer ou non des non-linéarités.

Lorsqu'on prévoit une qualification par analyse dynamique, il est recommandé d'ajuster le modèle numérique en utilisant des données relatives aux vibrations (voir article 5).

Ce rapport technique de type 2 a été préparé dans l'intention d'être applicable aux traversées, indépendamment de leur matériau constitutif. Toutefois, l'information contenue ci-après s'adresse plus spécifiquement aux traversées en porcelaine. On peut appliquer ce rapport technique de type 2 aux traversées composites après ajustement adéquat des paramètres et des critères.

INTRODUCTION

As it is not always possible to define accurately the seismic severity at the bushing flange level, this technical report presents three alternative methods of qualification. The three methods are equally acceptable. If the Required Response Spectrum (RRS) at the bushing flange is not known, a severity (in terms of acceleration values) based on standard response spectra at the ground level may be used to carry out qualification through one of the three methods described in the present technical report.

When the environmental characteristics are not sufficiently known, qualification by static calculation is acceptable. Where high safety reliability of equipment is required for a specific environment, the use of precise data is necessary, therefore qualification by dynamic analysis or vibration test is recommended. The choice between vibration testing and dynamic analysis depends mainly on the capacity of the test facility for the mass and volume of the specimen, and, also if non-linearities are expected.

When qualification by dynamic analysis is foreseen, it is recommended that the numerical model be adjusted by using vibration data (see clause 5).

This type 2 technical report was prepared with the intention of being applicable to bushings whatever their construction material. However, the information contained hereafter is more specifically directed to porcelain bushings. The application of this type 2 technical report to composite bushings can be done after appropriate adjustment of parameters and criteria.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 1463-1:1996

TRAVERSÉES – QUALIFICATION SISMIQUE

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique s'applique aux traversées à courant alternatif et à courant continu pour des tensions assignées supérieures à 52 kV, montées sur des transformateurs, sur d'autres matériels ou sur des bâtiments. Il est admis qu'en raison de leur caractéristiques (fréquence de résonance supérieure à 25 Hz), les traversées dont la tension assignée est inférieure ou égale à 52 kV n'ont pas besoin de faire l'objet d'une qualification sismique.

Ce rapport technique présente des méthodes de qualification sismique acceptables et des prescriptions pour démontrer qu'une traversée peut conserver ses propriétés mécaniques, isoler et conduire le courant pendant et après un séisme.

La qualification sismique d'une traversée n'est effectuée que sur demande.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 68-2-6: 1995, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

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

CEI 68-2-57: 1989, *Essais d'environnement – Partie 2: Méthodes d'essai – Essai Ff: Vibrations – Méthode par accélérogrammes*

CEI 68-2-59: 1990, *Essais d'environnement – Partie 2: Méthodes d'essai – Essai Fe: Vibrations – Méthode par sinusoïdes modulées*

CEI 68-3-3: 1991, *Essais d'environnement – Partie 3: Guide – Méthodes d'essais sismiques applicables aux matériels*

CEI 137: 1995, *Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V*

CEI 721-2-6: 1990, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Vibrations et chocs sismiques*

CEI 1166: 1993, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension – Guide pour la qualification sismique des disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

CEI 1264: 1994, *Enveloppes isolantes sous pression, en matière céramique, pour l'appareillage à haute tension*

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

BUSHINGS – SEISMIC QUALIFICATION

1 Scope

This technical report is applicable to alternating current and direct current bushings for rated voltages above 52 kV, mounted on transformers, other apparatus or buildings. It is accepted that for bushings for rated voltages less than or equal to 52 kV, due to their characteristics (resonance frequency greater than 25 Hz) seismic qualification is not required.

This technical report presents acceptable seismic qualification methods and requirements to demonstrate that a bushing can maintain its mechanical properties, insulate and carry current during and after an earthquake.

The seismic qualification of a bushing is only performed upon request.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text constitute provisions of this technical report. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this technical report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 68-2-6: 1995, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

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

IEC 68-2-57: 1989, *Environmental testing – Part 2: Test methods – Test Ff: Vibration – Time-history method*

IEC 68-2-59: 1990, *Environmental testing – Part 2: Test methods – Test Fe: Vibration – Sine-beat method*

IEC 68-3-3: 1991, *Environmental testing – Part 3: Guidance – Seismic test methods for equipments*

IEC 137: 1995, *Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V*

IEC 721-2-6: 1990, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Earthquake vibration and shock*

IEC 1166: 1993, *High-voltage alternating current circuit-breakers – Guide for seismic qualification of high-voltage alternating current circuit-breakers*

IEC 1264: 1994, *Ceramic pressurized hollow insulators for high-voltage switchgear and controlgear*

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

3 Définitions

Pour les besoins du présent rapport technique, les définitions données dans la CEI 68-3-3 et l'ISO 2041, ainsi que les définitions suivantes s'appliquent:

3.1 **section critique:** Section de la traversée qui est la plus susceptible de connaître une défaillance lors d'un séisme.

3.2 **spectre de réponse:** Courbe de la réponse maximale d'une famille d'oscillateurs à un degré de liberté, pour un taux d'amortissement spécifié et pour un mouvement d'entrée donné. (ISO 2041, modifié)

3.3 **matériel rigide:** Matériel dont la fréquence naturelle est supérieure à 25 Hz et qui est considéré comme rigide pour les besoins du présent rapport technique.

4 Symboles et abréviations

a_{bg}	Accélération maximale équivalente au centre de gravité de la traversée due à un séisme
a_{cg}	Accélération réelle du centre de gravité de la traversée par rapport à sa bride
a_f	Accélération maximale de la bride de la traversée
a_g	Accélération maximale du sol consécutive à un mouvement sismique donné NOTE – a_g est égal à l'accélération à période nulle (APN) de la figure 1.
d_p	Distance entre le centre de gravité de la partie de la traversée considérée et la section critique
f	Première fréquence naturelle de la traversée assemblée
K	Facteur d'amplification entre le sol et la bride de la traversée: facteur rendant compte de la modification de l'accélération entre le sol et la bride en raison de l'amplification apportée par les bâtiments et les structures
m_p	Masse de la partie de la traversée considérée
M_s	Moment fléchissant au niveau de la section critique de la partie de la traversée considérée, consécutif à un séisme
R	Facteur de réponse dérivé du spectre de réponse spécifié (SRS), correspondant au rapport entre la réponse en accélération et l'APN (voir figure 2)
SRS	Spectre de réponse spécifié: spectre de réponse spécifié par l'utilisateur
S_c	Coefficient établi pour prendre en compte les incidences de l'excitation multifréquences et de la réponse multimode
APN	Accélération à période nulle (voir a_g)

5 Méthodes de qualification sismique

La qualification sismique est censée démontrer la capacité de la traversée à supporter les contraintes sismiques et à conserver ses fonctions requises sans défaillance, pendant et après un séisme d'une sévérité spécifiée (article 6).

Les traversées étant montées sur des matériels ou des bâtiments, la qualification sismique de la traversée doit tenir compte du comportement de ces matériels ou bâtiments. Dans la qualification sismique d'une traversée, il convient d'inclure toutes les parties qui contribuent aux contraintes dans les sections critiques pendant un événement sismique, par exemple le conducteur et la pièce de centrage intérieure des traversées à isolation gazeuse.

3 Definitions

For the purpose of this technical report the definitions of IEC 68-3-3 and ISO 2041, and the following definitions apply:

3.1 critical cross-section: Section of the bushing that is most likely to fail during an earthquake.

3.2 response spectrum: Plot of the maximum response to a defined input motion of a family of single-degree-of-freedom bodies at a specified damping ratio. (ISO 2041, modified)

3.3 rigid equipment: Equipment whose natural frequency is greater than 25 Hz is considered rigid for the purpose of this technical report.

4 Symbols and abbreviations

a_{bg}	Equivalent maximum acceleration to the centre of gravity of the bushing during the seismic event
a_{cg}	Actual acceleration of the centre of gravity of the bushing relative to its flange
a_f	Maximum acceleration of the bushing flange
a_g	Maximum acceleration of the ground resulting from the motion of a given earthquake NOTE – a_g is equal to the Zero Period Acceleration (ZPA) of figure 1.
d_p	Distance between the centre of gravity of the part of the bushing which is under consideration and the critical cross-section
f	First natural frequency of the mounted bushing
K	Superelevation factor between ground and bushing flange: factor accounting for the change in the acceleration from the ground to the flange due to the amplification by buildings and structures
m_p	Mass of the part of the bushing which is under consideration
M_s	Bending moment at the critical cross-section of the part of the bushing considered, due to an earthquake
R	Response factor derived from the Required Response Spectrum (RRS) as the ratio between the response acceleration and the ZPA (see figure 2)
RRS	Required Response Spectrum: response spectrum specified by the user
S_c	Coefficient established to take into account the effects of both multifrequency excitation and multimode response
ZPA	Zero Period Acceleration (see a_g)

5 Methods of seismic qualification

Seismic qualification should demonstrate the ability of a bushing to withstand seismic stresses and to maintain its required function without failure, during and after an earthquake of a specified severity (clause 6).

As bushings are mounted on apparatus or buildings, the seismic qualification of the bushing must consider the behaviour of the apparatus or building. In the seismic qualification of a bushing all parts should be included, which contribute to the stresses in the critical cross-sections during a seismic event, e.g. the conductor and inner spacer in gas insulated bushings.

Le présent rapport technique décrit trois méthodes ainsi que leurs combinaisons:

- qualification par calcul statique (article 7);
- qualification par analyse dynamique (article 8);
- qualification par essai de vibrations (article 9).

Il est admis d'utiliser une combinaison de ces méthodes:

- pour qualifier une traversée qui ne peut pas être qualifiée par des essais seuls (par exemple en raison des dimensions et/ou de la complexité du matériel considéré);
- pour qualifier une traversée déjà essayée dans des conditions sismiques différentes;
- pour qualifier une traversée de même type qu'une traversée déjà essayée, mais dont certains éléments ont été modifiés et influent sur le comportement dynamique (par exemple modification de la longueur des isolateurs ou de la masse).

Les données vibratoires destinées à l'analyse (amortissement, fréquences critiques, contraintes dans les éléments critiques en fonction de l'accélération appliquée) peuvent être obtenues par:

- a) un essai dynamique sur une traversée de même type;
- b) un essai dynamique à amplitude réduite;
- c) la détermination des fréquences naturelles et de l'amortissement par d'autres essais, tels que des essais d'oscillation libre (voir annexe B) ou d'excitation à faible niveau (voir article A.1 de CEI 1166).

Ces méthodes permettent d'obtenir la valeur de M_s qui est déterminée pour chaque partie située de part et d'autre de la bride de la traversée. Il convient que la contrainte résultant de ce moment soit combinée avec les autres contraintes qui s'exercent sur la traversée. Il convient également de démontrer que la traversée supporterait les contraintes combinées (article 10).

Les différentes méthodes de qualification sismique sont illustrées par le diagramme de l'annexe A.

6 Sévérités

6.1 Au niveau du sol

L'accélération au niveau du sol dépend des conditions sismiques du site sur lequel le matériel doit être implanté. Lorsque cette accélération est connue, il convient de la prescrire dans la norme particulière. Dans les autres cas, il convient de choisir le niveau de sévérité parmi les valeurs indiquées dans le tableau 1.

Three methods and combinations thereof are described in this technical report:

- qualification by static calculation (clause 7);
- qualification by dynamic analysis (clause 8);
- qualification by vibration test (clause 9).

A combination of the methods may be used:

- to qualify a bushing which cannot be qualified by testing alone (e.g. because of size and/or complexity of the apparatus);
- to qualify a bushing already tested under different seismic conditions;
- to qualify a bushing similar to a bushing already tested but which includes modifications influencing the dynamic behaviour (e.g. change in the length of insulators or in the mass).

Vibrational data (damping, critical frequencies, stresses of critical elements as a function of input acceleration) for analysis can be obtained by:

- a) a dynamic test on a similar bushing;
- b) a dynamic test at reduced test level;
- c) determination of natural frequencies and damping by other tests such as free oscillation tests (see annex B) or low level excitation (see clause A.10 of IEC 1166).

The methods result in the value of M_s which is determined for each part of the bushing on either side of the flange. The stress due to this moment should be combined with the other stresses acting in the bushing and it should be demonstrated that the bushing withstands the combined stress (clause 10).

The different methods of seismic qualification are illustrated in the flow chart given in annex A.

6 Severities

6.1 At the ground

The ground acceleration depends upon the seismic conditions of the site where the apparatus is to be located. When it is known, it should be prescribed by the relevant specification. Otherwise the severity level should be selected from table 1.

Tableau 1 – Niveaux d'accélération au sol

Référence de l'accélération au sol	Caractéristiques du séisme					
	Généralités	a_g m/s ²	Magnitude sur l'échelle de Richter	Zone UBC ¹⁾	Intensité MSK ²⁾	SRS
AG2	Séismes d'intensité faible à moyenne	2	<5,5	1-2	<VIII	figure 1 ³⁾
AG3	Séismes d'intensité moyenne à forte	3	5,5 à 7,0	3	VIII à IX	figure 1 ³⁾
AG5	Séismes d'intensité forte à très forte	5	>7,0	4	>IX	figure 1

1) Valeur approximative indiquée dans le *Uniform Building Code* (Conférence internationale sur les édifices publics).
 2) MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) correspond à l'échelle Mercalli modifiée.
 3) Les valeurs indiquées pour AG2 et AG3 sont obtenues en multipliant les résultats de la figure 1 par 2/5 et 3/5 respectivement.

Il convient que le niveau de qualification choisi corresponde aux séismes escomptés pour les mouvements maximaux du sol sur le site considéré. Ce niveau correspond à des séismes de niveau S_2 (voir 3.24 de la CEI 68-3-3).

Il convient de fonder la qualification sur les hypothèses suivantes:

- les mouvements horizontaux décrits dans le tableau 1 agissent dans n'importe quelle direction;
- les sévérités des accélérations verticales sont égales à 50 % de celles des accélérations horizontales;
- les valeurs maximales peuvent être atteintes simultanément dans les deux directions.

Le mouvement du sol peut être décrit par des accélérogrammes naturels, lorsque ceux-ci sont connus, ou par des accélérogrammes artificiels. Il convient que ces derniers soient conformes au SRS. Cette méthode est utilisée comme préalable à l'analyse ou à l'essai de vibrations sur le matériel complet.

NOTE – La CEI 721-2-6 et la CEI 68-3-3 donnent des informations sur la corrélation entre les niveaux de qualification sismique, la zone sismique et les échelles sismiques.

6.2 Au niveau de la bride de la traversée

La sévérité au niveau de la bride de la traversée (voir figure 4) peut être indiquée par le constructeur des matériels et des structures (transformateurs, postes sous enveloppe métalliques et à isolation gazeuse (PSEM), bâtiment) en termes de SRS ou d'accélération maximale (a_f). Si aucune information n'est disponible, on utilise la formule simplifiée suivante pour déterminer une valeur d'accélération au niveau de la bride de la traversée:

$$a_f = K \times a_g$$

Le facteur d'amplification K peut être:

- calculé par la méthode d'analyse par éléments finis incluant l'interaction du sol ou par toute autre modélisation, ou
- déduit des résultats de calculs ou d'essais sur des matériels ou des structures comparables, ou
- choisi parmi des valeurs types résultant de l'expérience. Jusqu'à présent, l'expérience en la matière est très succincte. En l'absence d'informations plus détaillées, on considère en général que K est égal à 1,5. Voir également le tableau 4 en 8.2.5 de la CEI 68-3-3.

Table 1 – Ground acceleration levels

Ground acceleration reference	Description of earthquake					
	General	a_g m/s ²	Richter scale magnitude	UBC zone ¹⁾	Intensity MSK ²⁾	RRS
AG2	Light to medium earthquakes	2	<5,5	1-2	<VIII	figure 1 ³⁾
AG3	Medium to strong earthquakes	3	5,5 to 7,0	3	VIII to IX	figure 1 ³⁾
AG5	Strong to very strong earthquakes	5	>7,0	4	>IX	figure 1

1) Approximate Uniform Building Code zone (International conference of building officials).
2) MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) corresponds to modified Mercalli intensity scale.
3) Values for AG2 and AG3 are obtained by multiplying the values from figure 1 by 2/5 and 3/5 respectively.

The selected qualification level should be in accordance with expected earthquakes of maximum ground motions for the site location. This level corresponds to S_2 earthquakes (see 3.24 of IEC 68-3-3).

For qualification it should be assumed that:

- the horizontal movements as described in table 1 act in any direction ;
- the severities of the vertical accelerations are 50 % of the horizontal;
- both directions may reach their maximum values simultaneously.

The ground motion can be described by natural time histories when known, or by artificial time histories, which should comply with the RRS; this is used as input for dynamic analysis or vibration test on the complete apparatus.

NOTE – Information on the correlation between seismic qualification levels, seismic zone and seismic scales are given in IEC 721-2-6 and IEC 68-3-3.

6.2 At the bushing flange

The severity at the bushing flange (see figure 4) may be available from the manufacturer of the apparatus and structures (i.e. transformers, gas insulated substations (GIS), building) in terms of RRS or maximum acceleration (a_f). Where no information is available, the following simplified formula is used in order to establish an acceleration value at the flange of the bushing.

$$a_f = K \times a_g$$

The superelevation factor K can be:

- calculated by finite element analysis including soil interaction or any other careful modelling, or
- derived from results from calculations or tests on comparable apparatus or structures, or
- taken from typical values obtained from experience. So far very little experience is reported. Unless more background information is available, K should be assumed to be 1,5. See also 8.2.5 of IEC 68-3-3, table 4.

7 Qualification par calcul statique

Cette méthode convient pour les matériels rigides. Elle peut être étendue aux matériels non rigides, tels que les traversées, en prenant en compte le facteur de réponse R comme alternative à la méthode par analyse. Cela permet une évaluation plus simple conduisant à augmenter le conservatisme.

La méthode de calcul statique sert à déterminer le moment fléchissant dans la section critique de la partie considérée de la traversée, sur la base d'une accélération équivalente du centre de gravité de cette partie:

$$M_s = a_{bg} \times d_p \times m_p$$

Cette accélération, a_{bg} , est calculée à partir de l'accélération a_f de la bride, multipliée par un coefficient et par le facteur de réponse (voir annexe C):

$$a_{bg} = a_f \times S_c \times R$$

La valeur de S_c dépend de la fréquence naturelle de la traversée montée:

$f \leq 9 \text{ Hz}$	$S_c = 1,5$
$9 < f < 25 \text{ Hz}$	$S_c = 1 + 0,5 \times (25 - f) / (25 - 9)$
$f \geq 25 \text{ Hz}$	$S_c = 1,0$

Si on ne connaît pas la fréquence naturelle, il convient d'utiliser la valeur conservative de S_c , soit 1,5.

La valeur de R peut être déterminée par l'une des méthodes suivantes.

- A partir du SRS au niveau de la bride de la traversée (si cette donnée est connue).
- Lorsqu'on ne connaît pas ce spectre, il est admis d'utiliser le spectre au niveau du sol (figure 1), en partant de l'hypothèse que les niveaux correspondant à toutes les fréquences sont amplifiés de manière égale (facteur K) entre le sol et la bride, La figure 2 résume les valeurs de R correspondant à ces situations.
Il est nécessaire de connaître la première fréquence naturelle et l'amortissement de la traversée montée sur sa structure-support. La première fréquence naturelle peut être soit calculée selon la méthode indiquée pour le facteur d'amplification, soit déterminée au moyen d'un essai d'oscillation libre comme celui décrit à l'annexe B.
- On peut supposer R égal à 1,74 lorsque aucune donnée de fréquence ou d'amortissement de la traversée montée sur un transformateur n'est disponible. Cette valeur de 1,74 correspond à la gamme de fréquence 2,4 Hz à 9 Hz et à un amortissement de 5 %.
- On peut supposer R égal à 2,25 lorsque aucune donnée de fréquence ou d'amortissement de la traversée montée sur une structure de PSEM n'est disponible. Cette valeur de 2,25 correspond à la gamme de fréquence 2,4 Hz à 9 Hz et à un amortissement de 3 %.

Les données recueillies montrent que la première fréquence naturelle d'une traversée montée est inférieure à celle de la traversée elle-même. Les fréquences propres dont il est fait état sont très diverses, alors que les taux d'amortissement se situent dans une plage restreinte, voir tableau 2.

L'annexe D présente un exemple de mise en oeuvre de cette méthode, pour une traversée montée sur un transformateur.

7 Qualification by static calculation

This method is valid for rigid equipment. It may be extended to flexible equipment, such as a bushing, taking into consideration the response factor R , as an alternative to the method by analysis. This allows simpler evaluation with increased conservatism.

Using the static calculation method, the bending moment in the critical cross-section of the part of the bushing under consideration is calculated from an equivalent acceleration of the centre of gravity of that part:

$$M_s = a_{bg} \times d_p \times m_p$$

This acceleration, a_{bg} , is calculated from the flange acceleration a_f by multiplication with a coefficient and the response factor (see annex C):

$$a_{bg} = a_f \times S_c \times R$$

The value of S_c depends on the natural frequency of the mounted bushing:

$f \leq 9 \text{ Hz}$	$S_c = 1,5$
$9 < f < 25 \text{ Hz}$	$S_c = 1 + 0,5 \times (25 - f) / (25-9)$
$f \geq 25 \text{ Hz}$	$S_c = 1,0$

If the natural frequency is not known, the conservative value $S_c = 1,5$ should be used.

The value R can be established by one of the following methods.

- From the spectrum at the bushing flange (if available).
- When the spectrum at the bushing flange is not known, the spectrum at the ground (figure 1) may be used assuming that the levels at all frequencies are equally amplified (K factor) from the ground to the flange. For such cases the values of R are summarized in figure 2.
It is necessary to know the first natural frequency and the damping of the bushing mounted on its supporting structure. The natural frequency can either be calculated as indicated for the superelevation factor or found by a free oscillation test as described in annex B.
- R may be assumed to be equal to 1,74 when information for frequency and damping of the bushing mounted on a transformer is not available. The value of 1,74 corresponds to the frequency range 2,4 Hz to 9 Hz and 5 % damping ratio.
- R may be assumed to be equal to 2,25 when information for frequency and damping of the bushing mounted on a GIS structure is not available. The value of 2,25 corresponds to the frequency range 2,4 Hz to 9 Hz and 3 % damping ratio.

Collected data show that the first natural frequency of a mounted bushing is lower than that of the bushing itself. Reported natural frequencies show a great variation, while the damping ratios lie within a limited range, see table 2.

An example of the application of the method for bushings mounted on a transformer is given in annex D.

Tableau 2 – Paramètres dynamiques obtenus à partir de l'expérience acquise sur les traversées à isolateurs en porcelaine

Type de montage	Tension assignée de la traversée					
	123 kV à 170 kV		245 kV		420 kV à 500 kV	
	Fréquence Hz	Taux d'amortissement %	Fréquence Hz	Taux d'amortissement %	Fréquence Hz	Taux d'amortissement %
Traversée seule (montée sur une structure rigide)	15 à 35	2 à 4	10 à 20	2 à 4	5 à 15	2 à 4
Traversée montée sur la cuve d'un transformateur	8 à 20	5	5 à 15	5	3 à 8	5
Traversée montée sur un PSEM	4 à 7	3 à 5	–	–	–	–
Traversée montée sur un bâtiment	–	–	–	–	–	–
NOTES 1 Dans le cas de systèmes spéciaux de dissipation, des facteurs d'amortissement plus élevés peuvent être obtenus. 2 Des données supplémentaires résultant de l'expérience de l'application de ce rapport technique seront incluses dans le présent tableau.						

8 Qualification par analyse dynamique

Dans le cadre de l'analyse dynamique, il est recommandé que la structure complète, le matériel et les conditions de sol incluant les fondations, avec la traversée montée, soient modélisés par la méthode aux éléments finis ou par d'autres méthodes mathématiques, en prenant en compte les valeurs spécifiques d'élasticité et d'amortissement de tous les éléments, ainsi que celles des masses à considérer. On peut supposer que la structure présente un comportement linéaire et élastique, à l'exception des matériels antisismiques spéciaux (voir le dernier alinéa de 10.3), qu'il convient de modéliser avec leurs propriétés réelles. Il convient que les valeurs linéaires utilisées correspondent aux valeurs escomptées pour le niveau de séisme considéré.

Le calcul permet de déterminer les contraintes dans la section critique de la traversée.

Une analyse dynamique peut être effectuée sur une traversée seule, si la sévérité au niveau de la bride est déjà connue.

D'une manière générale, la procédure consiste à élaborer, à l'aide de données expérimentales, un modèle mathématique de la structure afin d'évaluer ses caractéristiques dynamiques, et ensuite à déterminer la réponse, en faisant appel à l'une ou l'autre des méthodes décrites dans les paragraphes qui suivent. Il est cependant possible d'utiliser d'autres méthodes si leur utilité peut être justifiée.

8.1 Analyse modale utilisant la méthode par accélérogrammes

Lorsque la méthode par accélérogrammes est utilisée pour la qualification par analyse, il convient que les accélérogrammes du sol soient conformes au SRS (voir tableau 1). Deux modes de calcul par superposition peuvent généralement être appliqués, en fonction de la complexité du problème:

Table 2 – Dynamic parameters obtained from experience on bushings with porcelain insulators

Type of mounting	Rated voltage of bushing					
	123 kV to 170 kV		245 kV		420 kV to 500 kV	
	Frequency Hz	Damping ratio %	Frequency Hz	Damping ratio %	Frequency Hz	Damping ratio %
Bushing alone (mounted on a rigid structure)	15 to 35	2 to 4	10 to 20	2 to 4	5 to 15	2 to 4
Bushing mounted on a transformer tank	8 to 20	5	5 to 15	5	3 to 8	5
Bushing mounted on a GIS	4 to 7	3 to 5	–	–	–	–
Bushing mounted on a building	–	–	–	–	–	–
NOTES 1 In the case of special dissipating systems, higher damping ratios may be obtained. 2 Additional data will be included in this table based on experience of the practical application of this technical report.						

8 Qualification by dynamic analysis

For dynamic analysis the whole structure, the apparatus and the ground conditions including foundations, with the mounted bushing should be modelled by finite elements or other mathematical modelling technique, taking into consideration the specific values of elasticity and damping of all elements as well as the relevant masses. The structure may be assumed to behave linearly and elastically except special seismic equipment (see last paragraph of 10.3), which should be modelled with its actual properties. The linear values used should correspond to the values expected at the seismic load level.

From the calculation the stresses in the critical cross-section of the bushing can be found.

A dynamic analysis may be performed on a bushing alone if the flange severity is already known.

The general procedure is to establish, using experimental data, a mathematical model of the structure in order to assess its dynamic characteristics and then to determine the response, using either of the methods described in the following subclauses. Other methods may be used if they can be justified.

8.1 Modal analysis using the time-history method

When the time-history method is used for seismic analysis, the ground motion acceleration time-histories should comply with the RRS (see table 1). Two types of superimposition may generally be applied depending on the complexity of the problem:

- calcul séparé des réponses maximales selon les trois directions du séisme (x et y en horizontal, et z en vertical). Ces valeurs maximales sont ensuite combinées en prenant la racine carrée de la somme quadratique, soit $(x^2 + z^2)^{1/2}$ et $(y^2 + z^2)^{1/2}$. La plus grande de ces deux valeurs est utilisée pour combiner les contraintes qui s'exercent sur la traversée;
- calcul simultané de l'une des directions horizontales et de la direction verticale (x et z), suivi du calcul de l'autre direction horizontale et de la direction verticale (y et z). A l'issue de chaque étape de calcul, toutes les valeurs (force, contraintes) sont ainsi algébriquement superposées. La plus grande de ces deux valeurs est utilisée pour combiner les contraintes qui s'exercent sur la traversée.

8.2 Analyse modale utilisant le spectre de réponse spécifié (SRS)

Lorsque la méthode reposant sur le SRS est utilisée pour l'étude sismique, la procédure de combinaison des contraintes décrite concerne un système orthogonal de coordonnées correspondant aux axes principaux de la traversée, avec x et y en horizontal et z en vertical. Les valeurs maximales de contrainte de la traversée dans chacune des trois directions x, y et z sont obtenues en superposant les contraintes calculées pour les différentes fréquences modales dans chacune de ces directions en prenant la racine carrée de la somme quadratique. Les valeurs maximales dans les directions x et z - et dans les directions y et z - sont obtenues de la même manière. La plus grande valeur des deux ensembles (x, z) ou (y, z) est utilisée pour combiner les contraintes qui s'exercent sur la traversée.

9 Qualification par essai de vibrations

9.1 Généralités

Trois démarches sont possibles:

- essai sur le matériel complet (traversée montée sur le matériel utilisé dans la pratique);
- essai sur la traversée montée sur une structure factice;
- essai sur la traversée seule.

Il convient que cette procédure de qualification par essai soit conforme aux articles 11 à 15 de la CEI 68-3-3, à la CEI 68-2-57 et à la CEI 68-2-59. Il convient que les essais soient réalisés à la température de l'air ambiant sur le site d'essai et que cette température soit notée dans le rapport d'essai. Après l'essai de vibrations, il convient que la traversée passe avec succès un essai individuel conformément à l'article 8 de la CEI 137.

9.1.1 Montage

Les prescriptions générales de montage figurent dans la CEI 68-2-47. Il convient que le spécimen soit monté selon ses conditions d'utilisation et équipé de ses amortisseurs (s'il en existe).

NOTE – Pour plus de détails dans le cas d'un matériel habituellement utilisé avec des amortisseurs de vibrations, voir l'article A.5 de la CEI 68-2-6.

Il convient que l'orientation et le montage du spécimen pendant l'épreuve soient prescrits dans la norme particulière. Ces aspects correspondent au seul état pour lequel le spécimen est considéré conforme aux prescriptions normatives, sauf si une justification appropriée peut être fournie pour l'étendre à un état n'ayant pas fait l'objet d'essais (par exemple, s'il est démontré que les effets de la gravité n'influent pas sur le comportement du spécimen).

9.1.2 Contrainte externe

En général, l'essai sismique ne permet pas de simuler en même temps les contraintes électriques et environnementales de service. Cette remarque concerne également la pression interne à laquelle la traversée peut être soumise compte tenu des prescriptions de sécurité du laboratoire d'essais.

NOTE – Voir l'article 10 pour la combinaison des contraintes sismiques et de service.

- separate calculation of the maximum responses due to each of the three directions (x and y in the horizontal, and z in the vertical direction) of the earthquake. These maximum values are then combined by taking the square root of the sum of the squares, i.e. $(x^2 + z^2)^{1/2}$ and $(y^2 + z^2)^{1/2}$. The greater of these two values is used for the combination of the stresses of the bushing;
- simultaneous calculation of one of the horizontal directions and the vertical direction (x with z) and, thereafter, calculation of the other horizontal direction and the vertical direction (y with z). This means that, after each step of calculation, all values (force, stresses) are superimposed algebraically. The greater of these two values is used for the combination of the stresses of the bushing.

8.2 Modal analysis using the RRS

When the RRS method is used for seismic analysis, the procedure of combining the stresses is described for an orthogonal system of co-ordinates in the main axes of the bushing and with x and y in the horizontal and z in the vertical direction. The maximum values of stresses in the bushing for each of the three directions x , y and z are obtained by superimposing the stresses calculated for the various modal frequencies in each of these directions by taking the square root of the sum of the squares. The maximum values in the x and z direction - and in the y and z direction - are obtained by taking the square root of the sum of the squares. The greater value of these two cases (x , z) or (y , z) is used for the combination of the stresses of the bushing.

9 Qualification by vibration test

9.1 General

Three different approaches can be applied:

- test on the complete apparatus (bushing mounted on the real apparatus);
- test on the bushing mounted on a simulating support;
- test on the bushing alone.

The procedure for qualification by test should be in accordance with clauses 11 to 15 of IEC 68-3-3, IEC 68-2-57 and IEC 68-2-59. The tests should be made at the ambient air temperature of the test location and this temperature should be recorded in the test report. After the vibration test, the bushing should pass a routine test according to clause 8 of IEC 137.

9.1.1 Mounting

General mounting requirements are given in IEC 68-2-47. The specimen should be mounted as in service including dampers (if any).

NOTE – For more detailed guidance in the case of equipment normally used with vibration isolators, see clause A.5 of IEC 68-2-6.

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

9.1.2 External load

Generally, electrical and environmental service loads cannot be simulated during the seismic test. This applies also to possible internal pressure of the bushing due to safety requirements of the test laboratory.

NOTE – For combination of seismic and service loads, see clause 10.

9.1.3 Mesurage

Il convient que le mesurage soit conforme à 5.2 de la CEI 68-3-3 et porte notamment sur:

- le mouvement vibratoire du centre de gravité de la traversée;
- les déformations au niveau des sections critiques.

9.1.4 Gamme de fréquences

La gamme de fréquences considérée est normalement comprise entre 1 Hz et 35 Hz.

9.1.5 Méthodes d'essai

Les méthodes d'essai sont normalement les suivantes:

- méthode par accélérogrammes, ou
- méthode par sinusoïdes modulées, ou
- méthodes utilisant d'autres formes d'onde, par exemple une onde sinusoïdale (à justifier dans ce cas).

9.1.5.1 Paramètres applicables à la méthode par accélérogrammes

Il convient que la durée totale de l'accélérogramme soit d'environ 30 s, la partie forte ne devant pas être inférieure à 15 s, et que la méthode d'essai soit conforme à la CEI 68-2-57.

9.1.5.2 Paramètres applicables à la méthode par sinusoïde modulée

Il convient que les fréquences d'essai couvrant la gamme de fréquences indiquée en 9.1.4 soient espacées d'une demi-octave et englobent les fréquences de résonance du spécimen. Il convient que la méthode d'essai soit conforme à la CEI 68-2-59.

9.1.6 Essais

9.1.6.1 Axes d'essai

Il convient que les axes d'essai soient choisis conformément à 3.19 de la CEI 68-3-3. Dans certains cas, l'accélération verticale donne lieu à des contraintes négligeables et il est alors admis de ne pas prendre en compte l'excitation verticale.

9.1.6.2 Séquence d'essai

La séquence d'essai se déroule normalement comme suit.

a) Recherche et étude des fréquences critiques

Il convient que cette recherche et étude des fréquences critiques soit effectuée conformément à 10.1 et 14.2 de la CEI 68-3-3 dans la gamme de fréquences indiquée en 9.1.4.

b) Essai de qualification sismique

Il convient que cet essai soit effectué suivant une des procédures indiquées sur le diagramme A.3 (sauf pour l'essai Fc) ou sur le diagramme A.4 de la CEI 68-3-3, en fonction des installations d'essai.

Il convient que l'essai soit effectué une fois à l'amplitude choisie à l'article 6.

Pendant l'essai sismique, il convient de consigner les mesures comme indiqué en 9.1.3.

9.1.3 *Measurements*

Measurements should be performed in accordance with 5.2 of IEC 68-3-3, and should include:

- vibration motion of the centre of gravity of the bushing;
- strains on critical cross-sections.

9.1.4 *Frequency range*

The frequency range should be 1 Hz to 35 Hz.

9.1.5 *Test methods*

The test methods should be:

- time-history, or
- sine-beat, or
- other waveforms, e.g. sine wave (requiring justification).

9.1.5.1 *Parameters for time-history*

The total duration of the time-history should be about 30 s of which the strong part should be not less than 15 s. The test method should be in accordance with IEC 68-2-57.

9.1.5.2 *Parameters for sine-beat*

Test frequencies should cover the frequency range stated in 9.1.4 with half octave spacing, and should include the resonance frequencies of the specimen. The test method should be in accordance with IEC 68-2-59.

9.1.6 *Testing*

9.1.6.1 *Test axes*

The test axes should be chosen according to 3.19 of IEC 68-3-3. In some cases the effect of the vertical acceleration results in negligible stresses and the vertical excitation may be omitted.

9.1.6.2 *Test sequence*

The test sequence should be as follows.

a) *Vibration response investigation*

The vibration response investigation should be carried out according to 10.1 and 14.2 of IEC 68-3-3 over the frequency range stated in 9.1.4.

b) *Seismic qualification test*

The test should be performed by applying one of the procedures stated in flow chart A.3 (except test Fc) or flow chart A.4 of IEC 68-3-3 depending on the test facilities.

The test should be performed once at the level chosen in clause 6.

During the seismic test the measurements as stated in 9.1.3 should be recorded.

9.2 Essai sur le matériel complet

Lorsque les dimensions et/ou la complexité du matériel permettent son assemblage sur table vibrante, il est recommandé de réaliser l'essai sur le matériel complet.

Il convient de choisir la sévérité de l'essai conformément à 6.1. La méthode par accélérogrammes est recommandée dans la mesure où elle permet de reproduire plus précisément les conditions réelles, notamment si le comportement du spécimen n'est pas linéaire.

9.3 Essai sur la traversée montée sur une structure factice

La traversée est montée sur une structure factice fixée à une table vibrante (voir figure 3). La structure factice doit reproduire les aspects dynamiques (raideur et amortissement) du matériel utilisé dans la pratique.

Il convient que la sévérité et la méthode d'essai soient les mêmes que celles décrites en 9.2.

9.4 Essai sur la traversée seule

Si les dimensions et/ou la complexité du matériel (transformateur, PSEM, bâtiment) ne permettent pas d'effectuer l'essai décrit en 9.2 ou 9.3, il convient d'essayer la traversée seule, fixée de manière rigide à la table vibrante. Dans ce cas, il convient que la sévérité soit égale au SRS ou à la valeur de crête de l'accélération au niveau de la bride de la traversée (voir 6.2 et figure 4).

La méthode par sinusoides modulées est recommandée. Si le SRS au niveau de la bride n'est pas connu, il convient soit de déterminer le coefficient K et la valeur de R par calcul, soit de les choisir parmi les valeurs indiquées aux articles 6 et 7.

10 Evaluation de la qualification sismique

10.1 Combinaison de contraintes

Il convient de combiner les contraintes sismiques, déterminées selon la procédure décrite aux articles 7, 8 ou 9, avec d'autres contraintes de service, afin d'évaluer la contrainte totale induite par l'ensemble des contraintes combinées qui s'exercent sur la traversée.

Il est peu probable qu'un séisme d'une magnitude correspondant au niveau de qualification sismique recommandé survienne pendant la durée de vie de la traversée et, de plus, la contrainte sismique maximale, dans le cas d'un séisme, ne serait atteinte que si la traversée était excitée à ses fréquences critiques, avec une accélération maximale. Comme cela ne durerait que quelques secondes, la combinaison de ces contraintes électriques et environnementales extrêmes en service conduirait à un conservatisme irréaliste.

Sauf spécification particulière contraire (voir CEI 1264), on considère donc que les contraintes suivantes sont susceptibles de s'appliquer simultanément:

- contrainte de service égale à 70 % de la contrainte de flexion en service spécifiée pour la traversée;
- contrainte exercée par une pression de vent de 70 Pa;
- contrainte déterminée par les composantes de la pesanteur de la traversée et s'exerçant perpendiculairement à son axe;
- contrainte exercée par la pression interne moyenne dans les conditions de service normales;
- contrainte induite par l'événement sismique (articles 7, 8 ou 9).

9.2 Test on complete apparatus

When the size and/or complexity of the apparatus allow assembly on the shaker table, a test on the complete apparatus is recommended.

The test severity should be chosen in accordance with 6.1. The time-history method is recommended since it more closely simulates the actual conditions, particularly if the behaviour of the specimen under test is not linear.

9.3 Test on the bushing mounted on a simulating support

The bushing is mounted on a simulating support which is fastened to a shaker table (see figure 3). The simulating support has to dynamically reproduce (stiffness and damping) the actual apparatus.

The severity and test method should be as described in clause 9.2.

9.4 Test on the bushing alone

If the size and/or complexity of the apparatus (transformer, GIS, building) does not allow the test to be performed as described in 9.2 or 9.3, the test should be performed on the bushing alone, rigidly connected to the shaker table. In this case the severity should be the RRS or the peak acceleration value at the flange of the bushing (see 6.2 and figure 4).

The sine-beat test method is recommended. In case the RRS at the flange is not available, coefficients K and R should be either obtained by calculation or taken from the values given in clauses 6 and 7.

10 Evaluation of the seismic qualification

10.1 Combination of stresses

The seismic stresses determined as described in clauses 7, 8 or 9 should be combined with other service stresses to evaluate the total stress induced by all the combined loads on the bushing.

The probability of an earthquake of the recommended seismic qualification level occurring during the lifetime of the bushing is low, as the maximum seismic load in a natural earthquake would only occur if the bushing were excited at its critical frequencies with maximum acceleration. As this would last only a few seconds, a combination of extreme electrical and environmental service loads would lead to unrealistic conservatism.

Consequently the following stresses are considered to occur simultaneously, if not otherwise specified (see IEC 1264):

- the stress of an operating load equal to 70 % of the cantilever operating load specified for the bushing;
- the stress of wind pressure of 70 Pa;
- the stress determined by the components of the mass of the bushing which acts perpendicular to the bushing axis;
- the stress of the average internal pressure at normal service conditions;
- the stress induced by the seismic event (clauses 7, 8 or 9).

Ces contraintes peuvent être soit intégrées à l'essai ou au modèle analytique, soit ajoutées séparément.

NOTES

- 1 Cette combinaison de contraintes présuppose que les liaisons de raccordement ne limitent pas le mouvement de l'extrémité de la traversée pendant le séisme.
- 2 Cette combinaison de contraintes repose sur des principes de conservatisme raisonnables qui ne s'appliquent pas forcément à toute installation.

10.2 Essai de flexion

L'essai de flexion permet de déterminer la contrainte maximale admissible qui s'exerce sur la traversée.

Cet essai peut être effectué sur une traversée complète ou sur certaines de ses parties. Lorsqu'un isolateur fait l'objet d'essais distincts, il convient que le dispositif de bridage soit le même que celui de la traversée complète et que la procédure d'essai soit conforme aux indications de la CEI 137.

10.3 Critères d'acceptation

La traversée doit normalement continuer d'isoler et de conduire le courant pendant et après le séisme. Aucune fissure, fuite, déflexion permanente, ni aucun mouvement relatif des parties n'est admis.

On considère que la traversée satisfait aux prescriptions sismiques si:

- la contrainte de flexion de l'isolateur qui résulte de la combinaison des contraintes ne dépasse pas le taux de 100 % indiqué dans la figure 1 et le tableau 1 de la CEI 1264;
- les parties métalliques ne sont pas sollicitées au-delà de la limite apparente d'élasticité sous l'effet des contraintes combinées. Il est cependant admis que les pièces d'assemblage, spécialement conçues pour résister aux séismes (réduction de la fréquence naturelle ou augmentation de l'amortissement, par exemple) tirent parti des caractéristiques de frottement et de ductilité, dans certaines limites.

NOTE – Compte tenu de la relation contrainte-déformation effective et de la redistribution des contraintes, il n'est pas nécessaire de respecter la limite de contrainte des parties métalliques à un emplacement particulier si la contrainte est une contrainte secondaire auto-limitatrice, ou si elle est provoquée par une discontinuité structurelle locale qui affecte un volume relativement peu important du matériel et n'a pas une grande incidence sur la contrainte d'ensemble ou sur le profil de déformation général.

11 Nécessité d'un échange d'informations

11.1 Informations fournies par le constructeur du matériel

Lors de l'élaboration des spécifications, il convient que l'acheteur fournisse toutes les informations suivantes susceptibles d'être nécessaires, ainsi que toute information complémentaire nécessaire pour déterminer avec précision les caractéristiques prescrites.

a) Sévérité

Il convient d'indiquer clairement si la sévérité s'applique à la bride de la traversée ou à la base du matériel. La première option est recommandée.

b) Détails du montage

Position et angle de montage.

c) Raideur du matériel

Pour la qualification par calcul dynamique, il convient que la raideur des structures support de la traversée (par exemple, angle d'inclinaison en fonction du moment fléchissant) et l'amortissement soient indiqués. Si la raideur du support est telle que la fréquence naturelle présumée de la traversée soit supérieure à 9 Hz, il convient également d'indiquer que le reste de la structure située jusqu'à la base est aussi raide, sinon les accélérations plus faibles aux fréquences élevées ne peuvent être utilisées.

These stresses can either be included in the test or analysis model, or separately added.

NOTES

- 1 This combination of stresses assumes that connection lines do not limit the motion of the terminal of the bushing during the seismic event.
- 2 This load combination is based on a reasonable conservatism that may not apply to each installation.

10.2 *Cantilever test*

A cantilever test allows the highest permissible stress of the bushing to be determined.

A cantilever test can be performed on a complete bushing or on parts of it. When testing a separate insulator, the clamping arrangement should be equal to that of the complete bushing. The test procedure should be in agreement with IEC 137.

10.3 *Acceptance criteria*

The bushing should insulate and carry current during and after the earthquake. No crack, leakage, permanent deflection or relative movement of parts is permitted.

The bushing is considered to be qualified for the seismic requirement if:

- the bending stress of the insulator resulting from the combination of stresses is not higher than the 100 % level of figure 1 and table 1 of IEC 1264;
- metallic parts are not stressed above the yielding point by the combined stresses. Assembly fittings, specially designed for seismic purpose (e.g. to reduce the natural frequency or increase the damping) may however use friction and ductility in a controlled way.

NOTE – By considering the actual stress-strain relationship and stress redistribution, the stress limit in metallic parts need not be satisfied at a specific location if the stress is a self-limiting secondary stress or if it is caused by a local structural discontinuity which affects a relatively small volume of material and does not have a significant effect on the overall stress or strain pattern.

11 **Necessary exchange of information**

11.1 *Information supplied by the apparatus manufacturer*

When specifying, the purchaser should provide as much of the following information as necessary, as well as any additional information needed to determine clearly the required characteristics.

a) *Severity*

It should be clearly stated if the severity is to be applied to the bushing flange or to the apparatus base. Severity at the bushing flange is recommended.

b) *Details of mounting*

Position and angle of mounting.

c) *Apparatus stiffness*

For qualification by calculation, the stiffness of the bushing support (e.g. angle of deflection vs bending moment) and the damping of the structure should be stated. If the stiffness of the support is so high that the natural frequency of the bushing can be expected to be above 9 Hz, it should also be stated that the rest of the structure down to the base is equally stiff, otherwise the lower accelerations at high frequencies may not be utilized.

d) *Analyse dynamique*

La qualification par analyse doit être effectuée par le constructeur du matériel (un transformateur, par exemple) en raison du volume important de données structurales requis. Le constructeur du matériel obtient ces données auprès du constructeur de la traversée.

11.2 *Informations fournies par le constructeur de la traversée*

a) *Données de conception*

En cas d'analyse portant sur le matériel complet, il convient que le constructeur de la traversée indique:

- les paramètres géométriques (à savoir dimensions, centre de gravité, moment d'inertie) et les masses de la traversée complète;
- les propriétés mécaniques (à savoir modules de Young et de cisaillement, tenue à la flexion/à la compression/à la traction) de la porcelaine et le taux d'amortissement de la traversée, sauf si, dans ce dernier cas, des valeurs normalisées peuvent être prises en compte.

C'est le constructeur du matériel qui effectue l'analyse et informe le constructeur de la traversée des résultats à exploiter pour l'évaluation conformément à l'article 10.

b) *Rapport de qualification sismique*

Rapport présentant les résultats de l'évaluation effectuée conformément à l'article 10. Ce rapport doit normalement décrire la traversée, et présenter les hypothèses de départ adoptées et les résultats obtenus. Il doit également indiquer le déplacement maximal de l'extrémité de la traversée pendant le séisme.

c) *Rapport d'essai*

Si des essais sont réalisés, il convient que le rapport identifie l'objet essayé, le site d'essai, le matériel d'essai, qu'il décrive l'essai, indique les résultats (fréquences de résonance et amortissement) et présente des conclusions pertinentes.

Lorsque la qualification est effectuée conformément à 9.4, il convient de fournir des informations visant à démontrer que l'adéquation de la traversée pour un niveau d'accélération au sol déterminé est liée à certains paramètres dynamiques du matériel.

Lorsqu'il est fait référence à des essais sur un matériel similaire à celui utilisé dans la pratique, il convient de fournir les indications suivantes: description des deux matériels en question, avec le détail de leurs différences, résultats d'essai et extrapolation au matériel utilisé dans la pratique.

d) *Dynamic analysis*

Qualification by dynamic analysis is to be made by the manufacturer of the apparatus (e.g. a transformer) because of the great amount of structural data required. The apparatus manufacturer requests the necessary data from the bushing manufacturer.

11.2 *Information supplied by the bushing manufacturer*

a) *Design data*

In case of dynamic analysis of the complete apparatus, the bushing manufacturer should provide:

- the geometrical parameters (i.e. dimensions, centre of gravity, moment of inertia) and masses of the complete bushing;
- the mechanical properties (i.e. Young and shear modulus, flexural/compressive/tensile strength) of the porcelain and the damping ratio of the bushing, unless standard values can be used.

The apparatus manufacturer will perform the dynamic analysis and inform the bushing manufacturer of the results to be used in the evaluation according to clause 10.

b) *Seismic qualification report*

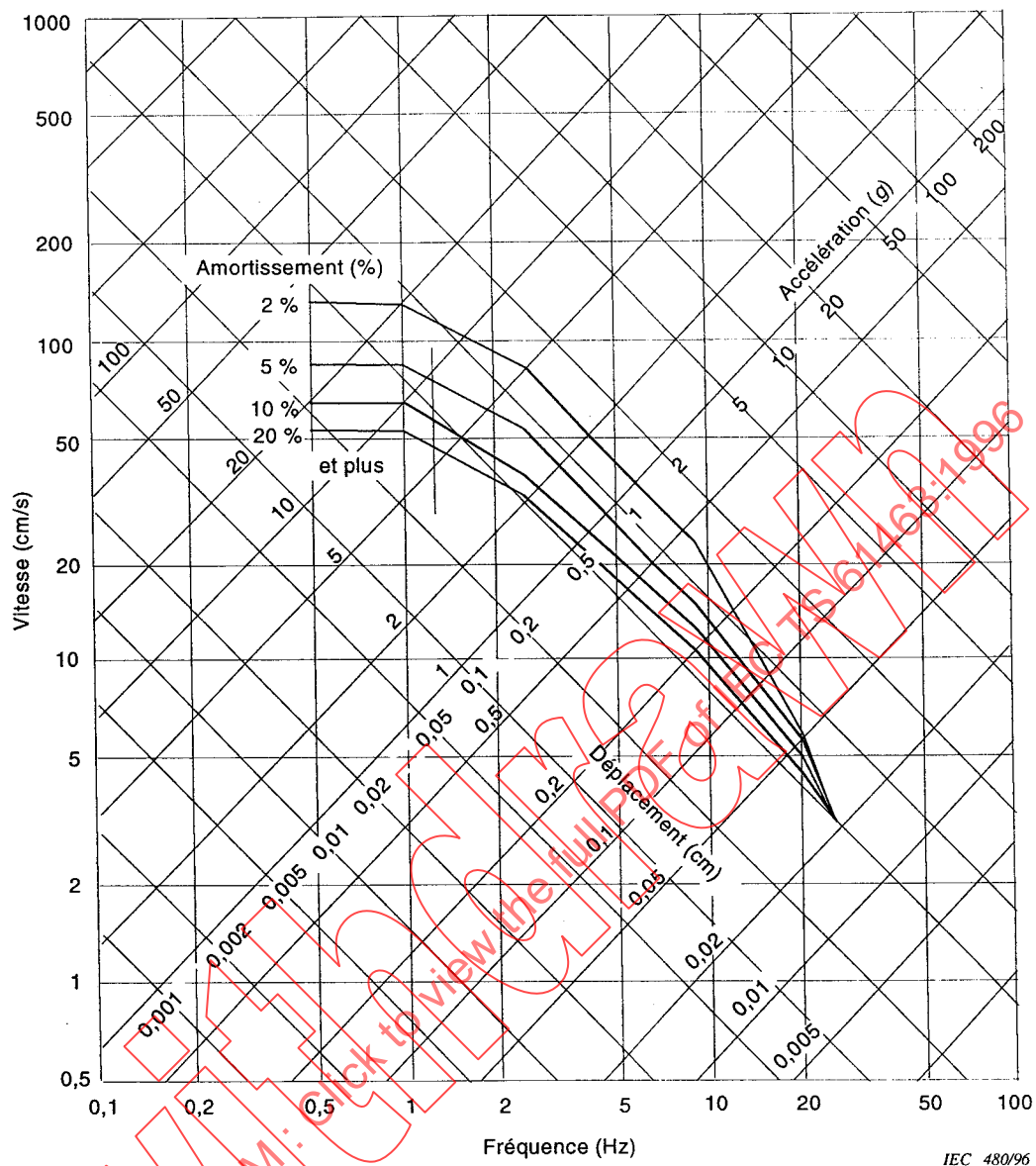
A report showing the result of the evaluation performed according to clause 10. The report should contain a description of the bushing, the assumptions adopted and the results obtained. In the report the maximum displacement of the bushing terminal during the earthquake should be provided.

c) *Test record*

If tests are performed, the report should contain identification of test object, test location, test equipment, description of the test, results (resonance frequencies and damping) and significant conclusions.

When qualification is performed according to 9.4, information should be given in order to justify that the adequacy of the bushing for a certain ground acceleration level is related to particular apparatus dynamic parameter.

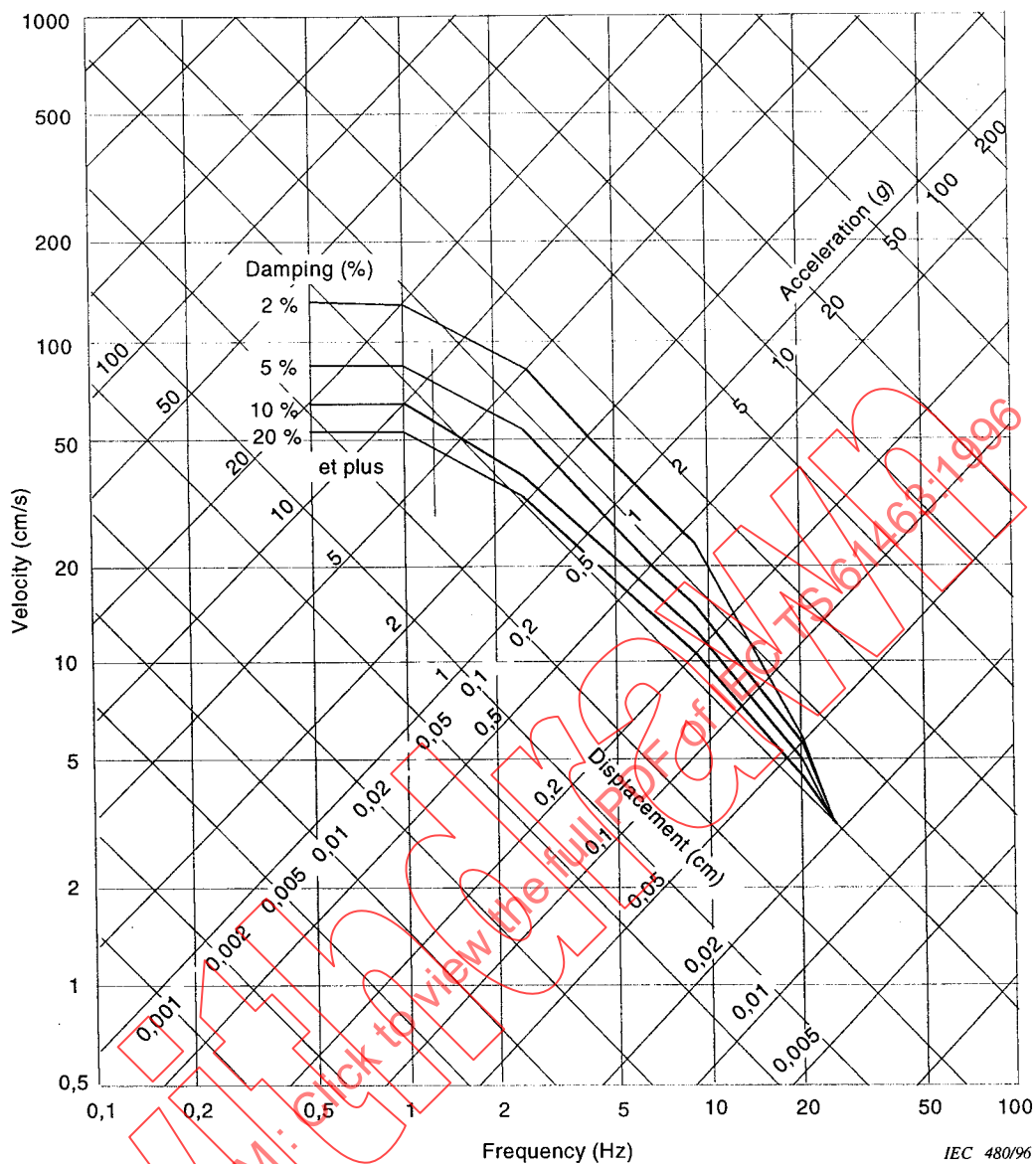
When reference is made to tests on apparatus similar to the actual, the following information should be given: description of both with details of their differences, test results and their extrapolation to the actual apparatus.



Fréquence Hz	Amplitude m/s ²			
	Amortissement 2 %	Amortissement 5 %	Amortissement 10 %	Amortissement 20 % et plus
0,5	4,3	2,9	2,1	1,8
1,0	8,5	5,2	4,3	3,2
2,4	14,0	8,7	6,4	5,2
9,0	14,0	8,7	7,3	6,1
20,0	7,5	7,0	6,4	5,2
25,0	5,0	5,0	5,0	5,0

NOTE – Selon la CEI 68-3-3, la valeur de g est arrondie à la valeur entière la plus proche soit 10 m/s².

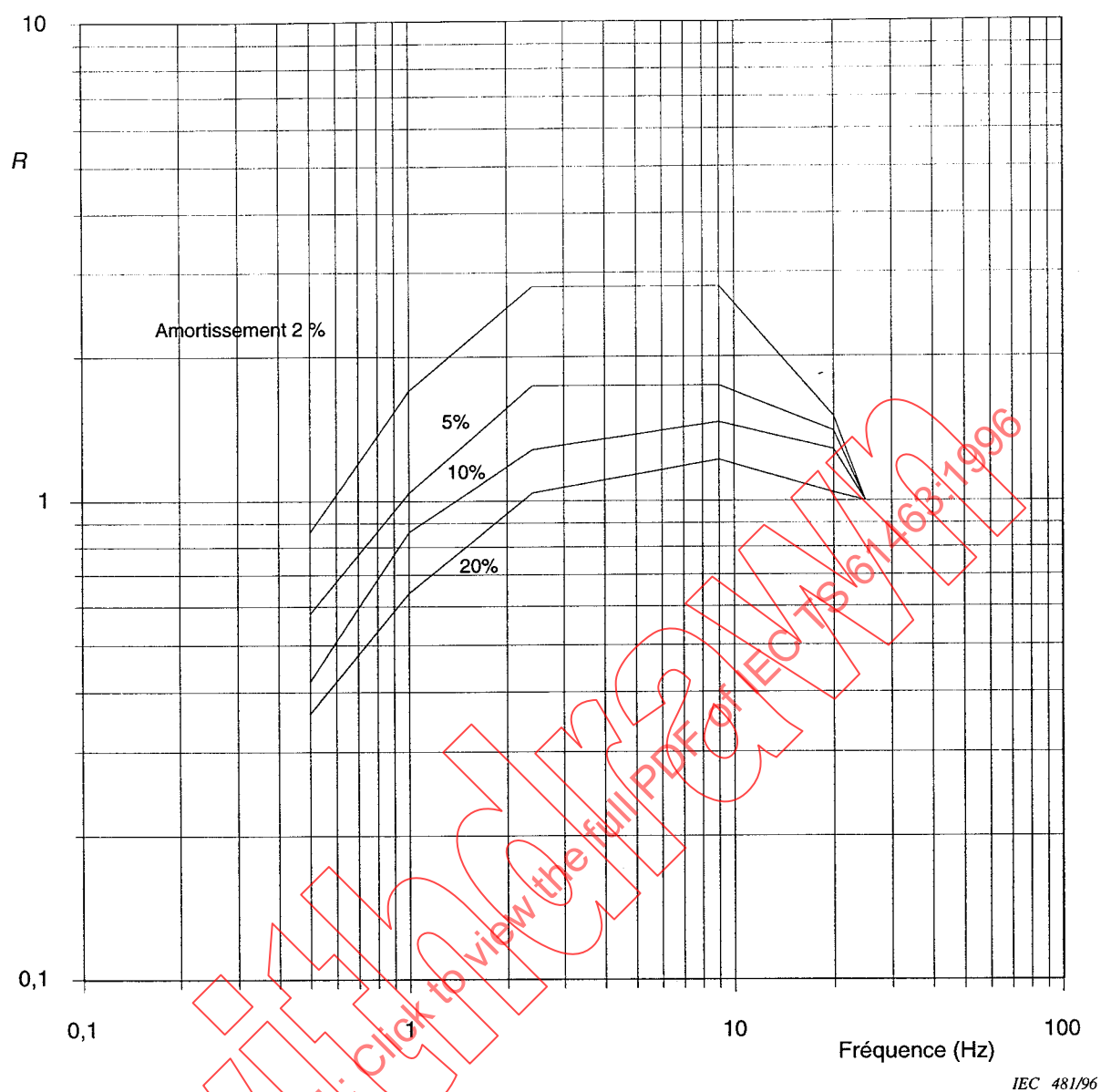
**Figure 1 – SRS pour matériel monté au sol – Niveau de qualification:
AG5: APN = 5 m/s² (0,5 g)**



Frequency Hz	Response acceleration m/s ²			
	Damping ratio 2 %	Damping ratio 5 %	Damping ratio 10 %	Damping ratio 20 % and more
0,5	4,3	2,9	2,1	1,8
1,0	8,5	5,2	4,3	3,2
2,4	14,0	8,7	6,4	5,2
9,0	14,0	8,7	7,3	6,1
20,0	7,5	7,0	6,4	5,2
25,0	5,0	5,0	5,0	5,0

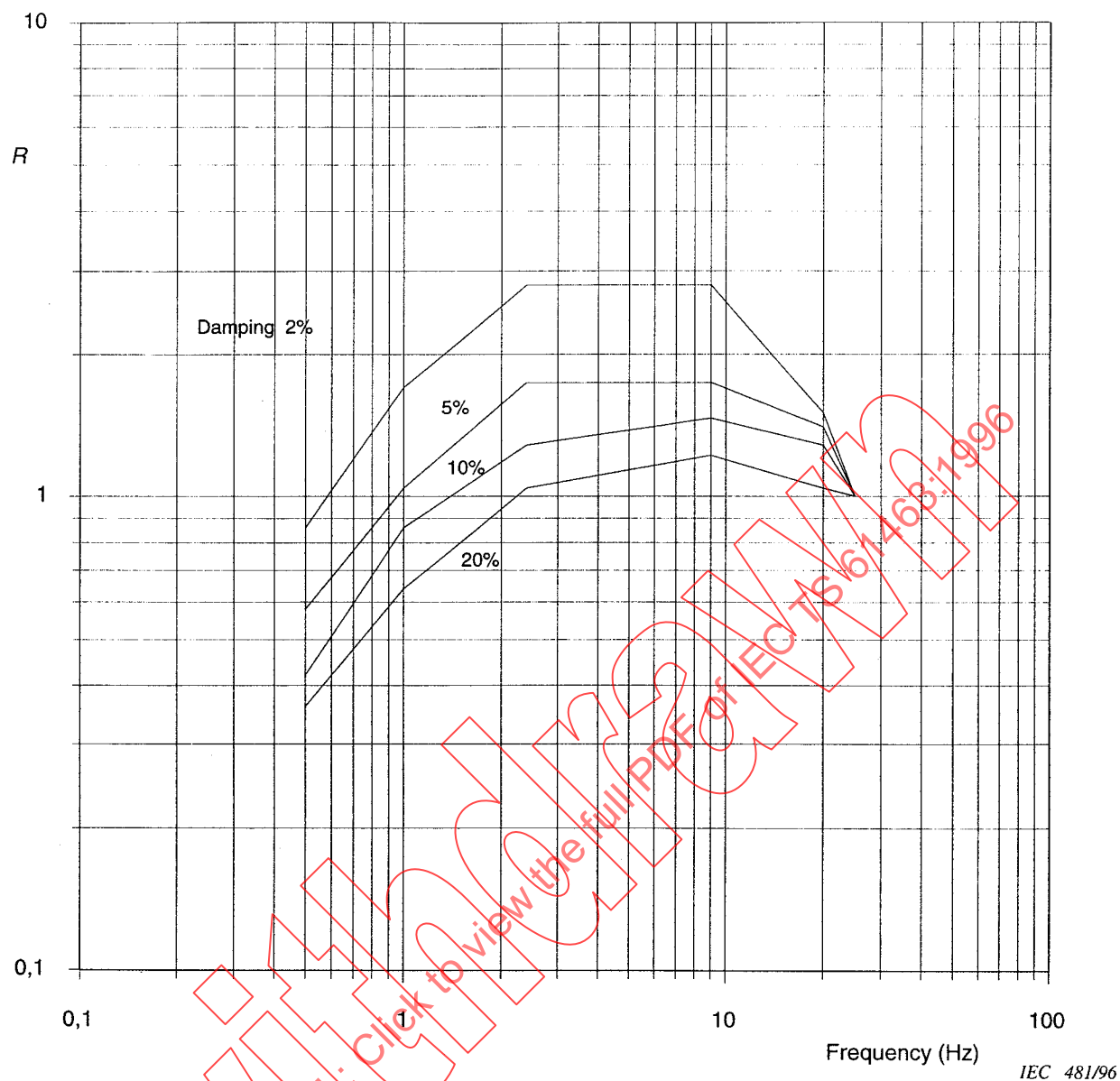
NOTE – According to IEC 68-3-3, the value of g is rounded up to the nearest unit, that is 10 m/s².

**Figure 1 – RRS for ground mounted equipment – Qualification level:
AG5: ZPA = 5 m/s² (0,5 g)**



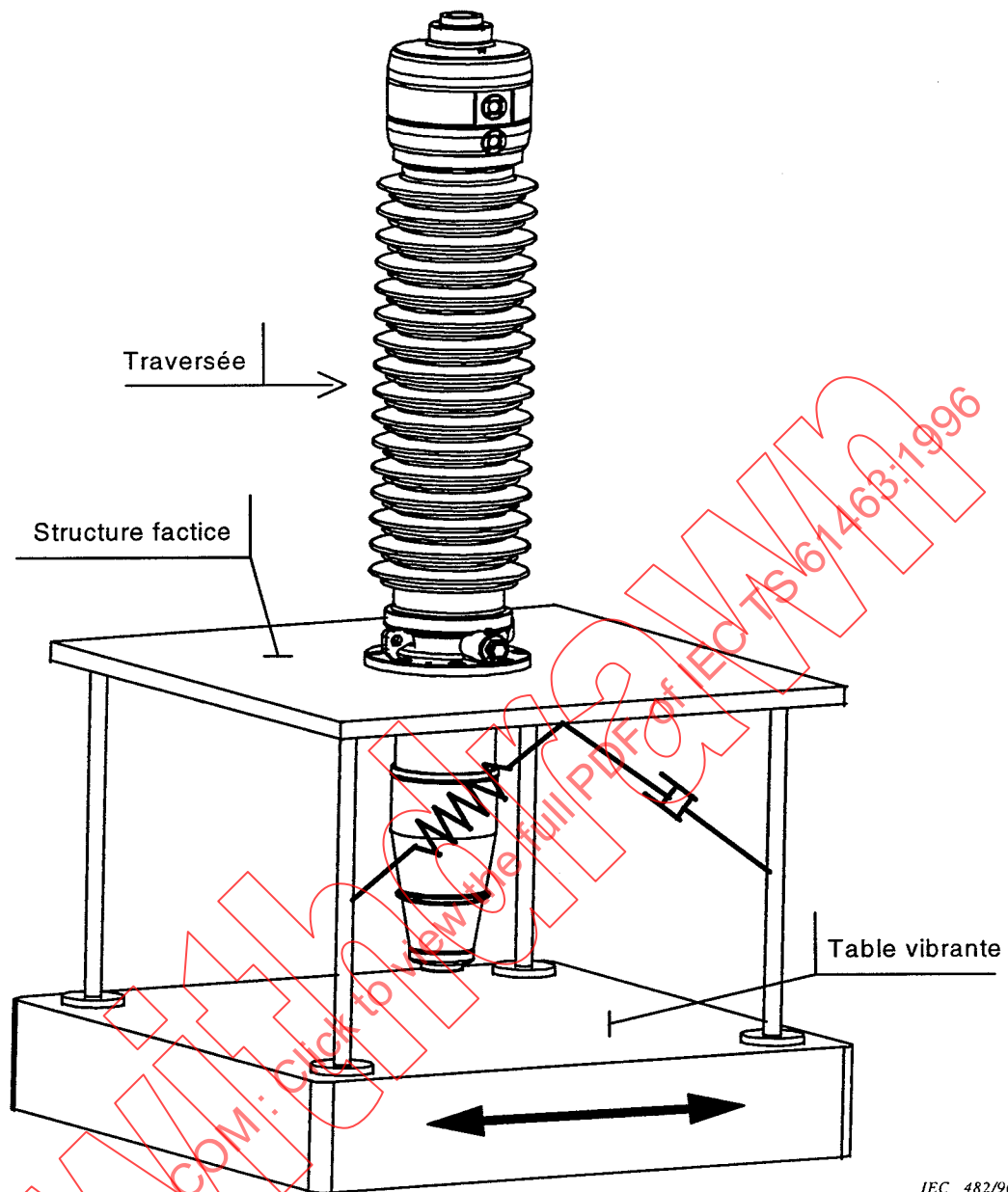
Fréquence Hz	Facteur de réponse R			
	Amortissement 2 %	Amortissement 5 %	Amortissement 10 %	Amortissement 20 % et plus
0,5	0,86	0,58	0,42	0,36
1,0	1,70	1,04	0,86	0,64
2,4	2,80	1,74	1,28	1,04
9,0	2,80	1,74	1,46	1,22
20,0	1,50	1,40	1,28	1,04
25,0	1,00	1,00	1,00	1,00

Figure 2 – Facteur de réponse R



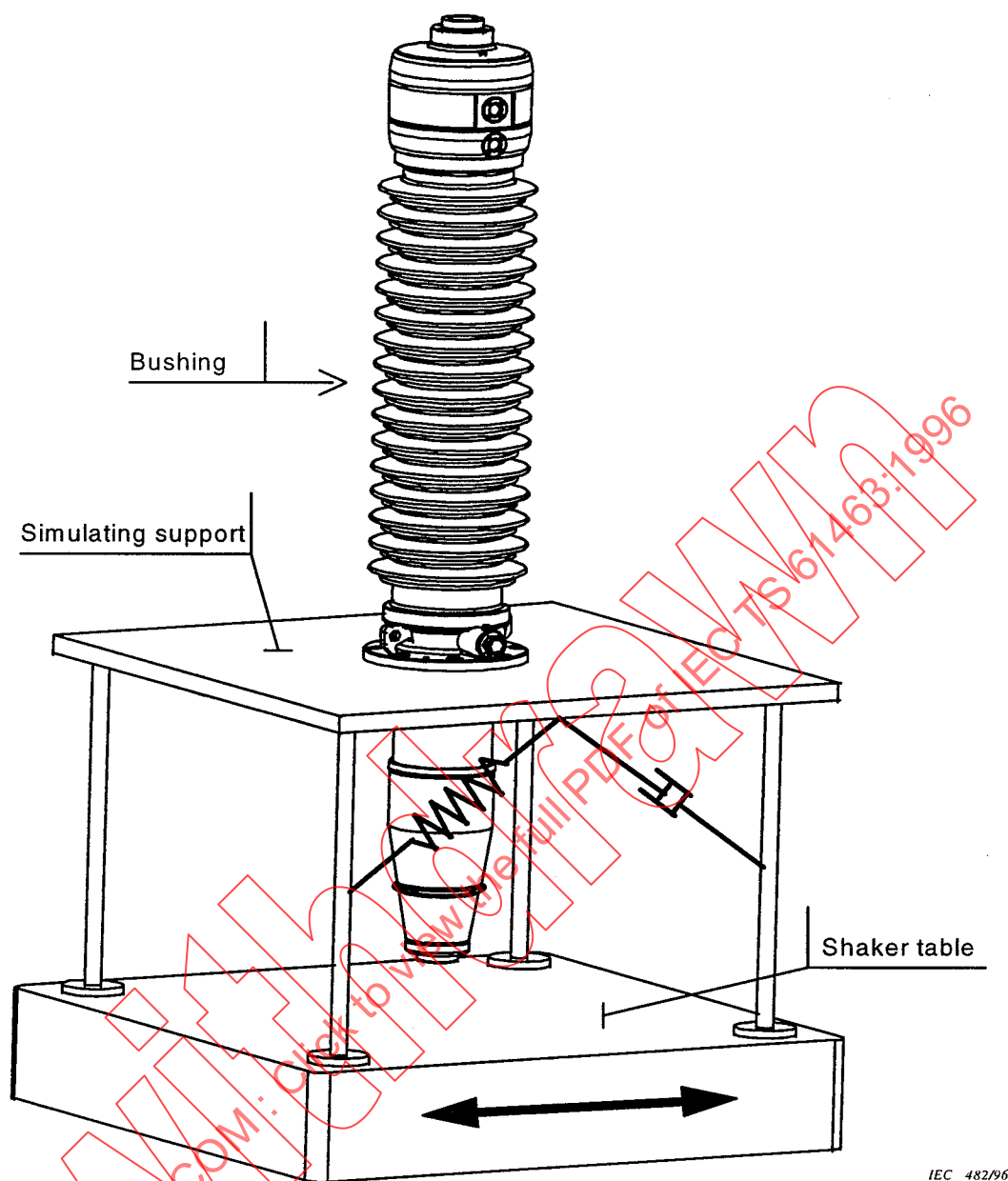
Frequency Hz	Response factor R			
	Damping ratio 2 %	Damping ratio 5 %	Damping ratio 10 %	Damping ratio 20 % and more
0,5	0,86	0,58	0,42	0,36
1,0	1,70	1,04	0,86	0,64
2,4	2,80	1,74	1,28	1,04
9,0	2,80	1,74	1,46	1,22
20,0	1,50	1,40	1,28	1,04
25,0	1,00	1,00	1,00	1,00

Figure 2 – Response factor R



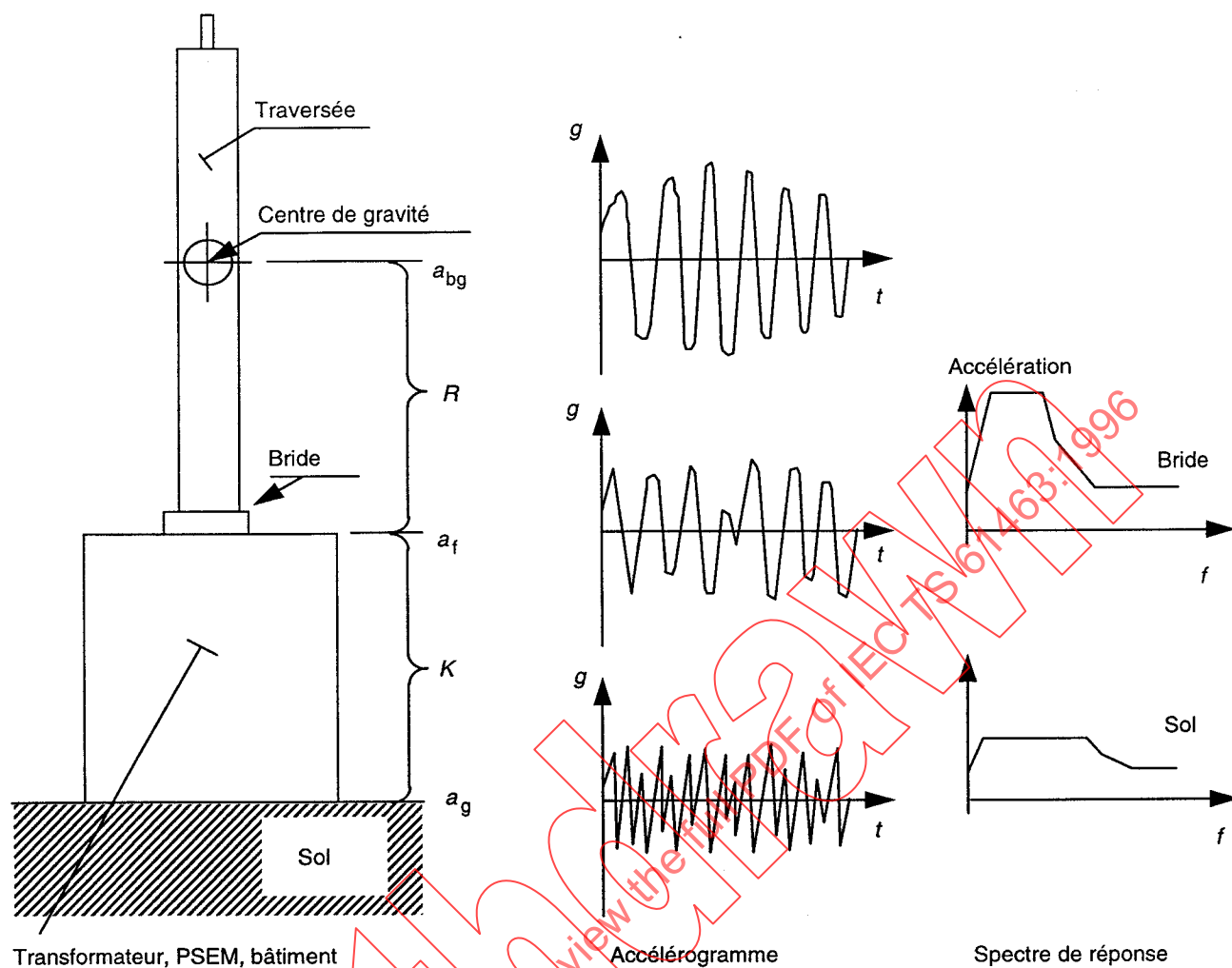
IEC 482/96

Figure 3 – Essai avec structure factice conformément à 9.3



IEC 482/96

Figure 3 – Test with simulating support according to 9.3



NOTE – Les accélérogrammes et les spectres de réponse particuliers ne sont donnés ici qu'à titre d'exemple.

Figure 4 – Détermination de la sévérité

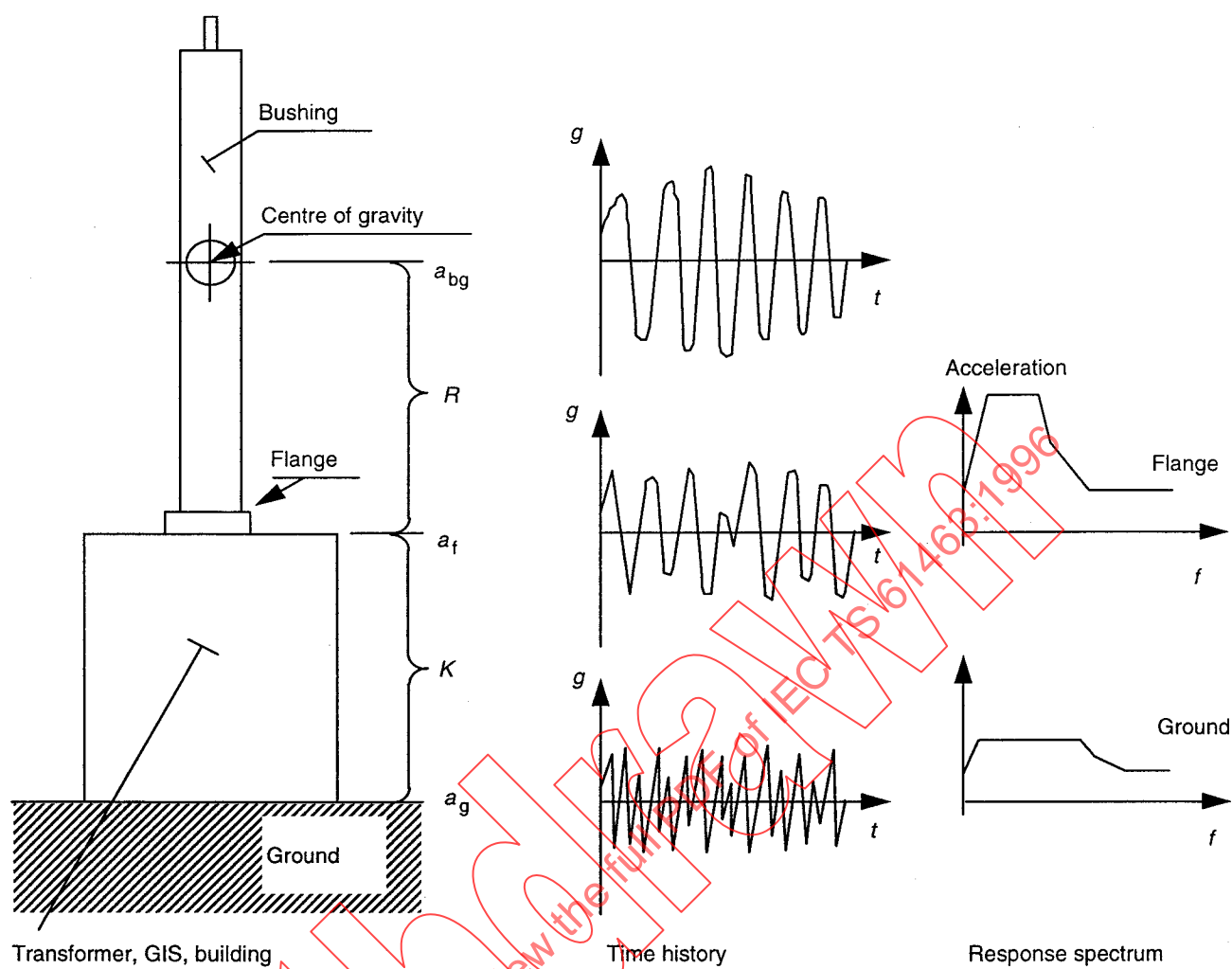
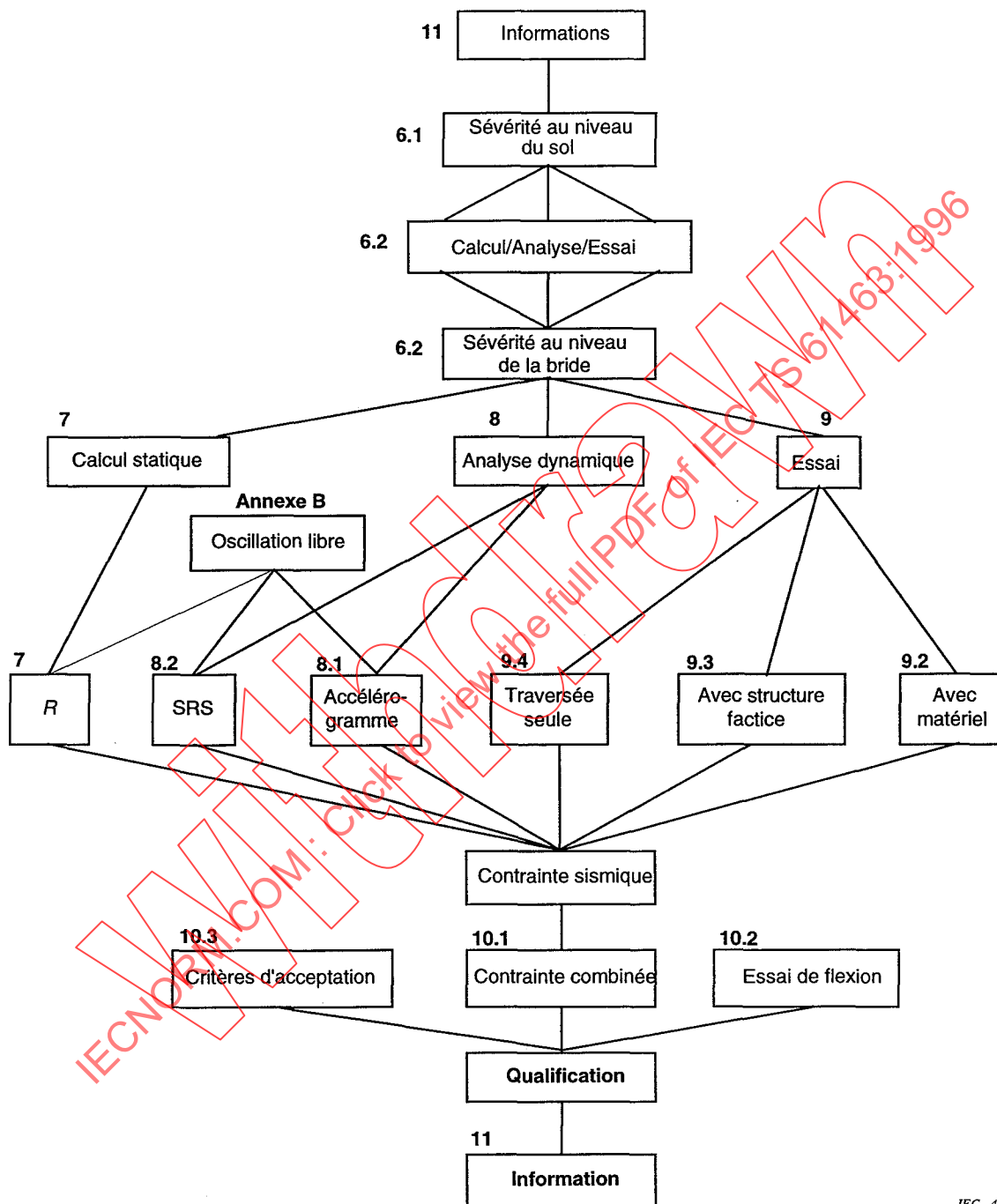


Figure 4 – Determination of the severity

Annexe A (informative)

Diagramme de qualification sismique



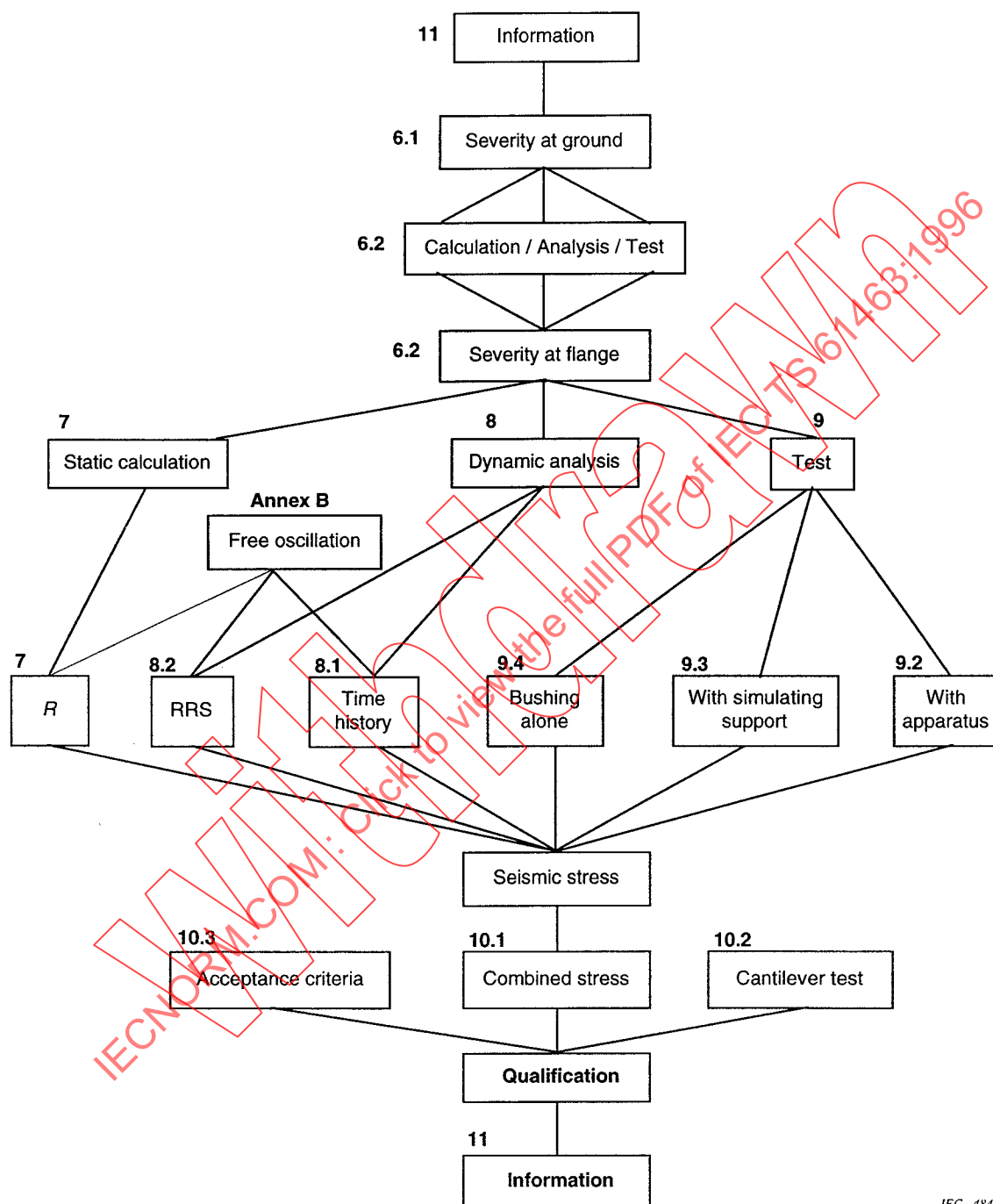
IEC 484/96

NOTE – Les chiffres indiqués au niveau de chaque bloc renvoient aux articles et aux paragraphes du présent rapport technique.

Figure A.1 – Diagramme de qualification sismique

Annex A (informative)

Flow chart for seismic qualification



IEC 484/96

NOTE – Numbers at the blocks refer to clauses and subclauses of this technical report.

Figure A.1 – Flow chart for seismic qualification

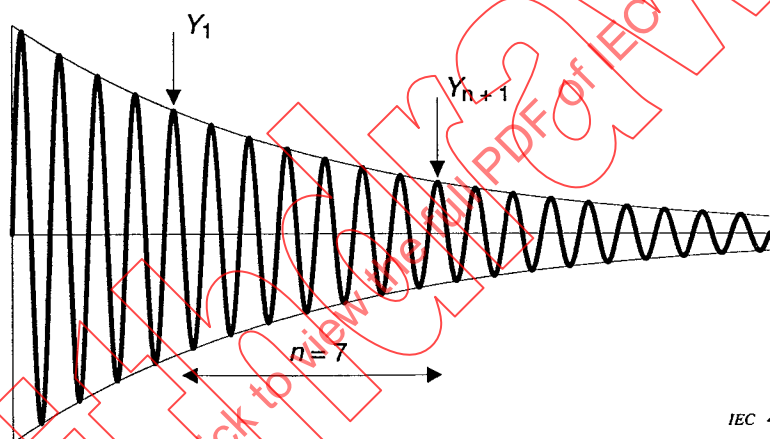
Annexe B (informative)

Essai d'oscillation libre

La fréquence naturelle et l'amortissement peuvent être déterminés par un essai d'oscillation libre. Il convient de prendre de grandes précautions pour distinguer les données relatives à la traversée et celles relatives au bâti d'essai. L'essai peut être effectué sur la traversée fixée sur le matériel, afin d'obtenir des indications pour son utilisation réelle. En raison du comportement dynamique non linéaire de la traversée, il est préférable que les amplitudes d'essai soient similaires à celles escomptées pendant un séisme, afin d'obtenir des valeurs de fréquence et d'amortissement correctes.

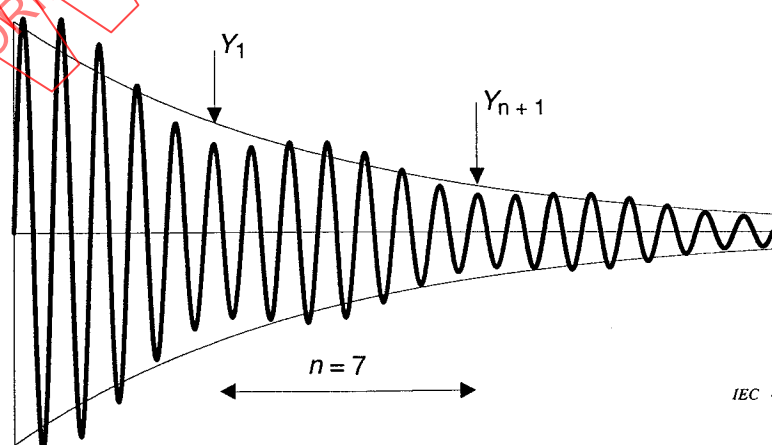
Il convient de monter la traversée de façon à reproduire les conditions de service sur le bâti d'essai ou sur le matériel et de relier une corde à l'une de ses extrémités, tirée avec une force correspondant aux contraintes sismiques escomptées, puis relâchée brusquement.

Des capteurs fixés sur l'isolateur et la bride enregistrent l'oscillation libre de la traversée. Si la bride oscille elle aussi, ce mouvement est soustrait si les valeurs à déterminer sont la fréquence et l'amortissement de la traversée elle-même.



n est le nombre de cycles.

Figure B.1 – Cas typique d'oscillations libres



n est le nombre de cycles

Figure B.2 – Cas d'oscillations libres avec battements

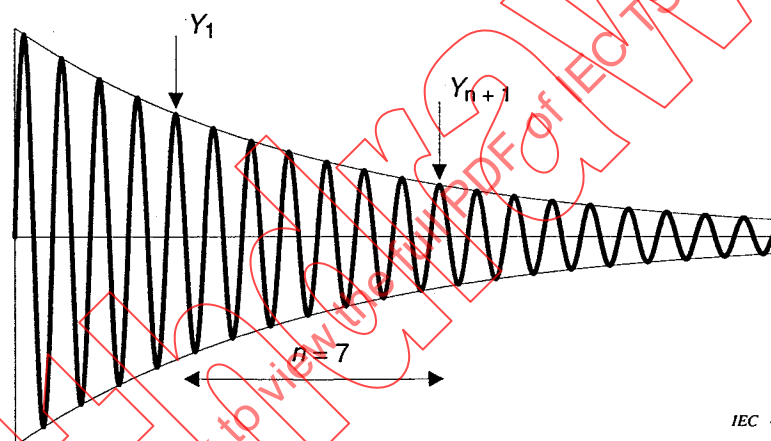
Annex B (informative)

Free oscillation test

The natural frequency and damping can be obtained by a free oscillation test. Great care should be taken to distinguish between the data of the bushing and the data of the test frame. The test can be performed on the bushing when it is mounted upon the apparatus to obtain data for the actual application. Due to non-linear dynamic behaviour of the bushing, the test should preferably be performed with amplitude levels similar to those expected during an earthquake, in order to obtain correct values on both frequency and damping.

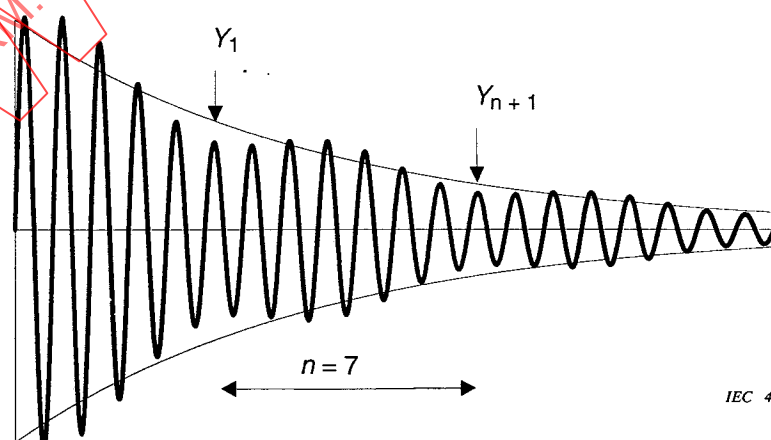
The bushing should be mounted as in service condition to the test frame or apparatus. A string should be connected to the terminal, pulled with a force corresponding to the expected earthquake stresses and then suddenly released.

Measurement transducers attached to the insulator and the bushing flange record the free oscillation of the bushing. If the flange also oscillates, this movement is subtracted if frequency and damping of the bushing itself are the sought values.



n represents the number of cycles.

Figure B.1 – Typical case of free oscillations



n represents the number of cycles.

Figure B.2 – Case of free oscillations with beats

La courbe exponentielle de la figure B.1 représente l'enveloppe des valeurs de crête. La courbe exponentielle de la figure B.2 représente la courbe obtenue par la méthode aux moindres carrés utilisant les valeurs de crête.

Le taux d'amortissement est calculé comme suit:

$$\frac{1}{2 \pi n} \times \ln \left(\frac{Y_n}{Y_{n+1}} \right) \times 100 \%$$

La fréquence naturelle et l'amortissement sont déterminés après quelques périodes, mais avant que l'amplitude soit trop réduite, comme indiqué aux figures B.1 et B.2.

Cette méthode est couramment utilisée pour mesurer la fréquence naturelle et l'amortissement. D'autres méthodes peuvent également être appliquées.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 61463:1996

The exponential curve in figure B.1 is the envelope of the peak values. The exponential curve in figure B.2 is obtained by using the least square roots of the peak values.

The damping ratio is calculated as follows:

$$\frac{1}{2\pi n} \times \ln \left(\frac{Y_n}{Y_{n+1}} \right) \times 100\%$$

The natural frequency and damping should be measured after a few periods, and before the amplitude has been significantly attenuated as shown in figures B.1 and B.2.

The method described is commonly used to measure natural frequency and damping. Other methods can also be used.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 61463:1996

Annexe C (informative)

Oscillations au centre de gravité

La vibration au centre de gravité de la traversée est un aspect important pour la qualification par calcul statique (voir article 7).

Comme expliqué ci-après, il n'existe aucune corrélation simple entre les vibrations survenant au centre de gravité de la traversée pendant un séisme et l'accélération équivalente a_{bg} utilisée à l'article 7. La valeur de a_{bg} sert à obtenir $M_s = a_{bg} \times d_p \times m_p$, ce qui donne, au niveau de la section critique, un moment fléchissant équivalant à celui survenant pendant un séisme. La relation $a_{bg} = a_f \times S_c \times R$ est expliquée dans les articles suivants.

C.1 Incidence du premier mode de flexion

En partant de l'hypothèse que la traversée s'apparente à une poutre libre encastrée et que l'onde sismique n'excite que le premier mode de flexion, la modélisation permet de déterminer, pour ce premier mode de flexion et pour une excitation sismique:

- le moment fléchissant à la base;
- l'accélération au centre de gravité de la traversée (a_{cg}).

On obtient ainsi: $a_{bg} = 1,67 \times a_{cg} = 0,89 \times R \times a_f$

En fait, on adopte couramment: $a_{bg} = R \times a_f$

NOTE – $a_{cg} = 0,54 \times R \times a_f$.

C.2 Détermination de S_c

Le coefficient S_c sert à prendre en compte les effets à la fois de l'excitation multifréquences et de la réponse multimode (voir définition de S_c donnée à l'article 4).

Dans le cas d'une traversée, c'est le premier mode de flexion, et parfois le deuxième, qui sont excités. Ce second mode a pour effet d'accroître au maximum de 4,5 % la contrainte due au premier mode. Il est recommandé de prendre une valeur de S_c comprise entre 1,0 et 1,5 sans marge de sécurité supplémentaire.

C.3 Valeur de a_{bg}

De ce qui précède, on obtient:

$$a_{bg} = S_c \times a_f \times R = 1,5 \times a_f \times R$$

Comme indiqué précédemment, a_{bg} s'écarte de la valeur de l'accélération au centre de gravité résultant de l'excitation sismique.

a_{bg} et a_{cg} s'écartent de la valeur mesurée au centre de gravité de la traversée montée sur la table vibrante reproduisant le SRS au niveau de la bride. Sur la table vibrante, on mesure l'accélération absolue qui résulte de tous les modes et, parfois, l'incidence des axes de couplage. a_{bg} et a_{cg} représentent une accélération relative également appelée pseudo-accélération. L'accélération relative provient de l'excitation sismique, comme expliqué ci-après.

Annex C (informative)

Oscillations at the centre of gravity

The vibration at the centre of gravity of the bushing is of importance for the qualification by static calculation (see clause 7).

As explained below, there is no simple relationship between the vibration occurring at the centre of gravity of the bushing during an earthquake and the equivalent acceleration a_{bg} used in clause 7. The value of a_{bg} is taken in order to obtain $M_s = a_{bg} \times d_p \times m_p$ that gives a bending moment at the critical cross-section equivalent to that occurring during an earthquake. The explanation of the relation $a_{bg} = a_f \times S_c \times R$ is given in the following clauses.

C.1 Effect of the first bending mode

It is assumed that the bushing is equivalent to a clamped free beam and that the seismic wave excites only the first bending mode. By computation of this model for the first bending mode, and for a seismic excitation, the following can be determined:

- the bending moment at the base;
- the acceleration of the centre of gravity of the bushing (a_{cg}).

Therefore: $a_{bg} = 1,67 \times a_{cg} = 0,89 \times R \times a_f$

This is commonly taken as: $a_{bg} = R \times a_f$

NOTE – $a_{cg} = 0,54 \times R \times a_f$

C.2 Determination of S_c

The coefficient S_c aims to take into account the effects of both multifrequency excitation and multimode response (see definition in clause 4).

In the case of a bushing, the first bending mode, and possibly the second bending mode, is excited. An increase in stress of 4,5 % maximum over that of the first bending mode, is obtained by the effect of the second bending mode. A value of S_c between 1,0 and 1,5 without any additional safety margin is recommended.

C.3 Value of a_{bg}

From the above:

$$a_{bg} = S_c \times a_f \times R = 1,5 \times a_f \times R$$

As explained above, a_{bg} is different from the acceleration at the centre of gravity due to the seismic excitation.

a_{bg} and a_{cg} differ from the value measured at the centre of gravity of the bushing excited on the shaker table with the RRS at the flange level. On the shaker table the absolute acceleration resulting from all modes is measured, sometimes with the effect of coupling axes. a_{bg} and a_{cg} represent a relative acceleration also called pseudo-acceleration. The relative acceleration comes from the seismic excitation as explained below.

Considérons le système à un degré de liberté suivant:

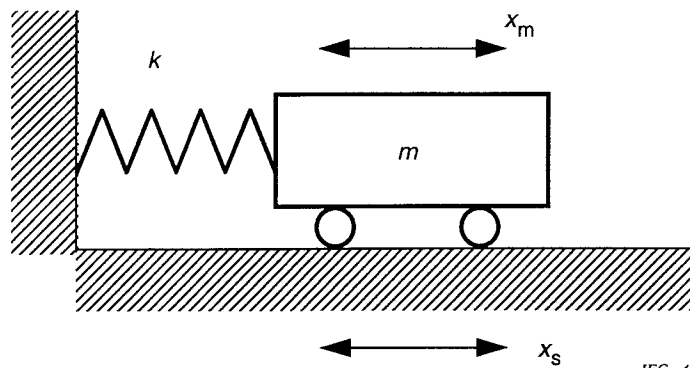


Figure C.1 – Système à un degré de liberté

L'équation du mouvement est:

$$m\ddot{x}_m + k(x_m - x_s) = 0$$

où

x_m est le déplacement absolu de la masse;

$\ddot{x}_m$ est l'accélération absolue de la masse;

x_s est le déplacement absolu de la base;

$\ddot{x}_s$ est l'accélération absolue de la base.

Ce qui donne: $m\ddot{X} + kX = -m\ddot{x}_s$

où

X est le déplacement relatif ($x_m - x_s$);

$\ddot{X}$ est l'accélération relative ($\ddot{x}_m - \ddot{x}_s$);

$-m\ddot{x}_s$ est la force agissant sur le système.

La modélisation permet d'obtenir $\ddot{X}$ (nommé a_{cg} en C.1). Alors a_{cg} représente l'accélération relative au centre de gravité de la traversée.

Le moment fléchissant (et la contrainte au niveau de la section critique) est corrélé à l'accélération relative et non à l'accélération absolue. Cependant, le terme accélération est couramment utilisé pour désigner l'accélération relative.

Consider the following single degree of freedom system:

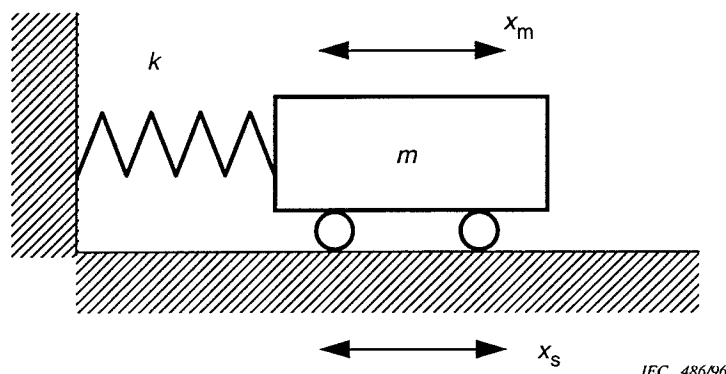


Figure C.1 – Single degree of freedom system

The equation of motion is:

$$m\ddot{x}_m + k(x_m - x_s) = 0$$

where

x_m is the absolute displacement of the mass;

$\ddot{x}_m$ is the absolute acceleration of the mass;

x_s is the absolute displacement of the base;

$\ddot{x}_s$ is the absolute acceleration of the base.

That gives: $m\ddot{x} + kx = -m\ddot{x}_s$

where

x is the relative displacement ($x_m - x_s$);

$\ddot{x}$ is the relative acceleration ($\ddot{x}_m - \ddot{x}_s$);

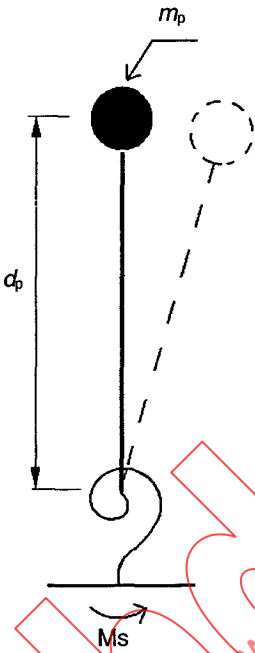
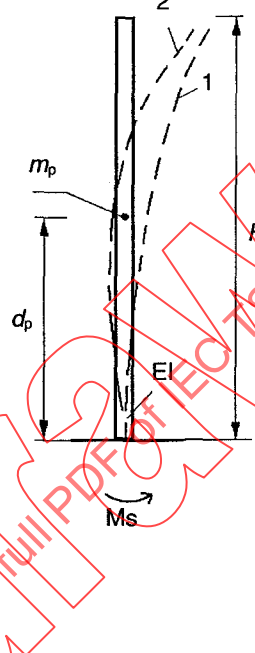
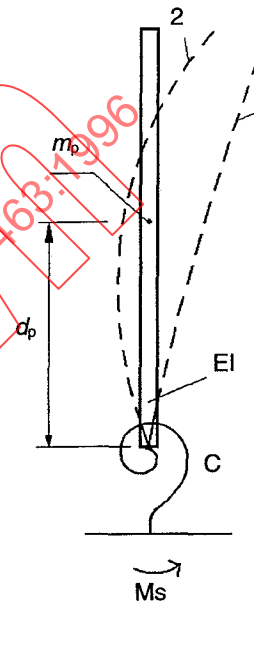
$-m\ddot{x}_s$ is the force acting on the system.

By computation, a value $\ddot{x}$ (termed a_{cg} in C.1) is obtained. Then a_{cg} represents the relative acceleration at the centre of gravity of the bushing.

The bending moment (and stress at the critical cross-section) is connected to the relative acceleration and not to the absolute acceleration. Commonly speaking, the term acceleration is used for relative acceleration.

C.4 Réponse sismique type d'une structure de type poutre en flexion

Tableau C.1 – Exemple de réponse sismiques type

Caractéristique	Type de structure								
	Masse simple (masse concentrée)			Déformée de flexion (base encastrée)			Barre élastique articulée, à raideur angulaire (base élastique)		
Hauteur (H) = 5,0 m d_p = 2,5 m Masse (m_p) = 1250 kg Raideur de flexion (EI) = 32,8 MN/m ² Taux d'amortissement = 2 % Raideur du ressort (C) = 4,3 MN · m/rad									
	Mode 1	Mode 2	RCSQ	Mode 1	Mode 2	RCSQ	Mode 1	Mode 2	RCSQ
Fréquence naturelle (HZ)	3,7	–	–	8,0	46,9	–	3,0	35,3	–
Réponse en accélération (m/s ²)	14	–	–	14	5	–	14	5	–
a_{cg} (m/s ²)	14	–	14	5,8	3,0	6,5	10,5	2,2	10,7
Accélération au sommet (m/s ²)	–	–	–	21,6	4,1	22,0	21,0	3,6	21,3
M_s (N · m)	43 750	–	43 750	39 135	1250	39 155	43 217	152	43 217

NOTE – Les valeurs de ce tableau sont obtenues par une analyse aux éléments finis (type de poutre Timoshenko).

De nombreux types de matériels électriques peuvent être considérés comme une structure de type poutre en flexion reliée à des fondations uniquement au niveau de leur base. Les traversées, les transformateurs de mesure et les parafoudres en constituent quelques exemples. La réponse sismiques de ce type de structure peut être prévue sur la base de formules connues relatives au comportement dynamique des structures.

Les caractéristiques élastiques des matériels se situent dans des limites qui sont fonction du comportement d'une poutre élastique déformée par flexion et d'une barre élastique articulée dotée d'une raideur angulaire au niveau de sa base.

La réponse sismique est généralement dominée par le mode de structure le plus bas (les exceptions peuvent être constituées par des structures non rigides dont la fréquence naturelle la plus basse est inférieure à 1 Hz), et notamment dans la mesure où la méthode de la racine carrée de la somme quadratique (RCSQ) peut être utilisée pour combiner la réponse modale à la valeur de conception résultante.