

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Classification of environmental conditions –
Part 2-9: Environmental conditions appearing in nature – Measured shock and
vibration data – Storage, transportation and in-use**

**Classification des conditions d'environnement –
Partie 2-9: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Données de
chocs et de vibrations mesurées – Stockage, transport et utilisation**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 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 Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Classification of environmental conditions –
Part 2-9: Environmental conditions appearing in nature – Measured shock and
vibration data – Storage, transportation and in-use**

**Classification des conditions d'environnement –
Partie 2-9: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Données de
chocs et de vibrations mesurées – Stockage, transport et utilisation**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

R

ICS 19.040

ISBN 978-2-8322-1446-6

**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 and object.....	6
2 Normative references	6
3 General	6
3.1 Introductory remarks	6
3.2 Storage	7
3.3 Transportation	7
3.3.1 Road	7
3.3.2 Rail.....	7
3.3.3 Air	8
3.3.4 Sea.....	8
3.4 In-use	8
4 Shock and vibration data	9
5 Description of the methods	9
5.1 General.....	9
5.2 ASD envelope method	9
5.3 Normal tolerance limit method.....	10
5.4 Product axis.....	11
5.4.1 Known axis	11
5.4.2 Unknown axis	12
5.5 Factoring for variables and unknowns	12
Annex A (informative) Worked example.....	13
A.1 Envelope curve	13
A.2 NTL curve calculation	13
A.3 Processing of the envelope curve and NTL curve.....	13
Annex B (informative) Method to smooth and envelop an environmental description spectrum.....	15
B.1 Original data	15
B.2 Octave averaging.....	15
B.3 Averaging method.....	15
B.4 Standard slope curves	16
B.5 Comparison of envelope and NTL curves	17
Bibliography.....	19
Figure A.1 – Comparison of curves 1 to 5 and the envelope curve 7 and 95/50 NTL curve 6	14
Figure B.1 – 95/50 NTL envelope of data	15
Figure B.2 – 95/50 NTL envelope of data	16
Figure B.3 – 1/3 octave averaged with standard slopes	17
Figure B.4 – Comparison of curves with increasing normal tolerance factors C	18
Table 1 – Normal tolerance factors, C.....	11
Table A.1 – Example of five hypothetical curves for random vibration	13
Table A.2 – Calculation for the five hypothetical curves	14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS –**Part 2-9: Environmental conditions appearing in nature –
Measured shock and vibration data –
Storage, transportation and in-use**

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.

International Standard IEC 60721-2-9 has been prepared by IEC technical committee 104: Classification of environmental conditions.

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

FDIS	Report on voting
104/630/FDIS	104/632/RVD

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

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

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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60721-2-9:2014

INTRODUCTION

This part of IEC 60721 is intended as part of the strategy for defining an environmental description from measured data acquired at multiple locations whilst a product is either in storage, being transported or in-use at weather or non-weather protected locations. This measured data is normally in the form of acceleration versus time records. This, in turn, will then allow appropriate severities to be chosen from the IEC 60068-2 series [1] ¹ of shock and vibration test methods. Environmental levels given in IEC 60721-3 [2] should then be applied, having been updated based upon the strategy described in this standard.

More detailed information may be obtained from specialist documentation, some of which is given in the bibliography.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60721-2-9:2014

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS –

Part 2-9: Environmental conditions appearing in nature – Measured shock and vibration data – Storage, transportation and in-use

1 Scope and object

This part of IEC 60721 is intended to be used to define the strategy for arriving at an environmental description from measured data when related to a product's life cycle.

Its object is to define fundamental properties and quantities for characterization of storage, transportation and in-use shock and vibration data as background material for the severities to which products are liable to be exposed during those phases of their lifecycle.

2 Normative references

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

None.

3 General

3.1 Introductory remarks

Shock and vibrations measured in storage, transportation platforms and in-use locations can vary considerably from a basic sinusoidal character to pure random, which itself may or may not be normally distributed. If it is the latter, it can be reasonably assumed that the process is a sum of normally distributed random waves of differing amplitudes mixed in a complex manner.

Rarely can a real world environment be classified purely as a sinusoidal vibration and is normally associated with a discrete excitation mechanism such as rotating machinery, aero engines, propellers and is normally mixed with an associated random vibration process. It is then necessary for the specification writer to decide whether to conduct a random vibration test only or to perform one of the mixed mode tests.

Associated with the vibration environment for each life-cycle stage is, potentially, a shock environment which may produce much higher acceleration levels in certain circumstances. Generally speaking, the frequency content for these shocks is contained within the 0 Hz to 200 Hz bandwidth for, say, transportation, assuming that the packaged product is firmly secured to the transport platform base and is not therefore 'bouncing around'. However, much higher frequencies, maybe in the kHz range, may be present in the in-use stage, again dependent upon the real world scenario.

The process described below is for a random vibration environment, since it is probably the most common form of test conducted. Any statement made therefore about the random process should be interpreted as applying to the alternative process. However, it can equally be applied to the shock environment by calculating the shock response spectrum and conducting the same process on this spectrum as for an acceleration spectral density (ASD)

spectrum. It is also equally applicable to sinusoidal data in the form of acceleration versus frequency. However, special attention may be required for this data dependent upon the initial process involved, that is, the acceleration involved, the r.m.s. value or the discrete value at the frequency in question.

Other factors to be considered in this process include:

- a) factoring for the random spectra, which may depend upon the eventual purpose of the test programme, for example, robustness, qualification etc.;
- b) statistical properties of the environment;
- c) statistical properties of the product;
- d) time – life cycle profile.

This clause looks at some of the general characteristics that can be expected from the storage, transportation and use of a product.

3.2 Storage

During storage, the product is placed at a certain site for long periods, but not intended for use during these periods. The storage location may be weather-protected, either totally or partially, or non-weather-protected. In any case, in the storage environment the product will undergo handling, thus it may be subjected to severe shock and vibration levels depending on the type of handling devices and storage racks. As a consequence, the product may be subjected to very benign, insignificant shock and vibration levels through to significant levels, such as those transmitted from machines or passing vehicles, and maybe even higher levels of shock and vibration such as that seen when stored close to heavy machines and conveyor belts.

3.3 Transportation

3.3.1 Road

A shock and vibration environment is experienced any time a product is transported by road. The main factors affecting the magnitude and frequency of such an environment are

- the design of the carrying vehicle,
- the velocity of the vehicle,
- the road profile,
- the position of the product in the vehicle,
- the reference axis for the vibration measurements with respect to the vehicle axis, generally a vertical axis is the worst,
- the product itself may influence the vehicle response,
- the payload on the vehicle.

Historically, the road transport environment was simulated in the laboratory using sinusoidal vibration. Today, it is more usual to use random vibration and the strategy defined in this standard applies to that technique. It is also normal practice to include both road transport and handling shocks in a test regime as the content can be very different. The relevant specification will need to specify if this is a requirement.

3.3.2 Rail

Rail environments depend upon the suspension design which, in modern trains, is air based. Nevertheless, not all trains are modern, especially when dealing with freight transportation, thus high level and wide frequency range environments extending to high values can be anticipated. The air-based suspension system provides a very smooth, therefore generally low level, low frequency environment. Shunting shocks may produce significantly higher

acceleration levels, depending on buffer design. The main factors affecting the magnitude and frequency content of this environment are

- the type of wagon suspension system,
- the rail profile,
- the position of the product on the wagon,
- the buffer type and impact speed in shunting.

3.3.3 Air

3.3.3.1 General

Air transport can take the form of either a jet or propeller driven aircraft, including rotary wing aircraft. The chosen platform can change dramatically the environment experienced by a transported product.

3.3.3.2 Jet

For jet engine aircraft, the environment is random in nature and the magnitude and frequency content of the shock and vibration will vary depending upon position within the cargo space, but can extend up to 2 000 Hz.

3.3.3.3 Propeller

In the case of propeller driven aircraft, the environment can be principally a sine wave at engine rotor and blade pass frequencies and harmonics on top of a general random background. These frequencies vary depending upon the aircraft, but are normally most dominant in the frequency range up to 200 Hz. In this case, sine-on-random simulations may be appropriate. Generally, the nature of the environment becomes less sinusoidal as the distance from the rotary excitation source increases. In this case, random-on-random simulation may be more appropriate or, more simply, a random profile with discrete frequency intervals at higher amplitude to simulate the increased levels. The inline propeller environment can become quite large and it is a location to be avoided if a product is sensitive to these frequencies.

3.3.4 Sea

Sea transport can be a combination of sinusoidal components such as engine and propeller, and random components, e.g. sea state excitation, the location of the cargo space in the ship and cargo position within the space. The main factors affecting the magnitude and frequency content of this environment are

- the size of the ship,
- the velocity of the ship,
- position of the cargo in the ship,
- the severity of the port cargo handling.

3.4 In-use

This phase of the life cycle of a product can vary significantly, influenced by a number of factors such as the mounting arrangements and position within, say, a building, the location of that building and the proximity of shock and vibration generating sources. In-use is not just limited to products that may be installed indoors; it also covers all those situations where a product is used within its design and operational mode. Clearly this can lead to a significant number of environments that the product has to meet.

The product may or may not be weather protected during this phase of its life cycle, exposing it to a different combination of environments. Perhaps the principle difference during this

phase is that the product would normally need to function and operate over a much wider spectrum of environments than during any other phase.

Equally, these environments may be the most benign a product experiences in which case it may be transportation that results in the more damaging scenarios.

To clearly formulate any sort of test level and to decide on the types of environment requires an intimate knowledge of how the product is to be used and it is essential to ensure that the product is not used outside of its proven capability.

4 Shock and vibration data

The data that is acquired during a field measurement exercise generally takes the form of acceleration versus time data, measured with a suitable accelerometer and instrumentation system. The data may be recorded in either an analogue or digital format permitting a number of analysis processes to be applied to the data.

This data is normally processed into one of the following forms, dependent upon its nature:

- peak acceleration versus frequency for sinusoidal data;
- shock response spectrum for shock data;
- acceleration spectral density (ASD) versus frequency for random data.

The strategy adopted in this standard can be applied equally to each form of data.

5 Description of the methods

5.1 General

In order to allow some flexibility for the strategy to be adopted, two methods are given: the first one is a simple approach and the second utilises a statistical approach. There are other methods available and can be found in the bibliography. The chosen method should always be stated in the relevant specification.

5.2 ASD envelope method

The most common way to arrive at an envelope limit for the acceleration spectral density values at all measurement points is to superimpose the spectral curves and then select and plot the maximum spectral value at each frequency resolution bandwidth. This will produce an unsmoothed envelope which can be smoothed using a series of straight lines. To provide some consistency, these straight lines normally have slopes of (0, ± 3 or ± 6) dB/octaves.

The primary advantage is that this approach is easy to apply. The consequent disadvantage is that the straight line process becomes subjective and a series of envelopes would be obtained by different people.

Other disadvantages are as follows:

- a) differing results can be obtained dependent upon the frequency resolution of the spectra being enveloped;
- b) it cannot be guaranteed that the spectral envelope at a given frequency will encompass the spectral value of the response at another location on the platform.

5.3 Normal tolerance limit method

A more definitive way to arrive at a conservative limit for the spectral values of the structural responses on a transport platform is to compute a normal tolerance limit for the predicted spectra in each frequency resolution bandwidth.

Normal tolerance limits only apply to normally distributed random variables. The variation in the spectral response data of different data sets on a transport platform in relation to stationary, non stationary and transient dynamic loads is generally not normally distributed. However, there is considerable evidence [3] that the logarithm of the spectral values does have an approximately normal distribution. Therefore, by making the following transformation:

$$y = \log_{10} x$$

a normal tolerance limit can be predicted. Specifically, the normal tolerance limit (NTL) for y is defined as that value of y that will exceed at least a portion β (beta) of all possible values of y with a confidence of γ (gamma), and is given by:

$$NTL_y = \bar{y} + C S_y$$

where

$\bar{y}$ is the sample average;

S_y is the sample standard deviation;

C is a constant taken from Table 1.

This is called the normal tolerance factor.

The normal tolerance limit in the original engineering units of x can be retrieved by:

$$NTL_x = 10^{NTL_y}$$

NOTE If the spectral data is not logarithmically normally distributed, other statistical methods exist to establish tolerance limits for other distributions, or even without reference to a specific distribution [3].

Annex A shows a worked example for both methods. For the normal tolerance limit method, it is recommended that the 95/50 limit (1,78 in Table 1) is used, i.e. the limit will exceed the response spectral values for at least 95 % of all points on the transport platform with a confidence of 50 %. However, other tolerance limits may be computed if there is a reason to use a more conservative value. It should be noted that an increase in level of some 7,8 dB exists when going from the 95/50 limit (1,78 in Table 1) to the 95/90 limit (3,4 in Table 1). The relevant specification would need to justify such an increase.

Table 1 – Normal tolerance factors, C

n^a	$\gamma^b = 0,50$			$\gamma = 0,75$			$\gamma = 0,90$		
	$\beta^c = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$
3	1,50	1,94	2,76	2,50	3,15	4,40	4,26	5,31	7,34
4	1,42	1,83	2,60	2,13	2,68	3,73	3,19	3,96	5,44
5	1,38	1,78	2,53	1,96	2,46	3,42	2,74	3,40	4,67
6	1,36	1,75	2,48	1,86	2,34	3,24	2,49	3,09	4,24
7	1,35	1,73	2,46	1,79	2,25	3,13	2,33	2,89	3,97
8	1,34	1,72	2,44	1,74	2,19	3,04	2,22	2,76	3,78
9	1,33	1,71	2,42	1,70	2,14	2,98	2,13	2,65	3,64
10	1,32	1,70	2,41	1,67	2,10	2,93	2,06	2,57	3,53
12	1,32	1,69	2,40	1,62	2,05	2,85	1,97	2,45	3,37
14	1,31	1,68	2,39	1,59	2,01	2,80	1,90	2,36	3,26
16	1,31	1,68	2,38	1,57	1,98	2,76	1,84	2,30	3,17
18	1,30	1,67	2,37	1,54	1,95	2,72	1,80	2,25	3,11
20	1,30	1,67	2,37	1,53	1,93	2,70	1,76	2,21	3,05
25	1,30	1,67	2,36	1,50	1,90	2,65	1,70	2,13	2,95
30	1,29	1,66	2,35	1,48	1,87	2,61	1,66	2,08	2,88
35	1,29	1,66	2,35	1,46	1,85	2,59	1,62	2,04	2,83
40	1,29	1,66	2,35	1,44	1,83	2,57	1,60	2,01	2,79
50	1,29	1,65	2,34	1,43	1,81	2,54	1,56	1,96	2,74
∞	1,28	1,64	2,33	1,28	1,64	2,33	1,28	1,64	2,33

^a n is the number of sample spectra.

^b γ is the confidence coefficient.

^c β is the limit that will be exceeded for at least a chosen percentage number of times.

As in the previous method this will produce an unsmoothed envelope which can be smoothed using a series of straight lines. To provide some consistency, these straight lines normally have slopes of (0, ± 3 or ± 6) dB/octaves.

The normal tolerance limit method offers a number of advantages such as

- a) being a statistical approach, it provides a limit that will exceed a defined portion of the spectra with a defined confidence,
- b) it is not as sensitive to the frequency resolution bandwidth as the ASD envelope method.

The potential disadvantage is that the procedure is sensitive to the assumption that at all measurement points the distribution of the platform response spectral values is lognormal.

As before, a further disadvantage is that the straight line process becomes subjective and a series of envelopes would be obtained by different people.

5.4 Product axis

5.4.1 Known axis

Whichever method is chosen to compile an environmental definition, and if it is known that a product will be stored, transported or used in a well defined orientation, then the procedure shall be repeated for each major orthogonal axis of the product or of the product in its packaging.

5.4.2 Unknown axis

However, if the orientation is not known, then the environmental definition shall be compiled from all of the available data and a single specification used for each of the major orthogonal product axes.

5.5 Factoring for variables and unknowns

Variability in the spectral response of a defined life cycle shall be taken into account for the final environmental level. These variations can be the result of differences between supposedly identical platforms, journey to journey variations, where and how the product is stored and then finally used in-service.

Whilst the procedures above principally take account of variations in the vibration amplitude response and, to a minor extent, frequency differences, it may be necessary to take account of the difference in response of the product itself, usually termed 'unit-to-unit' variability. In the absence of precise knowledge of the variability of a product, it is recommended that

- for tightly toleranced products a frequency variation of $\pm 5\%$ be employed,
- for wider toleranced products a frequency variation of $\pm 10\%$ be employed.

This factor should be employed when the spectral peaks are very narrow, that is high magnification is present, to ensure that the product is stressed to its maximum value. For example, see Figure B.1, and the peaks around 300 Hz and 500 Hz. Here the value at the peak ASD should be widened as above.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60721-2-9:2014

Annex A (informative)

Worked example

A.1 Envelope curve

Table A.1 contains the g_n^2/Hz (x) values for five hypothetical curves, that is, curves 1-5, at eight frequencies between 10 Hz and 2 000 Hz. The values highlighted in bold represent the maximum from the five curves at each of the eight frequencies and give the envelope curve result according to 5.2. This is plotted in Figure A.1 along with the five curves. In Table A.1, the column next to the five curve columns contains the value $y = \log_{10} x$.

NOTE g_n is standard acceleration due to earth's gravity (see 3.12 of IEC 60068-2-6:2007) [4].

A.2 NTL curve calculation

Table A.2 contains in the first column the mean value of y at each of the eight frequencies and the next column has the corresponding standard deviation. The values of standard deviation in the column are then multiplied by $C = 1,78$ which is the 95/50 limit value chosen from Table 1. Other values can be chosen at this point in the calculation dependent on the statistical confidence level required. This enhanced standard deviation value is then added to the mean value y and then $x = 10^y$ is calculated to give the normal tolerance limit envelope values, curve 6, according to 5.3. This is plotted in Figure A.1 and as can be observed is above curves 1 to 5 and the standard envelope, curve 7, of curves 1 to 5.

A.3 Processing of the envelope curve and NTL curve

Both the envelope curve and the NTL curve require some further processing according to 5.3 in order to make them suitable for use as an environmental spectrum level. If the envelope curve of any environmental description has many sharp peaks then it becomes more difficult to decide on a straight line representation of this curve.

This severity may still require some factoring as described in 5.4.

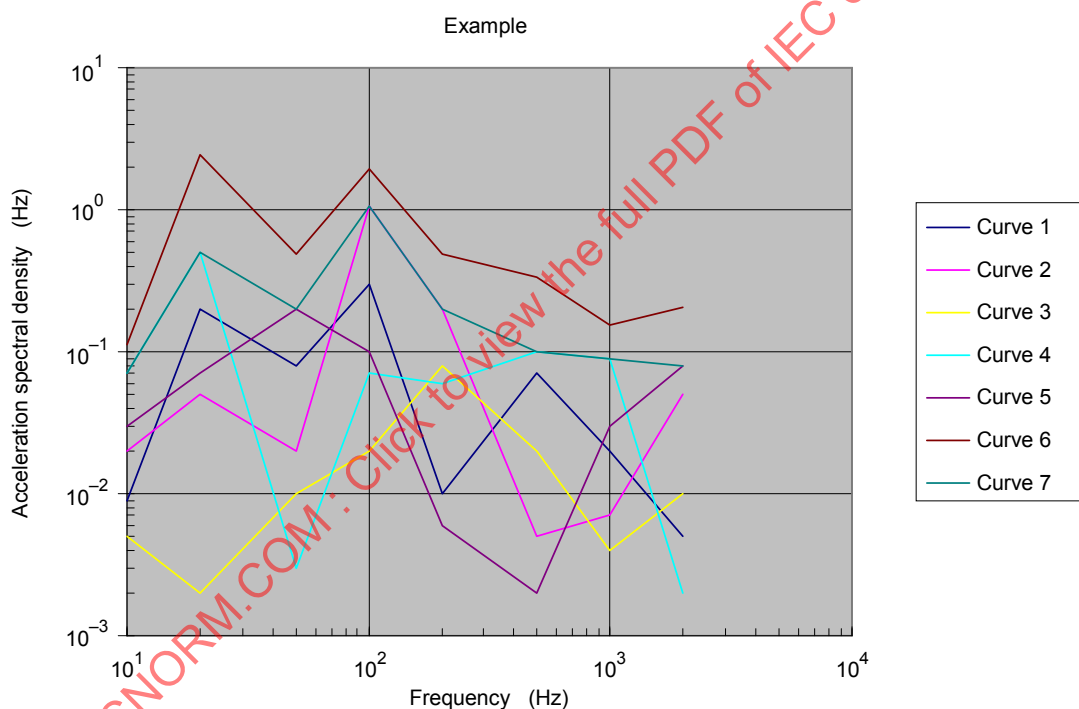
Annex B describes one process that can be adopted in order to smooth and reduce the number of frequency breakpoints in order to arrive at an ASD spectrum suitable for use in today's modern digital vibration control systems.

Table A.1 – Example of five hypothetical curves for random vibration

Freq. Hz	Curve 1 g_n^2/Hz (x)	$y =$ $\log_{10} x$	Curve 2 g_n^2/Hz (x)	$y =$ $\log_{10} x$	Curve 3 g_n^2/Hz (x)	$y =$ $\log_{10} x$	Curve 4 g_n^2/Hz (x)	$y =$ $\log_{10} x$	Curve 5 g_n^2/Hz (x)	$y =$ $\log_{10} x$
10	0,009	-2,0458	0,020	-1,6990	0,005	-2,3010	0,070	-1,1549	0,030	-1,5229
20	0,200	-0,6990	0,050	-1,3010	0,002	-2,6990	0,500	-0,3010	0,070	-1,1549
50	0,080	-1,0969	0,020	-1,6990	0,010	-2,0000	0,003	-2,5229	0,200	-0,6990
100	0,300	-0,5229	1,050	+0,0212	0,020	-1,6990	0,070	-1,1549	0,100	-1,0000
200	0,010	-2,0000	0,200	-0,6990	0,080	-1,0969	0,060	-1,2218	0,006	-2,2218
500	0,070	-1,1549	0,005	-2,3010	0,020	-1,6990	0,100	-1,0000	0,002	-2,6990
1 000	0,020	-1,6990	0,007	-2,1549	0,004	-2,3979	0,090	-1,0458	0,030	-1,5229
2 000	0,005	-2,3010	0,050	-1,3010	0,010	-2,0000	0,002	-2,6990	0,080	-1,0969

Table A.2 – Calculation for the five hypothetical curves

Mean y	Standard deviation	$C \times$ Standard deviation	$y + C \times$ Standard deviation	10^A	
–1,7447	0,4470	0,7957	–0,9490	NTL curve 6	Envelope curve 7
–1,2310	0,9102	1,6201	+0,3891	0,1125	0,07
–1,6035	0,7222	1,2856	–0,3180	2,4496	0,50
–0,8711	0,6519	1,1604	+0,2893	0,4808	0,20
–1,4479	0,6401	1,1394	–0,3085	1,9467	1,05
–1,7708	0,7282	1,2962	–0,4745	0,4915	0,20
–1,7641	0,5322	0,9473	–0,8168	0,3353	0,10
–1,8796	0,6728	1,1976	–0,6820	0,1525	0,09
				0,2080	0,08



IEC 0840/14

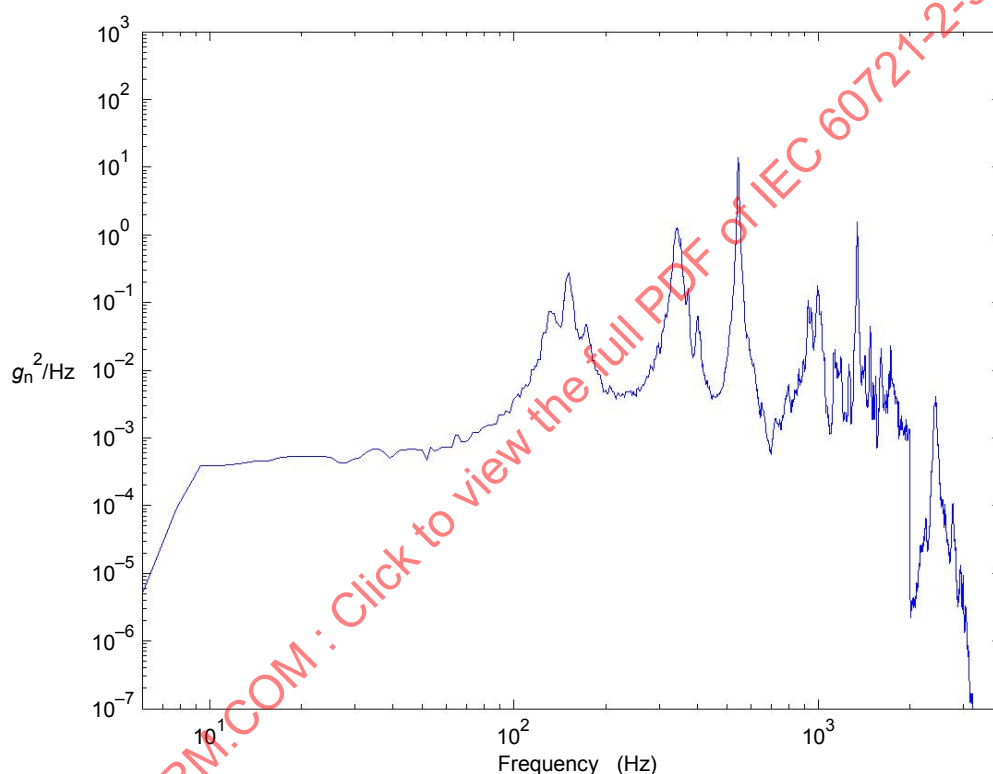
Figure A.1 – Comparison of curves 1 to 5 and the envelope curve 7 and 95/50 NTL curve 6

Annex B (informative)

Method to smooth and envelop an environmental description spectrum

B.1 Original data

Figure B.1 shows a 95/50 NTL envelope that was calculated from laboratory simulation structural response data. Whilst Annex A demonstrates the NTL process with only a few curves at a small number of frequency points, it was considered necessary examine how the technique would work with real data.



IEC 0841/14

Figure B.1 – 95/50 NTL envelope of data

B.2 Octave averaging

The data in Clause B.1 can be octave averaged, using 1, 1/3 and 1/6 or 1/12 octaves. For the data shown, 1/3 octave averaging provides the best compromise of retaining overall shape together with a practical number of breakpoints.

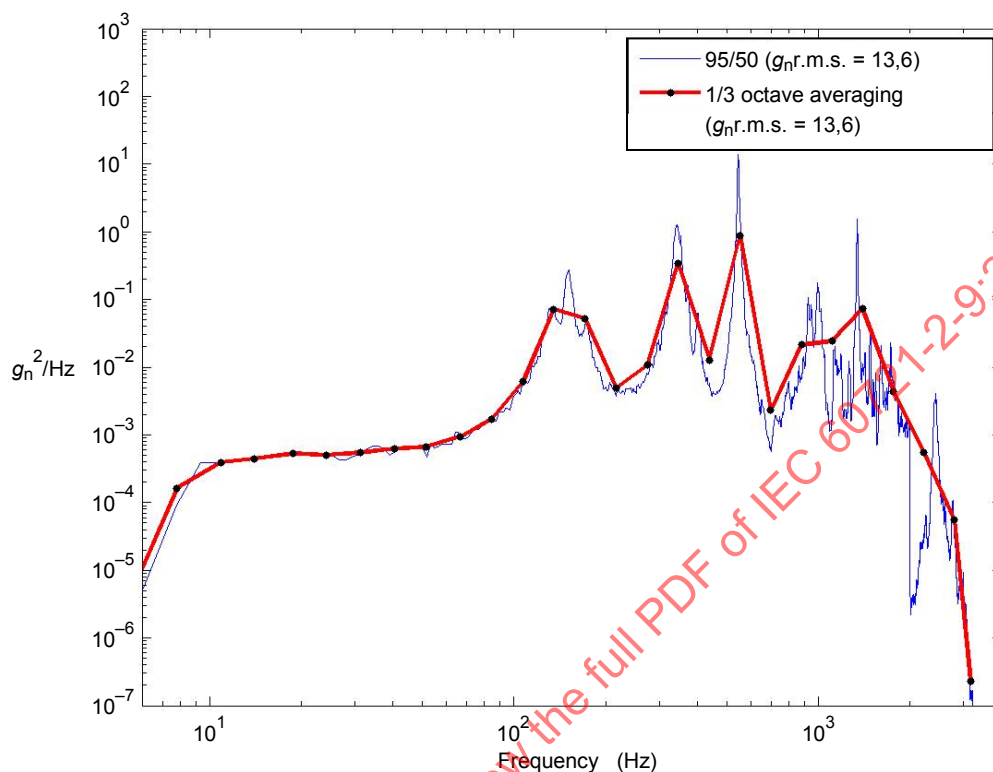
B.3 Averaging method

For random vibration the averaging is carried out on the g_n^2/Hz values. The break points are at the centre frequency value in the 1/3 octave averaged bandwidth. There are a number of ways to average the g_n^2/Hz data, two are listed below:

- take the maximum value within the averaging bandwidth;

b) take the mean value within the averaging bandwidth.

Using approach b) the r.m.s. acceleration value of the 1/3 octave envelope is very close that of the original data, see Figure B.2.



IEC 0842/14

Figure B.2 – 95/50 NTL envelope of data including the 1/3 octave averaged data

B.4 Standard slope curves

It may be further beneficial to define the 1/3 octave envelope with lines of standard slope. The plot below, Figure B.3, is made of curves of multiples of 12 dB/octave, for example, (–24, –12, 0, 12, 24). Curves with less dynamic range between the peaks and notches may be able to employ multiples of (3 or 6) dB/octaves as appropriate. The values chosen should be clearly stated along with the environmental description.

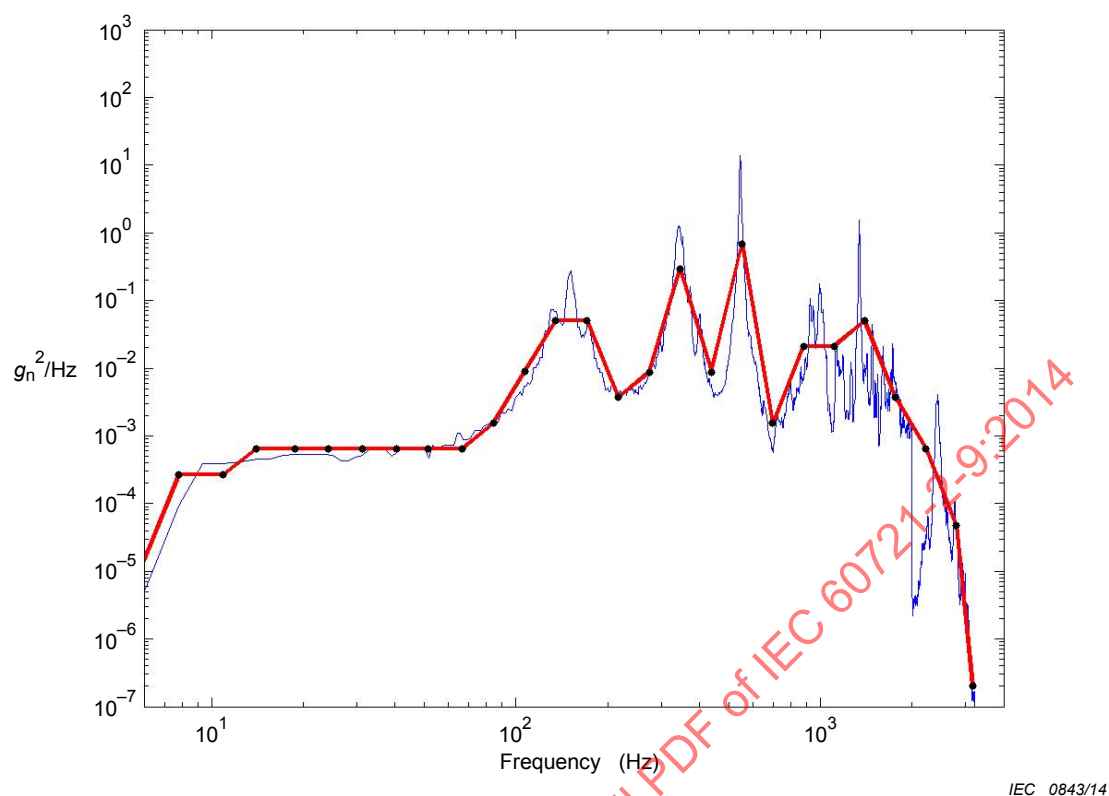


Figure B.3 – 1/3 octave averaged with standard slopes

B.5 Comparison of envelope and NTL curves

B.5.1 Figure B.4 shows a comparison between the envelope curve according to 5.2 and various levels of NTL curve according to 5.3. It can clearly be observed that the overall vibration energy levels expressed by the r.m.s. acceleration increase dramatically as the value of the confidence factor γ (gamma), increases.

B.5.2 This is probably exceptional data from a level and dynamic range viewpoint when compared with the expected transport data. However, it clearly demonstrates how the process works and the effects the choice of certain parameters can make in the process.

B.5.3 The following is a list of parameters used to produce the curves below and is the minimum that should be recorded in the relevant specification:

- envelope or NTL curve;
- if NTL curve, the β (beta) and γ (gamma) levels, for example, 95/50;
- octave averaging of the curve, 1/3 octave is recommended;
- averaging method, either mean or maximum value within the averaging bandwidth;
- standard slopes employed, yes or no, if yes, state the values used.

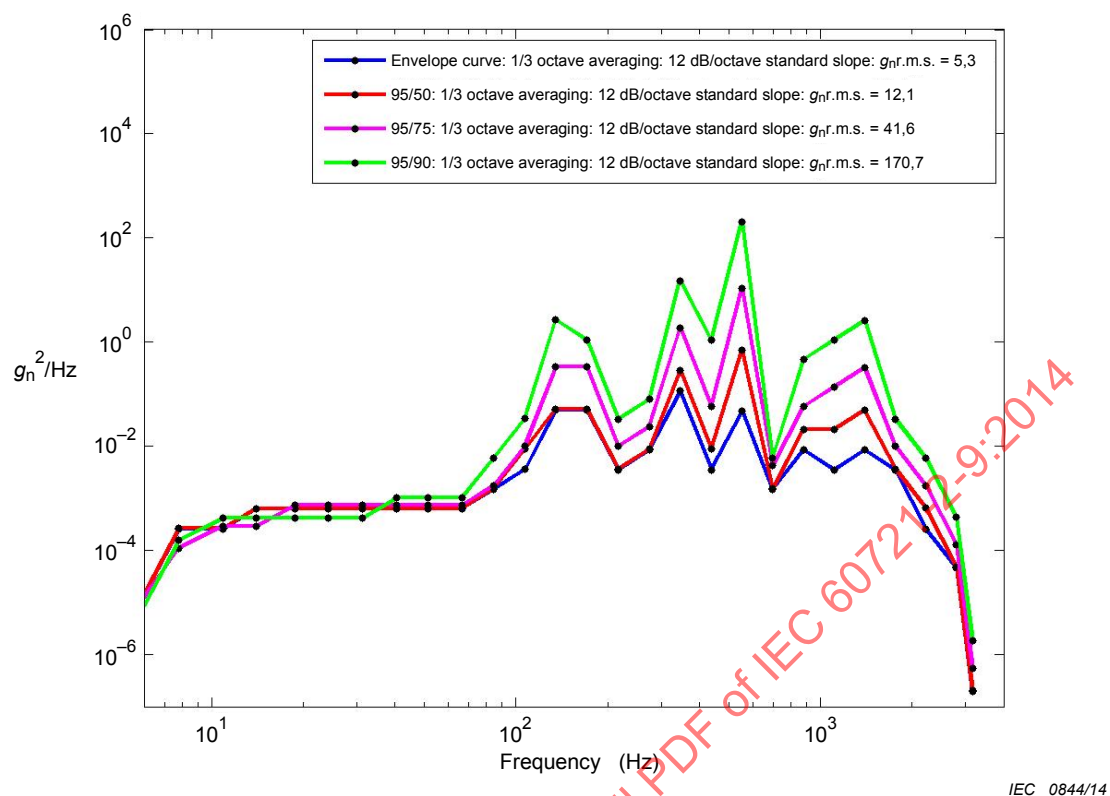


Figure B.4 – Comparison of curves with increasing normal tolerance factors C

Bibliography

- [1] IEC 60068-2 (all parts), *Environmental testing – Part 2: Tests*
- [2] IEC 60721-3, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities*
- [3] *Dynamic Environmental Criteria*, NASA Technical Handbook NASA-HDBK-7005, 13 March 2001
- [4] IEC 60068-2-6:2007, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

Additional non-cited references

IEC 60721-1, *Classification of environmental conditions – Part 1: Environmental parameters and their severities*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60721-2-9:2014

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
INTRODUCTION	23
1 Domaine d'application et objet	24
2 Références normatives	24
3 Généralités	24
3.1 Remarques générales	24
3.2 Stockage	25
3.3 Transport	25
3.3.1 Transport routier	25
3.3.2 Transport ferroviaire	26
3.3.3 Transport aérien	26
3.3.4 Transport maritime	26
3.4 Utilisation	27
4 Données relatives aux chocs et aux vibrations	27
5 Description des méthodes	27
5.1 Généralités	27
5.2 Méthode de l'enveloppe de la DSA	28
5.3 Méthode de limite de tolérance normale	28
5.4 Axe des produits	30
5.4.1 Axe connu	30
5.4.2 Axe inconnu	30
5.5 Mise en facteur des variables et des inconnues	30
Annexe A (informative) Exemple pratique	31
A.1 Courbe d'enveloppe	31
A.2 Calcul de la courbe NTL	31
A.3 Traitement de la courbe d'enveloppe et de la courbe NTL	31
Annexe B (informative) Méthode d'uniformisation et d'enveloppe d'un spectre de description de l'environnement	34
B.1 Données initiales	34
B.2 Calcul de moyenne d'octaves	34
B.3 Méthode de calcul de moyenne	35
B.4 Courbes de pente-type	35
B.5 Comparaison des courbes d'enveloppe et de NTL	36
Bibliographie	38
Figure A.1 – Comparaison des courbes 1 à 5, de la courbe 7 d'enveloppe et de la courbe 6 de NTL 95/50	33
Figure B.1 – Enveloppe de données NTL 95/50	34
Figure B.2 – Enveloppe de données NTL 95/50	35
Figure B.3 – 1/3 d'octave moyenné à l'aide de pentes-types	36
Figure B.4 – Comparaison des courbes avec augmentation des facteurs de tolérance normale, C	37
Tableau 1 – Facteurs de tolérance normale, C	29
Tableau A.1 – Exemple de cinq courbes hypothétiques pour les vibrations aléatoires	32
Tableau A.2 – Calcul relatif aux cinq courbes hypothétiques	32

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CLASSIFICATION DES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT –

**Partie 2-9: Conditions d'environnement présentes dans
la nature –****Données de chocs et de vibrations mesurées –
Stockage, transport et utilisation**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60721-2-9 a été établie par le comité d'études 104 de l'IEC: Classification des conditions d'environnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
104/630/FDIS	104/632/RVD

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

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60721-2-9:2014

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60721 s'inscrit dans le cadre de la stratégie de définition d'une description de l'environnement à partir de données mesurées obtenues à plusieurs emplacements pendant le stockage, le transport ou l'utilisation d'un produit dans des zones exposées aux intempéries ou protégées des intempéries. Les données mesurées sont généralement données sous la forme d'enregistrements de valeurs d'accélération en fonction du temps. Ceci permet de choisir des sévérités appropriées à partir des méthodes d'essai de résistance aux chocs et aux vibrations contenues dans la série IEC 60068-2 [1] ¹. Il convient donc d'appliquer les sévérités d'environnement données dans l'IEC 60721-3 [2], dans la mesure où elles ont été mises à jour sur la base de la stratégie décrite dans la présente norme.

Des informations plus détaillées se trouvent dans des documentations spécialisées, dont certaines sont mentionnées dans la bibliographie.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60721-2-9:2014

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

CLASSIFICATION DES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2-9: Conditions d'environnement présentes dans la nature –

Données de chocs et de vibrations mesurées – Stockage, transport et utilisation

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60721 sert à définir la méthode de réalisation d'une description de l'environnement, qui se rapporte au cycle de vie des produits, à l'aide de données mesurées.

Elle a pour objet de définir les propriétés et grandeurs fondamentales pour la caractérisation des données de chocs et de vibrations, pendant le stockage, le transport et l'utilisation des produits, en tant que données de base des sévérités auxquelles les produits sont susceptibles d'être exposés au cours des phases de leur cycle de vie.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

Aucun.

3 Généralités

3.1 Remarques générales

Les chocs et vibrations mesurés au niveau des zones de stockage, des plates-formes de transport et des zones d'utilisation peuvent varier considérablement d'une nature essentiellement sinusoïdale à une nature purement aléatoire, qui elle-même peut ou peut ne pas être distribuée normalement. Dans ce dernier cas, on peut raisonnablement supposer que le processus est la somme des ondes aléatoires distribuées normalement avec des amplitudes différentes combinées de manière complexe.

Un environnement du monde réel peut rarement être purement classé en tant que vibration sinusoïdale, il est normalement associé à un mécanisme d'excitation discrète tel que les machines tournantes, les moteurs d'aéronef et les hélices et est généralement combiné à un processus de vibration aléatoire. Il est alors nécessaire pour le rédacteur de la spécification de décider de procéder uniquement à un essai de résistance aux vibrations aléatoires ou d'effectuer l'un des essais en mode mixte.

Un environnement de chocs qui peut générer des niveaux d'accélération beaucoup plus élevés dans certaines conditions est probablement associé à l'environnement de vibrations à chaque phase du cycle de vie. En général, le contenu de fréquence de ces chocs est compris dans la largeur de bande de 0 Hz à 200 Hz pour, par exemple, le transport, en supposant que le produit emballé est solidement fixé sur le support de la plate-forme de transport, de sorte qu'il ne fasse pas des «bonds» de part et d'autre. Cependant, des fréquences beaucoup plus

élevées, peut-être dans la gamme des kHz, peuvent être présentes pour la phase d'utilisation, toujours sur la base du scénario du monde réel.

Le processus décrit ci-dessous est destiné à un environnement de vibrations aléatoires, dans la mesure où il s'agit probablement de la forme la plus courante d'essai réalisé. Par conséquent, il convient que toute déclaration formulée sur le processus aléatoire soit interprétée par rapport au processus alternatif. Cependant, il peut être uniformément appliqué à l'environnement de chocs en calculant le spectre de réponses aux chocs et en appliquant le même processus à ce spectre comme pour un spectre de densité spectrale d'accélération (DSA). Il est aussi uniformément applicable aux données sinusoïdales sous la forme de l'accélération par rapport à la fréquence. Cependant, une attention particulière peut être nécessaire pour ces données qui dépendent du processus initial impliqué, c'est-à-dire l'accélération impliquée, la moyenne quadratique ou la valeur discrète à la fréquence en question.

D'autres facteurs à considérer dans ce processus comprennent:

- a) la mise en facteur des spectres aléatoires, qui peut dépendre de l'objet éventuel du programme d'essai, par exemple, la robustesse, l'homologation, etc.;
- b) les propriétés statistiques de l'environnement;
- c) les propriétés statistiques du produit;
- d) le profil du cycle de vie.

Le présent article traite de certaines des caractéristiques générales que peuvent avoir le stockage, le transport et l'utilisation d'un produit.

3.2 Stockage

Lors du stockage, le produit est placé à un certain emplacement pendant de longues périodes de temps, mais n'est pas destiné à être utilisé pendant ces périodes. L'espace de stockage peut être protégé contre les intempéries, soit en totalité soit en partie, ou non protégé contre les intempéries. Dans tous les cas, le produit subit des opérations de manutention dans l'espace de stockage et peut donc être soumis à des niveaux sévères de chocs et de vibrations en fonction du type de matériels de manutention et de casiers de stockage utilisés. En conséquence, le produit peut être soumis à des niveaux de chocs et de vibrations très anodins, insignifiants jusqu'à des niveaux significatifs, tels que ceux générés par des machines ou des véhicules en déplacement, voire des niveaux plus élevés de chocs et de vibrations comme ceux constatés lorsque le produit est stocké à proximité de machines lourdes ou de transporteurs à courroie.

3.3 Transport

3.3.1 Transport routier

Un environnement de chocs et de vibrations est observé toutes les fois qu'un produit est transporté par la route. Les facteurs principaux affectant l'amplitude et le contenu de fréquence de cet environnement sont

- la conception du véhicule transporteur,
- la vitesse du véhicule,
- le profil de la route,
- la position du produit dans le véhicule,
- l'axe de référence des mesures de vibration par rapport à l'axe du véhicule, généralement l'axe vertical est le pire,
- le produit lui-même peut influencer la réponse du véhicule,
- la charge utile transportée par le véhicule.

Par le passé, l'environnement du transport routier était simulé en laboratoire à l'aide de vibrations sinusoïdales. De nos jours, il est plus fréquent d'utiliser des vibrations aléatoires, la stratégie définie dans la présente norme s'appliquant à cette technique. Il est également courant d'inclure le transport routier et les chocs dus à la manutention dans un régime d'essai, le contenu pouvant être très différent. La spécification particulière devra spécifier s'il s'agit d'une exigence.

3.3.2 Transport ferroviaire

L'environnement ferroviaire dépend de la conception de la suspension qui, dans les trains modernes, est constituée de coussins d'air. Néanmoins, comme tous les trains utilisés surtout pour le transport des marchandises ne sont pas modernes, on peut par conséquent prévoir des environnements à large gamme et à niveau élevé de fréquences pouvant atteindre des valeurs élevées. Le système de suspension à coussins d'air donne lieu à un environnement très uniforme, et donc généralement de faible niveau et à basses fréquences. Des chocs de manœuvre peuvent produire des niveaux d'accélération nettement plus élevés en fonction de la conception des amortisseurs. Les facteurs principaux affectant l'amplitude et le contenu de fréquence de cet environnement sont

- le type de suspension des wagons,
- le profil du rail,
- la position du produit dans le wagon,
- le type d'amortisseur et la vitesse de l'impact lors des manœuvres.

3.3.3 Transport aérien

3.3.3.1 Généralités

Le transport aérien peut revêtir la forme d'un avion à réaction ou d'un avion à hélices, y compris les aéronefs à voilure tournante. La plate-forme choisie peut modifier radicalement l'environnement expérimenté par un produit transporté.

3.3.3.2 Avion à réaction

Pour l'avion avec moteur à réaction, l'environnement est de nature aléatoire et l'amplitude et le contenu de fréquence des chocs et vibrations varient en fonction de la position à l'intérieur de la soute à fret, mais peuvent s'étendre jusqu'à 2 000 Hz.

3.3.3.3 Avion à hélices

Dans le cas d'un avion à propulsion par hélices, l'environnement peut être prioritairement une onde sinusoïdale aux fréquences et harmoniques du rotor du moteur et du passage des lames par-dessus un fond aléatoire général. Ces fréquences varient selon l'avion, mais sont normalement plus dominantes dans la gamme de fréquences allant jusqu'à 200 Hz. Dans ce cas, des simulations d'ondes sinusoïdales aléatoires peuvent être appropriées. Généralement, la nature de l'environnement devient moins sinusoïdale au fur et à mesure que la distance par rapport à la source d'excitation tournante augmente. Dans ce cas, une simulation d'onde aléatoire sur aléatoire peut être plus appropriée ou, plus simplement, un profil aléatoire avec des intervalles de fréquences discrètes à plus grande amplitude pour simuler les augmentations de niveau. L'environnement de l'avion à hélices en conduite peut s'élargir dans une certaine mesure et il s'agit dans ce cas d'un emplacement à éviter si un produit est sensible à ces fréquences.

3.3.4 Transport maritime

L'environnement du transport maritime peut être une combinaison de composantes sinusoïdales, par exemple de moteur et d'hélice, et de composantes aléatoires, par exemple d'excitation de la houle, de l'emplacement du compartiment à marchandises dans le navire et de la position du fret à l'intérieur de ce compartiment. Les facteurs principaux affectant l'amplitude et le contenu de fréquence de cet environnement sont

- la taille du navire,
- la vitesse du navire,
- la position du fret dans le navire,
- la sévérité de la manutention portuaire du fret.

3.4 Utilisation

Cette phase du cycle de vie d'un produit peut varier considérablement, influencée par un certain nombre de facteurs tels que les dispositifs et la position de montage à l'intérieur d'un bâtiment par exemple, l'emplacement de ce bâtiment et la proximité des sources de production de chocs et de vibrations. L'utilisation n'est pas seulement limitée à des produits qui peuvent être installés à l'intérieur du bâtiment, mais couvre également toutes les situations dans lesquelles un produit est utilisé dans les limites de son mode de conception et de fonctionnement. En d'autres termes, ceci peut conduire à un nombre considérable d'environnements auxquels le produit doit faire face.

Le produit peut ou non être protégé contre les intempéries pendant cette phase de son cycle de vie qui l'expose à une combinaison différente d'environnements. La différence principale au cours de cette phase réside peut-être dans le fait que le produit devrait normalement fonctionner dans un spectre d'environnements beaucoup plus grand que pendant toute autre phase.

De même, ces environnements peuvent être les plus bénins qu'un produit puisse expérimenter, auquel cas la phase de transport peut être celle qui génère les scénarios les plus destructeurs.

La formulation claire de toute sorte de niveaux d'essai et le choix des types d'environnement nécessitent une connaissance approfondie de la façon dont le produit doit être utilisé, et il est indispensable de s'assurer que le produit n'est pas utilisé hors de sa capacité reconnue.

4 Données relatives aux chocs et aux vibrations

Les données qui sont obtenues lors d'un mesurage sur le terrain prennent généralement la forme de données d'accélération par rapport à des données temporelles, mesurées à l'aide d'un accéléromètre et d'instruments de mesure appropriés. Les données peuvent être enregistrées sous un format analogique ou numérique permettant d'appliquer un certain nombre de processus d'analyse aux données.

Les données sont généralement traitées en fonction de leur nature selon l'une des formes suivantes:

- accélération de crête en fonction de la fréquence pour les données sinusoïdales;
- spectre de réponses aux chocs pour les données de chocs;
- densité spectrale d'accélération (DSA) en fonction de la fréquence pour les données aléatoires.

La stratégie adoptée dans la présente norme peut s'appliquer de la même façon à chaque forme de données.

5 Description des méthodes

5.1 Généralités

Afin d'assurer une certaine flexibilité de la stratégie à adopter, deux méthodes sont spécifiées: la première est une approche simple et la seconde utilise une approche statistique. D'autres méthodes existent et peuvent se trouver dans la bibliographie. Il convient de toujours spécifier la méthode choisie dans la spécification applicable.

5.2 Méthode de l'enveloppe de la DSA

La façon la plus courante de parvenir à une limite d'enveloppe pour les valeurs de la densité spectrale d'accélération à tous les points de mesure est de superposer les courbes spectrales, puis de sélectionner et représenter graphiquement la valeur spectrale maximale à chaque largeur de bande de résolution en fréquence. Ceci produit une enveloppe non uniformisée qui peut être uniformisée à l'aide d'une série de lignes droites. Pour assurer une certaine cohérence, ces lignes droites présentent en règle générale des pentes de (0, ± 3 ou ± 6) dB/octaves.

Cette méthode présente le principal avantage d'être facile à appliquer. L'inconvénient qui en résulte est que le processus linéaire devient subjectif au risque de générer une série d'enveloppes par différentes personnes.

Les autres inconvénients sont les suivants:

- a) des résultats différents peuvent être obtenus en fonction de la résolution en fréquence des spectres enveloppés;
- b) il ne peut pas être garanti que l'enveloppe spectrale à une fréquence donnée englobe la valeur spectrale de la réponse à un autre emplacement sur la plate-forme.

5.3 Méthode de limite de tolérance normale

Le calcul d'une limite de tolérance normale pour les spectres prévus dans chaque largeur de bande de résolution en fréquence constitue une méthode plus indiquée pour obtenir une limite prudente pour les valeurs spectrales des réponses structurales sur une plate-forme de transport.

Les limites de tolérance normale s'appliquent uniquement aux variables aléatoires distribuées normalement. La variation des données de réponses spectrales des différents ensembles de données sur une plate-forme de transport par rapport aux charges transitoires dynamiques stationnaires et non stationnaires n'est généralement pas distribuée normalement. Cependant, il y a assez de preuves [3] que le logarithme des valeurs spectrales a une distribution à peu près normale. Par conséquent, en faisant la transformation suivante:

$$y = \log_{10} x$$

une limite de tolérance normale peut être prévue. En particulier, la limite de tolérance normale (NTL²) pour y est définie comme la valeur de y qui dépasse au moins une portion β (bêta) de toutes les valeurs possibles de y avec une confiance de γ (gamma), et est donnée par:

$$NTL_y = \bar{y} + C S_y$$

où

- $\bar{y}$ est la moyenne de l'échantillon;
- S_y est l'écart-type de l'échantillon;
- C est une constante prise du Tableau 1.

Celle-ci est dénommée facteur de tolérance normale.

La limite de tolérance normale dans les unités techniques initiales de x peut être récupérée par:

$$NTL_x = 10^{NTL_y}$$

² NTL: en anglais, normal tolerance limit.

NOTE Si les données spectrales ne sont pas distribuées normalement du point de vue logarithmique, d'autres méthodes statistiques permettent d'établir des limites de tolérance pour d'autres distributions, voire sans référence à une distribution spécifique [3].

L'Annexe A présente un exemple pratique pour les deux méthodes. Pour la méthode de limite de tolérance normale, il est recommandé d'utiliser la limite 95/50 (1,78 dans le Tableau 1), c'est-à-dire que la limite dépasse les valeurs de réponses spectrales d'au moins 95 % de tous les points sur la plate-forme de transport avec une confiance de 50 %. Cependant, d'autres limites de tolérance peuvent être calculées s'il y a de bonnes raisons d'utiliser une valeur plus prudente. Il convient de noter qu'une augmentation de niveau d'environ 7,8 dB existe lorsqu'on part de la limite 95/50 (1,78 dans le Tableau 1) à la limite 95/90 (3,4 dans le Tableau 1). La spécification particulière devrait justifier une telle augmentation.

Tableau 1 – Facteurs de tolérance normale, C

n^a	$\gamma^b = 0,50$			$\gamma = 0,75$			$\gamma = 0,90$		
	$\beta^c = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$	$\beta = 0,90$	$\beta = 0,95$	$\beta = 0,99$
3	1,50	1,94	2,76	2,50	3,15	4,40	4,26	5,31	7,34
4	1,42	1,83	2,60	2,13	2,68	3,73	3,19	3,96	5,44
5	1,38	1,78	2,53	1,96	2,46	3,42	2,74	3,40	4,67
6	1,36	1,75	2,48	1,86	2,34	3,24	2,49	3,09	4,24
7	1,35	1,73	2,46	1,79	2,25	3,13	2,33	2,89	3,97
8	1,34	1,72	2,44	1,74	2,19	3,04	2,22	2,76	3,78
9	1,33	1,71	2,42	1,70	2,14	2,98	2,13	2,65	3,64
10	1,32	1,70	2,41	1,67	2,10	2,93	2,06	2,57	3,53
12	1,32	1,69	2,40	1,62	2,05	2,85	1,97	2,45	3,37
14	1,31	1,68	2,39	1,59	2,01	2,80	1,90	2,36	3,26
16	1,31	1,68	2,38	1,57	1,98	2,76	1,84	2,30	3,17
18	1,30	1,67	2,37	1,54	1,95	2,72	1,80	2,25	3,11
20	1,30	1,67	2,37	1,53	1,93	2,70	1,76	2,21	3,05
25	1,30	1,67	2,36	1,50	1,90	2,65	1,70	2,13	2,95
30	1,29	1,66	2,35	1,48	1,87	2,61	1,66	2,08	2,88
35	1,29	1,66	2,35	1,46	1,85	2,59	1,62	2,04	2,83
40	1,29	1,66	2,35	1,44	1,83	2,57	1,60	2,01	2,79
50	1,29	1,65	2,34	1,43	1,81	2,54	1,56	1,96	2,74
∞	1,28	1,64	2,33	1,28	1,64	2,33	1,28	1,64	2,33

^a n est le nombre de spectres d'échantillon.

^b γ est le coefficient de confiance.

^c β est la limite qui est dépassée d'au moins un pourcentage de nombre de fois choisi.

Comme dans la méthode précédente, ceci produira une enveloppe non-uniformisée qui peut être uniformisée à l'aide d'une série de lignes droites. Pour assurer une certaine cohérence, ces lignes droites présentent en règle générale des pentes de (0, ± 3 ou ± 6) dB/octaves.

La méthode de limite de tolérance normale offre un certain nombre d'avantages tels que

- a) de par sa nature statistique, elle fournit une limite qui dépasse une portion définie des spectres avec une confiance définie,
- b) elle n'est pas aussi sensible à la largeur de bande de résolution en fréquence que la méthode d'enveloppe de la DSA.

L'inconvénient potentiel est que la procédure est sensible à l'hypothèse suivant laquelle au niveau de tous les points de mesure, la distribution des valeurs spectrales de réponse de la plate-forme est logarithmique normale.

Comme ci-dessus, l'inconvénient qui en résulte est que le processus linéaire devient subjectif au risque de générer une série d'enveloppes par différentes personnes.

5.4 Axe des produits

5.4.1 Axe connu

Quelle que soit la méthode choisie pour compiler une définition de l'environnement, et s'il est connu qu'un produit sera stocké, transporté ou utilisé dans une orientation bien définie, la procédure doit alors être répétée pour chaque grand axe orthogonal du produit ou du produit dans son emballage.

5.4.2 Axe inconnu

Cependant, si l'orientation n'est pas connue, la définition de l'environnement doit alors être compilée à partir de toutes les données disponibles et une spécification unique utilisée pour chacun des grands axes orthogonaux du produit.

5.5 Mise en facteur des variables et des inconnues

La variabilité de la réponse spectrale d'un cycle de vie défini doit être prise en compte pour le niveau d'environnement final. Ces variations peuvent résulter des différences entre les plates-formes théoriquement identiques, les variations d'un parcours à un autre, le lieu et le mode de stockage et, enfin, d'utilisation du produit.

Bien que les procédures ci-dessus tiennent principalement compte des variations de la réponse en amplitude des vibrations et des différences de fréquence de faible importance, il peut être nécessaire de tenir compte de la différence dans la réponse du produit lui-même, généralement dénommée variabilité d'«unité à unité». En l'absence d'une connaissance précise de la variabilité d'un produit, il est recommandé d'utiliser:

- pour les produits à tolérances serrées, une variation de fréquence de ± 5 %,
- pour les produits à tolérances plus grandes, une variation de fréquence de ± 10 %.

Il convient d'utiliser ce facteur lorsque les crêtes spectrales sont très serrées, c'est-à-dire un fort grossissement est présent, pour s'assurer que le produit est soumis à une contrainte par rapport à sa valeur maximale. Par exemple, voir la Figure B.1 et les crêtes à environ 300 Hz et 500 Hz. Il convient dans ce cas d'élargir la valeur à la DSA crête comme ci-dessus.

Annexe A (informative)

Exemple pratique

A.1 Courbe d'enveloppe

Le Tableau A.1 contient les valeurs g_n^2/Hz (x) pour cinq courbes hypothétiques, c'est-à-dire les courbes 1 à 5, à huit fréquences comprises entre 10 Hz et 2 000 Hz. Les valeurs en gras représentent les maximales issues des cinq courbes à chacune des huit fréquences et génèrent le résultat de la courbe d'enveloppe conformément à 5.2. Ceci est représenté graphiquement à la Figure A.1 avec les cinq courbes. Dans le Tableau A.1, la colonne après chacune des colonnes des cinq courbes contient la valeur $y = \log_{10} x$.

NOTE g_n est l'accélération normale due à la pesanteur de la terre (voir 3.12 de l'IEC 60068-2-6:2007) [4].

A.2 Calcul de la courbe NTL

Le Tableau A.2 contient dans la première colonne la valeur moyenne de y à chacune des huit fréquences et la colonne suivante présente l'écart-type correspondant. Les valeurs de l'écart-type dans la colonne sont ensuite multipliées par $C = 1,78$, qui est la valeur limite 95/50 choisie dans le Tableau 1. D'autres valeurs peuvent être choisies à cette étape du calcul en fonction du niveau statistique de confiance requis. Cette valeur d'écart-type améliorée est alors ajoutée à la valeur moyenne y , et ensuite $x = 10^y$ est calculé pour donner les valeurs d'enveloppe de la limite de tolérance normale (courbe 6), conformément à 5.3. Ceci est représenté graphiquement à la Figure A.1 et tel qu'observé dans les courbes 1 à 5 ci-dessus mentionnées et l'enveloppe normalisée (courbe 7) des courbes 1 à 5.

A.3 Traitement de la courbe d'enveloppe et de la courbe NTL

La courbe d'enveloppe et la courbe NTL nécessitent davantage de traitement conformément à 5.3, afin de les rendre aptes à l'utilisation en tant que niveau de spectre d'environnement. Si la courbe d'enveloppe de toute description de l'environnement présente de nombreuses crêtes vives, il devient alors plus difficile de décider d'une représentation linéaire de cette courbe.

Cette sévérité peut toujours nécessiter une certaine mise en facteur telle que décrite en 5.4.

L'Annexe B décrit un processus qui peut être adopté afin d'uniformiser et de réduire le nombre de points d'interruption des fréquences pour parvenir à un spectre DSA apte à être utilisé dans les systèmes numériques modernes de contrôle des vibrations.