NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
980

Première édition
First edition
1989-06

Pratiques recommandées pour la qualification sismique du matériel électrique du système de sûreté dans les centrales électronucléaires

Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 980: 1989

Numéros des publications

Depuis le 1er 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.

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
980

Première édition
First edition
1989-06

Pratiques recommandées pour la qualification sismique du matériel électrique du système de sûreté dans les centrales électronucléaires

Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations

© IEC 1989 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission 3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 e-mail: inmail@iec.ch IEC web site http: //www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE W

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

SOMMAIRE

Pages

AVANT-PROPOS 4

Articles

1 Domaine d'application et objet 6

2 Définitions 6

3 Environnement sismique et réponse du matériel 12

3.1 Environnement sismique 12
3.2 Matériel installé sur des fondations 12
3.3 Matériel installé dans des structures 12
3.4 Simulation d'un séisme 12
3.5 Accélérogramme 12
3.6 Amortissement 14

4 Exigences relatives à la qualification sismique 14

4.1 Introduction 14
4.2 Détermination de la qualification sismique 14

5 Analyse de qualification sismique (AQS) 18

5.1 Examen du matériel 20
5.2 Examen des sous-ensembles - Conditions limites et interactions 20
5.3 Opérations de qualification 24
5.4 Synthèse 30

6 Qualification sismique par essais 30

6.1 Introduction 30
6.2 Conditions d'essais 32
6.3 Essais monoaxial et multiaxial 44
6.4 Choix des ondes d'essai 48
6.5 Formes d'ondes d'essai 48

7 Documentation 54

7.1 Généralités 54
7.2 Qualification par l'analyse 54
7.3 Qualification par les essais 54
7.4 Continuité 54

FIGURES 56

ANNEXE A - Qualification par l'expérience 72

A.1 Introduction 72
A.2 Données d'expérience 72
A.3 Similitude 74

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

Clause

1 Scope and object 7

2 Definitions 7

3 Earthquake environment and equipment response 13

3.1 Earthquake environment 13
3.2 Equipment on foundations 13
3.3 Equipment in structures 13
3.4 Simulating the earthquake 13
3.5 Time history 13
3.6 Damping 15

4 Seismic qualification requirements 15

4.1 Introduction 15
4.2 The process of seismic qualification 15

5 Seismic qualification analysis (SQA) 19

5.1 Equipment review 21
5.2 Sub-assembly review - Boundary conditions and interactions 21
5.3 Qualification actions 25
5.4 Synthesis 31

6 Seismic test qualification 31

6.1 Introduction 31
6.2 Test conditions 33
6.3 Single and multiaxis testing 45
6.4 Test wave selection 49
6.5 Testing waveforms 49

7 Documentation 55

7.1 General 55
7.2 Qualification by analysis 55
7.3 Qualification by test 55
7.4 Continuity 55

FIGURES 57

ANNEX A - Qualification by experience 73

A.1 Introduction 73
A.2 Experience data 73
A.3 Similarity 75

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRATIQUES RECOMMANDÉES POUR LA QUALIFICATION SISMIQUE DU MATÉRIEL ÉLECTRIQUE DU SYSTÈME DE SÛRETÉ DANS LES CENTRALES ÉLECTRONUCLÉAIRES

AVANT-PROPOS

1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.

2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.

3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 45A: Instrumentation des réacteurs, du Comité d'Etudes n° 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
45A(BC)103	45A(BC)111

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

La publication suivante de la CEI est citée dans la présente norme:

Publication n° 780 (1984): Qualification des constituants électriques du système de sûreté des centrales électronucléaires.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RECOMMENDED PRACTICES FOR SEISMIC QUALIFICATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF THE SAFETY SYSTEM FOR NUCLEAR GENERATING STATIONS

FOREWORD

1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.

2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.

3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This standard has been prepared by Sub-Committee 45A: Reactor instrumentation, of IEC Technical Committee No. 45: Nuclear instrumentation.

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

Six Months' Rule	Report on the Voting
45A(CO)103	45A(CO)111

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

The following IEC publication is quoted in this standard:

Publication No. 780 (1984): Qualification of electrical items of the safety system for nuclear power generating stations.

PRATIQUES RECOMMANDÉES POUR LA QUALIFICATION SISMIQUE DU MATÉRIEL ÉLECTRIQUE DU SYSTÈME DE SÛRETÉ DANS LES CENTRALES ÉLECTRONUCLÉAIRES

1 Domaine d'application et objet

La présente norme s'applique au matériel électrique et au matériel d'instrumentation et de contrôle-commande du système de sûreté utilisés dans les centrales électronucléaires, y compris les composants ou les matériels faisant partie de toute interface dont la défaillance pourrait affecter défavorablement les performances du système de sûreté.

Cette norme présente les méthodes acceptables de qualification sismique et les exigences permettant de démontrer que le matériel électrique et de contrôle-commande peuvent remplir leur fonction de sûreté pendant et après un séisme. Puisque la qualification sismique n'est qu'une partie de la qualification du matériel, cette norme doit être utilisée conjointement avec la CEI 780.

2 Définitions

En complément aux définitions contenues dans la CEI 780, les définitions suivantes établissent le sens de mots pris dans le contexte de cette norme.

En général, cette norme est basée sur la terminologie de l'AIEA.

2.1 *Elément*

Partie de l'équipement électrique utilisé, soit en liaison avec d'autres éléments, soit comme auxiliaire d'autres éléments.

2.2 *Assemblage*

Association de deux éléments ou davantage possédant une structure commune de fixation ou de support.

2.3 *Matériel actif*

Matériel dont la fonction de sûreté doit être remplie par un mouvement mécanique ou un changement d'état.

2.4 *Matériel passif*

Matériel pour lequel la fonction de sûreté se limite à l'intégrité de la structure et ne nécessite pas de changement d'état.

2.5 *Mauvais fonctionnement*

Perte de l'aptitude d'un matériel à accomplir ou à maintenir une fonction requise ou initiation d'une action parasite intempestive entraînant des conséquences néfastes. Les critères fonctionnels d'acceptation doivent être précisés dans des spécifications particulières.

2.6 *Fréquence naturelle*

La fréquence naturelle d'une structure ou d'un bâti est la fréquence de ses vibrations libres considérées uniquement en fonction de ses caractéristiques physiques propres (masse, forme, élasticité et distribution de l'amortissement) et de ses fixations et supports (voir figure 1).

RECOMMENDED PRACTICES FOR SEISMIC QUALIFICATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF THE SAFETY SYSTEM FOR NUCLEAR GENERATING STATIONS

1 Scope and object

This standard is applicable to electrical equipment and the instrumentation and control equipment (I & C) of the safety system that is used in nuclear power generating stations including components or equipment of any interface whose failure could adversely affect the performance of the safety system.

This standard presents acceptable seismic qualification methods and requirements to demonstrate that electrical and I & C equipment can perform their safety-related functions during and after an earthquake. As seismic qualification is only a part of equipment qualification, this standard shall be used in conjunction with IEC 780.

2 Definitions

In addition to definitions contained in IEC 780, the following definitions establish the meanings of words in the context of their use in this standard.

In general, this standard is based on IAEA terminology.

2.1 *Device*

An item of electrical equipment that is used in connection with, or as an auxiliary to, other items of electrical equipment.

2.2 *Assembly*

Two or more devices including a common mounting or supporting structure.

2.3 *Active equipment*

Item for which the safety-related function is required to be performed by means of a mechanical motion or change of state.

2.4 *Passive equipment*

Item whose safety-related function is the maintenance of structural integrity and for which a change of state is not required.

2.5 *Malfunction*

The loss of capability of the equipment to initiate or sustain a required function, or the initiation of undesired spurious action which might result in adverse consequences. Functional acceptance criteria shall be specified by relevant specifications.

2.6 *Natural frequency*

A natural frequency of a structure or body is the frequency of its free vibrations depending only on its own physical characteristics (mass, shape, elasticity and damping distribution) and restraints and supports (see figure 1).

2.7 *Sinusoïde modulée*

Onde sinusoïdale continue et monofréquentielle dont l'amplitude est modulée par une onde sinusoïdale de plus basse fréquence, comme le montre la figure 2.

2.8 *Sinusoïde à fréquence fixe (Stabilisation sinusoïdale)*

Onde sinusoïdale continue à fréquence unique.

2.9 *Fréquence d'essai*

Fréquence de la force d'excitation appliquée au spécimen pendant l'essai.

2.10 *Spectre de réponse*

Représentation en fonction de la fréquence de la réponse maximale d'une batterie d'oscillateurs à 1 degré de liberté calés à un même taux d'amortissement résultant de l'application d'une même excitation sismique (voir figure 4).

2.11 *Spectre de réponse à bande étroite*

Spectre de réponse relatif à un mouvement dont la réponse amplifiée se situe dans une gamme limitée (étroite) de fréquences.

2.12 *Spectre de réponse à bande large*

Spectre de réponse relatif à un mouvement dont la réponse amplifiée se situe dans une gamme étendue (large) de fréquences.

2.13 *Spectre de réponse spécifié (SRS)*

Spectre de réponse défini par l'utilisateur comme faisant partie de ses propres spécifications pour l'essai de conformité, ou créé artificiellement afin de couvrir de futures applications. Le SRS constitue une exigence qu'il faut satisfaire (voir figures 1 et 2).

2.14 *Spectre de réponse d'essai (SRE)*

Spectre de réponse obtenu à partir du mouvement réel de la table vibrante par des techniques analytiques ou au moyen de matériels d'analyses spectrales.

NOTE - Dans la qualification du matériel, le SRE doit être comparé au SRS (voir figure 1).

2.15 *Densité spectrale de puissance (DSP)*

Moyenne quadratique de l'amplitude par unité de fréquence d'une forme d'onde. Pour des formes d'onde d'accélération, le DSP est exprimé en fonction de la fréquence, en g^2/Hz.

2.16 *Axes préférentiels d'essai*

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

2.7 *Sine beat*

A continuous sinusoidal wave of one frequency whose amplitude is modulated by a sinusoidal wave of a lower frequency as shown in figure 2.

2.8 *Sine dwell*

A continuous sinusoidal wave at a single frequency.

2.9 *Test frequency*

The frequency of the applied force by which the specimen is excited during the test.

2.10 *Response spectrum*

Plot of the maximum response, as a function of oscillator frequency, of an array of single-degree-of-freedom damped oscillators subjected to the same base excitation (see figure 4).

2.11 *Narrow-band response spectrum*

A response spectrum that describes motion in which amplified response occurs over a limited (narrow) range of frequencies.

2.12 *Broad-band response spectrum*

Response spectrum that describes motion in which amplified response occurs over a wide (broad) range of frequencies

2.13 *Required response spectrum (RRS)*

Response spectrum issued by the user as part of the specifications for proof testing, or artificially created to cover future application. The RRS constitutes a requirement to be met (see figures 1 and 2).

2.14 *Test response spectrum (TRS)*

Response spectrum that is obtained from the actual motion of the shake table by analytical techniques or by spectrum analysis equipment.

NOTE - In equipment qualification, the TRS shall be compared to the RRS (see figure 1).

2.15 *Power spectral density (PSD)*

Mean squared amplitude per unit frequency of a waveform. PSD is expressed in g^2/Hz versus frequency for acceleration waveforms.

2.16 *Preferred testing axes*

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

2.17 *Séisme de niveau S1**

Séisme susceptible de se produire sur le lieu de l'installation pendant la durée de vie du matériel à qualifier. Pour ce niveau de séisme, les composants doivent être conçus de manière à continuer de fonctionner sans modification.

2.18 *Séisme de niveau S2**

Pour ce niveau de séisme produisant un mouvement de terrain vibratoire maximal pour lequel certains systèmes, structures et composants sont conçus pour rester fonctionnels. Ils sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement, l'intégrité et la sûreté de tout le système à qualifier.

2.19 *Accélération au plancher*

Accélération relative à un plancher ou à un niveau particulier de bâtiment résultant d'un séisme donné.

2.20 *Accélération à période nulle (APN)*

Niveau de l'accélération de la partie du spectre de réponse à haute fréquence non amplifiée. Ce niveau correspond au pic maximal d'accélération de l'accélérogramme qui est à l'origine du spectre de réponse d'oscillateur.

2.21 *Cycle d'amplitude significative*

Cycle dont l'amplitude se situe entre 50 % et 100 % de l'amplitude maximale du mouvement.

2.22 *Qualification par essai*

La qualification séismique par essai consiste à soumettre le matériel à une excitation vibratoire appropriée, de façon à s'assurer qu'il est capable de résister aux sollicitations vibratoires égales ou supérieures à celles produites dans des événements sismiques. Un événement sismique est normalement représenté par le spectre de réponse exigé.

2.23 *Aptitude limite*

Eventualité de mauvais fonctionnement d'un matériel résultant de limitations d'ordre structurel ou opérationnel, ou des deux à la fois.

2.24 *Niveau de fragilité limite*

Valeur maximale d'excitation d'entrée exprimée en fonction de la fréquence d'entrée qu'un matériel peut supporter en gardant son aptitude à remplir sa fonction de sûreté. Le niveau de fragilité limite peut s'exprimer en termes de spectre de réponse d'oscillateurs (spectre de réponse d'essai d'aptitude limite: SRAL) qui est le SRE obtenu au cours des essais pour la détermination du niveau de fragilité limite.

---

* Les définitions de séismes de niveaux S1 et S2, données dans le Guide de Sûreté AIEA 50-SG-S1 sont les suivantes:

- Mouvement de terrain de niveau 1 (S1):
Mouvement de terrain maximal dont la probabilité d'apparition dans la zone de site peut être raisonnablement envisagée au moins une fois dans la zone du site pendant la durée de vie de la centrale nucléaire.

- Mouvement de terrain de niveau 2 (S2):
Mouvement de terrain considéré comme le séisme potentiel maximal dans la zone du site.

2.17 *S1 earthquake**

Earthquake which could affect the location during the operating life of the equipment to be qualified. For this type of earthquake, components shall be designed to continue to operate without modification.

2.18 *S2 earthquake**

Earthquake which produces the maximum vibratory ground motion for which certain structures, systems and components are designed to remain functional. Those are essential to assure proper function, integrity and safety of the total system which is to be qualified.

2.19 *Floor acceleration*

Acceleration of a particular building floor or level resulting from a specific earthquake's motion.

2.20 *Zero period acceleration (ZPA)*

Acceleration level of the high frequency, non-amplified portion of the response spectrum. This acceleration corresponds to the maximum peak acceleration of the time history from which the spectrum is derived.

2.21 *Significant cycle*

Cycle for which the amplitude range is between 50 % to 100 % of the maximum amplitude of the motion.

2.22 *Qualification testing*

Seismic qualification testing means subjecting the equipment to a suitable vibratory input motion so as to ensure that the equipment is capable of withstanding vibratory loads equal to or greater than those produced by seismic event(s). The seismic events are normally represented by the required response spectrum.

2.23 *Fragility*

Susceptibility of equipment to malfunction as a result of structural or operational limitation, or both.

2.24 *Fragility level*

Highest level of input excitation, expressed as a function of input frequency, that equipment can withstand and still perform the required safety related function. The fragility level can be expressed in terms of response spectrum (fragility response spectrum FRS) that is a TRS obtained from tests to determine the fragility level.

---

* The definitions of S1 and S2 earthquakes given by IAEA Safety Guide 50-SG-S1 are:

- Ground motion level 1 (S1):
Maximum ground motion which reasonably can be expected to be experienced at the site area once during the operating life of the nuclear power plant.

- Ground motion level 2 (S2):
Ground motion which is considered to be the maximum earthquake potential at the site area.

3 Environnement sismique et réponse du matériel

Cet article est destiné à fournir des indications sur le comportement sismique et les performances dynamiques du matériel au cours des séismes et des événements sismiques simulés. Les valeurs numériques caractéristiques sont données à titre d'exemple, mais il convient de ne pas les considérer comme des valeurs normalisées.

3.1 *Environnement sismique*

Les séismes provoquent des mouvements aléatoires du sol, caractérisés par des composantes simultanées mais statistiquement indépendantes, l'une horizontale, l'autre verticale. Un séisme d'intensité 6 ou plus sur l'échelle de Richter peut durer de 15 s à 30 s et provoquer une accélération maximale horizontale du sol, de 0,1 g à 0,6 g ou plus, avec un déploiement d'énergie maximale intervenant dans les premières 5 ou 10 s. Le mouvement aléatoire type à large bande se produit dans la gamme de fréquences de 1 Hz à 35 Hz.

3.2 *Matériel installé sur des fondations*

L'amplitude du mouvement vibratoire du sol, horizontale et verticale, peut être amplifiée sur le matériel installé sur des fondations. Pour un mouvement du sol donné, l'amplification dépend des fréquences naturelles de vibrations du système (sol, fondation et matériel) et des mécanismes d'amortissement (voir 3.6). Les spectres de réponse type à bande large qui décrivent le mouvement du sol indiquent la prédominance d'une excitation multifréquentielle.

3.3 *Matériel installé dans des structures*

Le mouvement vibratoire du sol, horizontal et vertical, peut être filtré et amplifié par les structures soumises au séisme et produire des mouvements différents. La réponse dynamique du matériel installé sur le plancher peut atteindre une accélération égale à plusieurs fois l'accélération maximale du sol en fonction de l'amortissement du système et des fréquences naturelles de vibration. L'amplification et la largeur de bande de fréquence dépendent des caractéristiques dynamiques de réponse de chaque bâtiment et structure du matériel.

3.4 *Simulation d'un séisme*

Le but de la simulation est de reproduire au mieux les effets des conditions sismiques possibles.

La forme du mouvement sismique simulée pour la qualification du matériel par analyse ou essais peut être décrite au moyen de l'une des données suivantes: représentation temporelle, spectre de réponse ou fonction de densité spectrale de puissance (DSP). Ces données peuvent être établies pour les structures sur lesquelles le matériel doit être installé. Elles doivent être fournies par l'utilisateur ou son représentant auprès du constructeur, comme faisant partie des spécifications de ce matériel (voir article 5), ou bien établies par le constructeur afin de couvrir les utilisations futures.

En raison aussi bien de la nature directionnelle du mouvement sismique que du déplacement résultant et filtré des structures, il y a lieu de spécifier la direction des composantes du mouvement et leur application au matériel.

3.5 *Accélérogramme*

La forme prévisible du mouvement est obtenue à partir de relevés sismiques réels ou générés artificiellement. Pour permettre une utilisation sur tout type de planchers, la représentation temporelle générée comprend les effets du filtrage dynamique et de l'amplification apportée par le bâtiment et les autres structures intervenant dans le support (voir figure 5).

3 Earthquake environment and equipment response

This clause is intended to provide information on earthquake behavior and on the dynamic performance of equipment during earthquakes and simulated seismic events. Numerical values are typical and illustrative but should not be considered as standards.

3.1 *Earthquake environment*

Earthquakes produce random ground motions which are characterized by simultaneous but statistically independent horizontal and vertical components. An earthquake of magnitude 6 or higher on the Richter scale may persist for 15 s to 30 s and produce a maximum horizontal ground acceleration from 0,1 g to 0,6 g or higher with the major energy content usually occurring in the first 5 or 10 s. The typical broad-band random motion occurs over a frequency range from 1 Hz to 35 Hz.

3.2 *Equipment on foundations*

Amplitude of the ground motion (both horizontal and vertical) can be magnified in foundation-mounted equipment. For any given ground motion, the magnification depends on the system's natural frequencies of vibration (soil, foundation and equipment) and the mechanisms of damping (see 3.6). The typical broad-band response spectra that describes the ground motion indicates that multiple frequency excitation predominates.

3.3 *Equipment in structures*

The ground motion (horizontal and vertical) may be filtered and amplified by intervening structures to produce different motions. The dynamic response of floor-mounted equipment may reach an acceleration many times that of the maximum ground acceleration, depending upon the system damping and natural frequencies of vibration. The magnification and bandwidth depend upon the dynamic response characteristics of each building and equipment structure.

3.4 *Simulating the earthquake*

The goal of simulation is to reproduce the effects of the postulated earthquake motion as closely as possible.

The form of the simulated seismic motion used for the qualification of equipment, by analysis or testing, can be described by one of the following: time history, response spectrum, or the power spectral density (PSD) function. These data may be generated for the structures upon which the equipment is to be mounted. They are supplied by the user or his agent to the manufacturer as a part of the specifications for that equipment (see clause 5) or provided by the manufacturer to cover future applications.

Because of the directional nature of seismic motion as well as the filtered output motion of structures, the directional components of the motion and their application to the equipment should be specified.

3.5 *Time history*

The expected form of the motion is obtained from existing earthquake records or may be artificially generated. For application at any floor, the time history record generated includes the dynamic filtering and amplification effects of the building and other intervening support structures (see figure 5).

3.6 *Amortissement*

Le terme générique amortissement est attribué à de nombreux mécanismes complexes de dissipation de l'énergie dans un système. En pratique, l'amortissement dépend de nombreux paramètres comme le système de liaison, le mode de vibration, les contraintes, la force normalement appliquée, la vitesse d'application de cette force, les matériaux, le glissement des jonctions, etc.

Dans la théorie des vibrations linéaires, on admet pour simplifier, que l'amortissement est purement visqueux ou qu'il dépend de la vitesse relative des parties en mouvement. De ce fait, lorsqu'une valeur d'amortissement est associée à un système réel, on admet généralement qu'il y a un amortissement visqueux ou linéaire équivalent. C'est une façon pratique et simple de relier le comportement réel du matériel, qui peut être non linéaire jusqu'à un certain point, aux concepts théoriques qui utilisent normalement des méthodes linéaires d'analyse.

4 Exigences relatives à la qualification sismique

4.1 *Introduction*

La qualification sismique doit démontrer l'aptitude du matériel du système de sûreté à assurer sa fonction spécifiée pendant et/ou après le moment où il est soumis aux forces résultant d'un séisme de niveau S2. De plus, il convient que le matériel résiste aux effets d'un certain nombre de séismes de niveau S1 avant l'application d'un séisme de niveau S2 (voir article 6).

La qualification des matériels électriques du système de sûreté des centrales électronucléaires est largement décrite dans la CEI 780 et en particulier dans l'article 4 qui en donne les principes. Les essais de séisme doivent être exécutés suivant la séquence appropriée avec, le cas échéant, les essais de tenue aux conditions d'environnement (voir annexe A). Cette norme peut être utilisée soit par les constructeurs de matériels pour établir des procédures qui produiront des données justifiant les performances avancées, soit par les utilisateurs des matériels pour évaluer et vérifier les performances des dispositifs et assemblages représentatifs dans le cadre d'un effort global de qualification.

En résumé, la qualification est un processus formel par lequel on obtient la démonstration requise d'une manière documentée et vérifiable sans ambiguïté afin que son applicabilité et sa validité puissent être facilement établies.

4.2 *Détermination de la qualification sismique*

A cause de sa nature formelle, la qualification sismique comprendra un certain nombre d'étapes distinctes (voir article 5). Ce sont:

4.2.1 *Spécification du matériel objet de la qualification*

L'équipement doit être spécifié sans ambiguïté.

La spécification doit comprendre:

- une description du matériel, son numéro de type, plan et numéro de série, spécification, etc.;

- les limites du matériel objet de la qualification, par exemple: les liaisons d'entrée et de sortie à considérer, les accessoires à inclure ou à exclure, etc.;

- les conditions de fonctionnement (sollicitations) nécessaires;

- les conditions de vieillissement, conformément à 5.3.3 et 5.3.5 de la CEI 780, se référer également à 5.3.3 de la présente norme.

3.6 *Damping*

Damping is the generic name ascribed to the numerous complex energy dissipation mechanisms in a system. In practice, damping depends on many parameters, such as the structural system, mode of vibration, strain, force in normal situations, speed of application of this force, materials, joint slippage, etc.

In linear vibration theory, the simplifying assumption is made that damping is purely viscous, or dependent on the relative velocity of moving parts. Therefore, when a value of damping is associated with a practical system, it is usually assumed to be equivalent viscous or linear damping which is a convenient simplified way of relating real-world hardware behavior, which may be non-linear to some degree, with theoretical concepts which normally utilize linear methods of analysis.

4 Seismic qualification requirements

4.1 *Introduction*

The seismic qualification shall demonstrate the safety system equipment's ability to perform its required function during and/or after the time it is subjected to the forces resulting from one S2 earthquake. In addition, the equipment should withstand the effects of a number of S1 earthquakes prior to the application of an S2 earthquake (see clause 6).

Qualification of electrical items of the safety system for nuclear power generating stations is fully described in IEC 780 and, in particular, clause 4 of that standard describes the principles of qualification. Seismic testing shall be performed in the proper test sequence with the environmental testing where required (see annex A). This standard may be used by equipment manufacturers to establish procedures that will yield data to substantiate performance claims or by equipment users to evaluate and verify performance of representative devices and assemblies as part of an overall qualification effort.

In summary, qualification is a formal process by which the required demonstration is achieved in an unambiguous recorded and traceable manner so that its applicability and validity can readily be confirmed.

4.2 *The process of seismic qualification*

Due to its formal nature, seismic qualification will include a number of recognizable steps (see clause 5). These are :

4.2.1 *Specification of the equipment to be qualified*

The equipment shall be clearly specified.

The specification shall include:

- a description of the equipment, its type number, drawing and issue number, specification, etc.;

- the boundaries of the equipment to be qualified, for example: which input/output connections are involved, which mountings are to be included or excluded, etc.;

- the operating conditions (loadings) which are necessary;

- ageing conditions according to 5.3.3 and 5.3.5 of IEC 780, see also 5.3.3 of this standard.

4.2.2 *Spécification des exigences sismiques*

Ces exigences doivent être spécifiées sans ambiguïté. Elles doivent comprendre au minimum:

- la durée;
- la gamme de fréquences;
- les valeurs d'accélération.

Les informations relatives à ces exigences peuvent être:

- le mouvement vibratoire en terme de densité spectrale de puissance en fonction de la fréquence;

- la durée de la partie forte des séismes;

- le spectre de réponse spécifié (SRS) pour les points de fixation du montage du matériel. Le SRS doit comporter des données pour l'axe horizontal principal et l'axe vertical, et doit en principe être spécifié pour des coefficients d'amortissement de 2 %, 5 % et 7 %;

- les accélérations maximales en fonction des fréquences significatives ou l'accélérogramme des points de fixation du montage (planche ou structure) de l'équipement;

- les détails concernant les exigences des séismes de niveau S2 (voir 6.2.9.2).

Dans l'évaluation du risque sismique d'un site particulier, il peut être nécessaire de prévoir une marge dans l'estimation du nombre de séismes de niveau S1 et S2 auquel le matériel pourrait être soumis pendant la durée de vie de l'installation. Cinq séismes de niveau S1 et un séisme de niveau S2 sont généralement retenus, à moins qu'un nombre différent puisse être justifié. Cependant, au lieu de cinq séismes de niveau S1, un spécimen peut être soumis à deux essais correspondant au niveau S2.

Les essais de séismes de niveau S1 doivent être suivis au moins d'un essai de séisme de niveau S2, et la durée de chaque onde d'essai doit être au moins égale à la durée de la partie forte de l'accélérogramme utilisé pour définir le SRS. Si l'accélérogramme n'est pas donné, les essais de séisme doivent, sauf indication contraire, comporter 10 cycles d'amplitude significative.

Les ondes d'essai simulant les séismes de niveaux S1 ou S2 peuvent être appliquées sous forme de "trains d'ondes". Dans ce cas, les ondes doivent être suffisamment espacées, d'au moins 2 s, afin d'éviter la superposition de leurs effets sur le matériel.

4.2.3 *Spécification des critères d'acceptation*

Ce sont les facteurs qui permettent de juger du succès ou de l'échec de la qualification.

Ils doivent être clairement spécifiés et peuvent indiquer si l'équipement doit être capable de fonctionner durant l'essai ou simplement survivre et fonctionner à nouveau ensuite, et comprendre:

- la liste ou la description des exigences fonctionnelles de sûreté;

- la liste des critères d'acceptation pour le maintien du fonctionnement;

- l'identification des marges;

- toutes exigences particulières pour les essais ou l'analyse.

4.2.2 *Specification of the seismic requirements*

These requirements shall be clearly specified. They shall include at least:

- time duration;
- frequency range;
- acceleration values.

Information which provides these data may be:

- vibratory motion in terms of power spectral density as a function of frequency;

- the strong motion time duration of the earthquake;

- the required response spectrum (RRS) for the fixing points on which the equipment will be mounted. The RRS shall include data for the principal horizontal axis and the vertical axis, and should be specified for 2 %, 5 % and 7% damping ratio;

- maximum accelerations versus significant frequencies, or time history of the fixing point on which (floor or structure) the equipment will be mounted;

- details of the multiple S2 requirements (see 6.2.9.2).

In evaluating the seismic risk of a particular site, it may be necessary to make an allowance for the estimated number of S1 and S2 earthquakes to which the specimen might be subjected during the installation's lifetime. Five S1 and one S2 earthquakes are generally assumed unless a different number can be justified. However instead of five S1 a specimen may be subjected to two tests corresponding to level S2.

S1 seismic tests shall be followed by at least one S2 seismic test and the duration of each test wave shall be at least equal to the strong part of the time history used to define the RRS. If no time history is given, 10 significant cycles for the seismic tests should be used unless otherwise specified.

The test waves simulating S1 or S2 earthquakes may be applied as "wave train". In this case, the waves shall be sufficiently spaced by at least 2 s to avoid superimposing their effect on the equipment.

4.2.3 *Specification of acceptance criteria*

These are the factors on which the success or failure of qualification will be judged.

They shall be clearly specified and may indicate whether the equipment is to operate during the test or merely to survive and operate afterwards, and include:

- a listing or description of the safety functional requirements;

- a list of acceptance criteria in order to remain functional;

- identification of margins;

- any particular requirements for tests or analysis.

4.2.4 *Essais de qualification ou analyse*

Le matériel défini en 4.2.1 doit être qualifié pour répondre aux exigences définies en 4.2.2. Les critères spécifiés en 4.2.3 doivent permettre de juger du succès ou de l'échec.

La CEI 780 décrit quelques méthodes générales permettant d'obtenir cette qualification:

- La qualification par analyse ou une combinaison d'analyse et d'essais dans laquelle les performances du matériel sont déduites sans essais physiques ou sur la base de données existantes (voir 5.3.2).

- La qualification par essais dans laquelle un spécimen du matériel est essayé (voir article 6).

- La qualification par l'expérience. Bien que ce ne soit pas encore une technique bien établie, des données récentes indiquent que la qualification par l'expérience peut être une méthode valable de qualification sismique. Cette méthode est décrite dans l'annexe A pour information.

Chacune des méthodes précédentes, ou d'autres méthodes valables, peuvent être utilisées de façon adéquate pour vérifier l'aptitude du matériel à satisfaire aux exigences de qualification sismique. L'analyse de qualification sismique (AQS) (essais, analyse ou une combinaison des deux) établit les procédures particulières dont il convient de baser le choix sur la faisabilité de la méthode quant au type, aux dimensions, à la forme et à la complexité du matériel.

4.2.5 *Documentation*

Une documentation claire et complète doit être fournie (voir article 7). C'est une partie essentielle de la qualification. Son but est de démontrer que le matériel remplit ses exigences de performances quand il est soumis à des accélérations sismiques pour lesquelles il doit être qualifié.

5 Analyse de qualification sismique (AQS)

L'analyse de qualification sismique couvre les méthodes pour rationaliser les opérations (essais, analyse ou une combinaison des deux) et assure qu'une marge suffisante tient compte des incertitudes.

L'AQS prend comme hypothèse que le matériel remplira sa fonction spécifiée si les sous-ensembles et leurs interfaces remplissent leur fonction respective dans les conditions résultant:

- du couplage mutuel des sous-ensembles;

- de la sollicitation sismique induite par l'excitation sismique requise pour le matériel;

- de la sollicitation liée aux exigences fonctionnelles du matériel.

Les effets des conditions ci-dessus sur les sous-ensembles doivent être considérés comme agissant simultanément. Chaque sous-ensemble peut être considéré séparément.

L' AQS comprend quatre étapes successives détaillées ci-après:

- examen du matériel, choix des sous-ensembles;

- examen des sous-ensembles, conditions limites et interactions;

- opérations de qualification, essais ou calculs ou une combinaison des deux;

- synthèses, résultats et évaluation des marges.

4.2.4 *The qualification tests or analysis*

The equipment defined in 4.2.1 shall be qualified to meet the requirements defined in 4.2.2. Success or failure shall be judged by means of the criteria specified in 4.2.3.

Some general methods to achieve this qualification are described in IEC 780:

- Qualification by analysis or combination of test and analysis in which the performance of the equipment is predicted without physical test or on the basis of existing data (see 5.3.2).

- Qualification by testing in which a typical example of the equipment is tested (see clause 6).

- Qualification by experience. Although not yet an established technique, recent data indicate that qualification by experience may be a valuable method of seismic qualification. This method is described in the annex A for guidance.

Each of the preceding methods, or other effective methods, may be adequate to verify the ability of the equipment to meet the seismic qualification requirements. Seismic qualification analysis (SQA) (tests, analysis or combination of both) establishes the particular procedures whose choice should be based on the practicality of the method for the type, size, shape and complexity of the equipment.

4.2.5 *Provision of documentation*

Clear and complete documentation shall be provided (see clause 7). This is an essential part of qualification. Its purpose is to demonstrate that the equipment meets performance requirements when subjected to the seismic accelerations for which it is to be qualified.

5 Seismic qualification analysis (SQA)

The seismic qualification analysis covers the methods to rationalize the operations (tests, analysis or combination of both) and ensures that sufficient margin accounts for the uncertainties.

The SQA assumes that the equipment will perform its intended functions if the sub-assembly and the correlative interfaces accomplish their respective functions under the conditions resulting from:

- the mutual coupling of the sub-assembly;

- the seismic loading induced by the seismic excitation required for the equipment;

- the loading related to the functional requirements of the equipment.

The effects of the above conditions on the sub-assembly shall be considered as acting simultaneously. Each sub-assembly may be considered separately.

SQA includes four successive steps, which are detailed hereafter:

- equipment review, sub-assembly selection;

- sub-assembly review, boundary conditions and interactions;

- qualification operation, tests or computations or a combination of both;

- synthesis, results and margin evaluation.

5.1 *Examen du matériel*

L'objet de cette étape est de:

- décomposer le matériel réel en plusieurs sous-ensembles significatifs (un ou plusieurs, modélisés ou physiquement indépendants) (voir figure 6);

- déterminer l'ensemble des sous-ensembles qui est représentatif du matériel réel;

- identifier les sous-ensembles qui peuvent être affectés par des modifications ou des variantes.

Le but est de concilier:

- la disponibilité des moyens d'essais et de calcul;
- la fiabilité des résultats obtenus dans la procédure de qualification;
- l'utilisation optimale des données disponibles.

Le raisonnement et l'appréciation de l'ingénieur sont nécessaires; cependant, d'éventuelles erreurs de choix seraient révélées par les étapes ultérieures, de telle sorte que la conclusion finale ne puisse en être affectée.

5.2 *Examen des sous-ensembles - Conditions limites et interactions*

Le but de cet examen est le suivant:

- identifier la fonction de chaque sous-ensemble nécessaire au fonctionnement du matériel; il faut prendre en compte tous les modes de fonctionnement et les événements hypothétiques;

- établir les sollicitations aux interfaces de chaque sous-ensemble et déterminer leur importance.

5.2.1 *Couplage*

Le comportement des sous-ensembles peut être différent selon qu'ils sont normalement liés au matériel ou séparés physiquement. Les effets du couplage, induits par les événements sismiques, doivent être examinés.

5.2.2 *Sollicitation sismique des sous-ensembles*

Quand les sous-ensembles choisis ne sont pas directement montés sur le support du matériel, ils sont soumis à une sollicitation sismique qui doit être établie sur la base des éléments suivants:

- les propriétés de transfert dynamique de la structure de support du sous-ensemble;

- les sollicitations sismiques spécifiées du matériel (généralement définis par les SRS);

- une méthode justifiable utilisant des essais, des calculs ou une combinaison des deux.

Certaines de ces méthodes sont décrites en détail ci-après et indiquées sur la figure 7.

5.2.2.1 *Méthode expérimentale*

Le mouvement sismique spécifié du support du matériel est simulé et la réponse aux points d'intérêt du spécimen est relevée (réponse locale).

NOTE - Une analyse complémentaire peut être nécessaire pour déterminer la représentativité du spécimen et des conditions d'essais ou pour évaluer les données expérimentales afin de prendre en compte les essais de couplage ou les autres configurations du matériel.

5.1 *Equipment review*

The purpose of this step is:

- to divide the actual equipment into several significant sub-assemblies (one or more, idealized or physically independent) (see figure 6);

- to determine the set of sub-assemblies which is representative of the actual equipment;

- to identify the sub-assembly which may be affected by modifications or alternate configurations.

The aim is to reconcile:

- the availability of test and computation facilities;
- the reliability of the results obtained in the qualification process;
- the optimal use of available data.

Sound engineering judgement is necessary; however, any erroneous choice would be revealed by the subsequent steps, so that the final conclusion cannot be affected.

5.2 *Sub-assembly review - Boundary conditions and interactions*

The purpose of this step is:

- to identify the function of each sub-assembly required for the adequate performance of the equipment; all the operating modes and postulated events shall be considered;

- to establish the loadings at interfaces for each sub-assembly and determine their significance.

5.2.1 *Coupling*

The behavior of sub-assemblies may be different, according to whether they are normally linked to the equipment or physically separated. Coupling effects induced by seismic events shall be examined.

5.2.2 *Seismic loading of sub-assemblies*

When the selected sub-assemblies are not directly mounted on the equipment support, they are subject to a seismic loading which shall be established on the basis of the following elements:

- the dynamic transfer properties of the sub-assembly supporting structure;

- the specified seismic loading of the equipment (usually defined by the RRS);

- a justifiable method of test, calculation or a combination of both.

Some of these methods are detailed in the following and shown in figure 7.

5.2.2.1 *Experimental method*

The specified seismic motion of the equipment support is simulated and the response in points of interest of the specimen is monitored (local response).

NOTE - Complementary analysis may be necessary to assess the representativeness of the specimen and test conditions or to amend the experimental data to account for coupling effects or alternative configurations of the equipment.

5.2.2.2 *Méthode de calcul*

Dans une première étape les paramètres modaux sont identifiés par une analyse, une détermination expérimentale ou un calcul.

La réponse locale du matériel aux points d'intérêt peut ensuite être déterminée, par exemple par:

- transfert direct des spectres de réponse;

- réponse des modes individuels et combinaisons des effets.

NOTE - Des essais peuvent être nécessaires pour vérifier les résultats de modèles mathématiques complexes ou pour déterminer les paramètres modaux pour une meilleure approximation de la réalité.

Les sollicitations sismiques des sous-ensembles peuvent être exprimées en termes de SRS.

Pour tenir compte des incertitudes d'analyses et d'erreurs dans les essais, il convient que les pics des spectres de réponse soient majorés et élargis d'un facteur justifié.

5.2.3 *Sollicitation*

Les sollicitations sont exprimées par les conditions physiques appliquées aux sous-ensembles. En outre, il faut prendre en compte l'influence de l'emplacement et de l'orientation de chaque sous-ensemble.

5.2.4 *Propriétés des sous-ensembles*

- Linéarité

Les caractéristiques physiques ou la réponse des sous-ensembles peuvent être non linéaires (exemple de la rigidité et, par conséquent, des fréquences modales qui peuvent changer avec le niveau de contrainte). Dans ce cas, les considérations appropriées limiteront la validité ou atténueront les effets des erreurs dans les données expérimentales ou dans les hypothèses linéaires des modèles.

- Amortissement

Différentes valeurs d'amortissement peuvent être associées au même sous-ensemble, suivant:

- les niveaux de contraintes (effets de non-linéarité);
- les modes de vibration.

Sauf justification documentée, on peut considérer les coefficients d'amortissement suivants:

- Armoires et tableaux de contrôle-commande:	7 % d'amortissement critique (4 % si la structure est soudée)
- Moteurs:	2 % d'amortissement critique (4 % si la structure est soudée)
- Chemins de câbles:	10 % d'amortissement critique (4 % si la structure est soudée)

Si un matériel ne peut pas être caractérisé, une valeur d'amortissement de 5 % est proposée.

5.2.2.2 *Calculation method*

In a first stage, the modal parameters are identified by analyses depending on experiments or calculation.

Then, the local response of the equipment at points of interest may be determined, for example by:

- direct response spectra transfer;

- response of individual modes and superimposed effects.

NOTE - Tests may be necessary to verify the results of the complex mathematical models or to determine modal parameters for a better approximation to reality.

The seismic loading of the sub-assembly can be expressed in terms of RRS.

To account for analysis uncertainties and experimental errors, the peaks of the response spectra should be enlarged and broadened by a justified factor.

5.2.3 *Loading*

The loading is expressed by the physical conditions applied to the sub-assembly. In addition, the influence of the location and orientation of each sub-assembly shall be taken into account.

5.2.4 *Properties of the sub-assemblies*

- Linearity

The physical properties or the response of the sub-assemblies may be non-linear for example stiffness and therefore modal frequencies may change with stress level. In this case, the appropriate considerations will restrict the validity or mitigate the errors in experimental data or linear assumptions of models.

- Damping

Different damping values may be associated with the same constituent according to:

- stress levels (non-linearity effect);
- modes of vibration.

Unless other documented evidence is available, the following damping factor may be assumed:

- Control panel, cabinets: 7 % of critical damping (when welded 4 %)

- Motors: 2 % of critical damping (when welded 4 %)

- Cable trays: 10 % of critical damping (when welded 4 %)

If a device cannot be identified, a damping value of 5 % is suggested.

5.3 *Opérations de qualification*

Le but de cette étape est de fournir des informations et des preuves suffisantes concernant le comportement des sous-ensembles, avec l'objectif de démontrer dans l'étape suivante (synthèse) que le matériel peut remplir sa ou ses fonctions de sûreté dans des conditions sismiques hypothétiques.

Les opérations sur les sous-ensembles doivent être prévues de façon à rechercher tous les modes de défaillance et les mauvais fonctionnements éventuels, qui peuvent être classés ainsi:

- rigidité: la défaillance est liée à l'intensité de l'excitation de nature sismique (par exemple intégrité de structure);

- résonance: la défaillance est liée à l'intensité et au contenu fréquentiel de l'excitation de nature sismique (par exemple battement des contacts électriques);

- effets cumulatifs: la défaillance est liée à l'intensité, au contenu fréquentiel et au nombre de cycles de sollicitation induits par l'excitation sismique.

On peut utiliser des essais ou des calculs pour rechercher le comportement des sous-ensembles.

Les essais peuvent convenir pour des sous-ensembles ou des simulations particulières et les calculs pour d'autres. Le tableau suivant illustre les facteurs déterminant ce choix. Une marge suffisante doit être prise chaque fois que la méthode de recherche conduit à des résultats approchés.

Méthode	Domaine de recherche approprié	Principaux facteurs de précision	Marges habituelles
Essais	Relations fonctionnelles complexes d'entrée-sortie Modes de défaillance indéterminés Performances dynamiques	Conditions d'essais (type, mouvement, simulation de l'environnement) Représentativité des spécimens Dimensions, effets de couplage, simulation fonctionnelle	Sévérité de la sollicitation d'essai
Calculs	Modes de défaillances possibles (intégrité de la structure) Extrapolation et interpolation des performances dynamiques	Précision du modèle mathématique Méthode d'analyse (statique équivalente, analyse modale, analyse modale spectrale, etc.)	Coefficients de sûreté

5.3.1 *Essais*

Les procédures d'exécution des essais sont détaillées dans l'article 6.

5.3 *Qualification actions*

The purpose of this step is to provide sufficient evidence and information on the behavior of the sub-assemblies, with the aim of demonstrating in the following step (synthesis) that the equipment may perform its safety functions under postulated seismic conditions.

The operations on the sub-assemblies shall be planned in order to investigate all the potential failure modes and malfunctions, which may be categorized as below:

- rigidity: the failure is related to the intensity of the seismically induced excitation (e.g. structural integrity);

- resonance: the failure is related to the intensity and frequency content of the seismically induced excitation (e.g. chatter of electrical contacts);

- cumulative damage: the failure is related to the intensity, the frequency content and the number of load cycles induced by seismic excitation.

Tests or computation may be used to investigate the behavior of the sub-assemblies.

Tests may be suitable for some sub-assemblies or particular simulations, and computation for some others. The following table illustrates the factors affecting this choice. An appropriate conservative margin shall be considered whenever the investigation method produces approximate results.

Method	Suitable field of investigation	Main accuracy factor	Usual margin
Tests	Complex functional input-output relationships	Test conditions (motion, type, environment simulation)	Severity of test loading
	Indeterminate failure modes	Specimen representativeness	
	Dynamic performance	Size, coupling effects, functional simulation	
Computations	Postulated failure modes (structural integrity)	Mathematical model accuracy	Safety conditions
	Extrapolation and interpolation of dynamic performance	Analysis method (static equivalent, modal analysis, modal spectral analysis, etc.)	

5.3.1 *Tests*

The procedures used to perform the tests are detailed in clause 6.

5.3.2 *Calculs*

Les calculs peuvent compléter les essais pour extrapoler ou interpoler les données expérimentales. Ils peuvent aussi permettre l'étude de modes de défaillance relatifs à l'intégrité de la structure, la fatigue et à l'état de contrainte.

Deux méthodes de calcul sont proposées ci-après:

- le chargement statique équivalent qui produit des résultats conservatifs en contrepartie d'une modélisation sommaire;

- l'analyse dynamique qui prend en considération les propriétés modales de structures pouvant être représentées de manière satisfaisante par des modèles linéaires.

5.3.2.1 *Calcul par la méthode de chargement statique équivalent*

Les sous-ensembles passifs sont supposés être soumis à une accélération équivalente, constante et uniforme comme indiqué ci-après:

a) La fréquence fondamentale du sous-ensemble est établie pour chaque axe orthogonal principal par calcul, essais modaux ou analyses.

b) Pour chaque axe orthogonal, on utilise le SRS applicable (accélération) pour déterminer la valeur maximale du pic, tracée dans l'intervalle d'incertitude de la fréquence fondamentale (voir figure 8).

NOTES
1) L'intervalle d'incertitude est estimé sur la base d'un calcul d'erreur.
2) Si la recherche de fréquence n'a pas été effectuée ou si elle l'a été d'une façon insuffisante, l'intervalle d'incertitude est large; il faudra retenir la valeur maximale du pic du SRS applicable.
3) Si l'on peut prouver que le sous-ensemble en examen est rigide, la valeur de APL peut être retenue.

c) Pour chaque axe, les valeurs d'accélération équivalentes résultent des valeurs maximales ci-dessus multipliées par 1,5, ou moins si justifié, pour tenir compte des effets des modes négligés.

d) Pour les deux directions de chaque axe orthogonal principal, l'accélération équivalente appropriée est appliquée aux masses du sous-ensemble en essai pour simuler la sollicitation sismique.

e) Les effets sismiques de même nature sont combinés suivant chaque axe orthogonal principal par la méthode de la moyenne quadratique.

5.3.2.2 *Calculs dynamiques*

Les calculs dynamiques sont basés sur trois méthodes:

- une méthode de calcul, présentée habituellement sous forme de programmes d'ordinateur, pour déterminer les paramètres modaux;

- un modèle mathématique de la structure et du sous-ensemble considéré (souvent un modèle aux éléments finis ou une matrice de transfert ou toute autre méthode justifiée);

- une méthode de calcul pour établir les effets des modes sous l'action des sollicitations sismiques applicables (habituellement par analyse spectrale).

NOTE - Des essais modaux peuvent remplacer les méthodes 1 et 2 et fournir les paramètres modaux.

5.3.2 *Computations*

Computation may complement tests, to extrapolate or interpolate experimental data. Computation may also investigate established failure modes related to structural integrity, fatigue and stress-strain behavior.

Two methods of computation are suggested below:

- static equivalent load, which yields conservative results in return for the crude approximation of the model;

- dynamic analysis, which takes into account the modal properties of the structure and which can be suitably represented by linear models.

5.3.2.1 *Static equivalent load calculation*

The passive sub-assembly may be assumed to be subject to a constant and uniform equivalent acceleration as specified below:

a) The fundamental frequency of the sub-assembly is established for each main orthogonal axis by calculation, modal testing or analysis.

b) For each orthogonal axis, the applicable RRS (acceleration) is used to determine the maximum peak value within the interval of uncertainty of the fundamental frequency (see figure 8).

NOTES
1) The interval of uncertainty is estimated on an error calculation basis.
2) If little or no frequency investigation has been performed, the uncertainty interval is wide and the maximum peak value (MPV) of the applicable RRS shall be selected.
3) If evidence can be produced that the considered part is rigid, the ZPA value can be selected.

c) For each axis, the equivalent acceleration values result from the above maximum values multiplied by 1,5, or less if justified, to account for the effects of the neglected modes.

d) For both directions of each main orthogonal axis, the relevant equivalent acceleration is applied to the masses of the considered sub-assembly to simulate the seismic loading.

e) The same seismic effects along each main orthogonal axis are superimposed, according to the square root of the sum of the squares.

5.3.2.2 *Dynamic computations*

The dynamic computations are based on three methods:

- a calculation method, usually implemented by a computer routine, to determine the modal parameters;

- a mathematical model of the considered structure and sub-assembly (often a finite element model or transfer matrix or other justifiable method);

- a calculation method to establish the effect of the modes under the action of applicable seismic loading (usually by spectral analysis).

NOTE - Modal testing may replace methods 1 and 2 and provide the modal parameters.

Les points suivants doivent faire l'objet d'une justification:

- Méthodes de calcul

  . Principes de base de la méthode
  . Validation des programmes d'ordinateur
  . Procédure pour la combinaison des réponses modales et suivant différentes directions.

- Hypothèses de modélisation

  . Principes de modélisation
  . Distribution des éléments du modèle, nombre de degrés dynamiques de liberté
  . Valeur des paramètres
  . Effets de non-linéarité
  . Amortissement.

  NOTE - Les essais peuvent être utiles pour préciser les hypothèses concernant l'amortissement, la linéarité, la rigidité, etc.

- Les résultats découlant de la méthode de calcul et de la modélisation associée:

  . Nombre de modes pris en considération et somme des masses du matériel
  . Effet des modes rigides négligés
  . Précision.

  NOTE - Des essais peuvent être nécessaires pour valider ces résultats.

5.3.3 *Vieillissement*

Des opérations de vieillissement sont nécessaires pour des sous-ensembles possédant des mécanismes de vieillissement pouvant affecter de façon significative la tenue au séisme. Dans ce cas, une fois déterminée une durée de vie qualifiée, des essais de vieillissement doivent être effectués, préalablement à tous les essais de simulation ou d'investigation.

5.3.4 *Interfaces*

Des éléments contigus peuvent interagir de manière significative avec le sous-ensemble considéré. Il faudra tenir compte des caractéristiques des supports et des liaisons fonctionnelles (telles que les chemins de câble, tuyauteries, etc.).

5.3.5 *Spécimen*

Quand cela est nécessaire, les simulations seront conduites sur des spécimens aussi représentatifs que possible des conditions de service. Cependant, des modifications sont acceptables dans les cas suivants:

- La modification du spécimen n'est pas en contradiction avec le but de la simulation (par exemple des composants fictifs peuvent simuler la distribution de masse de la structure de support afin de déterminer les fonctions de transfert mécanique par des essais de vibration).

- Les effets de la modification peuvent être prévus avec une précision raisonnable.

5.3.6 *Sévérité*

Les simulations et investigations sur les sous-ensembles doivent prendre en compte les combinaisons les plus sévères des sollicitations identifiées dans l'étape n° 2 de l'AQS (sollicitations sismiques et fonctionnelles). Pour englober les effets des modifications les plus probables, ou pour prendre en considération de multiples applications, il convient de qualifier les sous-ensembles avec une marge de sévérité suffisante.

Justification shall be provided for the following points:

- Calculation methods

  . Basic principles of the method
  . Validation of the computer routines
  . Procedure for combining modal responses and directional responses.

- Model assumptions

  . Idealization principles
  . Distribution of the model elements, number of dynamic degrees of freedom
  . Values of parameters
  . Non-linearity effects
  . Damping.

  NOTE - Tests may be advantageous to refine assumptions about damping, linearity, stiffness, etc.

- Results from the calculation method and the correlated model

  . Number of modes taken into account and total of equipment mass
  . Effect of neglected rigid modes
  . Accuracy.

  NOTE - Tests may be necessary to validate these results.

5.3.3 *Ageing*

Age conditioning is required for those sub-assemblies having ageing mechanisms which may significantly affect the seismic behavior. In this case, a qualified life objective shall be determined, age conditioning shall be performed, prior to other simulation or investigation tests.

5.3.4 *Interfaces*

Contiguous elements may significantly interact with the considered sub-assembly. Attention will be paid to the support characteristics and the functional connections (such as cable trays, piping, etc.).

5.3.5 *Specimen*

When necessary, the simulations will be performed on specimens as representative as possible of the in-service conditions. However, alterations are acceptable in the following cases:

- The alteration of the specimen is not in conflict with the purpose of the simulation (for example dummy devices may simulate the mass distribution of a supporting structure to determine the mechanical transfer functions by vibration tests).

- The effects of the alteration can be predicted with reasonable precision.

5.3.6 *Severity*

Simulations and investigations on the sub-assembly shall consider the most severe combination of the loadings identified in step 2 of the SQA (seismic and functional loadings). To encompass the most expected modifications, or to take into account multiple applications, the sub-assembly should be qualified with a sufficient severity margin.

5.4 *Synthèse*

Le but de cette étape est de vérifier les points ci-après:

- Le matériel réel est représenté de manière significative par l'ensemble des sous-ensembles dont le comportement sismique a été étudié et documenté.

- Pour chaque sous-ensemble représentatif, les sollicitations utilisées dans les investigations correspondent à (ou dépassent) celles relatives aux conditions de service et aux excitations de nature sismique du matériel. Les effets de couplage entre sous-ensembles doivent être pris en compte.

- Les performances étudiées de chacun des sous-ensembles assurent de manière conservative que le matériel remplira sa ou ses fonctions de sûreté.

La synthèse est utilisée pour établir si les exigences de qualification sont remplies pour des matériels présentant des analogies avec des matériels préalablement qualifiés.

Les exemples des figures 9 et 10 illustrent des procédures suggérées.

6 Qualification sismique par essais

6.1 *Introduction*

Les procédures indiquées dans cet article doivent en principe être utilisées pour les essais de qualification sismique des matériels du système de sûreté ou autres matériels conçus pour résister aux séismes.

En général, un programme de qualification sismique par essais est recommandé pour les ensembles complexes (pour lesquels une qualification par l'analyse n'est pas possible) ou pour ceux des matériels dont les performances fonctionnelles peuvent entraîner de mauvais fonctionnements. Le matériel doit donc être en principe essayé dans des conditions de fonctionnement simulées. L'essai sismique doit être effectué en soumettant les spécimens à un mouvement vibratoire qui simule de façon conservative celui qui se produit à l'emplacement de montage du matériel pendant l'événement dynamique considéré.

Un problème pratique dans la tentative de définir les essais pour la qualification des spécimens est la sélection des ondes d'essais appropriées, telles qu'elles sont détaillées en 6.5. De nombreux facteurs doivent être pris en compte, comprenant le type de spécimen, son emplacement et la nature du séisme prévu, etc.

Un point à considérer ultérieurement est de déterminer si le spécimen est utilisé pour une application unique ou dans un but plus général. Dans le premier cas, le mouvement sismique peut être spécifié et les essais de qualification choisis pour répondre à la spécification (essais d'épreuve), tandis que dans le second cas, l'essai doit être conçu pour qualifier le spécimen en vue d'une application future, pour laquelle un mouvement sismique d'excitation plus général serait spécifié (essais d'aptitude limite). Une autre difficulté se présente quand on tente de définir l'essai pour des composants individuels (relais, moteurs, capteurs, etc.) ou des ensembles complexes tels que des baies de contrôle-commande.

Les bases théoriques des procédures d'essais sont considérées comme ne faisant pas partie du domaine d'application de cette norme, mais peuvent être facilement obtenues à partir de la documentation technique appropriée.

5.4 *Synthesis*

The purpose of this step is to verify the following points:

- The actual equipment is suitably represented by the set of sub-assemblies whose seismic behavior has been investigated and documented.

- For each representative sub-assembly, the loadings assumed in the investigations meet or exceed the actual in-service conditions and the seismically induced excitation of the equipment. Coupling effects between sub-assembly shall be included.

- The investigated performance of each sub-assembly conservatively enable the equipment to perform its safety function(s).

Synthesis is used to establish whether the qualification requirements are satisfied for equipment which shows some analogous properties with previously qualified equipment.

The following examples in figures 9 and 10 illustrate some suggested procedures.

6 Seismic test qualification

6.1 *Introduction*

The procedures indicated in this clause should be used for the seismic qualification testing of the safety system or other equipment designed to withstand earthquakes.

In general, a seismic test qualification program is recommended for complex assemblies (for which qualification by analysis is not possible) or for equipment in which possible malfunctions are related to functional performances. Therefore, the equipment should be tested under simulated operating conditions. The seismic test shall be performed by subjecting the specimens to a vibratory motion which conservatively simulates that to be seen at the equipment mounting location during the considered dynamic event.

A practical problem in attempting to define tests for qualifying specimens is in the selection of suitable testing waves, as detailed in 6.5. Numerous factors shall be taken into account including the type of specimen, its location and the nature of the earthquake expected, etc.

A further point of consideration is to determine whether the specimen is to be used for a unique application or for a more general purpose. In the first case, the seismic motion can be specified and the qualification testing selected to comply with the specification (proof tests), whereas in the latter case, the test shall be designed to qualify the specimen for future application, for which a more general seismic input motion would be specified (fragility tests). Another difficulty arises when attempting to define the testing of individual components (relays, motors, sensors, etc.) or complex assemblies such as control cabinets.

The theoretical basis for test procedures is considered to be outside the scope of this standard, but can be readily obtained from relevant technical literature.

6.2 *Conditions d'essais*

Le programme d'essai de qualification sismique doit comprendre les éléments suivants:

- charges sismiques et séquence d'essais;
- mouvement sismique d'excitation;
- conditions de montage;
- charges sismiques et conditions de fonctionnement (par exemple tension, pression);
- surveillance de la réponse de sortie et des performances fonctionnelles du matériel;
- démonstration du bon fonctionnement.

6.2.1 *Charges sismiques*

Les charges sismiques sont généralement définies par un spectre de réponse spécifié (SRS). Il est habituellement étendu au domaine d'amplification maximale pour couvrir les effets de facteurs inconnus ou variables tels que les fréquences naturelles des structures des bâtiments qui ne sont pas connues avec précision, ou la position des matériels à l'intérieur des bâtiments.

Les prescriptions doivent en principe établir l'élargissement du spectre; dans le cas contraire, le SRS doit être considéré comme étant à large bande. Le SRS ne donne pas d'information sur la durée de l'accélérogramme correspondant, ni sur le nombre de cycles significatifs.

Il convient de spécifier ces valeurs. Dans le cas contraire, la durée ne doit pas être inférieure à 30 s (sauf indication contraire) et le nombre de cycles significatifs doit se situer entre 5 et 10.

6.2.2 *Mouvement sismique d'excitation*

Le mouvement sismique d'excitation tel que décrit en 6.5, qui doit être appliqué à la base du spécimen, doit être dérivé du SRS afin de satisfaire aux critères de 6.5 et 6.2.9.3.

6.2.3 *Montage*

Le matériel à essayer doit être monté sur la table vibrante de manière à simuler le montage prévu en service. La méthode de montage doit être la même que celle recommandée pour le service réel. La taille et la configuration des boulons et le couple de serrage, la disposition et le type de soudure, etc., doivent être ceux recommandés dans la méthode de montage. Les effets des connexions électriques et des lignes de mesure, etc., doivent être pris en considération. L'orientation du matériel pendant l'essai doit être spécifiée et être la seule orientation pour laquelle le matériel est qualifié sauf si une justification appropriée peut être présentée pour étendre la qualification à une orientation non testée. La méthode de montage du matériel sur la table vibrante doit comprendre une description de toutes fixations et connexions. L'effet de ces fixations et connexions doit être évalué si elles sont seulement utilisées pour la qualification et non pour le montage en service.

6.2.4 *Charge sismique*

Les essais de qualification sismique du matériel doivent être effectués avec le matériel soumis aux conditions normales de fonctionnement. Ils doivent comprendre les charges électriques, mécaniques, thermiques, la pression, etc., dans la mesure où ils ont un effet défavorable sur le fonctionnement.

La nécessité et la possibilité de la reproduction des pleines charges de fonctionnement doivent être évaluées pour chaque matériel soumis à l'essai sismique, et la documentation doit prouver que la reproduction partielle (ou la non-reproduction) des charges n'invalidera pas le résultat des essais.

6.2 *Test conditions*

The seismic qualification test program shall include the following elements:

- seismic loads and test sequence;
- input motion;
- mounting conditions;
- operational loads and operating conditions (for example voltage, pressure);
- monitoring of output response and functional performance of the equipment;
- demonstration of operability.

6.2.1 *Seismic loads*

Generally the seismic loads are defined by a required response spectrum (RRS). It is usually broadened in the maximum amplification area to cover the effects of unknown or variable factors such as the natural frequencies of the building structure which are not known with accuracy, or the specimen's position inside the building.

The requirements should state the extent to which the spectrum is broadened; if not, the RRS shall be considered broad-band. RRS does not give information about the duration of the corresponding time history and on the number of significant cycles.

These values should be specified. If not, the duration shall be not less than 30 s (except as noted) and the number of significant cycles shall range between 5 and 10.

6.2.2 *Input motion*

The input motion as described in 6.5, that shall be applied to the base of the specimen, shall be derived from the RRS in order to satisfy the criteria of 6.5 and 6.2.9.3.

6.2.3 *Mounting*

The equipment to be tested shall be mounted on the vibration table in a way that simulates the intended service mounting. The mounting method shall be the same as that recommended for actual service. The mounting method shall use the recommended bolt size and configuration, weld pattern and type, etc. The effect of electrical connections and sensing lines, etc., shall be considered. The orientation of the equipment during the test shall be documented and shall be the only orientation for which the equipment is qualified unless adequate justification can be made to extend the qualification to an untested orientation. The method of mounting the equipment to the shake table shall include a description of any interposing fixtures and connections. The effects of such fixtures and connections shall be evaluated if they are only used during qualification and not for in-service mounting.

6.2.4 *Loading*

Seismic qualification tests on equipment shall be performed with the equipment subjected to normal operating conditions. These shall include electrical loads, mechanical loads, thermal loads, pressure, etc., as far as they adversely affect the function.

The necessity and possibility of reproduction of full operating loads shall be evaluated for each equipment submitted to seismic test and the documentation shall demonstrate that the partial reproduction (or non-reproduction) of the loads will not invalidate the results of the tests.

6.2.5 *Surveillance*

Un équipement de surveillance suffisant doit être utilisé pour évaluer les performances fonctionnelles du matériel avant, pendant (si nécessaire) et après l'essai. De plus, un équipement de surveillance de vibration suffisant doit être utilisé pour permettre la détermination des niveaux de vibrations appliqués. Il est recommandé de prévoir, outre le contrôle de la table vibrante, celui de tous les points du matériel susceptibles d'apporter des informations utiles sur le comportement vibratoire du spécimen. Ces données peuvent aussi être utilisées pour une nouvelle évaluation de la qualification du matériel pour d'autres applications et des modifications ultérieures, ou pour la qualification de dispositifs montés sur le matériel (par exemple un instrument monté sur un panneau). Le positionnement des capteurs de contrôle doit être documenté y compris au moyen de photographies.

6.2.6 *Démonstration de l'opérabilité*

Pendant et/ou après les essais sismiques, le matériel doit remplir sa fonction de sûreté selon les critères de l'article 4.

6.2.7 *Séquence d'essais*

En général, il convient d'effectuer les essais sismiques selon selon la spécification particulière et la séquence suivante:

a) Inspection préliminaire afin de contrôler l'intégrité du matériel.
b) Contrôle fonctionnel (avant l'essai).
c) Investigation de la réponse vibratoire (essai exploratoire).
d) Essai de qualification sismique comprenant le contrôle fonctionnel.
e) Contrôle fonctionnel (après l'essai).
f) Contrôle final.

La séquence des essais sismiques à l'intérieur du processus global de qualification est indiquée dans la CEI 780.

6.2.8 *Investigation de la réponse vibratoire*

Le spécimen doit en principe être soumis à une investigation de réponse vibratoire afin de déterminer ses caractéristiques dynamiques et justifier les méthodes d'essai choisies ou les résultats de l'essai.

L'investigation de réponse vibratoire fournit des données sur les fréquences propres, sur l'amortissement du matériel, et est utile pour le choix des essais monoaxiaux et multiaxiaux.

L'essai doit être effectué selon chaque axe principal, sous forme d'une excitation monoaxiale à bas niveau vibratoire d'entrée (inférieur à celui correspondant à la qualification dynamique requise), dans un domaine de fréquences égal ou supérieur à celui spécifié pour le mouvement sismique d'excitation (voir 6.2.2).

L'essai exploratoire peut être effectué de différentes manières, par excitation de base ou par des méthodes d'impédance.

6.2.8.1 *Essai exploratoire par excitation des points de fixation*

La méthode la plus couramment employée est un balayage sinusoïdal d'entrée en continu à accélération de bas niveau avec un taux de balayage de la fréquence, inférieur ou égal à 2 octaves par minute (on utilise souvent 1 octave par minute). Le niveau d'accélération doit en principe être choisi pour obtenir un bon rapport signal sur bruit pour les conditions d'essai (normalement, cette valeur est choisie pour être comprise entre 0,1 g à 0,2 g).

Des résultats identiques peuvent être obtenus en effectuant une recherche de la résonance au moyen d'un mouvement aléatoire périodique de bas niveau à large bande.

6.2.5 *Monitoring*

Sufficient monitoring equipment shall be used to evaluate the functional performance of the equipment before, during (when required) and after the test. In addition, enough vibration monitoring equipment shall be used to allow determination of the applied vibration levels. In addition to monitoring the vibration table, it is recommended that as many points are monitored on the equipment itself as may be needed to provide information to evaluate the vibration behavior of the specimen. These data can also be used for future evaluation of the qualification of the equipment for other applications and future changes, or for qualification of devices mounted on the equipment (for example instrument mounted on panel). The location of the monitoring sensors shall be documented including photographs.

6.2.6 *Demonstration of operability*

According to the criteria of clause 4 during and/or after the seismic tests, the equipment shall perform its safety related function.

6.2.7 *Test sequence*

In general, seismic tests should be conducted according to the following sequence and as described in the relevant specification:

a) Preliminary inspection in order to check the integrity of the equipment
b) Functional check (prior to the test)
c) Vibration response investigation (exploratory test)
d) Seismic qualification test including functional check
e) Functional check (after the test)
f) Final check.

The sequence of seismic tests within the global qualification process is identified in IEC 780.

6.2.8 *Vibration response investigation*

The specimen should be subjected to a vibration response investigation to determine its dynamic characteristics and as an aid in the justification of the test method chosen or for the results of the test.

The vibration response investigation supplies data on the natural frequencies, and on the damping of the equipment, and is useful in the choice of single or multiaxis testing.

The test shall be in the form of single axis excitation at low input vibration levels (lower than the required dynamic qualification level). The test shall be performed (in each principal axis) in the frequency range equal to or greater than those specified for seismic input motion (see 6.2.2).

The exploratory test can be performed in different ways, by base excitation or by impedance methods.

6.2.8.1 *Exploratory test by fixing points excitation*

The most common method employed is a continuous sinusoidal sweep input at low level acceleration with the frequency sweep rate not greater than 2 octaves per minute (1 octave per minute is often used). The selected acceleration level should be such as to obtain a good signal to noise ratio for test facilities (normally, this value is chosen to be in a range between 0,1 g to 0,2 g).

Similar results can be obtained carrying out the resonance search by low level broad-band periodic random motion.

6.2.8.2 *Essai exploratoire par la méthode d'impédance*

La recherche de la résonance peut être effectuée en excitant la structure avec des excitateurs mobiles ou par un essai d'impact. Les signaux issus des instruments de contrôle (accéléromètres, jauges de contrainte, etc.) doivent être enregistrés et analysés afin d'obtenir les courbes de réponse du matériel (c'est-à-dire l'accélération en fonction de la fréquence, ou mieux, la fonction de transfert entre les réponses et l'excitation). Ces courbes montrent les fréquences de résonance du matériel.

Pour l'essai 6.2.8.1 et le présent essai, il convient de noter que:

- la complexité physique ou l'accès réduit aux parties critiques font que les essais exploratoires peuvent ne pas détecter toutes les fréquences critiques;

- à cause des non-linéarités, les réponses de résonance pour les hauts niveaux peuvent être différentes en fréquence et en amortissement de celles enregistrées à bas niveau, et alors certaines résonances peuvent ne pas être visibles pour les excitations de bas niveau. Le résultat d'un essai d'exploration à bas niveau ne fournit donc pas toujours une information valable concernant la réponse dynamique du spécimen;

- quand un essai d'exploration est choisi afin de justifier le choix de la méthode d'essai de qualification des ondes à fréquence unique, il peut être utile d'effectuer une investigation de la réponse vibratoire à deux niveaux différents, afin d'identifier la non-linéarité.

La recherche de résonances à deux niveaux différents peut aussi être utile afin de justifier la qualification par une combinaison des méthodes d'essai et d'analyse.

Dans tous les cas, si la configuration du matériel est telle que les fréquences ne peuvent pas être déterminées avec certitude, la méthode d'essai doit être l'une de celles décrites en 6.5.2.

6.2.9 *Méthode d'essai de qualification*

6.2.9.1 *Généralités*

Il est bien connu que l'excitation sismique apparaît simultanément dans toutes les directions d'une manière aléatoire. Par conséquent, le mouvement d'excitation d'essai devrait consister en trois formes d'onde indépendantes appliquées simultanément le long des trois axes orthogonaux du matériel.

Cependant, compte tenu du fait que les installations d'essais triaxiaux sont rares et que l'essai triaxial est souhaitable quand des couplages significatifs existent simultanément entre les deux axes horizontaux préférentiels des spécimens, l'essai biaxial avec mouvement d'excitation d'entrée à fréquences multiples indépendantes, selon les directions horizontale et verticale, est un essai acceptable. Les essais doivent être effectués conformément à 6.3.2 et, en termes de durée totale et de fatigue induite, ils sont considérés comme conservatifs.

Dans certains cas, les essais monoaxiaux à excitation fréquentielle unique ou multiple sont aussi des méthodes d'essai acceptables si elles sont justifiées correctement en considérant l'effet de couplage entre les axes.

6.2.9.2 *Essais sismiques de niveaux S1 et S2*

Les spécifications d'essais sismiques prévoient l'effet d'un ou de plusieurs séismes S1 et S2. Cinq essais S1 sont considérés habituellement comme suffisants en l'absence d'information plus précise.

L'objet des essais multiples de niveau S1 est de démontrer que les séismes ayant une grande probabilité de survenir ne sont pas nuisibles au fonctionnement de sûreté du spécimen et ne créent pas un état de fatigue ou de vieillissement dont la présence non détectée pourrait conduire à un fonctionnement défectueux pendant un séisme S2 ultérieur.

6.2.8.2 *Exploratory test by impedance method*

The resonance search can be carried out by exciting the structure with movable shakers or by impact testing. The signal coming from monitoring instruments (accelerometers, strain gages, etc.) shall be recorded and analyzed in order to obtain the responses curves of the equipment (i.e. acceleration versus frequency, or better the transfer function between responses and excitation). These curves show the resonant frequencies of the equipment.

For the test of 6.2.8.1 and for this test, it should be noted that:

- due to physical complexity or restricted access to critical parts, the exploratory tests may not detect all the critical frequencies;

- because of non-linearities, resonance responses at high levels may differ in frequency and damping from those recorded at lower levels and then some resonances may not be visible at low excitation. The result of a low-level exploratory test may, therefore, not always provide valid information regarding the specimen's dynamic response;

- when an exploratory test is selected in order to justify the chosen test qualification method of single frequency waves, it may be useful to carry out vibration response investigation at two different levels in order to indicate non-linearity.

Resonance search at two different levels may also be useful to justify qualification by a combination of analytical and test methods.

In any case, if the configuration of the equipment is such that frequencies cannot be ascertained with reliability, the testing method shall be one of those described in 6.5.2.

6.2.9 *Qualification test method*

6.2.9.1 *General*

As is well known, seismic excitation occurs simultaneously in all directions in a random way. According to this point of view, the test input motion should consist of three mutually independent waveforms applied simultaneously along the three orthogonal axes of the equipment.

However, taking into account that three axial testing installations are rare and that triaxial testing is desirable when significant coupling exists simultaneously between the two preferred horizontal axis of the specimens, biaxial testing with multifrequency independent input motion in the horizontal and vertical direction is an acceptable test. Tests shall be performed according to 6.3.2 and, in terms of total duration and fatigue induced, are intended to become conservative.

In some cases, single axis tests with multiple or single frequency excitation are also acceptable methods of test if properly justified considering the effect of coupling between axes.

6.2.9.2 *S1 earthquake and S2 earthquake testing*

Seismic testing specifications include the effect of one (or more) S1 and S2 earthquakes. Five S1 tests are usually considered to be sufficient in the absence of more accurate information.

The purpose of multiple S1 testing is to demonstrate that earthquakes which are most likely to occur, are not detrimental to functional safety of the specimen's performance and do not generate fatigue or ageing conditions whose undetected presence could lead to defective performance during a subsequent S2 earthquake.

Quand le nombre requis de vérifications opérationnelles du spécimen est élevé, il peut être nécessaire de simuler plus d'essais de niveau S2 que prescrit afin de permettre le contrôle du spécimen, constituant par constituant.

NOTE - Dans ces conditions, la fatigue pour un faible nombre de cycles peut se manifester; les critères d'acceptation de l'essai indiqués en 6.2.13 doivent être modifiés afin de prendre en considération l'aspect suivant: la réparation sans refaire la série complète des essais est permise, pourvu que les caractéristiques dynamiques du spécimen ne soient pas modifiées de façon significative.

La forme et l'amplitude du spectre peuvent être différentes pour les deux niveaux sismiques S1 et S2. Pour qualifier le spécimen, il est alors nécessaire de connaître les spectres correspondant à chacun de ces niveaux sismiques. Il est couramment admis que le spectre S2 a la même forme que celle de S1 avec une amplitude deux fois plus élevée.

Pour les essais monoaxiaux et biaxiaux effectués conformément à 6.3.1 et 6.3.2, il est permis dans un premier temps, d'effectuer le séisme S1 prescrit, suivi du séisme S2, en répétant ensuite la même séquence, selon les implantations restantes des spécimens.

6.2.9.3 *Acceptabilité des spectres de réponse d'essai (SRE)*

Normalement, des formes d'ondes d'excitation d'entrée à vibration aléatoire ou synthétisée doivent en principe être choisies pour effectuer l'essai (voir 6.5.2).

Le mouvement d'excitation réel d'entrée obtenu issu du SRE doit avoir une intensité et une durée suffisantes pour que son SRE enveloppe le SRS ou la partie applicable du SRS (en tenant compte des caractéristiques dynamiques du matériel en essai, c'est-à-dire la fréquence propre de résonance).

Si aucun phénomène de résonance n'existe au-dessous de 5 Hz, le SRS doit en principe être enveloppé par des valeurs de fréquences supérieures à $5/\sqrt{2} = 3{,}5$ Hz.

En général, il convient que le SRE se rapproche le plus possible du SRS et qu'il ait une forme semblable, de manière que les caractéristiques fréquentielles du mouvement d'excitation d'entrée (onde d'essai) soient conformes au contenu fréquentiel du SRS.

Si des phénomènes de résonance existent en dessous de 5 Hz, il est admis que le SRE reste en dessous du SRS, conformément aux caractéristiques limites de la table vibrante, à la condition qu'un essai supplémentaire soit effectué en utilisant des méthodes d'excitation équivalentes (telle que l'excitation concentrée), et que leur équivalence soit démontrée.

Dans tous les cas, le SRE doit envelopper le SRS, en accord à la fois avec les fréquences propres du matériel en essai et les hautes fréquences (APN). Le SRE doit être calculé avec une résolution de largeur de bande de 1/3 octave (ou plus étroit), en utilisant des techniques analytiques ou une analyse spectrale de la réponse du matériel qui soient justifiées.

6.2.9.4 *Sélection de l'amortissement*

Pour la comparaison du SRE au SRS, on peut utiliser n'importe quelle valeur représentative de l'amortissement sans qu'il soit nécessaire d'utiliser celle correspondant à l'amortissement du matériel. Cette valeur d'amortissement doit être en principe égale pour les deux spectres. Cependant, dans certains cas, quand les données obtenues à partir d'une qualification antérieure sont utilisées, deux possibilités existent:

a) le SRE a un niveau d'amortissement supérieur à celui du SRS; dans ce cas, si les autres prescriptions de l'article 6 sont satisfaites, la qualification est acceptable;

b) le SRE a un niveau d'amortissement inférieur à celui du SRS; dans ce cas, il est nécessaire d'analyser de nouveau les données avant d'aboutir à une conclusion. Il est possible d'analyser le mouvement d'essai afin de produire un SRE ayant le même amortissement que le SRS.

When the required number of operational checks of the specimen is high, it may be necessary to simulate more S2 tests than specified to allow checking of the specimen part by part.

NOTE - In such cases, fatigue at low number of cycles may be revealed; the test acceptance criteria of 6.2.13 shall be modified in order to take into account the following aspect: repairing without repetition of the complete series of tests is allowed providing that the dynamic characteristics of the specimen do not change significantly.

Both the shape and magnitude of the spectrum may differ for the two seismic levels of S1 and S2. To qualify the specimen, it is therefore necessary to know the spectra corresponding to each of these seismic levels. It is commonly assumed that the S2 spectrum has the same shape as that for the S1 but twice as great.

For uniaxial or biaxial tests carried out according to 6.3.1 and 6.3.2, it is permissible to perform the required S1 in the first step followed by the S2 repeating the same sequence with the remaining arrangements of the specimen.

6.2.9.3 *Test response spectra (TRS) acceptability*

Normally, random vibration or synthesized input waveforms should be used in carrying out the test (see 6.5.2).

The actual input motion obtained starting from RRS shall have sufficient intensity and duration in such a way that its TRS envelops the RRS or the applicable portion of the RRS taking into account the dynamic characteristics of the equipment under test, i.e. the natural resonance frequency.

If resonance phenomena does not exist below 5 Hz, the RRS should be enveloped for frequency values above $5/\sqrt{2} = 3{,}5$ Hz.

In general, the TRS should envelop the RRS closely and should have a similar shape so that frequency characteristics of the input motion are consistent with the frequency content of the RRS.

If resonance phenomena exist below 5 Hz, it is accepted that the TRS stays below the RRS according to the limit of the vibration table provided that an alternative test is performed using equivalent excitation methods (such as concentrated excitation), and their equivalence is demonstrated.

In any case, the TRS shall envelop the RRS in correspondence with both the natural frequencies of the equipment under test and with high frequencies (ZPA). TRS shall be computed with 1/3 octave (or narrower) bandwidth resolution using justifiable analytical technical or response spectrum analysis equipment.

6.2.9.4 *Selection of damping*

In order to compare TRS with RRS, any representative value of damping may be employed, which should not necessarily correspond to the equipment damping. This damping value should be in principle equal for the two spectra. In some cases, however, when data from past qualification are used, two possibilities exist:

a) the TRS has a damping level greater than the RRS; in such a case if the other requirements of clause 6 are satisfied the qualification is acceptable;

b) the TRS has a damping level less than the RRS; in this case it is necessary to reanalyze the data prior to reaching a conclusion. One possibility is to analyze the test motion in order to produce a TRS with the same damping as the RRS.

Si nécessaire, on peut faire référence au niveau d'amortissement correspondant à celui mesuré sur le spécimen ou à une valeur choisie, donnée en 5.2.4.

6.2.9.5 *Essai d'aptitude limite*

L'essai d'aptitude limite est utilisé pour qualifier le matériel par la détermination de sa résistance maximale; une telle information peut être utilisée pour prouver la conformité à une prescription donnée.

Les méthodes décrites en 6.5 peuvent être utilisées pour déterminer les données d'aptitude limite et assurer une application correcte.

Une mesure du niveau d'aptitude limite du matériel pour un mouvement particulier constitue une démonstration de sa capacité maximale à supporter ce mouvement. Par exemple, si le SRS est à large bande, la courbe d'aptitude limite multifréquentielle (SRE) à l'amortissement approprié (6.2.9.4) doit en principe recouvrir le SRS et il doit pouvoir être prouvé qu'elle est supérieure au spectre requis.

6.2.9.6 *Essai de preuve*

L'essai de preuve est utilisé pour qualifier le matériel pour une application ou une prescription particulière. Les spécimens doivent être essayés conformément à 6.5.

6.2.10 *Essai des ensembles*

Il est normal de soumettre aux essais les ensembles complexes importants en simulant les conditions en service les plus critiques. Dans ce cas, le spécimen est soumis au mouvement d'excitation d'entrée sismique requis, tandis que les conditions de fonctionnement sont appliquées ou simulées en enregistrant ses performances pendant les essais.

Cependant, cette disposition peut s'avérer impossible pour les spécimens complexes pouvant comporter plusieurs dispositifs faisant partie de plusieurs systèmes, et raccordés à d'autres matériels situés à des emplacements différents à l'intérieur de la structure (c'est-à-dire des panneaux de contrôle contenant des constituants appartenant à différents circuits).

L'alternative suivante est permise:

- soit essayer l'ensemble avec les dispositifs inactifs ou simulés par une charge fictive équivalente,

- soit enregistrer la réponse des dispositifs au point d'installation, afin d'obtenir les spectres de réponse qui seront utilisés pour la qualification des dispositifs.

S'il y a beaucoup de dispositifs montés en plusieurs endroits de différents panneaux, il est suggéré que le spectre de réponse prescrit soit obtenu à partir de l'enveloppe du spectre de réponse de l'ensemble des endroits du montage (voir 6.2.11).

Les données ainsi obtenues peuvent être comparées à celles obtenues à partir d'une qualification précédente ou à partir de données d'aptitude limite des dispositifs, afin de vérifier que le SRS du dispositif est inférieur au SRE requis dans l'application (voir 6.2.11).

Pour l'essai des ensembles, la méthode décrite en 6.5.2, ou éventuellement toute méthode justifiée, peut être utilisée.

Après l'essai, les ensembles doivent être inspectés et l'intégrité de tous les dispositifs non surveillés, tels que les câbles, doit être contrôlée.

L'installation de dispositifs inactifs a pour but de s'assurer que le spécimen présente les mêmes caractéristiques dynamiques qu'en fonctionnement normal.

If necessary, reference can be made to the damping level corresponding to the one measured on the specimen or to a value selected as given in 5.2.4.

6.2.9.5 *Fragility testing*

Fragility testing is used to qualify equipment by determining its ultimate capability; such information may be used to prove adequacy for a given requirement.

The methods of 6.5 can be used to establish fragility data and to assure proper application.

A measurement of the equipment fragility level for a particular motion constitutes a demonstration of its ultimate capability to perform that motion. For example, if the RRS is broad-band, the multifrequency fragility curve (TRS) at appropriate damping (6.2.9.4) should overlay the RRS and be demonstrated to be higher than the required spectrum.

6.2.9.6 *Proof testing*

Proof testing is used to qualify equipment for a particular application or requirement. Specimens shall be tested in accordance with 6.5.

6.2.10 *Assembly testing*

It is normal to test large complex assemblies by simulating the most critical in-service conditions. In such a case, the specimen is subjected to the required seismic input motion while the operating conditions are applied or simulated and while its performance is recorded during the tests.

This might, however, prove to be impracticable in the event of complex specimens, which may include many devices forming parts of several systems and being connected to other equipment situated at numerous positions within the structure (i.e. control panels containing items belonging to different circuits).

The following alternative is allowed:

- testing of the assembly with devices inoperative or simulated by an equivalent dummy load, and

- recording the response of devices at the point of installation in order to obtain response spectra that will be used in the qualification of the devices.

If there are many devices mounted on different locations of different panels, it is suggested that the required spectra be obtained as an envelope of the response spectra of the whole mounting location. (see 6.2.11).

The data so obtained can be compared with the data obtained from previous qualification or from fragility data of the devices in order to verify that the RRS of the devices is lower than the TRS required in the application (see 6.2.11).

In assembly testing, the method described in 6.5.2 or any other justifiable method may be used.

After testing, the assembly shall be inspected and the integrity of all the unmonitored devices, such as cabling, checked.

The purpose of installing inoperative devices is to ensure that the specimen possesses the same dynamic characteristics as in normal operation.

Afin de prendre en considération les interactions entre l'ensemble soumis à l'essai et le matériel interfacé, un examen supplémentaire de l'interaction dynamique entre les matériels peut être requis (voir article 5). Par exemple, le nombre de sections verticales ou d'armoires de contrôle pouvant être qualifiés par essais est naturellement limité. Dans ce cas, l'interaction dynamique entre les matériels interfacés doit être prise en considération.

Cette prescription doit être évaluée en fonction du type de matériel et doit être définie cas par cas. Les performances fonctionnelles de l'ensemble soumis aux essais de qualification doivent être définies cas par cas.

6.2.11 *Essai des dispositifs*

Chaque dispositif (relais, interrupteurs, etc.) doit être soumis à des essais de simulation de son comportement fonctionnel.

Normalement, le dispositif est fixé sur la table vibrante de manière à simuler les conditions de service. Le dispositif doit être soumis à un mouvement d'excitation sismique d'entrée enveloppant la réponse prévue dans les positions de montage des constituants de l'ensemble (voir 6.2.10).

Dans le cas contraire, le dispositif doit en principe être installé sur la table vibrante de manière à réaliser une simulation dynamique de l'installation prescrite, puis soumis à un mouvement sismique de niveau supérieur ou égal à celui prescrit pour l'ensemble.

Certains types d'ensembles produisent des chocs ou des battements qui créent des réponses haute fréquence à l'endroit de montage des dispositifs; aussi, l'essai des dispositifs avec mouvement d'excitation d'entrée obtenue à partir de l'essai de l'ensemble est recommandé.

Les valeurs des fréquences supérieures pour les essais peuvent dépasser 35 Hz (et allant jusqu'à 100 Hz). Dans le cas contraire, il est nécessaire de disposer de données complémentaires de manière à montrer que l'essai est conservatif et que les effets possibles résultant des chocs ou battements ont bien été pris en considération.

L'essai des dispositifs peut nécessiter une étendue en fréquences d'essais supérieure à 35 Hz (et allant jusqu'à 100 Hz).

6.2.12 *Méthode d'essai pour les spécimens n'ayant pas de fréquences critiques*

S'il peut être prouvé que le matériel ne résonne pas dans une gamme de fréquences de la zone amplifiée du spectre de réponse, celui-ci peut être considéré comme rigide et peut être essayé statiquement ou conformément aux critères de 6.5.3.

6.2.13 *Critères d'acceptation de l'essai*

L'inspection doit être faite pour contrôler l'intégrité et les performances du matériel avant, pendant et après l'essai (selon le type de matériel).

Les critères d'acceptation doivent être spécifiés à l'avance, et les conditions minimales suivantes ne doivent pas se produire, dans la mesure du possible:

a) la défaillance structurelle ou la déflexion rendant inopérante ou limitant les performances de toute fonction de sûreté n'est pas acceptée;

b) perte du signal de sortie; par exemple circuit coupé ou court-circuit;

c) sortie erronée ou indésirable; par exemple rebondissement du contact d'un relais au-delà des limites spécifiées;

In order to take into account the interaction between the assembly under test and the interfaced equipment, additional consideration of the dynamic interaction between the equipment can be required (see clause 5). For example, the number of vertical sections of control or power panels that can be qualified by tests are of course limited. In this case, the dynamic interaction between interfaced equipment shall be considered.

This requirement shall be evaluated according to the type of equipment and shall be defined on a case-by-case basis. Functional performance of the assembly submitted to qualification tests shall be defined on a case-by-case basis.

6.2.11 *Devices testing*

Each device (relays, breakers, etc.) shall be subjected to testing while simulating its functional behavior.

Normally, the device is fixed to the vibration table in a manner that simulates the in-service conditions. The device shall be subjected to a seismic input motion enveloping the response expected on the mounting positions of the assembly items (see 6.2.10).

If not, the device should be installed on the vibration table in such a way as to ensure dynamic simulation of the required installation and then should be subjected to a seismic motion equal or greater than that required for the assembly.

Some types of assembly produce impact or rattling that generate high frequency responses at the mounting location of the devices, and testing of devices with input motion obtained from test on the assembly is recommended.

The upper frequency values for the tests may be higher than 35 Hz (up to 100 Hz). Otherwise, it is necessary to provide additional data in order to demonstrate that the test is conservative and possible effects of impact and rattling have been taken into account.

Testing of devices may require a frequency range higher than 35 Hz (up to 100 Hz).

6.2.12 *Testing method for a specimen without critical frequencies*

If it can be shown that the equipment is not resonant in the frequency range of the amplified zone of the response, it can be considered rigid and may be tested statically or according to the criteria of 6.5.3.

6.2.13 *Test acceptance criteria*

Inspection shall be made to check the integrity and performance of the equipment before, during and after the test (according to the type of equipment).

The acceptance criteria shall be specified in advance and the following minimum conditions shall not occur, as far as applicable:

a) structural failure or deflection which would inhibit or prevent performance of any safety related function is not accepted;

b) loss of output signal; for example open or short circuit;

c) spurious or unwanted output; for example relay contact bounce exceeding the specified limits;

d) dérive du point de réglage ou du point de déclenchement, supérieure à la précision spécifiée sur toute l'étendue de mesure;

e) dérive de l'étalonnage supérieure à la précision spécifiée sur toute l'étendue de mesure; ce paramètre n'a pas besoin d'être déterminé pendant l'excitation vibratoire;

f) défaillance structurelle; par exemple parties désserrées ou cassées ou déformation occasionnant une perte de fonction;

g) perte des caractéristiques de performances requises; par exemple inaptitude à changer d'état;

h) perte de l'intégrité de la barrière d'étanchéité; par exemple fuite;

i) le fonctionnement correct peut être requis pendant et après l'essai ou seulement après l'événement.

Une instrumentation suffisante doit être prévue pour surveiller et enregistrer les performances des dispositifs pendant l'excitation vibratoire, de manière à montrer que les critères d'acceptation ci-dessus ont été satisfaits.

Au cas où ces critères ne sont pas satisfaits, l'écart par rapport aux données spécifiques doit être évalué en fonction des spécifications appropriées pour les applications spécifiques.

Les ensembles de matériel ou les dispositifs ne donnant pas des résultats d'essais satisfaisants doivent être réparés, modifiés ou remplacés, mais dans n'importe quel cas, l'essai complet du matériel doit être répété et les résultats obtenus doivent être satisfaisants. Si les dispositifs sont remplacés pendant l'essai, ils doivent l'être conformément aux critères généraux de la CEI 780, et vieillis si nécessaire.

6.3 *Essais monoaxial et multiaxial*

6.3.1 *Essai monoaxial*

Les essais monoaxiaux exécutés successivement selon les trois axes préférentiels d'essai du matériel peuvent être justifiés dans l'une des circonstances suivantes:

- quand il y a peu ou pas de couplage entre les trois axes préférentiels du matériel pris deux par deux;

- lorsque le matériel est soumis à une seule excitation pouvant être considérée comme monoaxiale du fait des conditions de support;

- quand l'excitation multidirectionnelle est prise en compte par un facteur multiplicatif approprié. Par exemple, si un élément est normalement installé sur un spécimen qui amplifie le mouvement dans une seule direction ou si la construction et/ou la fixation d'un constituant limite son mouvement à une seule direction, un essai monoaxial peut suffire.

Cependant, si les essais dans les trois axes ne sont pas effectués, une justification doit être donnée. Les essais doivent être effectués en fonction des critères de 6.5.

6.3.2 *Essais biaxiaux*

Les essais biaxiaux sont normalement prévus comme l'application du mouvement d'excitation d'entrée (onde d'essai) dans les directions horizontale et verticale. Deux cas peuvent être rencontrés en fonction du type d'installation d'essais disponible.

d) drift of set-point or trip setting greater than the specified accuracy over the full range;

e) calibration shift greater than the specified accuracy over the full range; this parameter need not be determined during vibratory excitation;

f) structural failure; for example broken or loosened parts or deformation resulting in loss of function;

g) loss of required performance characteristics; for example inability to change state;

h) loss of pressure boundary integrity; for example leakage;

i) correct functioning may be required during and after the test or merely after the event.

Sufficient instrumentation shall be provided to monitor and record device performance during vibratory excitation; i.e. in order to show that each of the above criteria have been satisfied.

Whenever these criteria are not met, the specific deviation data shall be evaluated according to the relevant specification for specific applications.

Equipment assemblies or devices which fail to give satisfactory test results shall be repaired, modified, or replaced but in any case the entire test of the equipment shall be repeated and satisfactory results obtained. If devices are replaced during a test, they shall be replaced according to the general criteria of IEC 780, aged if necessary.

6.3 *Single and multiaxis testing*

6.3.1 *Single axis testing*

Single axis testing applied successively in the three preferred axes of the equipment can be justified in the following circumstances:

- when there is little or no coupling between the three preferred axes of the equipment taken in pairs;

- when the equipment is subjected only to single axis excitation due to its installation conditions;

- when the multidirectional excitation is taken into account by an appropriate scaling factor. For example, if an element is normally installed on a specimen which amplifies motion in a single direction, or if the construction and/or mounting of a component restricts its motion to one direction, a single axis test may suffice.

However, if testing in all three axes is not carried out, this shall be justified. Testing shall be performed according to the criteria of 6.5.

6.3.2 *Biaxial testing*

Biaxial tests are normally intended as the application of input motion in the horizontal and vertical direction. According to the type of testing installation available, two cases may be encountered.

6.3.2.1 *Installation biaxiale*

Pour l'utilisation d'ondes multifréquentielles (voir 6.4a)), les essais doivent être effectués en appliquant deux signaux d'excitation simultanés indépendants le long des axes horizontal et vertical du spécimen, et répétés après une rotation de 90° du spécimen autour de son axe vertical. Le SRE obtenu le long de chaque axe doit envelopper le SRS conformément aux critères indiqués en 6.2.9.3.

6.3.2.2 *Installation monoaxiale*

Si une installation biaxiale n'est pas disponible, l'utilisation d'une table vibrante le long d'un plan incliné par rapport à l'axe horizontal est acceptable; le plan d'installation doit rester horizontal.

Les mouvements selon les deux directions n'étant pas indépendants, quatre essais doivent être effectués avec les ondes d'essais en phase et en opposition de phase. Le spécimen doit être installé sur la table vibrante dans les positions indiquées ci-dessous:

- Position 1: spécimen positionné avec un des axes horizontaux choisis le long de la direction de l'excitation
- Position 2: spécimen pivoté de 180° autour de l'axe vertical par rapport à la position 1
- Position 3: spécimen pivoté de 90° autour de l'axe vertical par rapport à la position 1
- Position 4: spécimen pivoté de 180° autour de l'axe vertical par rapport à la position 3.

Avec ce type d'essai, on obtient des spectres de même forme, suivant les trois axes du spécimen, mais dont les niveaux relatifs aux directions horizontale et verticale sont déterminés par l'inclinaison du mouvement de la table vibrante.

Normalement, ce type de table vibrante a une inclinaison de 45°, mais peut avoir dans certains cas, une inclinaison différente dans la plage de 25° à 45°.

Le SRE projeté le long de chacun des deux axes du spécimen en essai doit envelopper le SRS de l'axe correspondant en fonction des critères indiqués en 6.2.9.3. Cet essai peut être conservatif puisque les pics d'excitation apparaissent simultanément le long de chaque axe.

6.3.3 *Essai triaxial*

L'essai est effectué avec des formes d'ondes simultanées de l'excitation d'entrée selon deux axes orthogonaux horizontaux et l'axe vertical du spécimen, chacun produisant un SRE qui enveloppe le SRS correspondant le long de cet axe, conformément à 6.2.9.3. Deux cas peuvent être rencontrés selon le type d'installation disponible.

6.3.3.1 *Installation triaxiale*

L'essai est effectué avec une forme d'onde d'excitation d'entrée indépendante et simultanée suivant les trois axes préférentiels du spécimen.

6.3.3.2 *Installation biaxiale (verticale et horizontale)*

Etant donnée la rareté des installations triaxiales, il est suggéré pour l'instant d'utiliser une table vibrante biaxiale avec des signaux d'excitation simultanés indépendants dans les plans horizontal et vertical.

6.3.2.1 *Biaxial installation*

Using multifrequency waves (see 6.4a)), tests shall be carried out by applying independent simultaneous excitation signals along the horizontal and the vertical axes of the specimen and repeated after a rotation of 90° of the specimen about the vertical axis. The TRS obtained along each axis shall envelop the RRS according to the criteria of 6.2.9.3.

6.3.2.2 *Single axis installation*

If a biaxial installation is not available, a vibration table moving along an inclined plane with respect to the horizontal axis is acceptable, the installation plane remaining horizontal.

Since in this case the motion along the two directions is not independent, four tests are then performed in order to test in and out of phase. The specimen shall be installed on the vibration table in the positions indicated below:

- Position 1: specimen in position with one of the chosen horizontal axes along the direction of excitation
- Position 2: specimen rotated through 180° about the vertical axis from position 1
- Position 3: specimen rotated through 90° about the vertical axis with respect to position 1
- Position 4: specimen rotated through 180° about the vertical axis with respect to position 3.

With this type of test, the spectra obtained have the same shape for all three axes of the specimen but with relative horizontal to vertical levels determined by the slope of the vibration table.

Normally this type of table has a slope of 45° but in some cases may have a different slope in the range 25° to 45°.

The TRS projected along each one of the two axes of the test specimen shall envelop the RRS of the corresponding axis according to the criteria of 6.2.9.3. This test may be conservative since the excitation peaks are occurring simultaneously along both axes.

6.3.3 *Triaxial testing*

The test is performed with simultaneous input waveforms along two orthogonal horizontal axes and vertical axis of the specimen, each producing a TRS that envelops the corresponding RRS along that axis according to 6.2.9.3. Two cases may be encountered according to the type of installation available.

6.3.3.1 *Triaxial installation*

The test is performed with simultaneous but independent input waveform into the three preferred axes of the specimen.

6.3.3.2 *Biaxial installation (vertical - horizontal)*

As triaxial installations are rare, at present the use of a biaxial vibration table with independent simultaneous excitation signals in the horizontal and vertical plane is suggested.

- Le matériel doit en principe être monté et essayé sur la table vibrante selon l'axe horizontal préférentiel parallèle à l'excitation.

- On fait ensuite pivoter le matériel de 90° le long de l'axe vertical, puis il est essayé à nouveau.

- Le matériel doit ensuite être monté sur la table vibrante avec un axe horizontal choisi à 45° par rapport aux axes d'excitation, et essayé.

- On fait ensuite pivoter le matériel de 90° autour de l'axe vertical, puis il est essayé à nouveau.

Le niveau d'excitation dans le plan horizontal doit être ajusté afin d'obtenir un SRE qui enveloppe le SRS le long des deux axes horizontaux orthogonaux choisis du spécimen (voir 6.2.9.3).

Si l'on n'utilise pas d'excitations aléatoires indépendantes et si une installation monoaxiale telle que celle décrite en 6.3.3.2 est disponible, quatre essais doivent en principe être effectués. Le spécimen est monté sur la table vibrante selon l'axe d'excitation comme décrit ci-dessus, puis essayé. On fait pivoter le spécimen dans quatre directions différentes comme décrit en 6.3.2.2.

6.4 *Choix des ondes d'essai*

Ce choix doit être fait en tenant compte des caractéristiques supposées du matériel dans sa position normale d'utilisation et lorsqu'il est soumis à l'influence du séisme spécifié. Quelle que soit la forme d'onde d'essai retenue, il faut que le spectre de réponse d'essai enveloppe le SRS ou sa portion significative.

On peut classer les ondes d'essai en deux catégories:

a) Les ondes multifréquentielles:

- Vibration aléatoire
- Accélérogramme (synthétisé ou non).

b) Les ondes à fréquence unique:

- Sinusoïde continue
- Sinusoïde modulée
- Balayage sinusoïdal
- Autres formes d'ondes (sur justification).

6.5 *Formes d'ondes d'essai*

6.5.1 *Généralités*

Quelle que soit la forme d'onde d'essai utilisée, elle doit:

- produire un SRE qui enveloppe le SRS sur tout le domaine de fréquences d'essai - SRE et SRS doivent être comparés à la même valeur d'amortissement ou avec une valeur d'amortissement du SRE supérieure à celle du SRS;

- avoir une valeur de crête de l'amplitude de l'accélération égale ou supérieure à celle de l'APN du SRS;

- si possible, ne pas inclure de fréquences supérieures au maximum spécifié par le SRS.

- The specimen should be mounted and tested on the vibration table with the preferred horizontal axis parallel to the excitation.

- Then, the equipment is rotated by 90° around the vertical axis and tested again.

- The specimen should then be mounted on the vibration table with one of the chosen horizontal axis at 45° with respect to the excitation axes and tested.

- Then, the equipment is rotated 90° around the vertical axis and tested again.

The excitation level in the horizontal plane shall be adjusted in order to obtain a TRS that envelops the RRS along the two chosen orthogonal horizontal axes of the specimen (see 6.2.9.3).

If independent random inputs are not used, and a single axis installation such as described in 6.3.3.2 is available, four tests should be run. The specimen is mounted on the vibration table as described above according to the excitation axis and tested. The specimen is rotated into four different positions as discussed in 6.3.2.2.

6.4 *Test wave selection*

The selection shall take into account the anticipated characteristics of the specimen in its installed position and under the influence of the specified earthquake. Whichever waveform is adopted, the test response spectrum shall envelop the RRS or its significant portion thereof.

The test waves can be divided into two categories:

a) Multifrequency waves:

- Random vibration
- Time history (synthesized or not).

b) Single frequency waves:

- Sine dwell
- Sine beat
- Sine sweep
- Other waveforms (requiring justification).

6.5 *Testing waveforms*

6.5.1 *General*

Whichever test waveform is used, it shall:

- produce a TRS that envelops the RRS over the test frequency range - TRS and RRS shall be compared to the same damping value or with a damping value of TRS greater than that of the RRS;

- possess a peak acceleration value equal or greater than the ZPA of the RRS;

- ideally not include any frequency greater than the maximum specified by the RRS.

6.5.2 *Essais multifréquentiels*

Les essais multifréquentiels doivent être conformes aux règles indiquées en 6.5.1 et 6.2.9.3. Afin de développer une forme d'onde multifréquentielle, différentes techniques peuvent être utilisées selon le système de contrôle d'essai disponible (numérique ou analogique).

6.5.2.1 *Essai avec signal aléatoire*

L'essai avec signal aléatoire est effectué en appliquant au spécimen une onde aléatoire ajustée dans le domaine de fréquences défini par le SRS à un niveau tel que le SRE enveloppe le SRS conformément à 5.2.9.3. Si la méthode utilise un système de contrôle analogique, le niveau est ajusté par bandes de tiers d'octaves avec une largeur de chaque bande définie en fonction du matériel disponible.

Si l'on utilise un système numérique, le signal est ajusté par bandes de tiers d'octaves (ou moins)[1] . Dans ce cas, il est possible de développer un SRE convenable sans utiliser un niveau d'accélération maximal excessif comme dans le cas d'un SRS ayant une APN et une grande amplification. Le signal est le résultat de la combinaison de composantes à bande étroite superposées à un mouvement à large bande au niveau nécessaire. D'autres possibilités pour obtenir un SRE enveloppant de très près le SRS sont décrites en 6.5.2.1 et 6.5.2.2.

6.5.2.2 *Signal aléatoire avec superposition de signaux à fréquence unique*

Quand le SRS montre un bas niveau d'APN et une grande amplification, il est permis d'ajuster le niveau aléatoire à un niveau peu supérieur à celui requis pour atteindre l'APN, puis superposer des signaux à fréquence unique comme le balayage sinusoïdal ou la sinusoïde modulée pour obtenir le spectre de réponse conformément à 6.2.9.3.

La largeur de bande du spectre peut exiger une sinusoïde continue ou une sinusoïde modulée à plus d'une fréquence. Elles doivent démarrer simultanément et leur durée doit être égale à celle de l'essai. Les sinusoïdes modulées doivent être espacées. Le nombre de cycles par modulation peut être ajusté pour satisfaire aux prescriptions.

Si la largeur de bande du SRS a été artificiellement élargie, une série d'essais à différentes sinusoïdes continues à fréquence unique ou à sinusoïdes modulées superposées au mouvement aléatoire de base est permise pourvu qu'une justification complète en soit donnée.

6.5.2.3 *Essai par accélérogramme*

L'essai est effectué en appliquant au matériel des accélérogrammes synthétisés au préalable (voir figure 4) pour simuler l'excitation probable du spécimen. Les ondes peuvent être obtenues par une combinaison (addition) de composantes individuelles à bande étroite superposées à un mouvement aléatoire à large bande de bas niveau.

Cette approche est adaptée pour les systèmes contrôlés numériquement, qui peuvent réaliser un mouvement de la table vibrante dont le SRE enveloppe le SRS conformément à 6.2.9.3, sans introduire un niveau d'APN excessif.

Différentes techniques peuvent être utilisées selon le programme de calcul disponible. Le premier est facilement utilisé sur une installation contrôlée par ordinateur.

---

[1] Les valeurs suggérées sont: par 1/3 octave pour un amortissement de 10 % ou plus, par 1/6 octave pour un amortissement compris entre 2 % et 10 % et par 1/12 octave pour un amortissement de 2 % ou moins.

6.5.2 *Multifrequency testing*

Multifrequency testing waves shall be in accordance with the rules indicated in 6.5.1 and 6.2.9.3. In order to develop a multifrequency waveform, different techniques may be used according to the test control system available (digital or analog).

6.5.2.1 *Random signal test*

The random signal test is performed by applying a random wave to the specimen adjusted to the frequency range defined by the RRS at a level such that the TRS envelops the RRS according to 5.2.9.3. If the method is used with an analog system, the level is adjusted to 1/3 octave bands with the bandwidth of each band defined according to the equipment available.

If a digital system is used, the signal is adjusted at intervals of 1/3 octave (or narrower)[1]. In this way, it is possible to develop a suitable TRS without using an excessive maximum acceleration level as in the case of an RRS having low ZPA and high amplification. The signal is the result of the combination of narrow band components superimposed on a broad-band motion at the necessary level. Other possibilities for obtaining a TRS that envelops the RRS closely are described in 6.5.2.1 and 6.5.2.2.

6.5.2.2 *Random signal with superimposed single frequency signals*

When the RRS shows low level ZPA and high amplification, it is acceptable to adjust the random input at a level not substantially greater than that required to meet the ZPA and then superimpose single frequency signals such as sine-dwell or sine beat to meet the response spectra according to 6.2.9.3.

The bandwidth of the spectrum may require sine-dwell or sine beats at more than one frequency. They shall start simultaneously and their duration shall be equal to the test duration (sine beats shall be spaced). The number of cycles per beat may be adjusted in order to meet the requirements.

If the bandwidth of the RRS has been artificially broadened, a series of tests having different single frequency sine dwell or sine beats superimposed on the basic random motion are allowed provided that complete justification is given.

6.5.2.3 *Time history test*

The test is performed by applying a previously synthesized time-history to the specimen (see figure 4) to simulate the specimen's probable excitation. The waves can be obtained by a combination (summation) of individual narrow band components superimposed on lower level broad-band random motion.

This approach is suitable for a digitally controlled system which is allowed to obtain a table motion whose TRS envelops the RRS according to the criteria of 6.2.9.3 without introducing an excessive ZPA level.

Different techniques can be used according to the computer program available. The first one is readily used in a computer-controlled installation.

---

[1] The suggested values are 1/3 octave for 10 % or greater damping, 1/6 octave for damping between 2 % and 10 % and 1/12 octave for damping of 2 % or less.

- *Combinaison d'ondes sinusoïdales multiples*

Le signal est composé d'une somme d'ondes sinusoïdales multiples à des fréquences distinctes contrôlées en amplitude et de phases aléatoires afin de remplir les prescriptions de 5.2.9.3. Toutes les ondes sinusoïdales doivent démarrer simultanément et être maintenues pendant la durée de l'essai. Les fréquences sont espacées par 1/3 octave (ou moins).

Quand la méthode est utilisée afin d'obtenir un spectre de réponse à large bande, les résultats sont très semblables au mouvement aléatoire à large bande.

- *Combinaison d'ondes sinusoïdales modulées*

La méthode est identique à celle mentionnée ci-dessus mais utilise une combinaison de sinusoïdes modulées répétées d'une manière continue pendant la durée de l'essai.

- *Combinaison d'ondes sinusoïdales décroissantes*

L'onde à fréquences multiples est obtenue comme une juxtaposition d'ondes sinusoïdales décroissantes démarrant simultanément et se maintenant pendant la durée de l'essai. Dans ce cas, les fréquences non amorties des ondes composantes sont aussi espacées par 1/3 octave (ou moins).

6.5.3 *Essai monofréquentiel*

L'onde d'essai à fréquence unique doit produire un mouvement tel, que le SRE à la fréquence de l'essai soit supérieur ou égal au SRS. Le pic d'accélération doit être au moins égal à l'APN du SRS, sauf pour les basses fréquences pour lesquelles seule la valeur du SRS doit en principe être obtenue (voir 5.2.9.3).

Compte tenu du fait que le SRS est habituellement élargi dans la région amplifiée, il est acceptable d'effectuer l'essai à la fréquence centrale de la région élargie et à des fréquences espacées par des intervalles de 1/3 octave (ou moins) jusqu'à ce que la surface amplifiée du spectre soit couverte (voir figure 1). Cela empêche que d'éventuelles fréquences critiques ne soient pas détectées pendant l'essai d'investigation de la réponse. Les spécimens ayant une fréquence critique doivent être essayés à cette fréquence et à deux fréquences adjacentes pour lesquelles le SRE de l'onde d'essai (à la fréquence critique) est réduit d'un facteur $\sqrt{2}/2$ (voir figure 1). Dans ce cas, il est suggéré de répéter la recherche de la résonance pour vérifier que la fréquence critique reste dans l'intervalle défini par la fréquence adjacente.

Les essais peuvent consister en l'application d'un train d'au moins cinq sinusoïdes modulées ou continues (voir figures 2 et 3) à chaque fréquence, avec un arrêt entre chaque sinusoïde modulée ou continue, afin de ne pas avoir de superposition significative de réponse du matériel essayé.

Chaque sinusoïde modulée (ou continue) doit avoir en principe une intensité et un nombre de cycles (habituellement 5 à 10) suffisants pour produire un SRE conforme aux critères ci-dessus. Pour une amplitude de pic donnée de la sinusoïde modulée ou continue, le conservatisme de l'essai augmente avec le nombre de cycles (voir figure 11).

6.5.4 *Autres formes d'ondes*

D'autres formes d'ondes peuvent être utilisées après justification et en accord avec les prescriptions de 6.5.1. Si l'on utilise des ondes sinusoïdales, les mêmes critères s'appliquent; le pic d'accélération des ondes sinusoïdales décroissantes doit correspondre à la valeur de l'APN du spectre de réponse.

Dans tous les cas, le signal unique (non le train) doit donner un SRE qui enveloppe le SRS à la fréquence d'essai et à l'APN. Les essais à balayage sinusoïdal à un taux de balayage inférieur à 2 octaves par minute peuvent aussi être utilisés dans le domaine de fréquences approprié. Le taux de balayage doit en principe être choisi en fonction de la valeur d'amortissement du matériel. Le SRE doit être évalué autour d'une fréquence unique quelconque.

- *Combination of multiple sinewaves*

The signal consists of a summation of multiple sinewaves at distinct frequencies controlled in amplitude and randomly phased in order to meet the requirements of 5.2.9.3. All sinewaves shall start simultaneously and continue for the duration of the test. The frequencies are spaced at 1/3 octave (or closer).

When the method is used in order to meet broad-band response spectra, the results are very similar to broad-band random motion.

- *Combination of sine beats*

The method is similar to the above, but uses a combination of sine beats continuously repeated for the duration of the test.

- *Combination of decaying sine waves*

The multifrequency wave is obtained as an aggregate of decaying sine waves starting simultaneously and continuously present for the duration of the test. In this case, the undamped frequencies of the component waves are also spaced 1/3 octave apart (or closer).

6.5.3 *Single frequency testing*

The single frequency wave shall produce a motion such that TRS, at the test frequency, is larger or equal to the RRS. The peak acceleration shall be at least equal to the ZPA of RRS except at low frequencies for which only the RRS value should be met (see 5.2.9.3).

Taking into account that the RRS is usually broadened in the amplified region, it is acceptable to carry out the test at the center frequency of the broadened region and at frequencies spaced 1/3 octave interval apart (or closer) until the amplified area of the spectra is covered (see figure 1). This guards against the possibility that some critical frequencies are undetected during the investigation response test. Specimens having a critical frequency shall be tested at that frequency and at two adjacent frequencies for which the TRS of the test wave (at critical frequency) is reduced by a factor of $\sqrt{2}/2$(see figure 1). In this case, it is suggested that the resonance search is repeated to verify that the critical frequency remains in the interval defined by the adjacent frequency.

The tests may consist of the application of a train of at least five sine beats or sine dwell (see figures 2 and 3) at each frequency with a pause between any sine beat or sine dwell, in order to have no significant superposition of equipment response.

Each sine beat (or sine dwell) should have a sufficient intensity and number of cycles (usually 5 to 10) to produce a TRS according to the above criteria. For a given peak amplitude of the sine beat or sine dwell the conservatism of the test increases as the number of cycles increases (see figure 11).

6.5.4 *Other waveforms*

Other waveforms can be used if justified in accordance with the requirements of 6.5.1. If decaying sine waves are used, the same criteria applies; the peak acceleration of decaying sine waves shall correspond to the ZPA value of the response spectra.

In any case, the single signal (not the train) shall give a TRS that envelops the RRS at testing frequency and at ZPA. Sine sweep tests at a sweep rate not greater than 2 octaves per minute may also be used in the frequency range of interest. The sweep rate should be chosen according to the damping value of the equipment. The TRS shall be evaluated around any single frequency.

7 Documentation

La documentation destinée à justifier la qualification doit en principe comporter:

7.1 *Généralités*

- Détail des matériels (4.2.1)
- Détail de la spécification sismique (4.2.2)
- Détail des critères d'essais (4.2.3)
- Documentation identifiant la production en ligne et l'inspection des matériels qui s'y rapportent.

7.2 *Qualification par l'analyse*

Il convient de présenter le détail de l'analyse sous une forme pas-à-pas facilement vérifiable par des personnes spécialisées dans une telle analyse, et comprendre, en principe, une liste des modes de défaillance potentiels considérés dans l'analyse où des codes informatiques sont utilisés. La référence au document de validation doit être fournie.

Si la preuve des performances est obtenue par extrapolation à partir de matériel similaire, les données doivent comporter:

- la description des deux matériels;
- les données d'essais sur les matériels originaux;
- la description détaillée des différences entre les deux matériels;
- la justification que la différence ne dégrade pas les performances sismiques au-dessous de limites acceptables (cela peut exiger une analyse ou des essais complémentaires), y compris toutes données supplémentaires sur le support.

7.3 *Qualification par les essais*

- Installation d'essais:
  . Lieu
  . Matériel d'essai et étalonnage
- Méthodes et procédures d'essais
- Données d'essais (comprenant la preuve des performances)
- Résultats et conclusions (en particulier les fréquences propres et les accélérations maximales, telles que la comparaison des SRE et SRS)
- Données d'inspection de la production du matériel essayé
- Vieillissement: Informations sur les procédures de vieillissement utilisées.

7.4 *Continuité*

La documentation doit permettre l'extension de la qualification à la production en série du matériel.

7 Documentation

Documentation to substantiate qualification should include:

7.1 *General*

- Details of the equipment (4.2.1)
- Details of the seismic specification (4.2.2)
- Details of the test criteria (4.2.3)
- Documentation which identifies the equipment production route and the inspection which applies to it.

7.2 *Qualification by analysis*

Details of the analysis should be presented in a step-by-step form which is readily auditable by persons skilled in such analysis and should include a listing of the potential failure modes considered in the analysis where computer codes are used. A reference to a validation document shall be provided.

If proof of performance is obtained by extrapolation from similar equipment, the data shall contain:

- description of both equipment;
- test data on original equipment;
- a detailed description of the differences between the two equipment;
- justification that the differences do not degrade the seismic performance below acceptable limits (may require some additional analysis or testing) including any additional supporting data.

7.3 *Qualification by test*

- Test facility:
  . Location
  . Test equipment and calibration
- Test methods and procedures
- Test data (including proof of performance)
- Results and conclusions (particularly natural frequencies and maximum accelerations such as comparison of TRS and RRS)
- Production inspection data for the equipment which was tested
- Ageing: Information on ageing procedures.

7.4 *Continuity*

The documentation shall enable the qualification to be extended to the series production of the equipment.

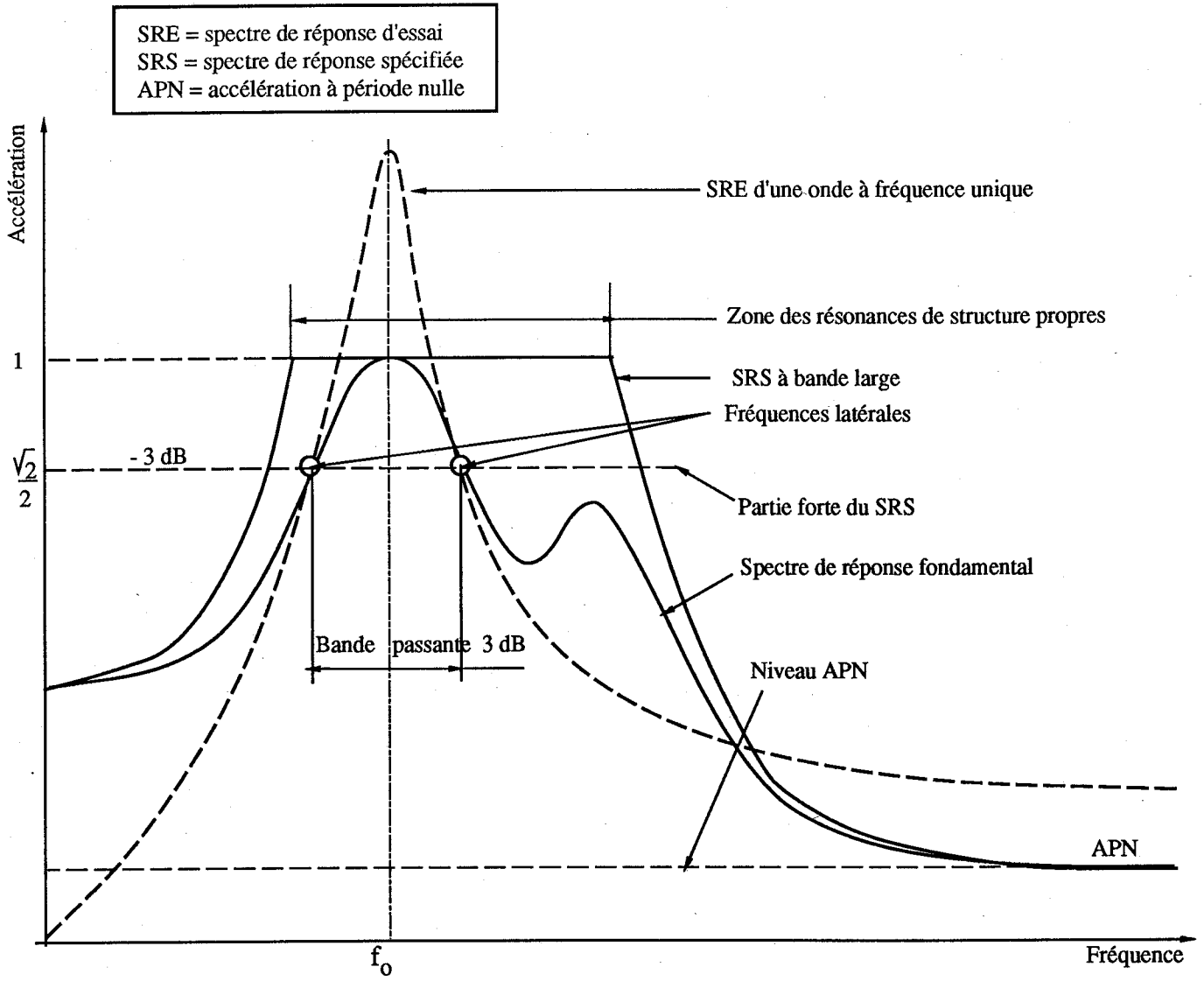


Figure 1 - Enveloppe typique de la courbe de réponse

980 © CEI 1989

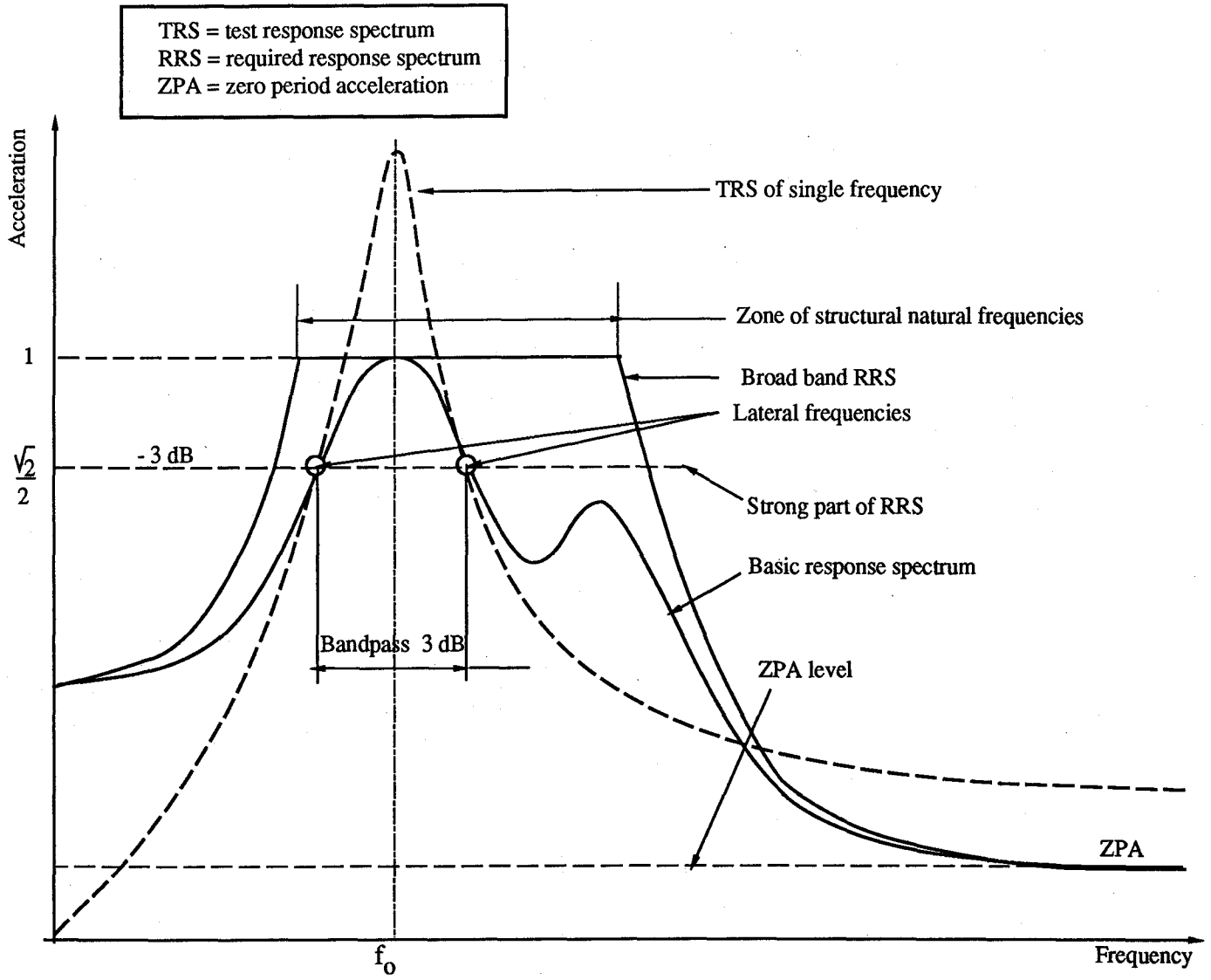


Figure 1 - Typical envelope response curve

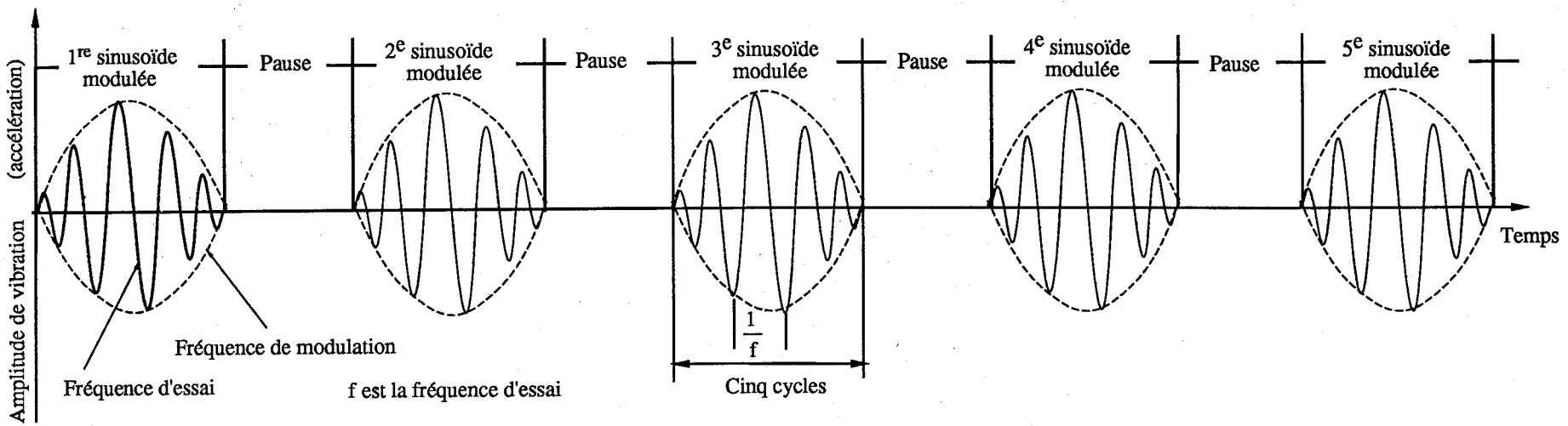


Figure 2 - Train de cinq sinusoïdes modulées de cinq cycles

980 © CEI 1989

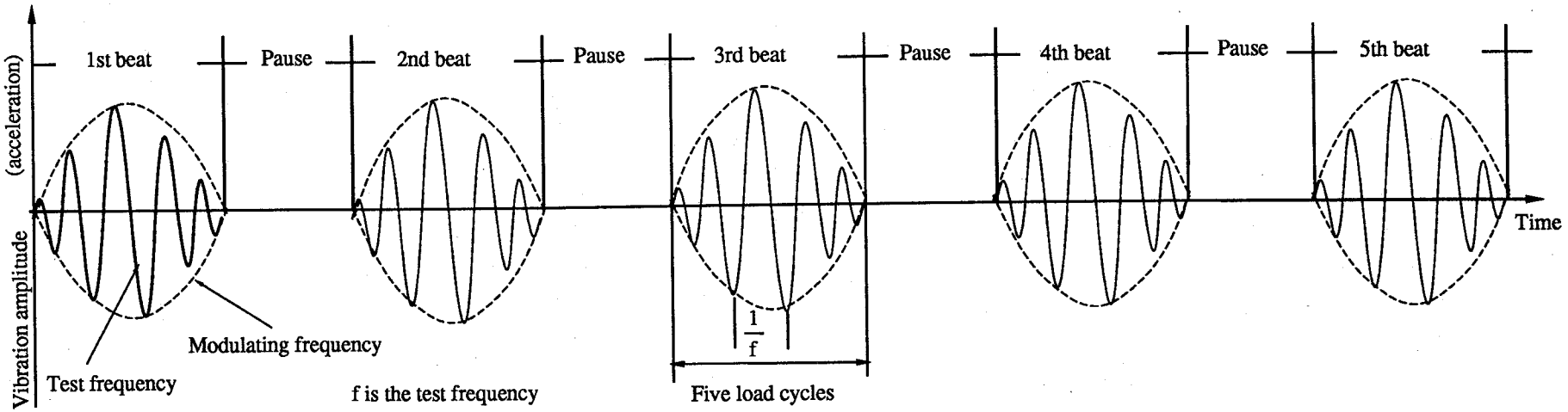


Figure 2 - Train of five beats with five load cycles

980 © CEI 1989

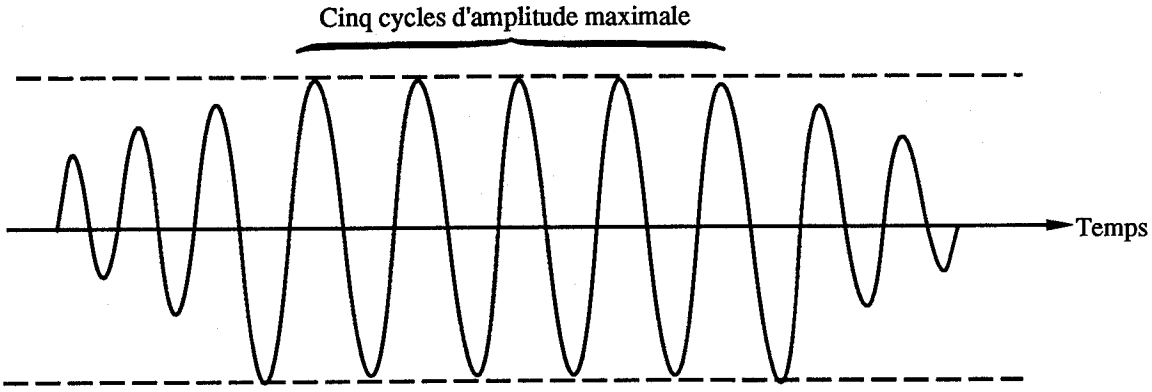


Figure 3 - Stabilisation sinusoïdale

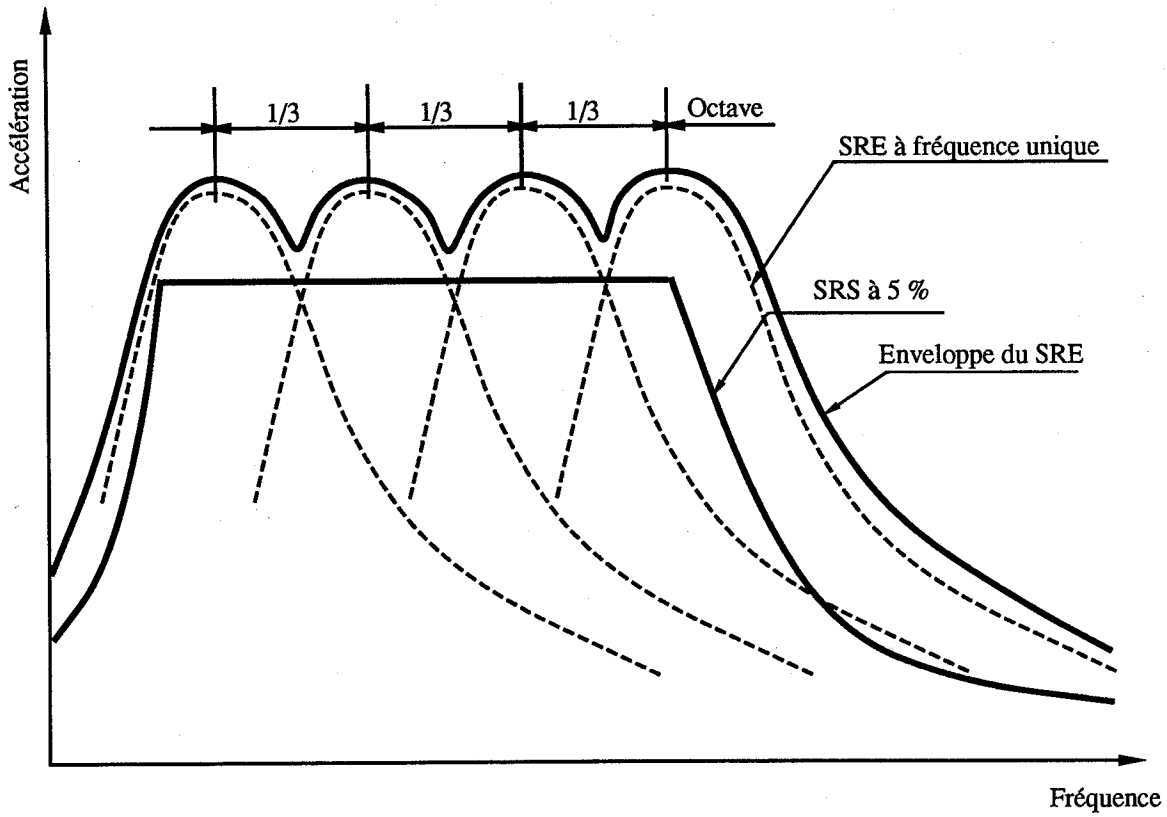


Figure 4 - Types de réponse des enveloppes spectrales

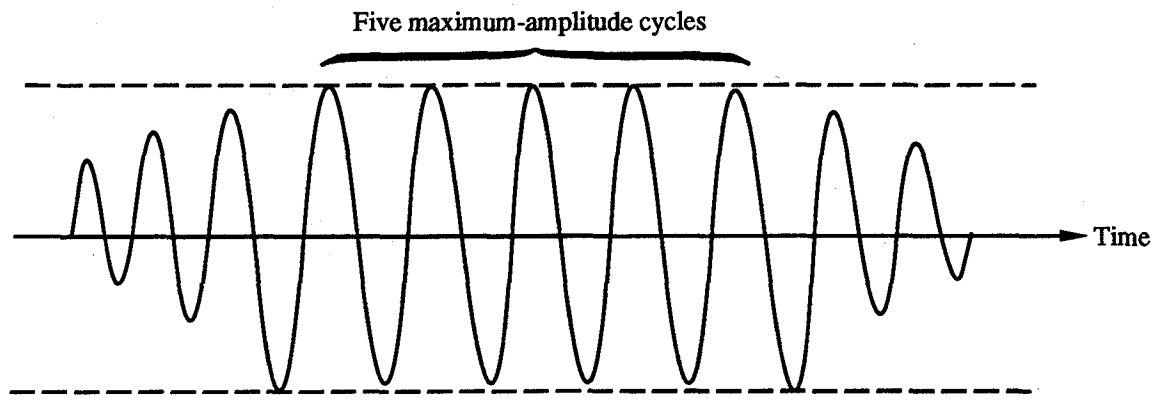


Figure 3 - Sine dwell

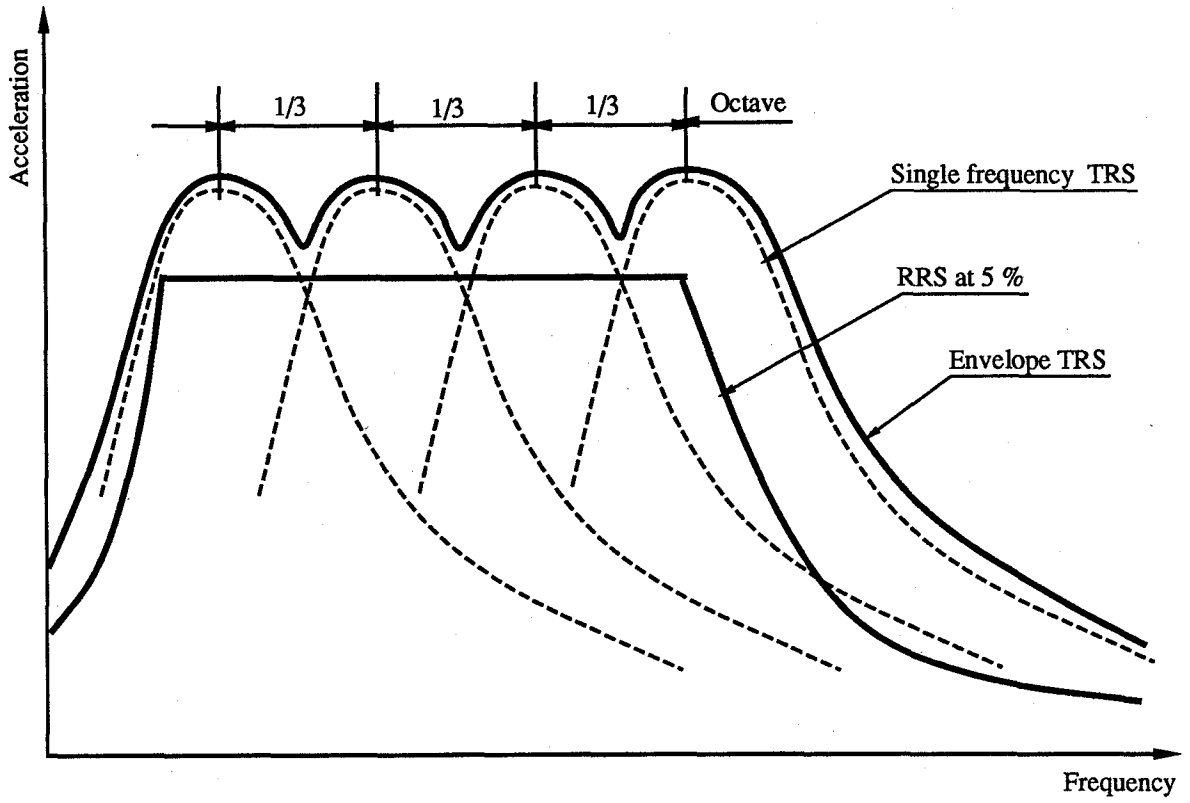


Figure 4 - Types of response spectrum envelopes

980 © CEI 1989

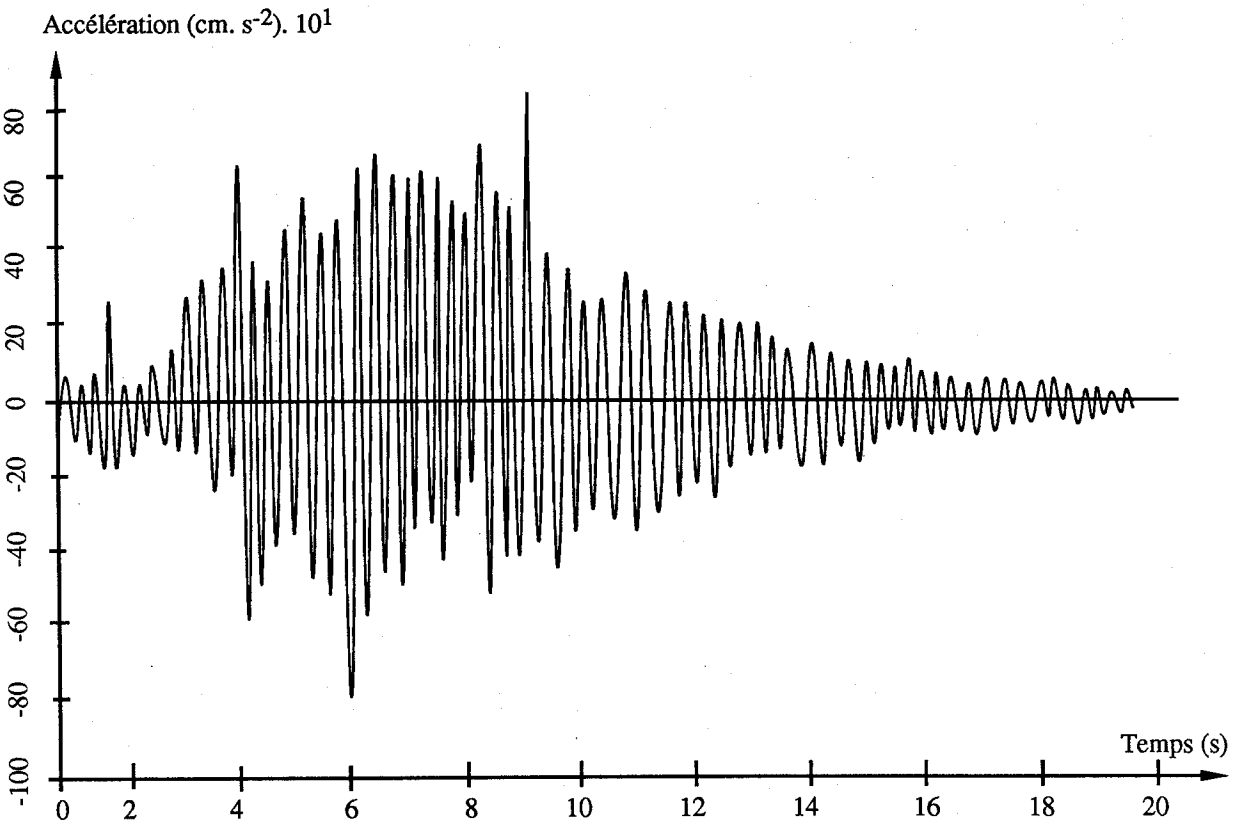


Figure 5 - Accélérogramme

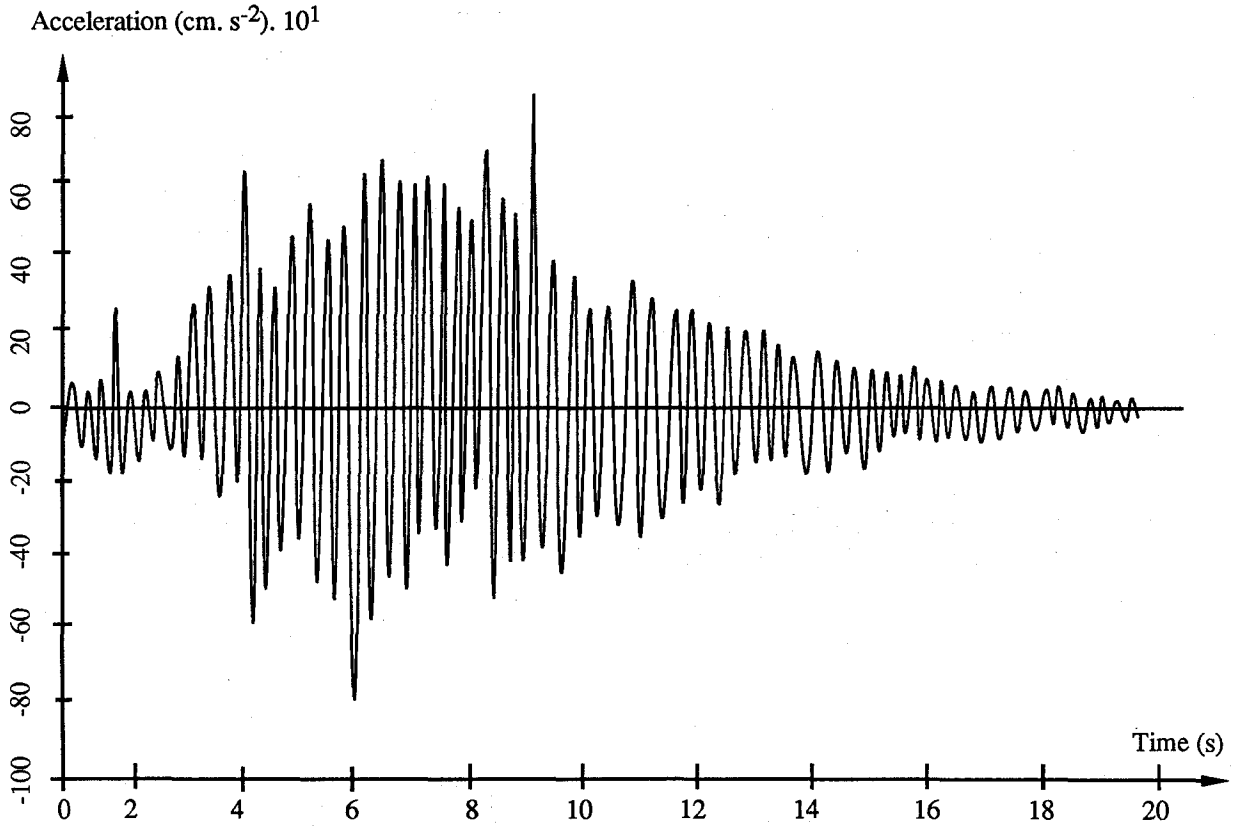


Figure 5 - Time history

980 © CEI 1989

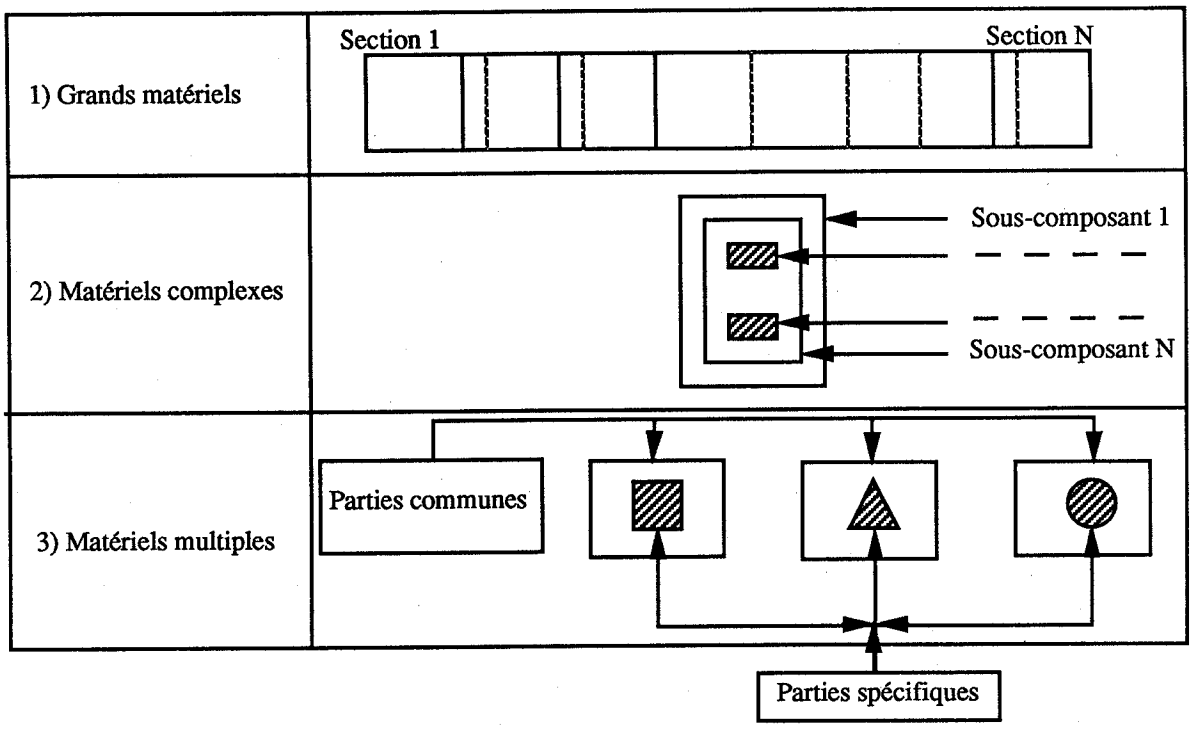


Figure 6 - Procédures schématiques pour dissocier les matériels de grande taille, complexes ou multiples en plusieurs sous-ensembles

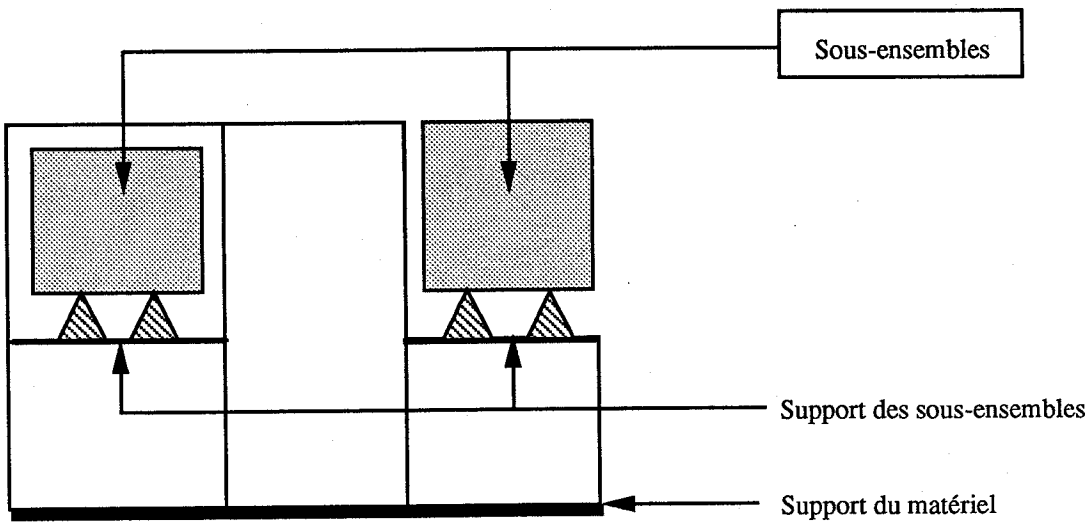


Figure 7 - Charge sismique des sous-ensembles

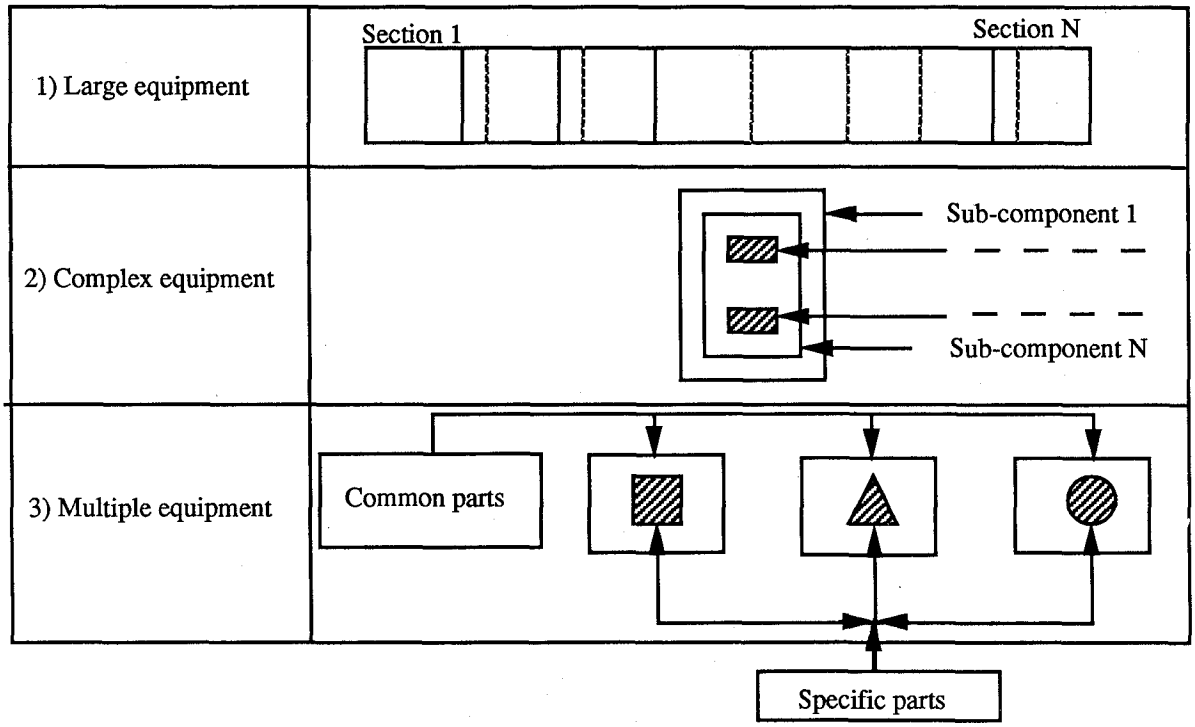


Figure 6 - Schematic procedures to dissociate large, complex or multiple equipment into several sub-assemblies

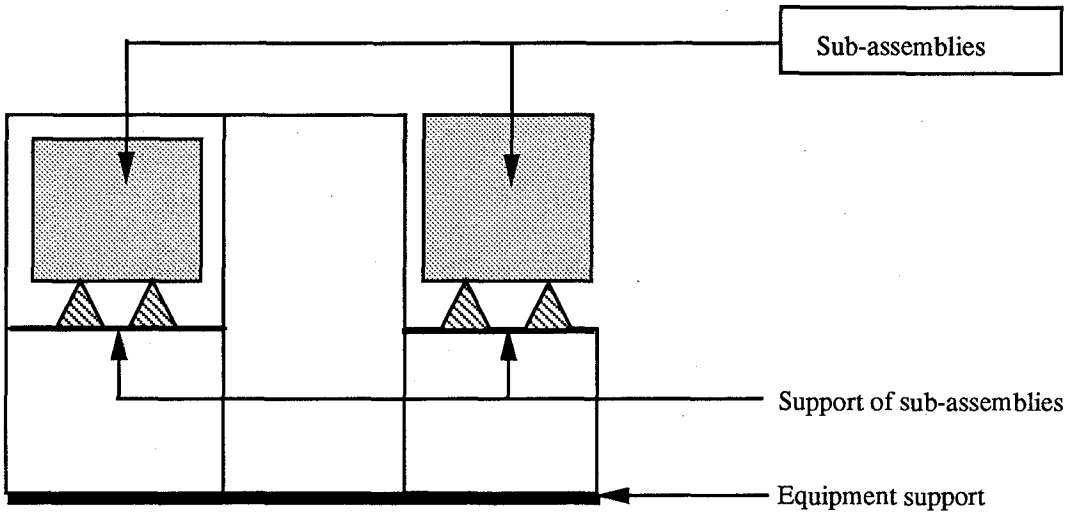


Figure 7 - Seismic loading of sub-assemblies

980 © CEI 1989

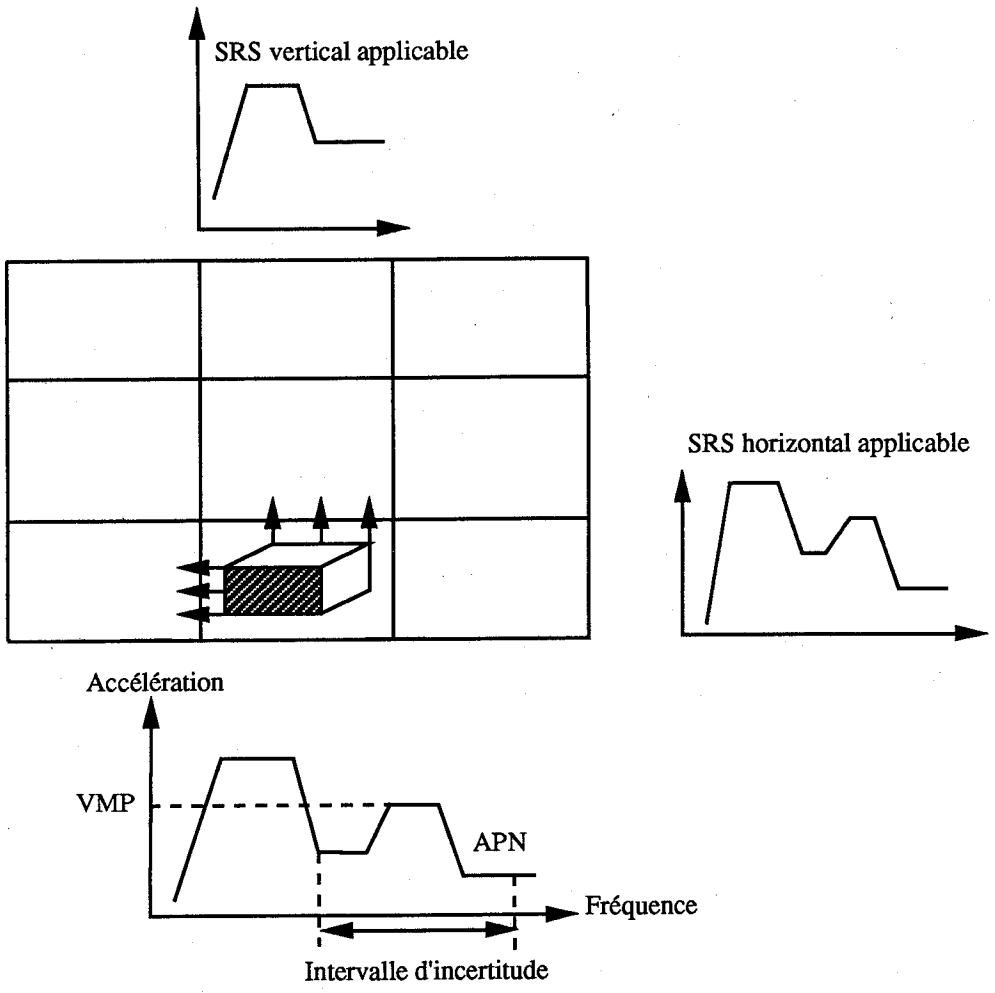


Figure 8 - Applications de l'accélération des SRS horizontaux et verticaux

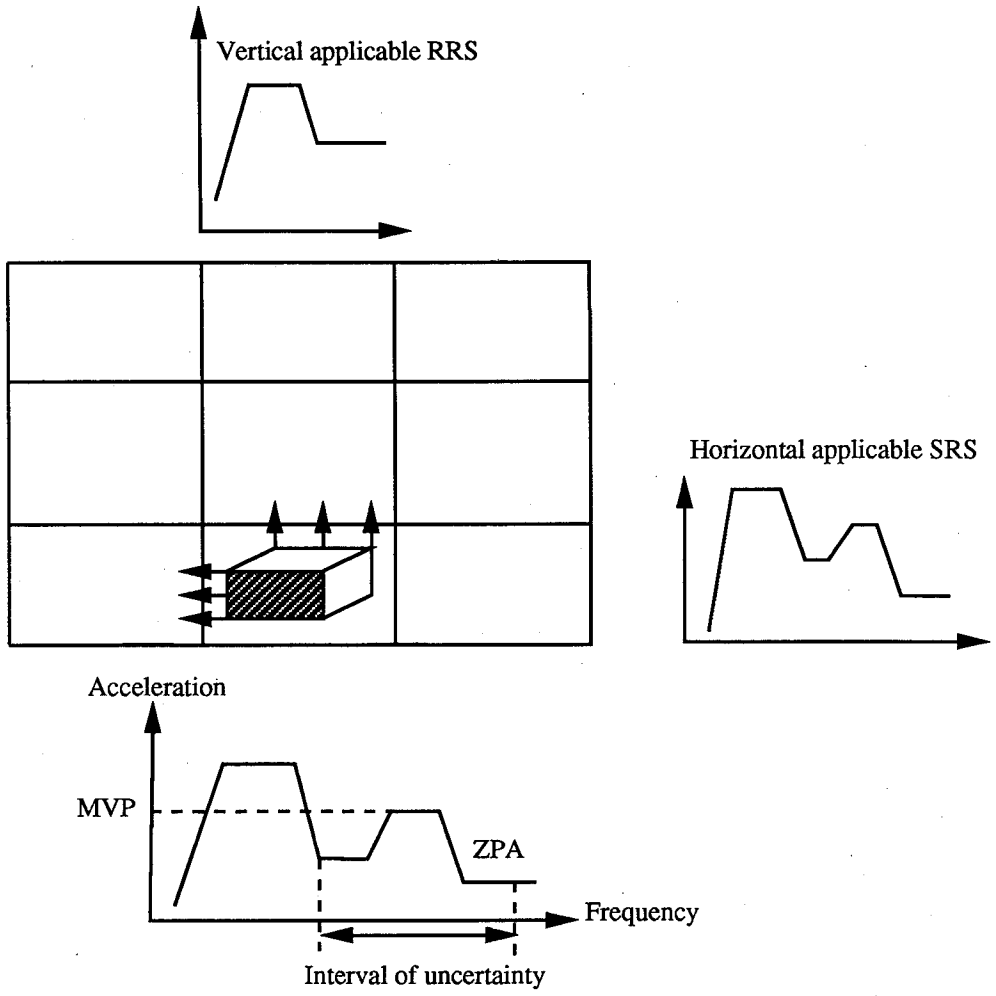
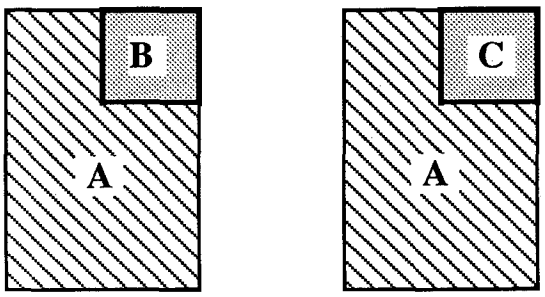


Figure 8 - Applications of horizontal and vertical RRS acceleration

980 © CEI 1989



1) Sous-ensemble A

Vérification et, si nécessaire, procédures supplémentaires destinées à assurer que la qualification prévue couvre les conditions limites et les effets de couplage:

- du retrait de B
- du montage de C

2) Sous-ensemble C

Qualification de C suivant les conditions du montage en A.

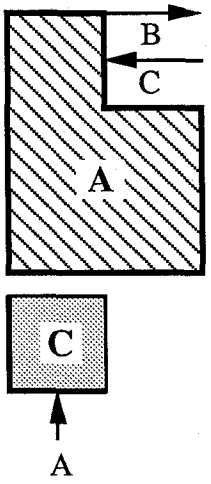
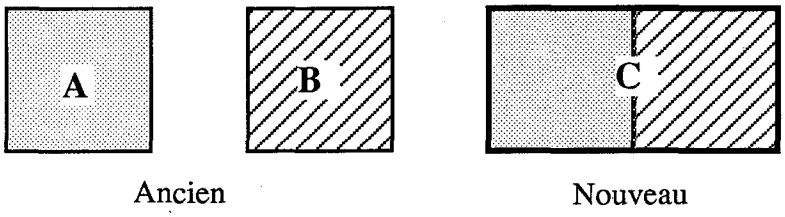


Figure 9 - Matériel résultant de la modification des sous-ensembles



Vérification et, si nécessaire, procédures supplémentaires destinées à assurer que la qualification des constituants A et B couvre les conditions limites et les effets de couplage résultant de leur montage.

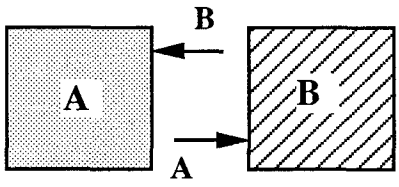
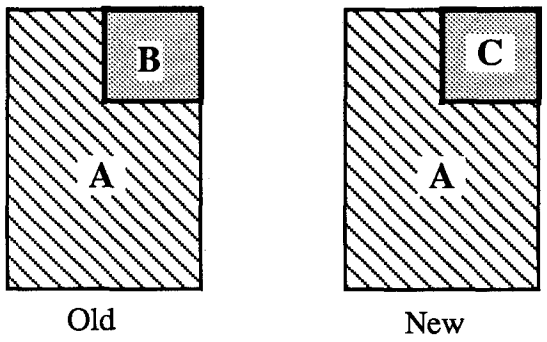


Figure 10 - Matériel résultant de l'assemblage de deux ou plusieurs sous-ensembles



1) Sub-assembly A

Verification and, if necessary, additional actions to ensure that the available qualification covers the boundary conditions and coupling effects of:

- removal of B
- mounting of C

2) Sub-assembly C

Qualification of C to the conditions resulting from the mounting in A.

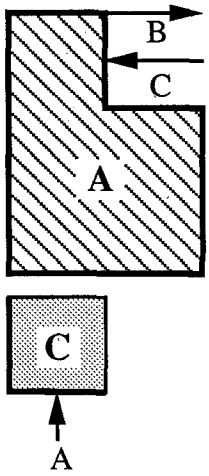
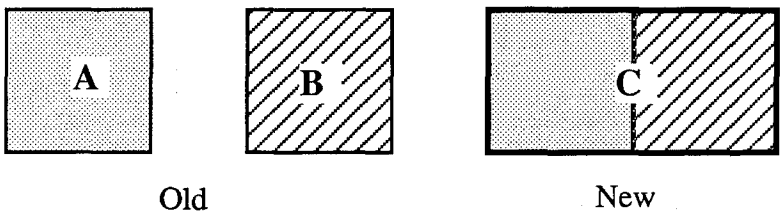


Figure 9 - Equipment resulting from the modification of sub-assemblies



Verification and, if necessary, additional actions to ensure that available qualification of the constituents A and B covers the boundary conditions and coupling effects resulting from their assembly.

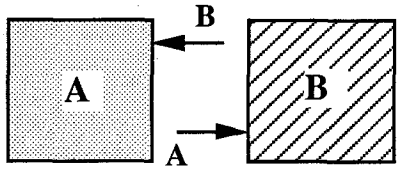


Figure 10 - Equipment resulting from the assembly of two or more sub-assemblies

980 © CEI 1989

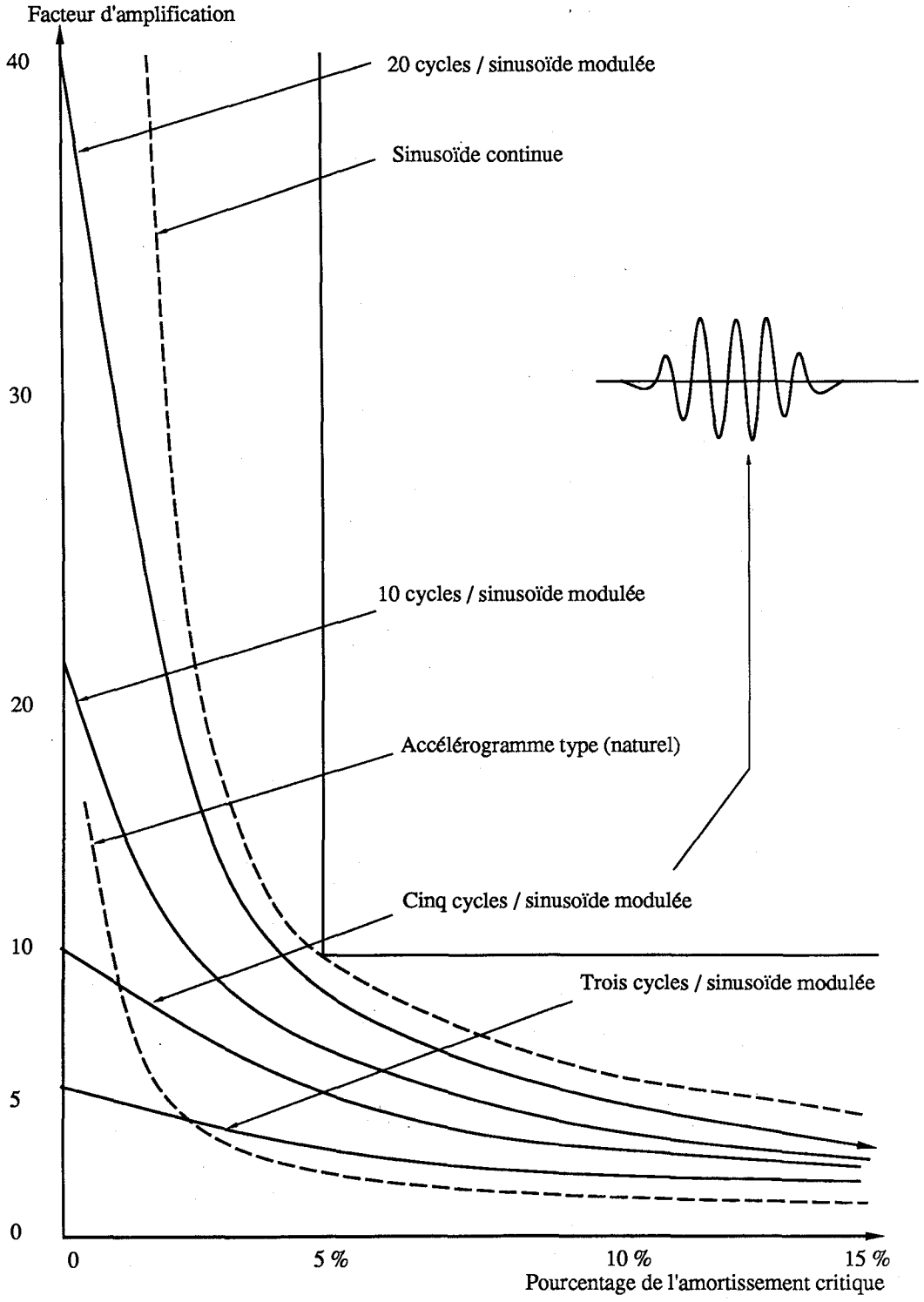


Figure 11 - Facteurs d'amplification d'onde

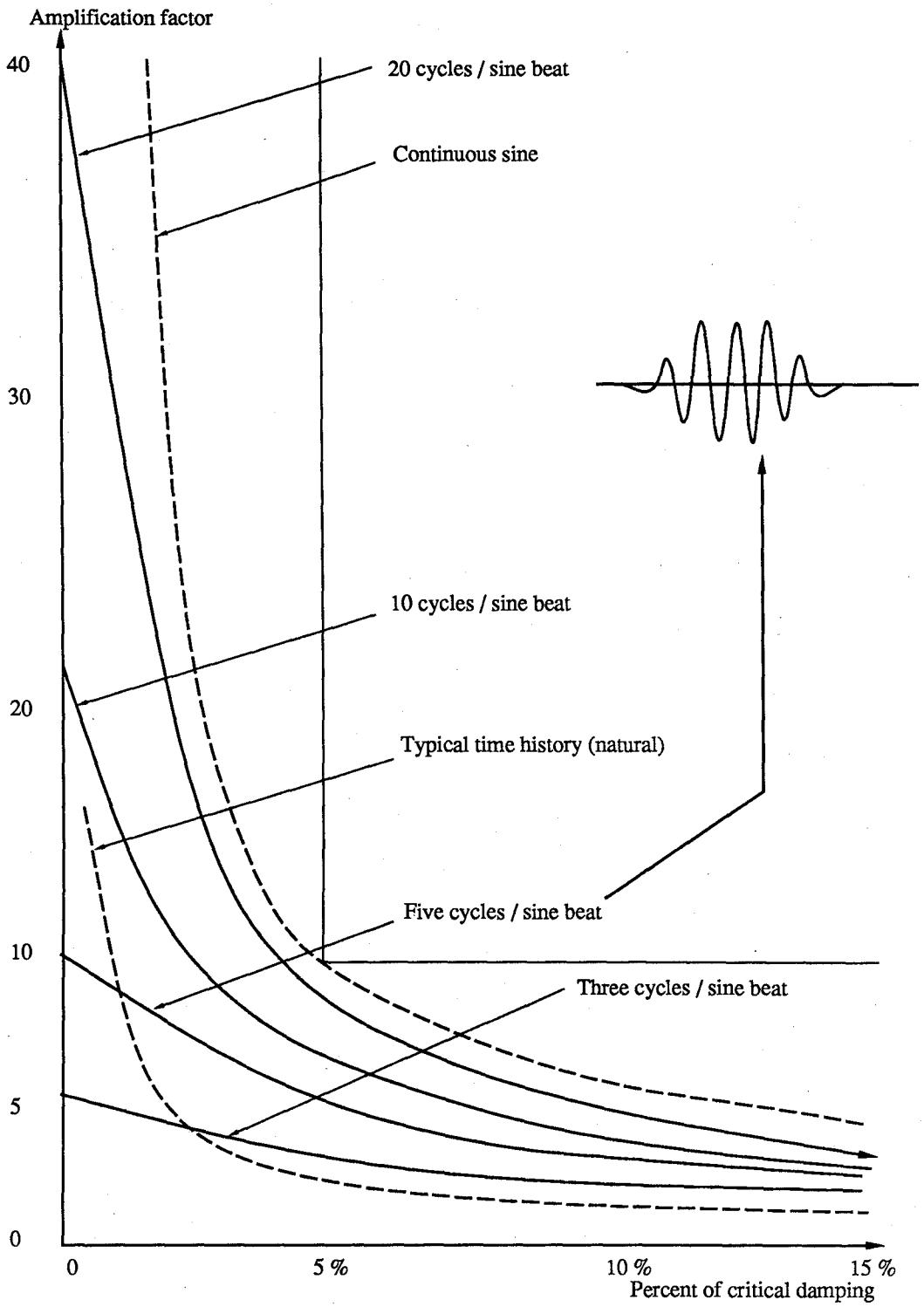


Figure 11 - Wave amplification factors

ANNEXE A

QUALIFICATION PAR L'EXPÉRIENCE

A.1 Introduction

Il y a un grand nombre de types de matériels qui sont équivalents du point de vue du fonctionnement et des caractéristiques physiques au matériel antérieurement qualifié par essais, par analyse ou par une combinaison des deux.

De plus, d'autres types de matériels sont équivalents à des matériels qui ont fonctionné pendant différentes durées et ayant été exposés à des vibrations en service et à des perturbations sismiques naturelles.

En conséquence, la qualification des types de matériels mentionnés ci-dessus peut être réalisée en justifiant leur similitude avec le matériel antérieurement qualifié ou avec le matériel ayant été exposé à d'autres environnements plus sévères. La similarité de l'excitation due à l'environnement et des caractéristiques du matériel doit être établie par des techniques pouvant être justifiées techniquement. Une attention toute particulière doit être apportée aux changements de conception et aux procédés de fabrication, comme faisant partie de la justification technique prouvant la similitude.

A.2 Données d'expérience

Les données d'expérience peuvent provenir de sources variées.

Elles peuvent être:

a) des données d'analyse ou d'essais provenant de programmes de qualifications antérieurs;

b) des données documentées à partir de matériels sur des installations ayant subi des séismes naturels;

c) des données obtenues à partir de charges sismiques dynamiques de fonctionnement ou d'autres environnements dynamiques.

En fonction de la source et du niveau du détail de la documentation disponible, plusieurs approches sont appropriées. Les paragraphes suivants fournissent des détails supplémentaires spécifiques à chaque cas.

A.2.1 *Qualifications antérieures*

Un grand nombre de programmes de qualification sismiques et dynamiques ont été effectués sur des matériels de sûreté par l'industrie nucléaire et peuvent être utilisés pour développer une base de données expérimentales. Quelques-uns de ces matériels ont pu être qualifiés en incorporant à la suite, un programme d'essais complet avec des essais préliminaires exploratoires (recherche des résonances). D'autres ont pu être qualifiés en utilisant des techniques analytiques telles qu'elles sont décrites à l'article 5 ou en utilisant une technique combinée essais/analyse. Afin de pouvoir utiliser cette base de données d'expérience, les excitations d'entrée pour lesquelles le matériel a été préalablement qualifié doivent avoir été clairement documentées, ainsi que les paramètres représentatifs de la qualification, tels que les fréquences de résonance, l'amortissement et la réponse globale du matériel.

A.2.2 *Séismes*

Un autre type de données expérimentales est constitué par les performances documentées sur du matériel situé dans des installations ayant été soumises à un séisme. La base de données peut être identique ou similaire (construction, réponse dynamique, etc.) au matériel déjà qualifié.

ANNEX A

QUALIFICATION BY EXPERIENCE

A.1 Introduction

There are many types of equipment which are similar in function and physical characteristics to equipment that has been previously qualified by testing, analysis, or a combination of both testing and analysis.

In addition, other equipment types are similar to equipment that has been in service for various periods of time and has been exposed to inplant vibration and natural seismic disturbances.

Therefore, qualification of these equipment types may be achieved by justifying their similarity with previously qualified equipment or with equipment that has been exposed to other more severe environments. Similarity of the excitation environment and of the equipment characteristics shall be established by techniques that can be technically justified. Due consideration to changes in design and manufacturing techniques shall be considered as part of the technical justification supporting similarity.

A.2 Experience data

Experience data may be derived from a variety of sources.

It may be:

a) analysis or test data from previous qualification programs;

b) documented data from equipment in facilities which have experienced natural earthquakes;

c) data from operating dynamic loading or other dynamic environments.

Depending on the source and level of documentation detail available, various approaches are appropriate. The following sub-clauses provide additional detail specific to each case.

A.2.1 *Previous qualification*

Many seismic and dynamic qualification programs have been conducted for various safety equipment items by the nuclear industry and can be used to develop an experience data base. Some of these equipment items may have been qualified by incorporating a full test program along with preliminary exploratory (resonance search) tests. Others have been qualified using analytical techniques as described in clause 5 or by using a combined test and analytical technique. In order to use this experience data base, the input motions for which the equipment was previously qualified shall have been clearly documented, together with pertinent qualification parameters, such as resonant frequencies, damping and response throughout the equipment.

A.2.2 *Earthquakes*

Another type of experience data consists of the documented performance of equipment in facilities that have been subjected to an earthquake. The data base equipment can be identical or similar (construction, dynamic response, etc.) to the equipment being qualified.

Il est préférable que le séisme soit quantifié par l'enregistrement des mesures du mouvement induit par le séisme à l'emplacement (ou au voisinage) où le matériel est installé. Cependant, il est admis que cela n'est généralement pas possible; en conséquence, une estimation conservative documentée du mouvement d'entrée peut être déterminée par extrapolation ou interpolation de mesures effectuées ailleurs (voir 6.3.1).

A.2.3 *Autres expériences*

L'approche décrite ci-dessus pour les données de séismes naturels peut aussi s'appliquer pour l'utilisation de la charge dynamique de fonctionnement ou d'autres environnements dynamiques documentés, comme base de qualification. Dans tous les cas, le principe de similitude doit être utilisé pour en justifier l'approche.

A.3 Similitude

La qualification par extrapolation à partir de données d'expérience doit être basée sur le concept de similitude dynamique. Ce concept admet que le processus de qualification pour les matériels fait partie des facteurs de base suivants:

a) excitation,
b) système physique (propriétés dynamiques et opérabilité),
c) réponse dynamique.

Généralement, l'établissement de la similitude dynamique pour l'excitation et le système physique permettra d'établir une qualification par extrapolation réussie à partir de données d'expérience. Supposons par exemple, qu'un matériel donné a été qualifié pour une excitation spécifiée. Ensuite, un second matériel, dont la similitude physique peut être établie, est aussi qualifié pour la même excitation. Donnons comme autre exemple celui de deux ou plusieurs matériels identiques, ou au moins similaires dynamiquement, qualifiés individuellement pour différentes excitations. On peut prouver qu'ils ont été qualifiés pour une autre excitation composite, considérée comme similaire aux différentes excitations d'origine.

A.3.1 *Excitation*

La similitude des excitations implique la ressemblance de paramètres tels que les caractéristiques spectrales, la durée, les directions des axes d'excitation, ainsi que l'endroit de la mesure pour les mouvements relatifs au montage du matériel. Idéalement, la réponse spectrale expérimentale (RSE) devrait être aussi semblable que possible pour les différentes excitations dont la similitude doit être établie.

Cependant, une excitation composite conservative peut être générée par extrapolations ou interpolations des données dont les paramètres ne sont pas identiques mais justifiables. Par exemple, des estimations peuvent être basées sur des mesures obtenues ailleurs sur la structure ou sur d'autres structures au voisinage d'un matériel donné, si les estimations peuvent être justifiées par des calculs basés sur des méthodes d'ingénierie solides, utilisant des modèles géophysiques, structurels ou mixtes selon les cas.

De même, des excitations dont le spectre est significativement différent peuvent également être utilisées pour générer des estimations composites de niveau plus faible à la condition que les approximations pour la réponse multimodale et/ou le couplage des axes croisés soient pris en compte. La justification de telles approximations doit prendre en considération l'absence d'excitation modale provoquée par la disparité du contenu spectral dans le SRS composite. Ainsi, l'interaction des caractéristiques de l'excitation et des propriétés dynamiques du spécimen doit être considérée avec attention.

It is preferable that the earthquake be qualified by recorded measurement of the earthquake induced motion at, or near, the equipment mounting location. However, it is recognized that this is not generally available; therefore, alternatively a documented conservative estimate of input motion may be generated by extrapolation or interpolation of measurements elsewhere (see 6.3.1).

A.2.3 *Other experience*

The approach described above for natural earthquake data may also be applied to the use of operating dynamic loading or other documented dynamic environments as a basis for qualification. In any case, the principle of similarity shall be used to justify the approach.

A.3 **Similarity**

Qualification by the use of extrapolation from experience data shall be based on the concept of dynamic similarity. This concept recognizes that the qualification process for equipment is comprised of the following basic factors:

a) excitation,
b) physical system (dynamic properties and operability),
c) dynamic response.

Generally, establishment of the dynamic similarity for the excitation and physical system will allow a successful qualification to be established by extrapolation from experience data. For example, assume that a given equipment item has been qualified to a specified excitation. Then, a second equipment item, whose physical system similarity can be established, is also qualified to the same excitation. Another example would be where two or more identical, or at least dynamically similar, items have each been qualified to different excitations. They can both have been qualified for another composite excitation, which can be shown to be similar to the original different excitations.

A.3.1 *Excitation*

Similarity of excitation constitutes likeness of parameters such as spectral characteristics, duration, direction of excitation axes, and location of measurement for the motions relative to the equipment mounting. Ideally, the experience response spectra (ERS) should be as alike as is practical for different excitations whose similarity is to be established.

However, a conservative composite excitation can be generated by extrapolations or interpolations of data whose parameters are not identical but are justifiable. For example, estimates may be based on measurements elsewhere on the structure or on other structures in the vicinity of the given equipment, if the estimates can be justified by calculations based on sound engineering methods using geophysical models, structural models, or both as applicable.

Likewise, excitations whose spectral content is significantly different may be used to generate lower level composite estimates providing that approximations for multimode response or cross axis coupling or both are accounted for. Justification for such approximations shall consider the absence of modal excitation caused by mismatch of spectral content in the composite RRS. Thus, the interaction of excitation characteristics and dynamic properties for the specimen shall be given consideration.

La durée d'une excitation composite doit être semblable à celle dont elle est dérivée. De plus, pour prévoir un accroissement satisfaisant des vibrations et les effets de fatigue oligocycliques, comme pour la qualification par essais, toutes les données d'expérience de constituant doivent être basées sur un mouvement fort d'une durée minimale de 15 s ou un équivalent justifié.

La qualification doit tenir compte des effets de vieillissement de l'exposition aux conditions normales et anormales prescrites, telles que les vibrations normales de la centrale et le S1 prescrit. Si aucun S1 ne peut être documenté dans les données tirées de l'expérience, les effets d'un manque de fatigue doivent alors être justifiés ou une analyse de fatigue doit être effectuée.

A.3.2 *Systèmes physiques*

La similitude du matériel doit être établie pour un ensemble de matériels ou un dispositif ou sous-ensemble (comprenant le support) qui dépendent de la configuration du nouveau matériel à qualifier. Pour un ensemble complet, la similitude peut être démontrée par la comparaison de la marque, des numéros de modèle et de série et la considération des propriétés dynamiques et de la construction.

Compte tenu du fait que l'objectif final de la qualification par la méthode de similitude inclut la considération de la réponse dynamique attendue, une approche rationnelle peut être utilisée pour établir la similitude des propriétés de structure dynamique par une investigation des paramètres physiques des systèmes de matériels. Cela peut être fait par la comparaison des fréquences de résonance principales et des formes modales. Ces caractéristiques dynamiques dépendent de paramètres tels que:

a) les dimensions physiques du matériel;

b) le poids du matériel, sa répartition et son centre de gravité;

c) les caractéristiques de transfert de charge du matériel et sa rigidité pour résister à une excitation sismique;

d) la force d'ancrage de base du matériel et sa rigidité pour assurer à la fois l'intégrité structurelle et des conditions aux limites adéquates;

e) les interfaces du matériel avec les constituants adjacents ou les accessoires de raccordement tels que les câbles ou les tuyauteries.

La différence relative ou la discordance entre tous les paramètres physiques ci-dessus rend nécessaire l'obligation de s'assurer qu'une similitude adéquate existe entre les ensembles de matériels. De plus, il convient de s'assurer que les modifications du matériel de la base de données d'origine ne conduisent pas à la formation de résonances qui n'existaient pas préalablement et qui provoqueraient de nouveaux mauvais fonctionnements.

Pour les matériels dont la qualification sismique peut être prouvée en montrant que les dispositifs de sûreté individuels fonctionnent correctement pendant le séisme, une approche par l'évaluation de similitude d'un dispositif ou sous-ensemble peut être envisagée. La similitude des systèmes physiques sera appliquée aux dispositifs individuels. Dans ces conditions, la similitude dans les dispositifs mécaniques et les principes de fonctionnement électrique doit être d'abord considérée.

Les paramètres du système physique, tels qu'ils s'appliquent aux ensembles de matériels examinés ci-dessus, peuvent ne pas être évidents, ou peuvent être difficiles à définir comme dans l'analyse ou la justification du jugement de l'ingénierie. La justification des similitudes repose donc sur l'examen minutieux des propriétés dynamiques, de l'ancrage, et des principes de fonctionnement mécanique et électrique du dispositif. Dans tous les cas, une base de données des paramètres physiques appropriés doit être utilisée pour prouver que le comportement du matériel semblable sera situé entre le matériel de base et le matériel en essai. Pour les dispositifs complexes, un essai sera exigé pour justification.

Duration of a composite excitation shall be similar to that from which it is derived. Furthermore, to provide for proper vibration buildup and low cycle fatigue effects, as with qualification by testing, any constituent experience data shall be based on a minimum of 15 s of strong motion duration or a justifiable equivalent.

The qualification shall account for the ageing effects of exposure to the required normal and abnormal conditions such as normal plant vibrations and the required S1. If no S1 can be documented in the data derived from experience, then the lack of fatigue effects shall be justified or a fatigue analysis shall be performed.

A.3.2 *Physical systems*

Equipment similarity shall be established for an equipment assembly, or a device or sub-assembly (including mounting), depending on the configuration of the new equipment to be qualified. For a complete assembly, similarity may be demonstrated through comparison of make, model and serial numbers and consideration of dynamic properties and construction.

Since the final objective of qualification by the similarity method includes consideration of the expected dynamic response, a rational approach can be made to establish similarity of dynamic structural properties by an investigation of physical parameters of equipment systems. This can be done by comparing the predominant resonant frequencies and mode shapes. These dynamic characteristics are dependent on parameters such as:

a) equipment physical dimensions;

b) equipment weight, its distribution and center of gravity;

c) equipment structural load transferring characteristics and stiffness to resist seismic excitation;

d) equipment base anchorage strength and stiffness to assure both structural integrity and adequate boundary conditions; and

e) equipment interfaces with adjacent items or connecting accessories such as cables and conduits.

The relative difference, or dissimilarity, of all the above physical parameters makes it necessary to ensure that adequate similarity exits between equipment assemblies. In addition, it should be ensured that changes from the original data base equipment do not result in the formation of previously nonexistent resonances and do not introduce new mechanisms for malfunction.

For the equipment where seismic qualification can be proved by showing that individual safety devices are performing properly during the earthquake, a device or subassembly similarity evaluation approach may be considered. The similarity of physical systems will be applied for the individual devices. In this case, the similarity in mechanical device and electrical operating principles shall first be addressed.

The physical system parameters, as applicable to equipment assemblies discussed above, may not be obvious, or may be difficult to define such as in an analysis or engineering judgement justification. Therefore the justification of similarities relies on the careful examination of the dynamic properties, anchorage, and the mechanical and electrical operating principles as applicable to the device. In any case, an appropriate physical parameter data base shall be used to demonstrate that similar equipment behavior will result between the data base equipment and the equipment under investigation. For complex devices, a test will be required to show proper justification.

A.3.3 *Réponse dynamique*

Une réponse du système physique peut être décrite à partir des mêmes quantités, comme l'excitation (c'est-à-dire la durée, la fréquence, l'amplitude, etc.) ou à partir d'une description du système physique donnant les modes de défaillance, les critères de défaillance et d'acceptation ou de rejet.

Quand les caractéristiques du système physique sont connues au travers des données d'expérience (par l'une quelconque des méthodes mentionnées précédemment, de 5.2.1 à 5.2.3) et que les caractéristiques d'excitation sont aussi disponibles, la réponse du système peut alors être évaluée et étendue à d'autres systèmes semblables.

D'autre part, il y a des cas où seules la réponse et les caractéristiques du système physique sont disponibles. Dans ces conditions, les prescriptions concernant l'excitation peuvent être évaluées à la lumière de la réponse connue et des caractéristiques du système physique (obtenue par les méthodes 5.2.1 à 5.2.3). Une telle information pour l'excitation d'entrée peut ensuite être utilisée pour qualifier un matériel semblable.

A.3.4 *Opérabilité*

Une fois qualifié, le matériel doit être capable de remplir sa fonction de sûreté pendant et après un séisme. La fonction de sûreté pendant un séisme peut, ou non, être la même qu'après le séisme. Pour chaque qualification, la fonction de sûreté doit donc être définie à la fois pendant et après le séisme. Les données de l'expérience doivent apporter une preuve documentée d'une opérabilité satisfaisante, définie pour chaque application. Quand une fonction active ou l'absence d'une fonction erronée sont exigées pendant le séisme, les données d'expérience doivent fournir la preuve formelle que le matériel a bien fonctionné comme prescrit dans un système électrique semblable.

A.3.3 *Dynamic response*

A physical system response can be described using the same quantities as an excitation (i.e. duration, frequency content, amplitude, etc.), or using a physical system description giving failure modes, failure criteria and criteria for acceptance or rejection.

When the physical system characteristics are known through the experience data (by any one of the previously mentioned methods of 5.2.1 through 5.2.3) and the excitation characteristics are also available, then the system response can be evaluated and extended towards similar systems.

On the other hand, there are occasions where only response and physical system characteristics are available. For these situations, the excitation requirement can be evaluated in the light of the known response quantities and the physical system characteristics (obtained by methods 5.2.1 through 5.2.3). Such information for the input excitation may then be used to qualify similar equipment.

A.3.4 *Operability*

Equipment being qualified shall be capable of performing its safety function during and after an earthquake. The safety function during the earthquake may, or may not, be the same as after the earthquake. Therefore, for each qualification, the safety function shall be defined for conditions both during and after the earthquake. The experience data shall provide the documented evidence to support the demonstration of proper operability, as defined for each application. Where an active function, or the absence of a spurious function, is required during the earthquake, the experience data shall provide sound evidence that the equipment performed as required in a similar electrical system.

ICS 27.120.10 ; 27.120.20

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND