

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60721-2-6:2022



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 19.040

ISBN 978-2-8322-6272-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 General description of earthquake	6
4.1 General.....	6
4.2 Earthquake origin and propagation	7
4.3 Earthquake behaviour	7
4.4 Products on foundations	7
4.5 Products in buildings and structures	7
5 Seismic scales.....	7
5.1 Definition of intensity and magnitude	7
5.2 Examples of intensity scales	8
5.3 Example of magnitude scale	9
6 Description of the seismic environment by response spectra	10
6.1 Response spectrum	10
6.2 Ground response spectrum	10
6.3 Required response spectrum	11
7 Seismic activity zone classification	11
Annex A (informative) Example of seismic activity zones	16
A.1 Classification criteria of US Uniform Building Code	16
A.2 World seismic activity zones classification according to UBC	16
Bibliography.....	25
Figure 1 – Acceleration record of the Irpinia-Basilicata-Italy earthquake (1980)	12
Figure 2 – Model for composing a response spectrum.....	13
Figure 3 – Response spectrum of the Calitri record of Irpinia earthquake (1980) (Figure 1) for 2 % damping ratio value	14
Figure 4 – Example of required response spectrum for ground motion	15
Table 1 – Earthquake intensity scales for some countries/regions.....	8
Table 2 – European Macroseismic Scale (EMS-98).....	9
Table 3 – Moment Magnitude Scale	10
Table 4 – Seismic activity zones	11
Table A.1 – Seismic activity zones definition according to UBC.....	16
Table A.2 – Seismic activity zones classification according to UBC.....	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS –**Part 2-6: Environmental conditions appearing in nature –
Earthquake vibration and shock****FOREWORD**

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

IEC 60721-2-6 has been prepared by IEC technical committee 104: Environmental conditions, classification and methods of test. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1990. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) the main aim of this revision is to classify in a limited number of classes the seismic activity level of the zone where the equipment could be installed;
- b) the correlation between intensity scales, magnitude scales and peak ground acceleration is deleted due to the scientific uncertainty to define such a correlation in a rigorous way;
- c) updated scales are given both for intensity and for magnitude;

- d) the earthquake zone map, which was not usable in practice, is replaced by an annex giving information about how to retrieve consistent peak ground acceleration distribution all over the world;
- e) with regard to identification of the peak ground seismic acceleration of the zone, where the equipment could be installed, the user is made aware that national standards and laws can apply.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
104/946/FDIS	104/952/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

A list of all parts in the IEC 60721 series, published under the general title *Classification of environmental conditions*, can be found on the IEC website.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

INTRODUCTION

This part of IEC 60721 is one of a series dealing with the following subjects:

- environmental parameters and their severities (IEC 60721-1);
- environmental conditions appearing in nature (IEC 60721-2);
- classification of groups of environmental parameters and their severities (IEC 60721-3).

This part of IEC 60721 is intended to be used as background material when selecting appropriate severities of parameters relating to earthquakes for product application. Severities given in IEC 60721-1 [1]¹ should be applied.

More detailed information can be obtained from specialist documentation and from technical literature, some of which is given in the bibliography.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60721-2-6:2022

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS –

Part 2-6: Environmental conditions appearing in nature – Earthquake vibration and shock

1 Scope

This part of IEC 60721 deals with environmental conditions appearing in nature related to earthquake vibrations and shocks.

Its object is to define some fundamental properties and quantities for characterization of earthquakes as background material for the severities to which products are liable to be exposed during storage and use. The accelerations given are for ground surface conditions only. Conditions related to structures are referred to but restricted to general case descriptions.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60068-3-3:2019, *Environmental testing – Part 3-3: Supporting documentation and guidance – Seismic test methods for equipment*.

ISO 2041, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring – Vocabulary*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60068-3-3 and ISO 2041 apply.

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

4 General description of earthquake

4.1 General

Influences from earthquakes are vibrations which can be modelled as stochastic processes and can affect products and provide stress in many ways.

This Clause 4 is intended to provide information on earthquake behaviour, and on the dynamic performance of products during earthquakes. Numerical values given are typical and illustrative but should not be considered as standard.

4.2 Earthquake origin and propagation

An earthquake occurs when stresses have accumulated to such a degree that they cause the breaking of the earth's crust. These instabilities are located in areas known as active seismic zones, in connection with a series of geological accidents such as troughs, oceanic ridges, mountain ranges, volcanoes, ocean trenches, tectonic faults.

The sudden breaking releases elastic deformation energy which will spread from the hypocentre in the form of three typical basic waves with different speeds:

- longitudinal volume waves which compress and expand the rock in the propagation direction;
- transversal waves which shear the rock by distortion, perpendicular to the propagation;
- surface waves which are a combination of the two previous ones and subject to surface limit conditions.

4.3 Earthquake behaviour

Earthquakes produce random ground motions which are characterized by simultaneous but statistically independent horizontal and vertical components. A moderate earthquake can persist for 15 s to 30 s; a severe earthquake for 60 s to 120 s. In general, the strong part with the highest ground acceleration can last up to 10 s. The typical broadband random motion has its maximum energy over a frequency range from 1 Hz to 35 Hz, and produces more damaging effects from 1 Hz to 10 Hz. Usually the vertical component of the ground motion is assumed to be between 67 % and 100 % of the horizontal.

NOTE Maximum acceleration is commonly used in design to reflect earthquake "strength" at a particular site.

4.4 Products on foundations

The typical broadband spectra which describe the ground motion indicate that multiple frequency excitation predominates. The vibration nature of the ground motion (both horizontal and vertical) can be magnified in foundation-mounted products. For any given ground motion, the magnification depends on the characteristic frequencies of vibration of the system (soil, foundation and product) and on the mechanism of damping.

4.5 Products in buildings and structures

The ground motion can be filtered and amplified by intervening building structures to produce fluctuating sinusoidal floor motions. The typical narrowband spectra which describe a building floor motion indicate that single frequency excitation can predominate. The dynamic response of floor-mounted products can reach an acceleration many times that of the maximum ground acceleration, depending on the system damping and characteristic frequencies of vibration. The magnification and bandwidth depend on the dynamic response characteristics of each building and product structure. Products sensitive to frequencies ranging from 1 Hz to 10 Hz are most likely to be affected.

5 Seismic scales

5.1 Definition of intensity and magnitude

In seismology, earthquakes are classified with the aid of various scales according to their intensity or magnitude.

Intensity scales are determined empirically and classify earthquakes in degrees of intensity according to their effects. Intensity scales are based on the observed effects of the shaking, such as the degree to which people or animals were alarmed, and the extent and severity of damage to different kinds of structures or natural features.

Intensity is here considered a classification of the severity of the ground shaking on the basis of observed effects in a limited area. Intensity scales, and the concept of intensity itself, have been evolving through the course of the last century. From a pure hierarchical classification of effects more and more attempts have been made to develop intensity as a rough instrument for measuring the shaking; at least, it has been used in this sense. Intensity is descriptive of the earthquake effects, rather than analytical in the manner of an instrumental measurement.

Magnitude is related to the amount of seismic energy released at the hypocentre of the earthquake. It is based on the amplitude of the earthquake waves recorded on instruments which have a common calibration. The magnitude of an earthquake is thus represented by a single, instrumentally determined value.

Both these scales, intensity and magnitude, can roughly correspond with certain values of ground acceleration; their use for establishing test values is limited.

The relationship between the intensity scales and the acceleration level on products can only be approximated on account of the following factors:

- the soil or rock conditions (including water saturation);
- the proximity to the earthquake activity;
- the conditions of the structure or base of the product.

Also the relationship between the magnitude scale and the peak ground acceleration is limited by the following effects:

- the soil or rock base at the location;
- the focal depth of the earthquake;
- the duration of the earthquake activity.

5.2 Examples of intensity scales

Table 1 provides a list of different intensity scales adopted by some countries.

Table 1 – Earthquake intensity scales for some countries/regions

Country/Region	Seismic intensity scale used
China	Liedu Scale (GB/T 17742-2020)
Europe	European Macroseismic Scale (EMS-98)
Hong Kong, China	Modified Mercalli Scale (MM)
India	Medvedev-Sponheuer-Karnik Scale
Israel	Medvedev-Sponheuer-Karnik Scale (MSK-64)
Japan	JMA Seismic Intensity Scale
Kazakhstan	Medvedev-Sponheuer-Karnik Scale (MSK-64)
Philippines	PHIVOLCS Earthquake Intensity Scale (PEIS)
Russia	Medvedev-Sponheuer-Karnik Scale (MSK-64)
Taiwan, China	Central Weather Bureau Seismic Intensity Scale
United States	Modified Mercalli Scale (MM)

The European Macroseismic Scale EMS-98 is the first seismic intensity scale designed to encourage co-operation between engineers and seismologists, rather than being for use by seismologists alone. It comes with a detailed manual, which includes guidelines, illustrations, and application examples. The short form of the European Macroseismic Scale (see Table 2), abstracted from [2], is intended to give a very simplified and generalized view of the EMS.

Table 2 – European Macroseismic Scale (EMS-98)

EMS intensity	Definition	Description of typical observed effects (abstracted)
I	Not felt	Not felt.
II	Scarcely felt	Felt only by very few individual people at rest in houses.
III	Weak	Felt indoors by a few people. People at rest feel a swaying or light trembling.
IV	Largely observed	Felt indoors by many people, outdoors by very few. A few people are awakened. Windows, doors and dishes rattle.
V	Strong	Felt indoors by most, outdoors by few. Many sleeping people awake. A few are frightened. Buildings tremble throughout. Hanging objects swing considerably. Small objects are shifted. Doors and windows swing open or shut.
VI	Slightly damaging	Many people are frightened and run outdoors. Some objects fall. Many houses suffer slight non-structural damage like hair-line cracks and fall of small pieces of plaster.
VII	Damaging	Most people are frightened and run outdoors. Furniture is shifted and objects fall from shelves in large numbers. Many well built ordinary buildings suffer moderate damage: small cracks in walls, fall of plaster, parts of chimneys fall down; older buildings can show large cracks in walls and failure of fill-in walls.
VIII	Heavily damaging	Many people find it difficult to stand. Many houses have large cracks in walls. A few well built ordinary buildings show serious failure of walls, while weak older structures can collapse.
IX	Destructive	General panic. Many weak constructions collapse. Even well built ordinary buildings show very heavy damage: serious failure of walls and partial structural failure.
X	Very destructive	Many ordinary well built buildings collapse.
XI	Devastating	Most ordinary well built buildings collapse, even some with good earthquake resistant design are destroyed.
XII	Completely devastating	Almost all buildings are destroyed.

5.3 Example of magnitude scale

The Moment Magnitude Scale (MMS; denoted explicitly by M_w) is a measure of an earthquake's magnitude, size or strength, based on its seismic moment, which is a measure of the work done by the earthquake. The Moment Magnitude Scale (M_w) is considered the authoritative magnitude scale for ranking earthquakes by size. Caltech seismologist Hiroo Kanamori [3] using an approximate relation between radiated energy and seismic moment approximated M_w by

$$M_w = (\log M_0 - 9,045)/1,5$$

where

M_0 = seismic moment is a measure of the work accomplished by the faulting of an earthquake; it is measured in the units of newton metres (Nm) or joules.

An approximate indication of the relationship between seismic moment and the Moment Magnitude Scale is given in Table 3.

Table 3 – Moment Magnitude Scale

M_w	M_o J
0	$1,11 \times 10^9$
1	$3,51 \times 10^{10}$
2	$1,11 \times 10^{12}$
3	$3,51 \times 10^{13}$
4	$1,11 \times 10^{15}$
5	$3,51 \times 10^{16}$
6	$1,11 \times 10^{18}$
7	$3,51 \times 10^{19}$
8	$1,11 \times 10^{21}$
9	$3,51 \times 10^{22}$
10	$1,11 \times 10^{24}$

6 Description of the seismic environment by response spectra

6.1 Response spectrum

A commonly accepted design description of the seismic environment specially for testing purposes is the use of response spectra. In a response spectrum the maximum absolute value of the time history response (displacement, velocity or acceleration) of a family of oscillators, each having a single degree of freedom with fixed viscous damping ratio, is plotted versus the undamped natural frequency of these oscillators when subjected to the base movement caused by the earthquake. It can be noted that a response spectrum is not an analytic function and it should not be confused with a spectrum. See ISO 2041 and ISO 18431-4 [4].

In Figure 1 an example of an acceleration record (natural time history) of a real earthquake is given. The ground acceleration was recorded during the Irpinia-Basilicata-Italy 1980 earthquake in Calitri village; the moment magnitude scale $M_w = 6,8$ and the EMS-98 intensity = 8.

Figure 2 shows a model for composing a response spectrum. The time domain response to the base vibration amplitude of oscillators with natural frequencies f_{ri} ($i = 1$ to n) and constant damping ratio is registered and the absolute maximum value is picked for each oscillator and plotted against its natural frequency. The response amplitude of an oscillator will be all the greater the longer and stronger it is excited at its damped natural frequency.

6.2 Ground response spectrum

If a ground motion time history has been recorded at the site of an earthquake, or near it, this is used to establish a shock response spectrum (SRS) (Figure 3).

A representative number of ground response spectra determined from different earthquakes is used to describe the anticipated seismic stress for the site or area.

6.3 Required response spectrum

A dominating curve above the ground response spectra is termed a required response spectrum because it marks the limits of the seismic ground motion at a given site or area during earthquakes. This spectrum (Figure 4) gives the amplitude response (displacement, velocity or acceleration) versus the natural frequency and damping ratio of the oscillators excited by the ground motion.

Different mounting configurations of products at a certain site can lead to the use of different corrected required response spectra according to the behaviour of their support (building structure, floor, or enclosure, etc.), (see IEC 60068-3-3). For testing purposes it is common practice to make reference to the ground acceleration response spectrum from which to derive the test required response spectrum accommodating the earthquake excitation to the specific mounting conditions. This test required response spectrum gives the limits of the seismic excitation to which the product should be exposed to verify its capability to withstand the earthquake (see ETSI EN 300 019-1-3 [5]).

7 Seismic activity zone classification

In order to define a local seismic ground motion it would be necessary to measure some local seismograms from which to derive:

- the earthquake duration, and
- the response spectrum giving the distribution of the ground acceleration in the frequency domain and the zero period acceleration, that is the peak ground acceleration (PGA).

Moreover, a statistical study should be performed with regard to the repetition rate of the earthquake versus its intensity. Generally, a probable maximum intensity with probability exceeding 10 % in 50 years, equivalent to a "return period" of 475 years, is used.

Earthquake zonation maps are reported in national and international standards and in natural hazards studies made by insurance companies and research institutions [6], [7]. See also only for information Annex A.

The following Table 4 gives a limited number of classes of seismic activity zones, covering the whole range of possible values of the peak ground acceleration.

Table 4 – Seismic activity zones

Seismic activity zone	Peak ground acceleration (PGA) m/s ²
0	0,01 to 0,2
1	0,2 to 0,5
2	0,5 to 1
3	1 to 2
4	from 2 to more than 20

The user of this document should select the lowest classification necessary for covering the conditions of seismicity of the intended zone of installation.

The identification of the peak ground seismic acceleration of the zone where the equipment could be installed, can be subject to relevant national standards and laws.

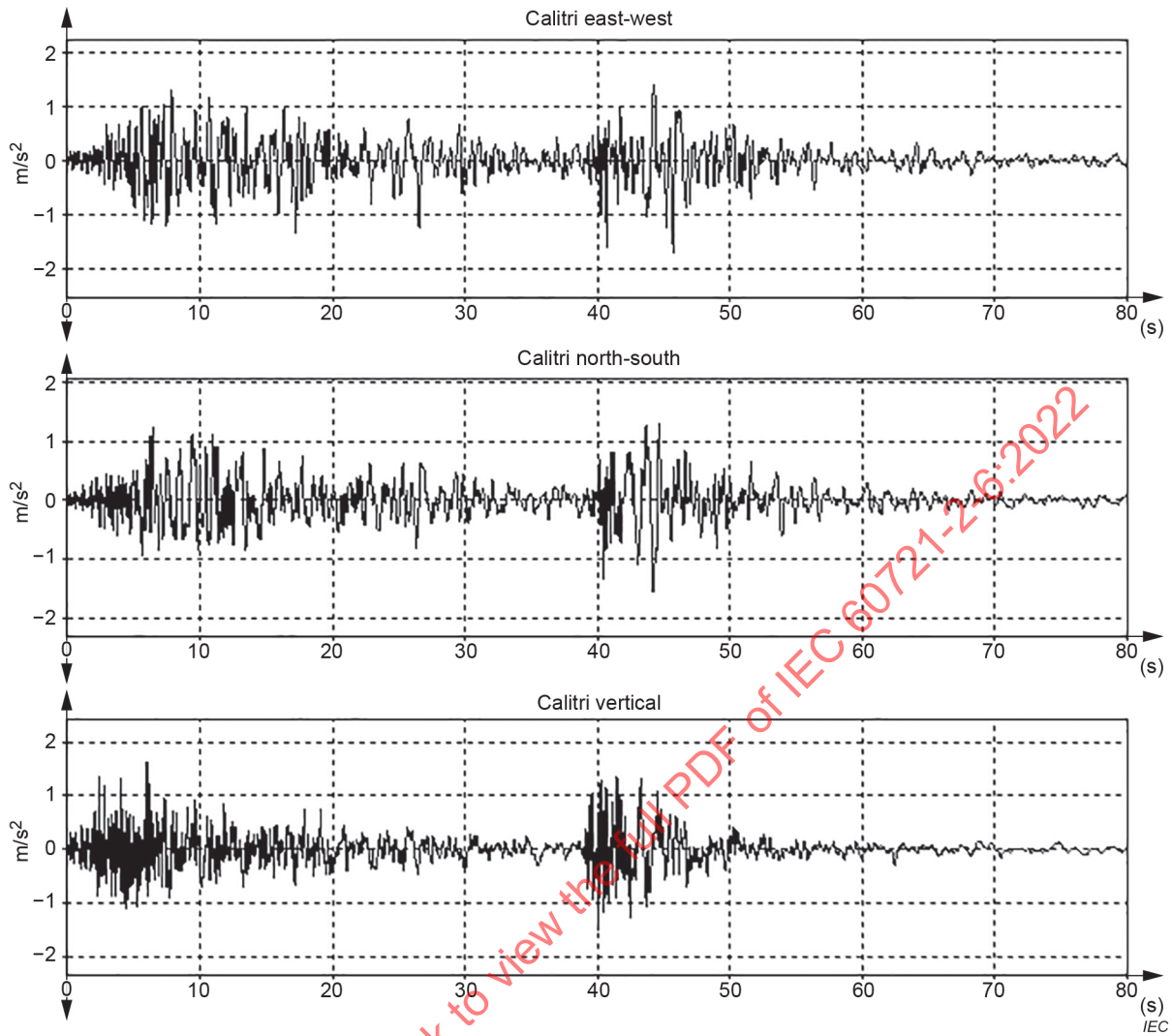
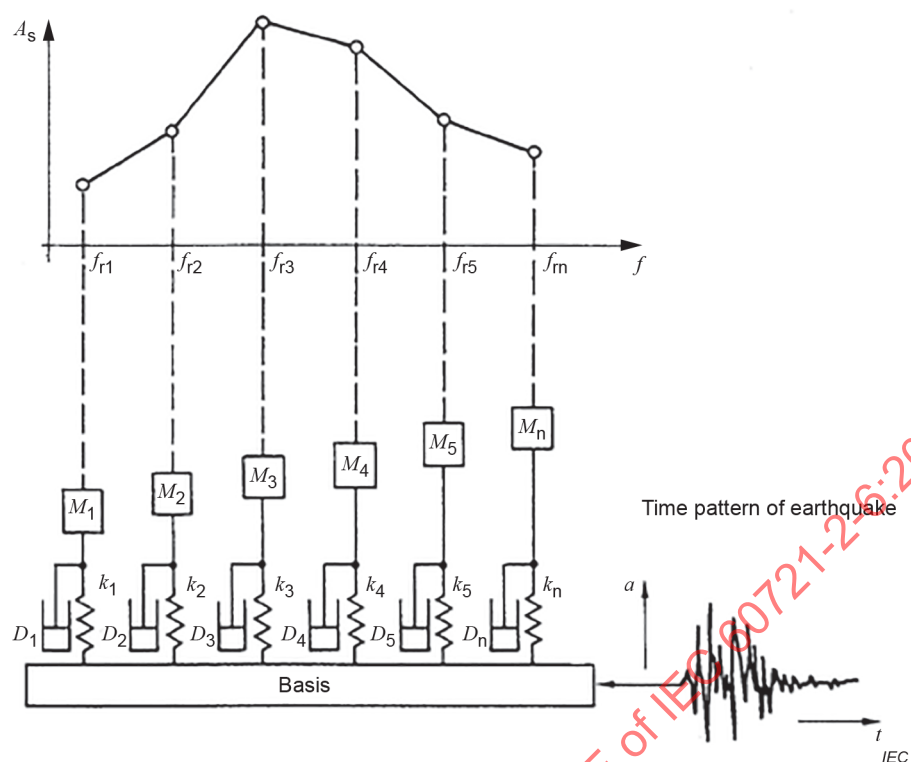


Figure 1 – Acceleration record of the Irpinia-Basilicata-Italy earthquake (1980)

**Key**

a	base acceleration amplitude	f	natural frequency
A_a	response acceleration amplitude	k_i	stiffness
D_i	damping	M_i	mass
f_{ri}	natural frequency of distinct oscillators	t	time

Figure 2 – Model for composing a response spectrum

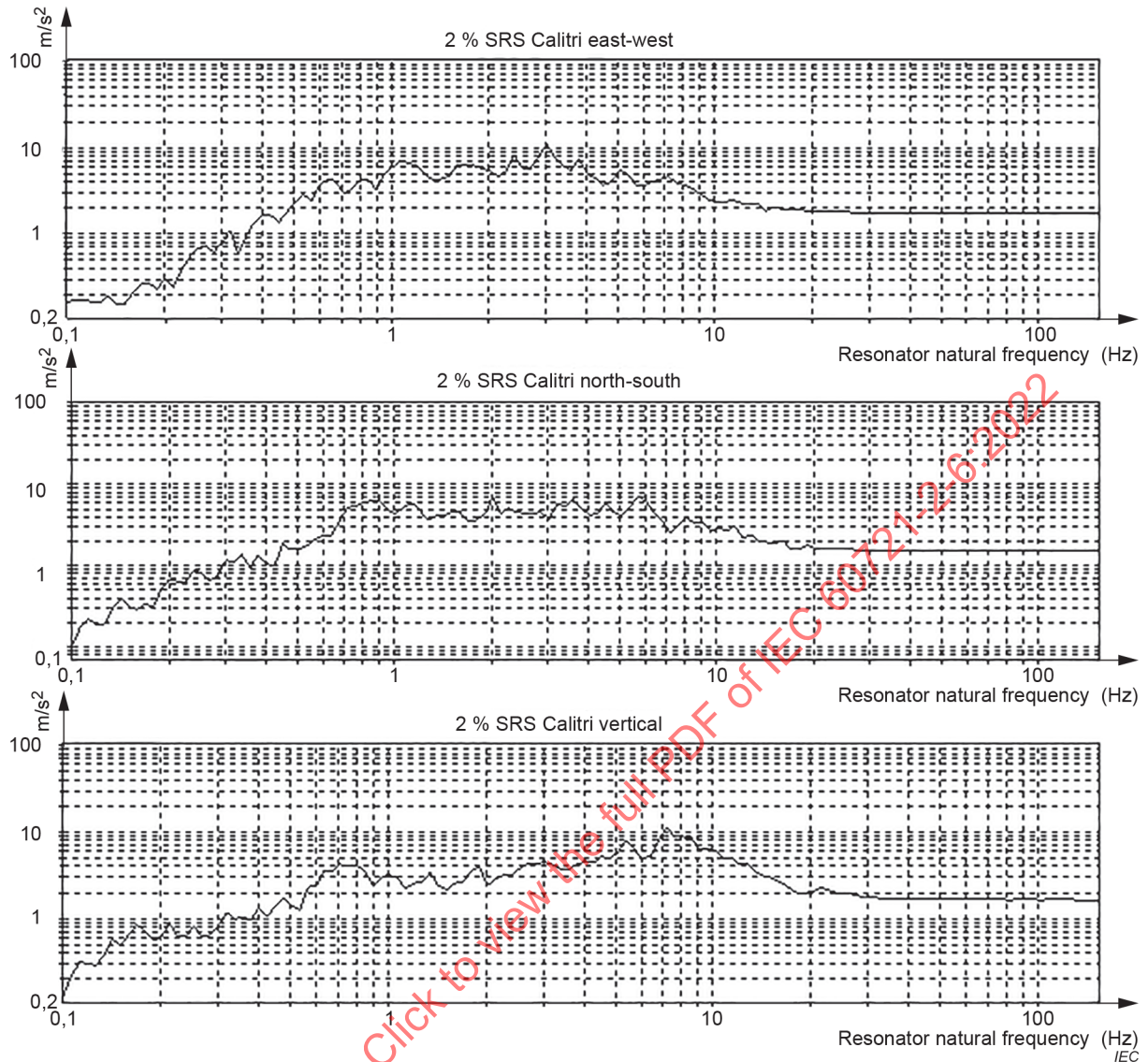
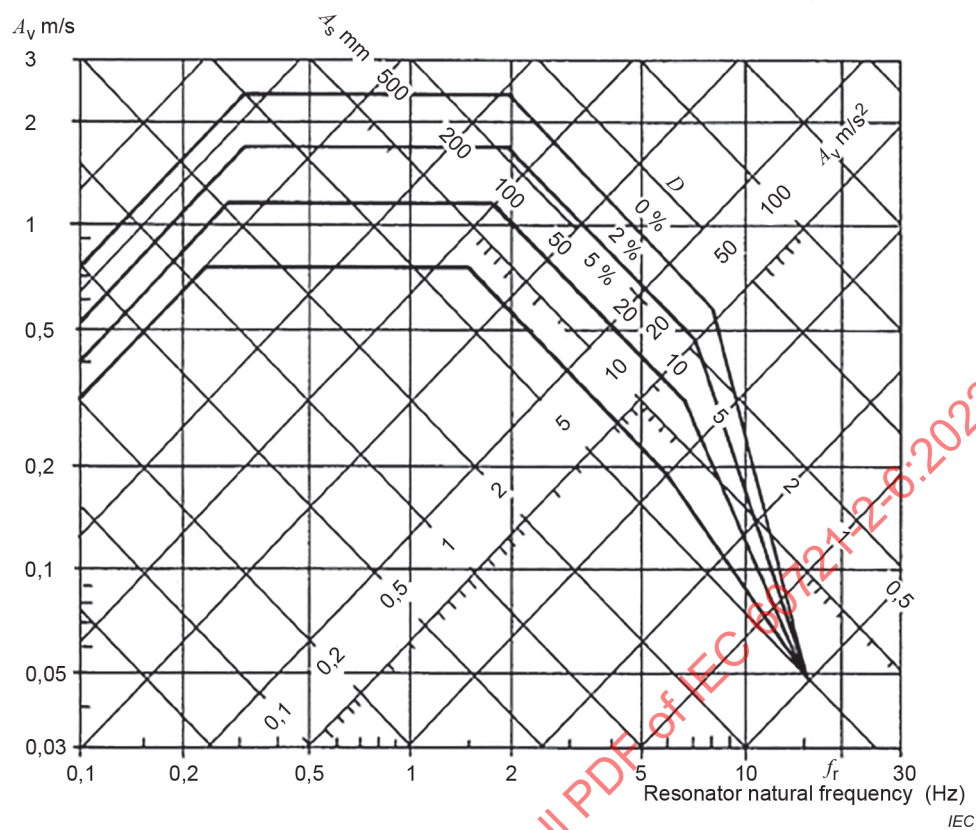


Figure 3 – Response spectrum of the Calitri record of Irpinia earthquake (1980) (Figure 1) for 2 % damping ratio value

**Key**

- A_a response acceleration amplitude
- A_s response displacement amplitude
- A_v response velocity amplitude
- f_r natural frequency
- D damping ratio

Figure 4 – Example of required response spectrum for ground motion

Annex A (informative)

Example of seismic activity zones

A.1 Classification criteria of US Uniform Building Code

The UBC seismic provisions contain six seismic zones, ranging from 0 (no chance of severe ground shaking) to 4 (chance of the most severe ground shaking). The correspondence between the seismic zone and a peak ground acceleration (10 % chance of occurrence in a 50-year interval) is depicted in the following Table A.1. See [6].

Table A.1 – Seismic activity zones definition according to UBC

Seismic activity zone	Peak ground acceleration (PGA) m/s ²
0	0,0 to 0,5
1	0,5 to 0,75
2A	0,75 to 1,5
2B	1,5 to 2
3	2 to 3
4	from 3 to more than 4

A.2 World seismic activity zones classification according to UBC

In the following Table A.2 a list of the world seismic activity zones is reported following the classification rules of the US Uniform Building Code (UBC).

Table A.2 – Seismic activity zones classification according to UBC

Country/City	Seismic zone
Afghanistan – Kabul	4
Albania – Tirana	3
Algeria – Algiers	3
Algeria – Oran	3
Angola – Luanda	0
Argentina – Buenos Aires	0
Australia – Brisbane	1
Australia – Canberra	1
Australia – Melbourne	1
Australia – Perth	1
Australia – Sydney	1
Austria – Salzburg	2A
Austria – Vienna	2A
Azores – All	2A
Bahamas Islands – All	1

Country/City	Seismic zone
Bahrain – Manama	0
Bangladesh – Dacca	3
Belgium – Antwerp	1
Belgium – Brussels	2A
Belize – Belmopan	2A
Benin – Cotonou	0
Bermuda – All	1
Bolivia – La Paz	3
Bolivia – Santa Cruz	1
Botswana – Gaborone	0
Brazil – Belem	0
Brazil – Belo Horizonte	0
Brazil – Brasilia	0
Brazil – Manaus	0
Brazil – Porto Alegre	0
Brazil – Recife	0
Brazil – Rio de Janeiro	0
Brazil – Salvador	0
Brazil – Sao Paulo	1
Brunei – Bandar Seri Begawan	1
Bulgaria – Sofia	3
Burkina Faso – Ouagadougou	0
Burma – Mandalay	3
Burma – Rangoon (Myanmar – Yangon)	3
Burundi – Bujumbura	3
Cameroon – Douala	0
Cameroon – Yaounde	0
Canada – Argentia NAS	2A
Canada – Calgary	1
Canada – Churchill	0
Canada – Cold Lake	1
Canada – E. Harmon AFB	2A
Canada – Edmonton	1
Canada – Fort Williams	0
Canada – Frobisher	0
Canada – Goose Airport	1
Canada – Halifax	1
Canada – Montreal	3
Canada – Ottawa	2A
Canada – St. John's	3
Canada – Toronto	1
Canada – Vancouver	3
Canada – Winnipeg	1

Country/City	Seismic zone
Canal Zone – All	2A
Cape Verde – Praia	0
Caroline Is. – Koror, Palau Is.	2A
Caroline Is. – Ponape	0
Central African Republic – Bangui	0
Chad – Ndjamena	0
Chile – Santiago	4
Chile – Valparaiso	4
China – Beijing	4
China – Chengdu	3
China – Guangzhou	2A
China – Nanjing	2A
China – Shanghai	3
China – Shenyang	2A
China – Taiwan (All)	4
China – Urumqi	4
China – Wuhan	2A
China – Hong Kong	2A
Colombia – Bogota	3
Congo – Brazzaville	0
Costa Rica – San Jose	3
Croatia – Zagreb	3
Cuba – All	2A
Cyprus – Nicosia	3
Czech Republic – Prague	1
Denmark – Copenhagen	1
Djibouti – Djibouti	3
Dominican Republic – Santo Domingo	3
Ecuador – Guayaquil	3
Ecuador – Quito	4
Egypt – Alexandria	2A
Egypt – Cairo	2A
Egypt – Port Said	2A
El Salvador – San Salvador	4
Equatorial Guinea – Malabo	0
Eritrea – Asmara	3
Ethiopia – Addis Ababa	3
Fiji – Suva	3
Finland – Helsinki	1
France – Bordeaux	2A
France – Lyon	1
France – Marseille	3
France – Nice	3

Country/City	Seismic zone
France – Paris	0
France – Strasbourg	2A
French West Indies – Martinique	3
Gabon – Libreville	0
Gambia – Banjul	0
Germany – Berlin	0
Germany – Bonn	2A
Germany – Bremen	0
Germany – Düsseldorf	1
Germany – Frankfurt	2A
Germany – Hamburg	0
Germany – Munich	1
Germany – Stuttgart	2A
Germany – Vaihingen	2A
Ghana – Accra	3
Greece – Athens	3
Greece – Kavalla	4
Greece – Makri	4
Greece – Rhodes	3
Greece – Souda Bay	4
Greece – Thessaloniki	4
Greenland – All	1
Grenada – Saint Georges	3
Guatemala – Guatemala	4
Guinea-Bissau – Bissau	1
Guinea – Conakry	0
Haiti – Port au Prince	3
Honduras – Tegucigalpa	3
Hungary – Budapest	2A
Iceland – Keflavik	3
Iceland – Reykjavik	4
India – Mumbai (Bombay)	3
India – Calcutta	2A
India – Madras	1
India – New Delhi	3
Indonesia – Bandung	4
Indonesia – Jakarta	4
Indonesia – Medan	3
Indonesia – Surabaya	4
Iran – Isfahan	3
Iran – Shiraz	3
Iran – Tabriz	4
Iran – Tehran	4

Country/City	Seismic zone
Iraq – Baghdad	3
Iraq – Basra	1
Ireland – Dublin	0
Israel – Haifa	3
Israel – Jerusalem	3
Israel – Tel Aviv	3
Italy – Aviano AFB	3
Italy – Brindisi	0
Italy – Florence	3
Italy – Genoa	3
Italy – Milan	2A
Italy – Naples	3
Italy – Palermo	3
Italy – Rome	2A
Italy – Sicily	3
Italy – Trieste	3
Italy – Turin	2A
Ivory Coast – Abidjan	0
Jamaica – Kingston	3
Japan – Fukuoka	3
Japan – Itazuke AFB	3
Japan – Misawa AFB	3
Japan – Naha, Okinawa	4
Japan – Osaka/Kobe	4
Japan – Sapporo	3
Japan – Tokyo	4
Japan – Wakayama	3
Japan – Yokohama	4
Japan – Yokota	4
Johnson Island – All	1
Jordan – Amman	3
Kenya – Nairobi	2A
Korea – Kimhae	1
Korea – Kwangju	1
Korea – Pusan	1
Korea – Seoul	0
Kuwait – Kuwait	1
Laos – Vientiane	1
Lebanon – Beirut	3
Leeward Islands – All	3
Lesotho – Maseru	2A
Liberia – Monrovia	1
Libya – Tripoli	2A

Country/City	Seismic zone
Libya – Wheelus AFB	2A
Luxembourg – Luxembourg	1
Malagasy Republic (Madagascar) – Tananarive	0
Malawi – Blantyre	3
Malawi – Lilongwe	3
Malawi – Zomba	3
Malaysia – Kuala Lumpur	1
Mali – Bamako	0
Malta – La Valletta	2A
Mariana Islands – Guam	3
Mariana Islands – Saipan	3
Mariana Islands – Tinian	3
Marshall Islands – All	1
Mauritania – Nouakchott	0
Mauritius – Port Louis	0
Mexico – Ciudad Juarez	2A
Mexico – Guadalajara	3
Mexico – Hermosillo	3
Mexico – Matamoros	0
Mexico – Mazatlan	2A
Mexico – Merida	0
Mexico – Mexico City	3
Mexico – Monterrey	0
Mexico – Nuevo Laredo	0
Mexico – Tijuana	3
Morocco – Casablanca	2A
Morocco – Kenitra (Port Lyautey)	1
Morocco – Rabat	2A
Morocco – Tangier	1
Mozambique – Maputo	2A
Nepal – Kathmandu	4
Netherlands – All	0
New Zealand – Auckland	3
New Zealand – Wellington	4
Nicaragua – Managua	4
Niger – Niamey	0
Nigeria – Ibadan	0
Nigeria – Kaduna	0
Nigeria – Lagos	0
Norway – Oslo	2A
Oman – Muscat	2A
Pakistan – Islamabad	4
Pakistan – Karachi	4

Country/City	Seismic zone
Pakistan – Lahore	2A
Pakistan – Peshawar	4
Panama – Colon	3
Panama – Galeta	2B
Panama – Panama	3
Papua New Guinea – Port Moresby	3
Paraguay – Asuncion	0
Peru – Lima	4
Peru – Piura	4
Philippine Is. – Baguio	3
Philippine Is. – Cebu	4
Philippine Is. – Manila	4
Poland – Krakow	2A
Poland – Poznan	1
Poland – Warszawa	1
Portugal – Lisbon	4
Portugal – Porto	3
Qatar – Doha	0
Republic of Rwanda – Kigali	3
Romania – Bucharest	3
Russia – Moscow	0
Russia – St. Petersburg	0
Samoa – All	3
Saudi Arabia – Al Batin	1
Saudi Arabia – Dhahran	1
Saudi Arabia – Jeddah	2A
Saudi Arabia – Khamis Mushayt	1
Saudi Arabia – Riyadh	0
Senegal – Dakar	0
Seychelles – Victoria	0
Serbia – Belgrade	2A
Sierra Leone – Freetown	0
Singapore – All	1
Slovakia – Bratislava	2A
Somalia – Mogadishu	0
South Africa – Cape Town	3
South Africa – Durban	2A
South Africa – Johannesburg	2A
South Africa – Natal	1
South Africa – Pretoria	2A
Spain – Barcelona	2A
Spain – Bilbao	2A
Spain – Madrid	0

Country/City	Seismic zone
Spain – Rota	2A
Spain – Seville	2A
Sri Lanka – Colombo	0
Swaziland – Mbabane	2A
Sweden – Goteborg	2A
Sweden – Stockholm	1
Switzerland – Bern	2A
Switzerland – Geneva	1
Switzerland – Zurich	2A
Syria – Aleppo	3
Syria – Damascus	3
Tanzania – Dar es Salaam	2 A
Tanzania – Zanzibar	2A
Thailand – Bangkok	1
Thailand – Chiang Mai	2A
Thailand – Songkhla	0
Thailand – Udon	1
Togo – Lome	1
Trinidad & Tobago – All	3
Tunisia – Tunis	3
Turkey – Adana	2A
Turkey – Ankara	2A
Turkey – Izmir	4
Turkey – Istanbul	4
Turkey – Karamursel	3
Uganda – Kampala	2A
Ukraine – Kiev	0
United Arab Emirates – Abu Dhabi	0
United Arab Emirates – Dubai	0
United Kingdom – Belfast	0
United Kingdom – Edinburgh	1
United Kingdom – Edzell	1
United Kingdom – Glasgow/Renfrew	1
United Kingdom – Hamilton	1
United Kingdom – Liverpool	1
United Kingdom – London	2A
United Kingdom – Londonderry	1
United Kingdom – Thurso	1
Uruguay – Montevideo	0
Venezuela – Caracas	4
Venezuela – Maracaibo	2A
Vietnam – Ho Chi Minh (Saigon)	0
Wake Island – All	0

Country/City	Seismic zone
Yemen – Aden	3
Yemen – Sanaa	3
Zaire – Bukavu	3
Zaire – Kinshasa	0
Zaire – Lubumbashi	2A
Zambia – Lusaka	2A
Zimbabwe – Harare (Salisbury)	3

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60721-2-6:2022

Bibliography

- [1] IEC 60721-1, *Classification of environmental conditions – Part 1: Environmental parameters and their severities*
- [2] *European Macroseismic Scale 1998 (EMS 98)* – Editor G. GRÜNTAL – CONSEIL DE L'EUROPE – Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie – Luxembourg 1998
- [3] Hanks, T. C., and H. Kanamori (1979). *A moment magnitude scale*, *Journal of Geophysical Research*, 84, 5, 2348 – 2350, 9B0059, doi:10.1029/JB084iB05p02348
- [4] ISO 18431-4, *Mechanical Vibration and Shock – Signal processing – Part 4: Shock-response spectrum analysis*
- [5] ETSI EN 300 019-1-3 v2.3.2 (2009-11) – *Environmental Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Part 1-3: Classification of environmental conditions; Stationary use at weatherprotected locations*
- [6] SCAFCO Grain Systems Co., available at <http://scafcograin.com/language/en/>
- [7] M. Pagani, J. Garcia-Pelaez, R. Gee, K. Johnson, V. Poggi, R. Styron, G. Weatherill, M. Simionato, D. Viganò, L. Danciu, D. Monelli (2018). *Global Earthquake Model (GEM) Seismic Hazard Map* (version 2018.1 – December 2018), DOI: 10.13117/GEM-GLOBAL-SEISMIC-HAZARD-MAP-2018.1, available at <http://www.globalquakemodel.org/gem>

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	27
INTRODUCTION.....	29
1 Domaine d'application	30
2 Références normatives	30
3 Termes et définitions	30
4 Description générale des séismes	30
4.1 Généralités	30
4.2 Origine et propagation des séismes	31
4.3 Comportement des séismes	31
4.4 Matériels installés sur des fondations	31
4.5 Matériels installés dans des bâtiments et des structures	31
5 Echelles sismiques	31
5.1 Définition de l'intensité et de la magnitude	31
5.2 Exemples d'échelles d'intensité.....	32
5.3 Exemple d'échelle de magnitude.....	33
6 Description de l'environnement sismique par les spectres de réponse	34
6.1 Spectre de réponse.....	34
6.2 Spectre de réponse du sol	35
6.3 Spectre de réponse spécifié.....	35
7 Classification des zones d'activité sismique.....	35
Annexe A (informative) Exemples de zones d'activité sismique.....	40
A.1 Critères de classification de l'UBC (US Uniform Building Code)	40
A.2 Classification des zones d'activité sismique dans le monde selon l'UBC	40
Bibliographie.....	49
Figure 1 – Enregistrement d'accélération du séisme d'Irpinia-Basilicate, Italie (1980)	36
Figure 2 – Modélisation d'un spectre de réponse	37
Figure 3 – Spectre de réponse de l'enregistrement réalisé à Calitri du séisme de l'Irpinia (1980) (Figure 1) pour une valeur de taux d'amortissement de 2 %.....	38
Figure 4 – Exemple de spectre de réponse spécifié pour les mouvements au sol.....	39
Tableau 1 – Echelles d'intensité des séismes dans certains pays/certaines régions.....	32
Tableau 2 – Echelle macrosismique européenne (EMS-98).....	33
Tableau 3 – Echelle de magnitude de moment.....	34
Tableau 4 – Zones d'activité sismique.....	36
Tableau A.1 – Définition des zones d'activité sismique selon l'UBC	40
Tableau A.2 – Classification des zones d'activité sismique selon l'UBC	40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CLASSIFICATION DES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT –

**Partie 2-6: Conditions d'environnement présentes dans la nature –
Vibrations et chocs sismiques**

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 60721-2-6 a été établie par le comité d'études 104 de l'IEC: Conditions, classification et essais d'environnement. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1990. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) le principal objectif de la présente révision est de classer dans un nombre limité de classes le niveau d'activité sismique de la zone où le matériel est susceptible d'être installé;

- b) la corrélation entre les échelles d'intensité, les échelles de magnitude et l'accélération crête du sol a été supprimée en raison de l'incertitude scientifique qui existe pour la définir de manière rigoureuse;
- c) des échelles mises à jour sont données pour l'intensité et pour la magnitude;
- d) la carte des zones de séismes, qui n'était pas utilisable en pratique, a été remplacée par une annexe qui fournit des informations qui permettent d'obtenir une répartition cohérente de l'accélération crête du sol dans le monde entier;
- e) en ce qui concerne l'identification de l'accélération sismique crête du sol de la zone où le matériel est susceptible d'être installé, l'utilisateur est informé que des normes et des lois nationales peuvent s'appliquer.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
104/946/FDIS	104/952/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60721, publiées sous le titre général *Classification des conditions d'environnement*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 60721 appartient à une série consacrée aux sujets suivants:

- agents d'environnement et leurs sévérités (IEC 60721-1);
- conditions d'environnement présentes dans la nature (IEC 60721-2);
- classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités (IEC 60721-3).

La présente partie de l'IEC 60721 est destinée à servir de base lors du choix des sévérités appropriées des agents relatifs aux séismes pour les applications d'un matériel. Il convient d'appliquer les sévérités données dans l'IEC 60721-1[1]¹.

Des informations plus détaillées peuvent être consultées dans la documentation spécialisée et dans des ouvrages de référence techniques, dont certains figurent dans la bibliographie.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

CLASSIFICATION DES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2-6: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Vibrations et chocs sismiques

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60721 traite des conditions d'environnement présentes dans la nature et qui sont liées à des vibrations et des chocs sismiques.

Elle a pour objet de définir des propriétés fondamentales et des grandeurs pour la caractérisation des séismes comme base pour les sévérités auxquelles les matériels sont susceptibles d'être exposés durant leur stockage et leur utilisation. Les accélérations données concernent uniquement les conditions à la surface du sol. Les conditions relatives aux structures sont mentionnées, mais leurs descriptions sont limitées aux cas généraux.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60068-3-3:2019, *Essais d'environnement – Partie 3-3: Documentation d'accompagnement et recommandations – Méthodes d'essais sismiques applicables aux matériels*

ISO 2041, *Vibrations et chocs mécaniques, et leur surveillance – Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60068-3-3 et de l'ISO 2041 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

4 Description générale des séismes

4.1 Généralités

Les effets des séismes sont des vibrations qui peuvent être modélisées comme des processus stochastiques et peuvent affecter les matériels et leur imposer des contraintes de différentes façons.

Le présent Article 4 est destiné à fournir des informations sur le comportement des séismes et sur les performances dynamiques des matériels pendant les séismes. Les valeurs numériques indiquées sont des valeurs types données à titre d'exemples, qu'il convient de ne pas considérer comme des valeurs normalisées.

4.2 Origine et propagation des séismes

Un séisme se produit lorsque des contraintes se sont accumulées à tel point qu'elles provoquent une rupture de l'écorce terrestre. Ces instabilités sont situées dans des zones dites d'activité sismique, liées à des séries d'accidents géologiques comme des dépressions, des crêtes océaniques, des chaînes de montagnes, des volcans, des dorsales océaniques et des failles tectoniques.

La rupture brutale libère une énergie de déformation élastique qui se propage à partir de son hypocentre sous la forme de trois ondes fondamentales de vitesses différentes:

- les ondes longitudinales de volume, qui compriment et dilatent les roches dans la direction de leur propagation;
- les ondes transversales, qui cisailent les roches par distorsion, perpendiculairement à leur propagation;
- les ondes de surface, qui sont une combinaison des deux précédentes et sont soumises aux conditions de limite de surface.

4.3 Comportement des séismes

Les séismes produisent des mouvements aléatoires du sol caractérisés par des composantes horizontales et verticales simultanées, mais statistiquement indépendantes. Un séisme modéré peut durer de 15 s à 30 s, un séisme intense de 60 s à 120 s. En général, la partie forte, durant laquelle l'accélération au sol est la plus élevée, peut durer jusqu'à 10 s. L'énergie maximale du mouvement caractéristique aléatoire à large bande se situe dans une plage de fréquences comprise entre 1 Hz et 35 Hz, et les effets les plus destructifs se produisent entre 1 Hz et 10 Hz. Il est habituellement admis par hypothèse que la composante verticale du mouvement du sol est comprise entre 67 % et 100 % de sa composante horizontale.

NOTE L'accélération maximale est généralement utilisée lors de la conception des matériels pour traduire la "force" d'un séisme en un site particulier.

4.4 Matériels installés sur des fondations

Les spectres types à large bande qui décrivent les mouvements du sol indiquent qu'une excitation à fréquences multiples prédomine. La nature vibratoire du mouvement du sol (à la fois horizontale et verticale) peut être amplifiée lorsque le matériel est monté sur un support solidaire de la fondation. Pour un mouvement donné du sol, l'amplification dépend des fréquences caractéristiques des vibrations du système (sol, fondation et matériel) et du mécanisme d'amortissement.

4.5 Matériels installés dans des bâtiments et des structures

Les mouvements du sol peuvent être filtrés et amplifiés par les structures intermédiaires des bâtiments pour produire des mouvements sinusoïdaux d'amplitude variable au niveau des planchers. Les spectres types à bande étroite qui décrivent les mouvements des planchers d'un bâtiment indiquent qu'une excitation à fréquence unique peut prédominer. La réponse dynamique des matériels installés sur les planchers peut atteindre une accélération égale à plusieurs fois l'accélération maximale du sol, selon l'amortissement du système et les fréquences caractéristiques des vibrations. L'amplification et la largeur de bande dépendent des caractéristiques de la réponse dynamique de la structure de chaque bâtiment et de chaque matériel. Les matériels sensibles aux fréquences comprises entre 1 Hz et 10 Hz sont les plus susceptibles d'être affectés.

5 Echelles sismiques

5.1 Définition de l'intensité et de la magnitude

En sismologie, les séismes sont classés à l'aide de différentes échelles selon leur intensité ou leur magnitude.

Les échelles d'intensité sont établies de façon empirique et classent les séismes par degrés d'intensité en fonction de leurs effets. Les échelles d'intensité sont fondées sur les effets observés des secousses, par exemple le degré de panique des personnes ou des animaux, ainsi que sur l'étendue et la sévérité des dégâts subis par différents types de structures ou d'éléments naturels.

L'intensité est considérée ici comme une classification de la sévérité des secousses du sol sur la base des effets observés dans une zone limitée. Les échelles d'intensité, et le concept d'intensité lui-même, ont évolué au cours du siècle dernier. A partir d'une classification purement hiérarchique des effets, des tentatives pour faire de l'intensité un instrument de mesure approximatif des secousses se sont succédé de manière répétée, ou du moins l'intensité a-t-elle été utilisée en ce sens. L'intensité est davantage un outil descriptif des effets des séismes qu'un outil analytique à la manière d'un instrument de mesure.

La magnitude est liée à la quantité d'énergie sismique libérée au niveau de l'hypocentre du séisme. Elle est fondée sur l'amplitude des ondes sismiques enregistrées par des instruments communément étalonnés. La magnitude d'un séisme est ainsi représentée par une valeur unique, déterminée de façon instrumentale.

Une correspondance approximative peut être donnée entre ces deux échelles, d'intensité et de magnitude, et certaines valeurs de l'accélération au sol; leur utilisation pour fixer des valeurs d'essai est limitée.

La relation entre les échelles d'intensité et le niveau de l'accélération subie par les matériels ne peut être donnée que d'une manière approchée en prenant en considération les facteurs suivants:

- la nature du sol ou de la roche (y compris la saturation en eau);
- la proximité par rapport au centre d'activité du séisme;
- les caractéristiques de la structure dans laquelle se trouve le matériel ou de la fondation sur laquelle il repose.

En outre, la relation entre l'échelle de magnitude et l'accélération crête du sol est limitée par les effets suivants:

- la nature du sol ou des roches du lieu;
- la profondeur du foyer du séisme;
- la durée d'activité du séisme.

5.2 Exemples d'échelles d'intensité

Le Tableau 1 donne une liste des différentes échelles d'intensité adoptées par certains pays.

Tableau 1 – Echelles d'intensité des séismes dans certains pays/certaines régions

Pays/Région	Echelle d'intensité sismique utilisée
Chine	Echelle de Liedu (GB/T 17742-2020)
Europe	Echelle macrosismique européenne (EMS-98)
Hong Kong, Chine	Echelle de Mercalli modifiée (MM)
Inde	Echelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik
Israël	Echelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK-64)
Japon	Echelle d'intensité sismique JMA
Kazakhstan	Echelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK-64)
Philippines	Echelle d'intensité de tremblement de terre PHIVOLCS (PEIS)
Russie	Echelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK-64)
Taiwan, Chine	Echelle d'intensité sismique du Bureau central météorologique
Etats-Unis	Echelle de Mercalli modifiée (MM)

L'échelle macrosismique européenne EMS-98 est la première échelle d'intensité sismique conçue pour encourager la coopération entre les ingénieurs et les sismologues et non destinée à l'usage exclusif des sismologues. Elle s'accompagne d'un manuel détaillé qui comprend des lignes directrices, des illustrations et des exemples d'applications. La forme abrégée de l'échelle macrosismique européenne (voir Tableau 2), tirée de [2], est conçue pour donner une vision très simplifiée et générale de l'échelle EMS.

Tableau 2 – Echelle macrosismique européenne (EMS-98)

Intensité EMS	Définition	Description de effets typiques observés (résumée)
I	Non ressenti	Non ressenti.
II	Rarement ressenti	Ressenti uniquement par quelques personnes au repos dans les maisons.
III	Faible	Ressenti à l'intérieur des habitations par quelques personnes. Les personnes au repos ressentent une vibration ou un léger tremblement.
IV	Largement observé	Ressenti à l'intérieur des habitations par de nombreuses personnes, à l'extérieur par très peu. Quelques personnes sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle vibrent.
V	Fort	Ressenti à l'intérieur des habitations par la plupart, à l'extérieur par quelques personnes. De nombreux dormeurs se réveillent. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans leur ensemble. Les objets suspendus se balancent fortement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent ou se ferment.
VI	Dégâts légers	De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Chute d'objets. De nombreuses maisons subissent des dégâts légers non structuraux comme de très fines fissures et des chutes de petits morceaux de plâtre.
VII	Dégâts	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Les meubles se déplacent et beaucoup d'objets tombent des étagères. De nombreuses maisons ordinaires bien construites subissent des dégâts modérés: petites fissures dans les murs, chutes de plâtres, chutes de parties de cheminées; des bâtiments plus anciens peuvent présenter de larges fissures dans les murs et la défaillance des cloisons de remplissage.
VIII	Dégâts importants	De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à rester debout. Beaucoup de maisons ont de larges fissures dans les murs. Quelques bâtiments ordinaires bien construits présentent des défaillances sérieuses des murs, tandis que des structures anciennes peu solides peuvent s'écrouler.
IX	Destructions	Panique générale. De nombreuses constructions peu solides s'écroulent. Même des bâtiments ordinaires bien construits présentent des dégâts très importants: défaillances sérieuses des murs et effondrement structural partiel.
X	Destructions importantes	De nombreux bâtiments ordinaires bien construits s'effondrent.
XI	Catastrophe	La plupart des bâtiments ordinaires bien construits s'effondrent, même ceux ayant une bonne conception parasismique sont détruits.
XII	Catastrophe généralisée	Pratiquement tous les bâtiments sont détruits.

5.3 Exemple d'échelle de magnitude

L'échelle de magnitude de moment (MMS, *Moment Magnitude Scale*; notée explicitement M_w) permet de mesurer la magnitude, la taille et la force d'un séisme en fonction de son moment sismique, qui est une mesure de l'énergie du séisme. L'échelle de magnitude de moment (M_w) est considérée comme l'échelle de magnitude qui fait autorité pour classer les séismes selon leur taille. En s'appuyant sur une relation approximative entre l'énergie rayonnée et le moment sismique, Hiroo Kanamori [3], sismologue au Caltech, a estimé M_w par la formule

$$M_w = (\log M_o - 9,045)/1,5$$

où

M_o = le moment sismique, qui est une mesure de l'énergie produite par les failles d'un séisme; elle est mesurée en newtons-mètres (Nm) ou en joules.

Le Tableau 3 fournit une indication approximative de la relation entre le moment sismique et l'échelle de magnitude de moment.

Tableau 3 – Echelle de magnitude de moment

M_w	M_o J
0	$1,11 \times 10^9$
1	$3,51 \times 10^{10}$
2	$1,11 \times 10^{12}$
3	$3,51 \times 10^{13}$
4	$1,11 \times 10^{15}$
5	$3,51 \times 10^{16}$
6	$1,11 \times 10^{18}$
7	$3,51 \times 10^{19}$
8	$1,11 \times 10^{21}$
9	$3,51 \times 10^{22}$
10	$1,11 \times 10^{24}$

6 Description de l'environnement sismique par les spectres de réponse

6.1 Spectre de réponse

Une description conceptuelle communément admise de l'environnement sismique, en particulier pour les essais, est obtenue par l'utilisation de spectres de réponse. Dans un spectre de réponse, la valeur maximale absolue de la réponse de l'accélérogramme (déplacement, vitesse ou accélération) d'une famille d'oscillateurs, chacun n'ayant qu'un seul degré de liberté à taux d'amortissement visqueux fixé, est tracée en fonction de la fréquence propre non amortie de ces oscillateurs lorsqu'ils sont soumis au mouvement de base causé par le séisme. Il peut être noté qu'un spectre de réponse n'est pas une fonction analytique; il convient de ne pas le confondre avec un spectre. Voir l'ISO 2041 et l'ISO 18431-4 [4].

Un exemple d'enregistrement de l'accélération (en temps réel) d'un séisme est donné à la Figure 1. L'accélération du sol a été enregistrée lors du séisme de l'Irpinia et Basilicate, en Italie, survenu en 1980, dans le village de Calitri (échelle de magnitude de moment $M_w = 6,8$ et intensité EMS-98 = 8).

La Figure 2 représente une modélisation d'un spectre de réponse. Le temps de réponse des oscillateurs, qui ont des fréquences propres f_{ri} ($i = 1$ à n) et un taux d'amortissement constant, à l'amplitude des vibrations de base est enregistré et la valeur maximale absolue est retenue pour chaque oscillateur et tracée en fonction de sa fréquence propre. L'amplitude de la réponse d'un oscillateur est d'autant plus importante qu'il est excité plus longuement et plus fortement à sa fréquence propre amortie.

6.2 Spectre de réponse du sol

Si un accélérogramme des mouvements du sol a été enregistré sur le site d'un séisme, ou à proximité, il est utilisé pour établir un spectre de réponse au choc (SRS) (Figure 3).

Un nombre représentatif de spectres de réponse du sol déterminés à partir de différents séismes est utilisé pour décrire la contrainte sismique prévisible du site ou de la zone.

6.3 Spectre de réponse spécifié

Une courbe dominante au-dessus des spectres de réponse du sol est appelée spectre de réponse spécifié, car elle représente les limites des mouvements sismiques du sol observés pendant des séismes sur un site donné ou dans une zone donnée. Ce spectre (Figure 4) indique la réponse en amplitude (déplacement, vitesse ou accélération) en fonction de la fréquence propre et du taux d'amortissement des oscillateurs excités par les mouvements du sol.

Différentes configurations de montage des matériels sur un site donné peuvent impliquer l'utilisation de différents spectres de réponse spécifiés, corrigés en fonction du comportement de leur support (structure du bâtiment, plancher ou enveloppe, etc.) (voir l'IEC 60068-3-3). Pour les essais, une pratique courante consiste à se référer au spectre de réponse à l'accélération du sol à partir duquel doit être déduit le spectre de réponse spécifié pour l'essai, en adaptant l'excitation sismique aux conditions de montage spécifiques. Ce spectre de réponse spécifié d'essai indique les limites de l'excitation sismique à laquelle il convient d'exposer le matériel pour vérifier sa capacité à résister au séisme (Voir l'ETSI EN 300 019-1-3 [5]).

7 Classification des zones d'activité sismique

Afin de définir un mouvement sismique local du sol, il est nécessaire de mesurer des sismogrammes locaux à partir desquels déduire:

- la durée du séisme; et
- le spectre de réponse qui indique la répartition de l'accélération du sol dans le domaine fréquentiel et l'accélération à période nulle, c'est-à-dire l'accélération crête du sol (PGA, Peak Ground Acceleration).

De plus, il convient d'effectuer une étude statistique concernant le taux de répétition du séisme en fonction de son intensité. En général, on utilise une intensité maximale probable, avec une probabilité supérieure à 10 % sur 50 ans, ce qui équivaut à un "intervalle de récurrence" de 475 ans.

Des cartes de zonation des séismes sont données dans les normes nationales et internationales et dans les études relatives aux dangers naturels réalisées par les compagnies d'assurance et les instituts de recherche [6], [7]. Voir, aussi à titre d'information uniquement, l'Annexe A.

Le Tableau 4 ci-dessous présente un nombre limité de classes de zones d'activité sismique, qui couvre l'ensemble de la plage de valeurs possibles pour l'accélération crête du sol.

Tableau 4 – Zones d'activité sismique

Zone d'activité sismique	Accélération crête du sol (PGA)
	m/s ²
0	0,01 à 0,2
1	0,2 à 0,5
2	0,5 à 1
3	1 à 2
4	de 2 à plus de 20

Il convient que les utilisateurs du présent document choisissent la plus basse classification nécessaire pour couvrir les conditions de sismicité de la zone d'installation prévue.

L'identification de l'accélération sismique crête du sol de la zone où le matériel est susceptible d'être installé peut faire l'objet de normes et lois nationales correspondantes.

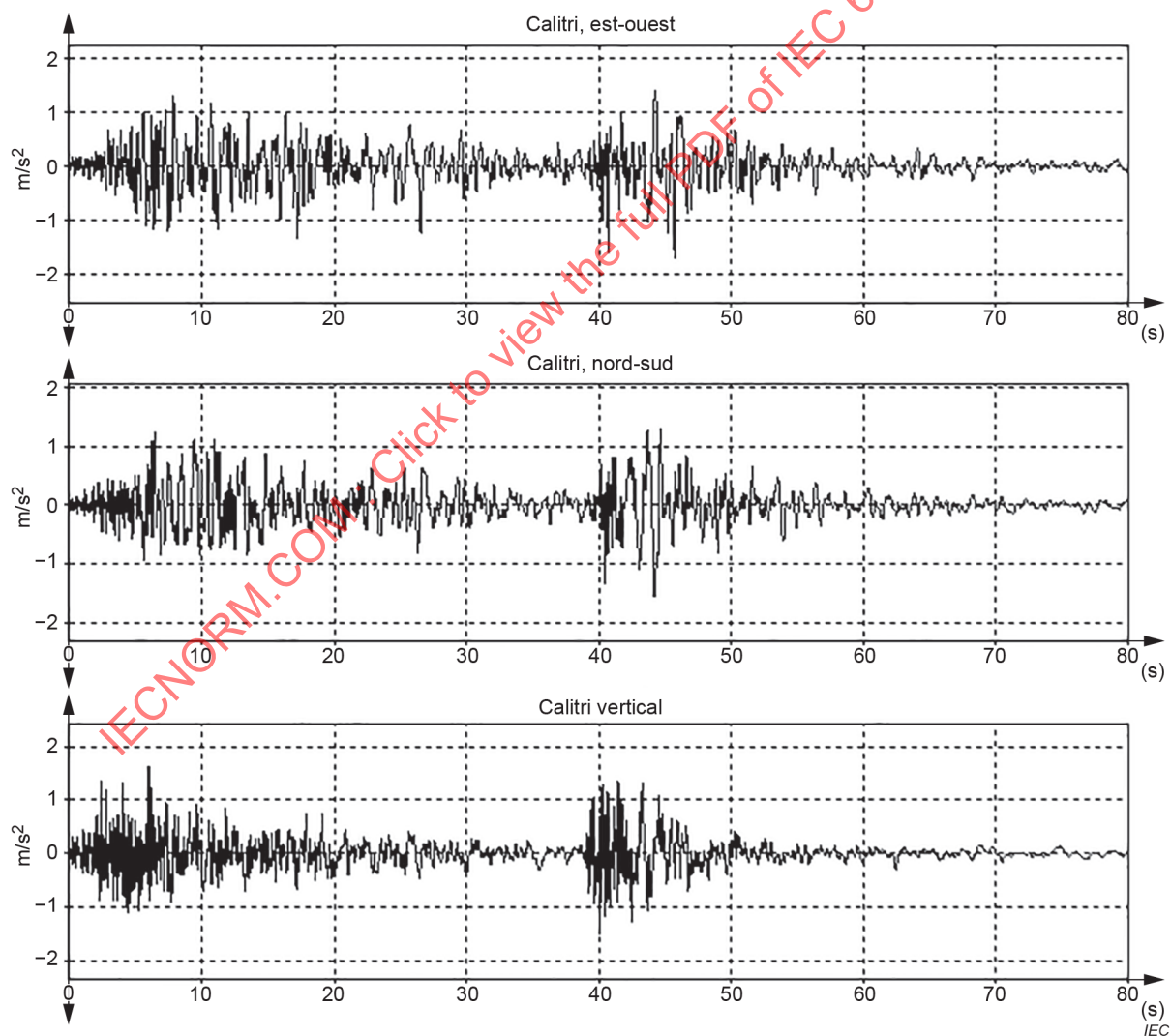
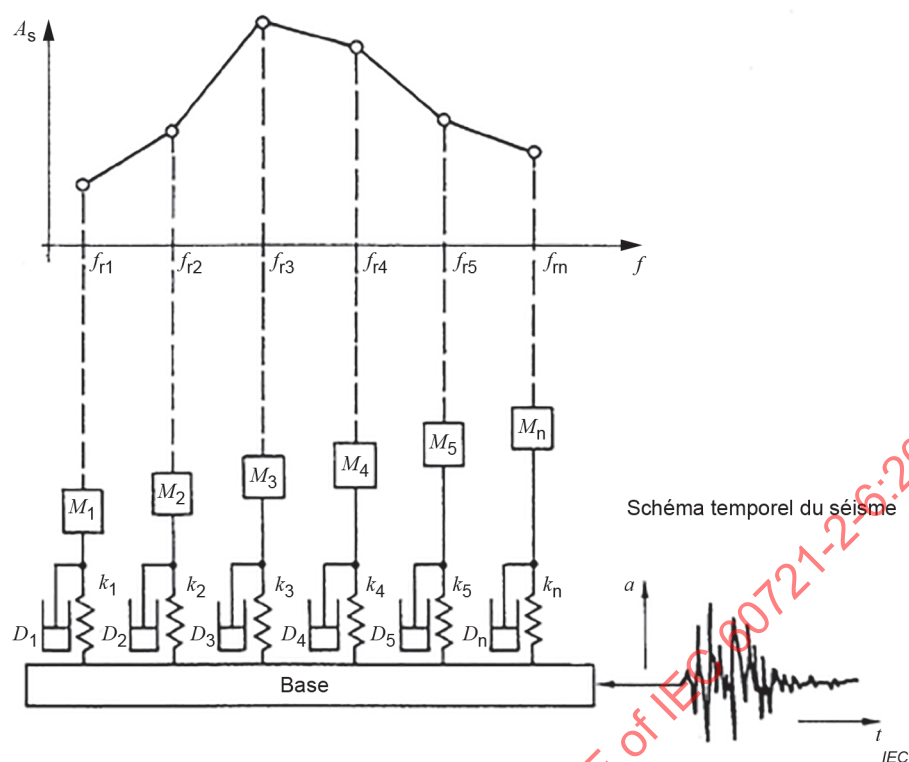


Figure 1 – Enregistrement d'accélération du séisme d'Irpinia-Basilicate, Italie (1980)

**Légende**

a	amplitude de l'accélération de base	f	fréquence propre
A_a	amplitude de l'accélération de la réponse	k_i	raideur
D_i	amortissement	M_i	Masse
f_{ri}	fréquence propre d'oscillateurs distincts	t	temps

Figure 2 – Modélisation d'un spectre de réponse

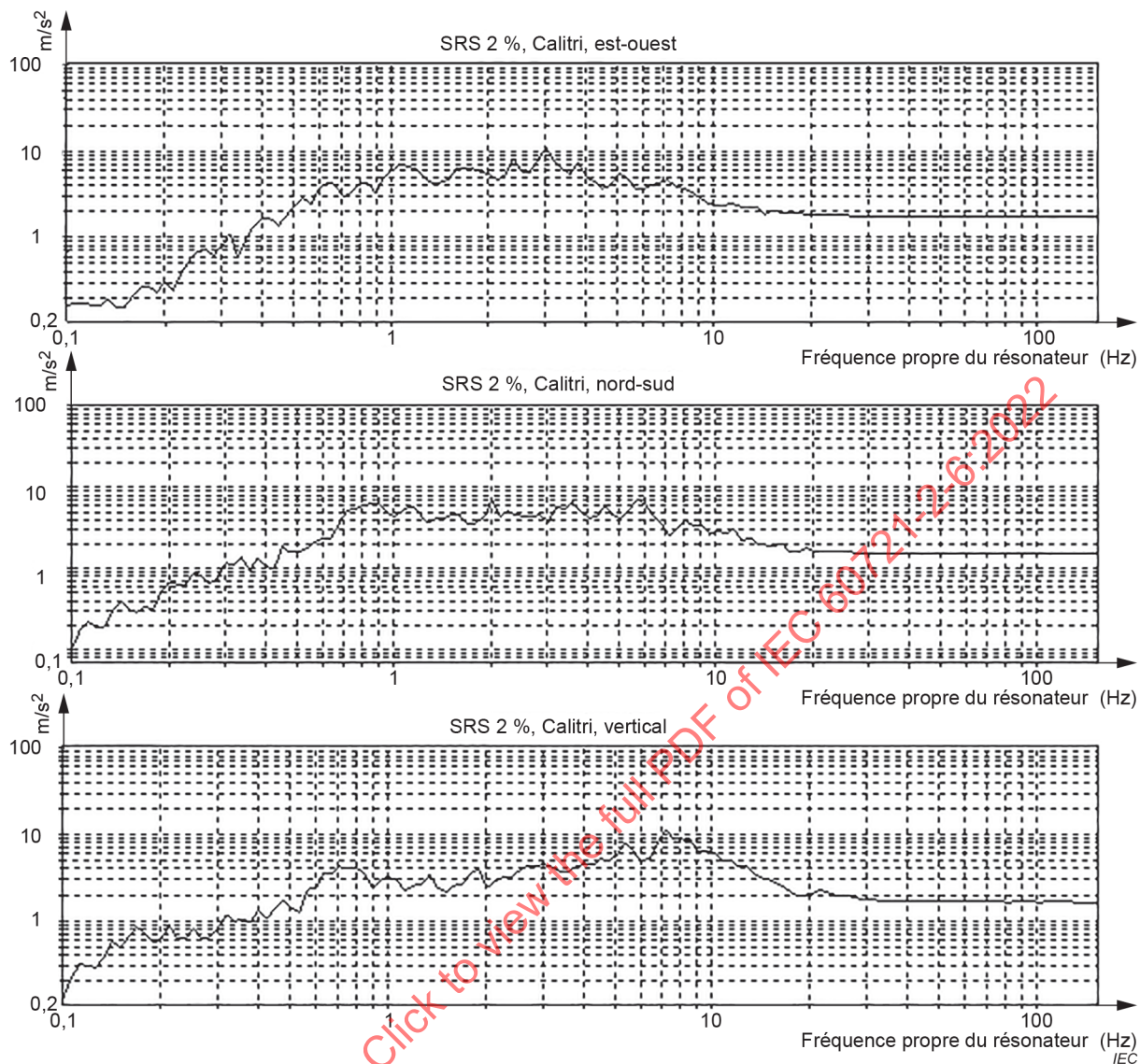
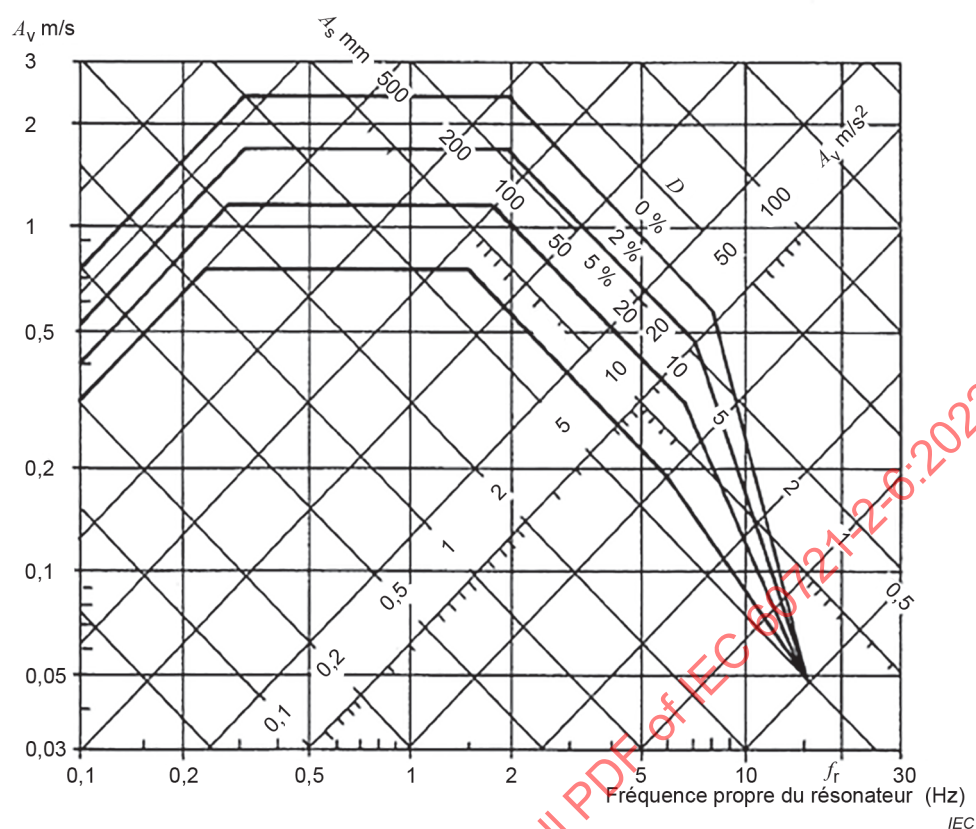


Figure 3 – Spectre de réponse de l'enregistrement réalisé à Calitri du séisme de l'Irpinia (1980) (Figure 1) pour une valeur de taux d'amortissement de 2 %



Légende

A_a amplitude de l'accélération de la réponse

A_s amplitude du déplacement de la réponse

A_v amplitude de la vitesse de la réponse

f_r fréquence propre

D taux d'amortissement

Figure 4 – Exemple de spectre de réponse spécifié pour les mouvements au sol

Annexe A (informative)

Exemples de zones d'activité sismique

A.1 Critères de classification de l'UBC (US Uniform Building Code)

Les dispositions relatives aux séismes de l'UBC font état de six zones sismiques, classées de 0 (aucun risque de secousse intense du sol) à 4 (risque qui correspond aux secousses les plus intenses du sol). La correspondance entre la zone sismique et une accélération crête du sol (10 % de probabilité d'occurrence sur une période de 50 ans) est décrite dans le Tableau A.1 ci-dessous. Voir [6].

Tableau A.1 – Définition des zones d'activité sismique selon l'UBC

Zone d'activité sismique	Accélération crête du sol ground acceleration (PGA) m/s ²
0	0,0 à 0,5
1	0,5 à 0,75
2A	0,75 à 1,5
2B	1,5 à 2
3	2 à 3
4	de 3 à plus de 4

A.2 Classification des zones d'activité sismique dans le monde selon l'UBC

Le Tableau A.2 ci-dessous donne une liste des zones d'activité sismique dans le monde suivant les règles de classification de l'UBC (US Uniform Building Code).

Tableau A.2 – Classification des zones d'activité sismique selon l'UBC

Pays/ville	Zone sismique
Afghanistan – Kaboul	4
Albanie – Tirana	3
Algérie – Alger	3
Algérie – Oran	3
Angola – Luanda	0
Argentine – Buenos Aires	0
Australie – Brisbane	1
Australie – Canberra	1
Australie – Melbourne	1
Australie – Perth	1
Australie – Sydney	1
Autriche – Salzbourg	2A
Autriche – Vienne	2A
Açores – Toutes	2A
Bahamas – Toutes	1

Pays/ville	Zone sismique
Bahreïn – Manama	0
Bangladesh – Dacca	3
Belgique – Anvers	1
Belgique – Bruxelles	2A
Belize – Belmopan	2A
Bénin – Cotonou	0
Bermudes – Toutes	1
Bolivie – La Paz	3
Bolivie – Santa Cruz	1
Botswana – Gaborone	0
Brésil – Belém	0
Brésil – Belo Horizonte	0
Brésil – Brasilia	0
Brésil – Manaus	0
Brésil – Porto Alegre	0
Brésil – Recife	0
Brésil – Rio de Janeiro	0
Brésil – Salvador	0
Brésil – São Paulo	1
Brunei – Bandar Seri Begawan	1
Bulgarie – Sofia	3
Burkina Faso – Ouagadougou	0
Birmanie – Mandalay	3
Birmanie – Rangoon (Myanmar – Yangon)	3
Burundi – Bujumbura	3
Cameroun – Douala	0
Cameroun – Yaoundé	0
Canada – Argentia NAS	2A
Canada – Calgary	1
Canada – Churchill	0
Canada – Cold Lake	1
Canada – E. Harmon AFB	2A
Canada – Edmonton	1
Canada – Fort Williams	0
Canada – Frobisher	0
Canada – Aéroport de Goose Bay	1
Canada – Halifax	1
Canada – Montréal	3
Canada – Ottawa	2A
Canada – St. John's	3
Canada – Toronto	1
Canada – Vancouver	3
Canada – Winnipeg	1