

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Environmental testing –

Part 2-65: Tests – Test Fg: Vibration – Acoustically induced method

Essais d'environnement –

Partie 2-65: Essais – Essai Fg: Vibrations – Méthode induite acoustiquement





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
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.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line 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 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

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 la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. 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 au monde 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 les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

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.



IEC 60068-2-65

Edition 2.0 2013-02

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Environmental testing –
Part 2-65: Tests – Test Fg: Vibration – Acoustically induced method**

**Essais d'environnement –
Partie 2-65: Essais – Essai Fg: Vibrations – Méthode induite acoustiquement**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 19.040; 29.020

ISBN 978-2-83220-641-6

**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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms, definitions, symbols and abbreviations.....	7
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Symbols and abbreviations	11
4 Acoustic environments and requirements for testing.....	11
4.1 Acoustic environment for testing	11
4.1.1 General	11
4.1.2 Reverberant field	13
4.1.3 Progressive wave field	14
4.1.4 Cavity resonance	14
4.1.5 Standing wave	14
4.2 Sound sources.....	14
4.3 Measuring apparatus	14
4.3.1 General	14
4.3.2 Acoustic measurements	14
4.3.3 Vibration response measurements	15
4.3.4 Analysis of results.....	15
4.4 Requirements for testing.....	15
4.4.1 Type of facility	15
4.4.2 Mounting.....	15
4.4.3 Specimen instrumentation.....	16
4.4.4 Preparation of test control.....	17
5 Recommended severities.....	18
6 Preconditioning	18
7 Initial measurements.....	19
8 Testing	19
8.1 Normal testing	19
8.2 Accelerated testing	19
9 Intermediate measurements.....	19
10 Recovery	19
11 Final measurements	19
12 Information to be given in the relevant specification.....	20
13 Information to be given in the test report	20
Annex A (informative) Guidance for the test requirements.....	22
Bibliography	30
Figure 1 – Third-octave band spectrum for aeronautical applications	12
Figure 2 – Octave band spectra for fans derived from [4]	13
Figure 3 – Octave band spectrum for noisy industrial machinery derived from [4]	13
Figure 4 – Typical locations of microphone checkpoints (1 – 6) on a fictitious surface around a specimen.....	17

Figure A.1 – Typical microphone arrangement around a specimen in a reverberation chamber.....	22
Figure A.2 – Typical microphone checkpoint arrangement around a long cylindrical specimen	25
Table 1 – Tolerances for acoustic measurement.....	14
Table 2 – Overall sound pressure level and duration of exposure	18
Table A.1 – Octave band/room volume relationship	23
Table A.2 – Reverberation room, ratios of dimensions	23
Table A.3 – Examples of sound sources with waveforms and typical power outputs.....	28
Table A.4 – Typical OASPL and exposure durations	28

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING –

**Part 2-65: Tests –
Test Fg: Vibration –
Acoustically induced method**

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 60068-2-65 has been prepared by IEC technical committee 104: Environmental conditions, classification and methods of test.

This second edition cancels and replaces the second edition, published in 1993, and constitutes a technical revision.

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

- minor technical and editorial changes were made throughout the document as originally requested by the DE National Committee;
- following comments at the CD stage, particularly from the UK National Committee, significant technical and editorial additions were made to the standard for acoustic testing employing the progressive wave tube technique.

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

FDIS	Report on voting
104/591/FDIS	104/597/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 the parts in the IEC 60068 series, published under the general title *Environmental testing*, 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.

INTRODUCTION

Acoustic noise may produce significant vibration in components and equipment. In the acoustic noise field, sound pressure fluctuations impinge directly on the specimen and the response may be different to that produced by mechanical excitation.

Items particularly sensitive to acoustic noise include relatively lightweight items whose dimensions are comparable to an acoustic wavelength in the frequency range of interest and whose mass per unit area is low, such as dish antennas and solar panels, electronic devices, printed circuit boards, optical elements, etc.

Acoustic testing is applicable to components, equipment, functional units and other products, hereinafter referred to as “specimens”, which are liable to be exposed to and/or are required to function in conditions of high sound pressure levels. It should be noted that, under service conditions, the specimen may be subjected to simultaneous mechanical and acoustical excitation.

High sound pressure levels may be generated by jet engines and other aircraft propulsion systems, rocket motors, high-powered gas circulators, turbulent gas flow around aircraft or launchers, etc. This part of IEC 60068 deals with acoustic testing in compressible gases and can also be used to simulate the excitation response caused by turbulence resulting from high-velocity separated gas flows.

The intent of the test procedure contained in this standard is to produce a high intensity acoustic noise field by either reverberant methods (known as reverberant chamber testing) or by progressive wave methods (known as progressive wave tube testing).

Testing for the effects of vibration caused by acoustic noise demands a certain degree of engineering judgement and this should be recognized both by the manufacturer/supplier and the purchaser of the specimen. Based on the guidance provided in this standard, the writer of the relevant specification is expected to select the most appropriate method of test and values of severity, taking account of the nature of the specimen and its intended use.

Since the acoustic levels occurring during testing are high enough to be damaging to human hearing, appropriate protective measures need to be taken to reduce the noise exposure of operators performing the test to a level regarded as permissible from the standpoint of hearing conservation.

ENVIRONMENTAL TESTING –

Part 2-65: Tests – Test Fg: Vibration – Acoustically induced method

1 Scope

This part of IEC 60068 provides standard procedures and guidance for conducting acoustic tests in order to determine the ability of a specimen to withstand vibration caused by a specified sound-pressure level environment to which it is, or is liable to be, subjected.

For sound pressure level environments of less than 120 dB acoustic tests are not normally required.

This standard determines the mechanical weakness and/or degradation in the performance of specimens and to use this information, in conjunction with the relevant specification, to decide on their acceptability for use. The methods of test may also be used as a means of establishing the mechanical robustness or fatigue resistance of specimens.

Two procedures are described for conducting tests and for measurement of the sound pressure levels within the acoustic noise field and considers the need for measurement of the vibration responses at specified points on the specimen. It also gives guidance for the selection of the acoustic noise environment, spectrum, sound pressure level and duration of exposure.

The progressive wave tube method is relevant to material where aerodynamic turbulence will excite part, or all, of the total external surface. Such applications include aircraft panel assemblies where the excitation exists on one side only. The reverberant chamber method is relevant where it is preferable to induce vibration onto the entire external surface of equipment by distributed excitation rather than fixed points by means of electro-dynamic shakers.

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.

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviations

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1.1

acoustic horn

tube with increasing cross-section of generally exponential envelope, used to couple an acoustic source to the test volume, for example the inside of a reverberation room, thus achieving the maximum transfer of sound energy

Note 1 to entry: Each acoustic horn has individual transfer characteristics which affect the sound spectrum.

3.1.2

analysis integration time

time duration over which a signal is averaged

Note 1 to entry: See Clause A.8.

3.1.3

bandwidth

difference between the nominal upper and lower cut-off frequencies

Note 1 to entry: It may be expressed

- a) in hertz,
- b) as a percentage of the pass-band centre frequency, or
- c) as the interval between the upper and lower nominal cut-off frequencies in octaves.

3.1.4

overall sound pressure level

OASPL

value computed from the third-octave or octave band sound pressure levels L_i

$$L_G = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^m 10^{L_i/10}$$

where

L_G is the overall sound pressure level in dB;

L_i is the sound pressure level in the i th third-octave or octave band;

m is the number of third-octave or octave bands.

3.1.5

centre frequency

geometric mean of the nominal cut-off frequencies of a pass-band

Note 1 to entry: The nominal upper and lower cut-off frequencies of a filter pass-band are defined as those frequencies above and below the frequency of maximum response of a filter at which the response to a sinusoidal signal is 3 dB below the maximum response.

Note 2 to entry: The geometric mean is equal to $(f_1 \times f_2)^{1/2}$, where f_1 and f_2 are the cut-off frequencies.

3.1.6

constant-bandwidth filter

filter which has a bandwidth of constant value when expressed in hertz; it is independent of the centre frequency of the filter

3.1.7

cut-off frequency (of acoustic horn)

frequency below which an acoustic horn becomes increasingly ineffective

Note 1 to entry: This cut-off frequency is a main characteristic of an acoustic horn.

3.1.8**diffuse sound field**

sound field which, in a given region, has statistically uniform energy density, for which the directions of propagation at any point are randomly distributed

Note 1 to entry: In a diffuse sound field, the sound pressure level measured with a directional microphone would give the same results whatever its orientation.

[SOURCE: IEC 60050-801:1994 [1]¹, definition 801-23-31, modified – Addition of the Note 1 to entry]

3.1.9**electro-pneumatic transducer**

hydraulic-pneumatic transducer

most generally employed laboratory source of acoustic noise to simulate sound pressure levels encountered in a high operational ambient acoustic noise environment

Note 1 to entry: This transducer consists of a pneumatic transducer supplied with pressurized gas modulated by an electromagnetic or hydraulic valve.

Note 2 to entry: This type of transducer provides a continuous spectrum of energy over a wide frequency band with random amplitude distribution and is capable of providing a shaped sound spectrum to meet the specifications in acoustic testing (see Clause A.5).

3.1.10**grazing incidence**

angle between the direction of the acoustic wave and either the surface of the specimen and/or the sensing surface of the acoustic transducer, 0 ° being parallel and 90 ° normal to the surface

3.1.11**frequency interval**

ratio of two frequencies

[SOURCE: IEC 60050-801:1994, definition 801-30-07]

3.1.11.1**octave**

interval between two frequencies which have a ratio of 2

3.1.11.2**one-third octave**

$1/3$

interval between two frequencies which have a ratio equal to $2^{1/3}$

Note 1 to entry: Octave and third-octave frequency bands are defined by their geometric centre frequencies in ISO 266 [2].

3.1.11.3**one-twelfth octave**

$1/12$

interval between two frequencies which have a ratio equal to $2^{1/12}$

3.1.12**measuring points**

specific points in the sound field at which sound pressure is measured for the conduct of the test

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

Note 1 to entry: Measurements may be made at points within the specimen in order to assess its behaviour but these are not considered as measuring points in the sense of this standard.

3.1.12.1

checkpoints

points located on a fictitious surface surrounding the specimen and at a fixed distance from it

3.1.12.2

reference points

points chosen from the checkpoints, whose signals are used to control the test so that the requirements of this standard are satisfied

3.1.13

multipoint control

control achieved by using the average of the signals at the reference points

Note 1 to entry: When using multipoint control, each microphone signal relates to the sound pressure level at one position. The average sound pressure level L_{AV} can be computed as given in IEC 60050-801:1994, definition 801-31-36, when

$$L_{AV} = 10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}$$

where

n is the number of reference points;

L_i is the sound pressure level in the i th third-octave or octave band.

3.1.14

narrowband frequency filter

band-pass filter for which the pass-band is generally smaller than third-octave

3.1.15

broadband frequency

wide band filter

band-pass filter for which the pass-band is relatively wide or broad, in general larger than an octave

3.1.16

progressive wave tube

tube along which sound waves propagate from the acoustic source, which is coupled to a suitable test section by an acoustic horn

Note 1 to entry: The tube is terminated by an acoustically absorptive termination placed at the end of the test section to minimize reflection of the progressive acoustic waves in the frequency range of interest (see Clause A.2).

3.1.17

proportional-bandwidth filter

filter which has a bandwidth that is proportional to the frequency

Note 1 to entry: Octave bandwidth, third-octave bandwidth, etc. are typical bandwidths for proportional-bandwidth filters.

3.1.18

reverberation chamber (or room)

chamber or room which has hard, highly reflective surfaces such that the sound field therein becomes diffuse

Note 1 to entry: The geometry of the chamber or room may influence the test. Information on reverberant chambers is given in Clause A.1.

3.1.19**sound absorption coefficient**

fraction of incident sound power not reflected from the surface of a material at a given frequency and under specified conditions

Note 1 to entry: Sound absorption is the property possessed by materials and objects for converting sound energy to heat.

[SOURCE: IEC 60050-801:1994, definition 801-31-02, modified – word order of definition reversed, Note 1 to entry replaces previous NOTE and bears no relation]

3.1.20**sound pressure**

p

root mean-square of instantaneous sound pressures over a given time interval, unless specified otherwise

Note 1 to entry: Sound pressure characterizes the variation of pressure about the static pressure, produced by acoustic waves, which are variations of pressure caused by disturbances in a gaseous medium.

[SOURCE: IEC 60050-801:1994, definition 801-21-20, modified – addition of Note 1 to entry]

3.1.21**sound pressure level L_p**

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \text{ dB}$$

3.2 Symbols and abbreviations

NOTE Where appropriate, a cross-reference to the definition is given.

OASPL overall sound pressure level in dB (derived from 801-22-07), see 3.1.4;

L_G overall sound pressure level in dB (see 3.1.4);

L_i sound pressure level in third-octave or octave band in dB (see 3.1.4);

L_p sound pressure level in dB (see 3.1.21);

L_{AV} average sound pressure level in dB (see 3.1.13);

p r.m.s. sound pressure in N/m² or Pa (see 3.1.20);

p_0 international reference sound pressure, standardized as 2×10^{-5} Pa or 20 µPa in air (IEC 61672-1), 1 µPa in other media;

DOF statistical degrees of freedom, given by:

$$N_d = 2B_e \times T_a$$

where

B_e is the frequency resolution;

T_a is the effective averaging time.

4 Acoustic environments and requirements for testing**4.1 Acoustic environment for testing****4.1.1 General**

An acoustic test is conducted in order to determine the ability of a specimen to operate or survive in a specified high-intensity acoustic noise field. In practice, the fluctuating pressure environment exerted on a specimen under consideration may be a complex combination of progressive waves and reverberant acoustic fields. Standing waves, formed within structures and cavities exposed to noise may resonate and produce very high local sound pressure levels. It is, therefore, necessary to select the most appropriate type of acoustic test for the specimen.

The selection may be based upon real measured data from field tests or flight trials or be obtained from general levels specified for particular equipment applications, for example as in Figures 1, 2 and 3. The applied test spectrum may contain energy above and below the frequencies given in the figures.

NOTE For further information on sound pressure levels associated with aircraft environments, see ISO 2671 [3].

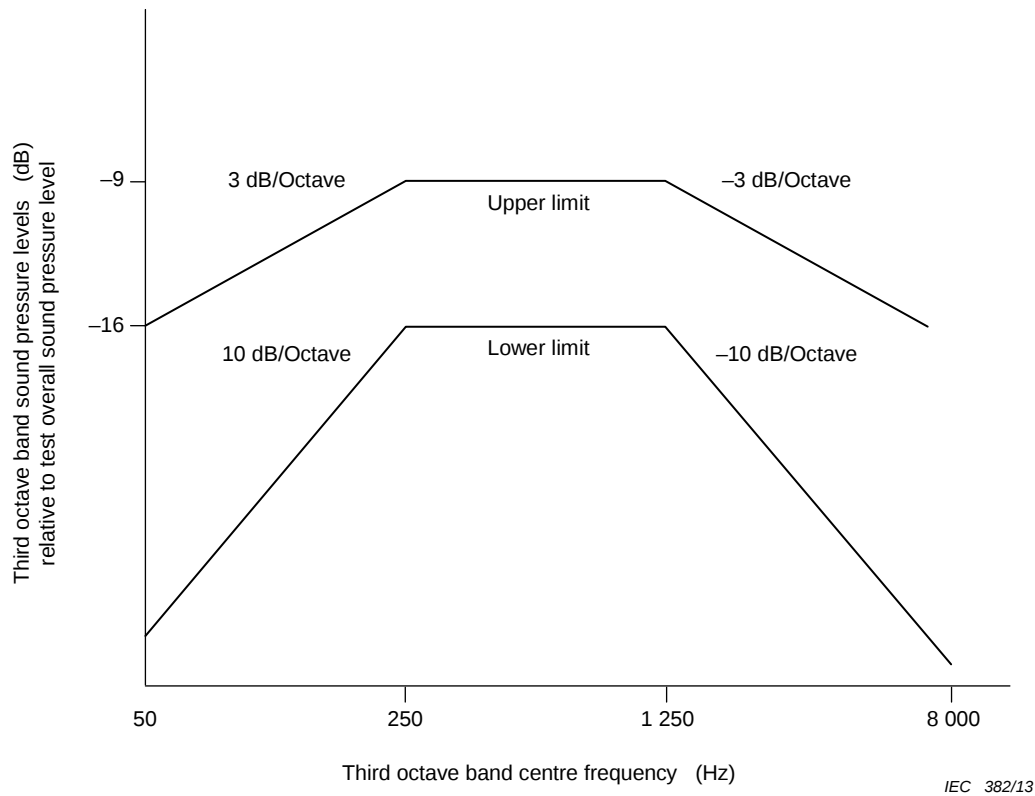


Figure 1 – Third-octave band spectrum for aeronautical applications

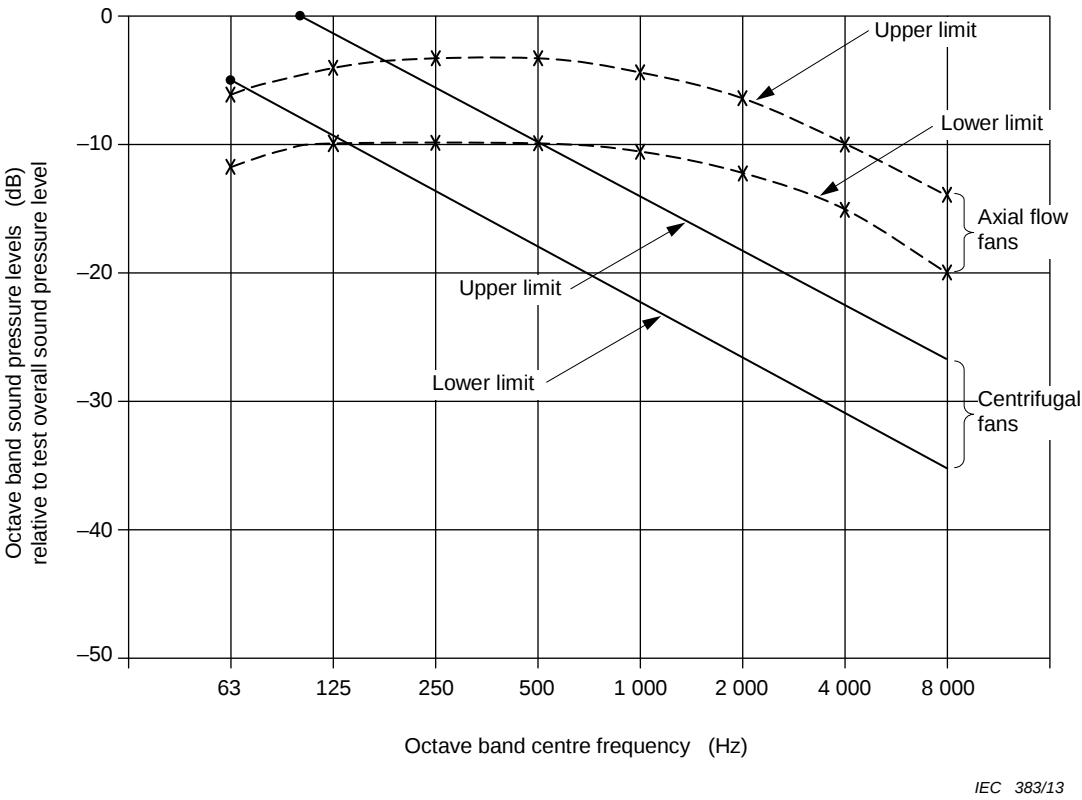


Figure 2 – Octave band spectra for fans derived from [4]

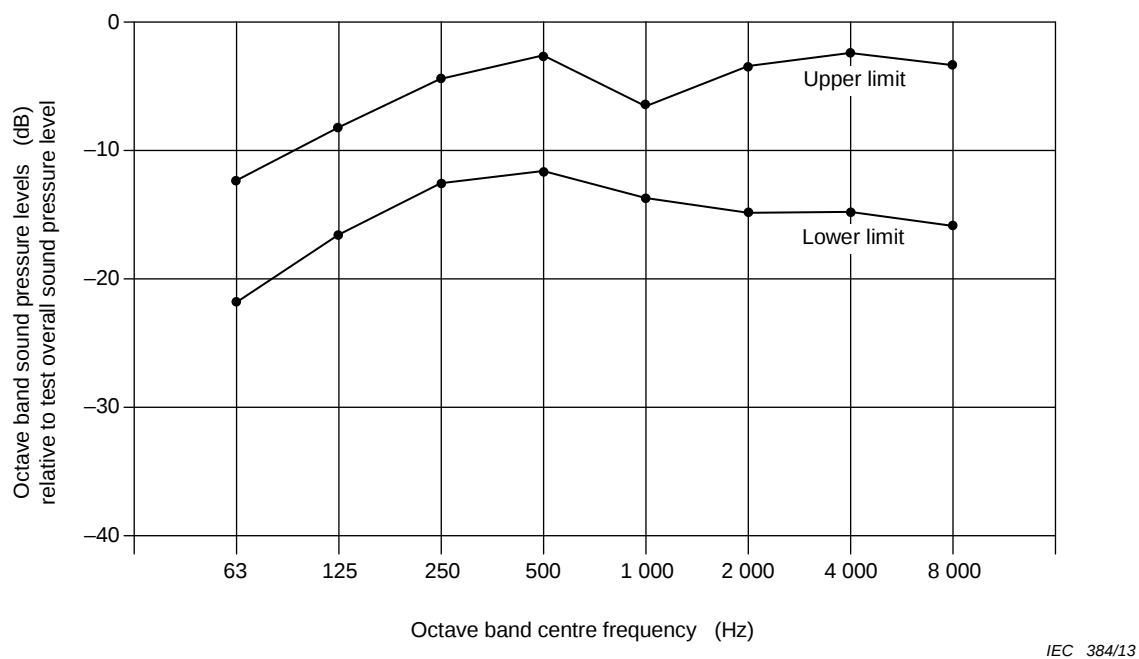


Figure 3 – Octave band spectrum for noisy industrial machinery derived from [4]

4.1.2 Reverberant field

A reverberant field is generally used for specimens intended to be located in enclosed spaces, when the pressure fluctuations seen by the specimens are evenly distributed. However, it may

also be used for testing the enclosures themselves, for example nose cone fairings of large launch vehicles, etc., where no other more suitable simulation is possible. Reverberant fields may arise in enclosures, from excitation of the boundary structures by turbulent gas flow or flow separation over a surface, radiated propulsion noise, and within for example, gas-cooled reactor pressure vessels (see Clause A.1).

4.1.3 Progressive wave field

A progressive wave field is used where the acoustic sound pressure sweeps over the surface of the specimen. Examples of the occurrence of this environment include externally carried items on aircraft, rocket engine heat shields, aircraft panels or tail surfaces (see Clause A.2).

4.1.4 Cavity resonance

A cavity resonance can occur as a result of turbulent flow over the cavities or when they are exposed to acoustic excitation. Examples include aircraft landing gear wheel cavities when wheels are lowered for landing or combustion chambers (see Clause A.3).

4.1.5 Standing wave

A standing wave may produce very high tonal sound pressure levels (see Clause A.4).

4.2 Sound sources

Guidance on the selection of an appropriate sound source for testing is given in Clause A.5.

4.3 Measuring apparatus

4.3.1 General

Measuring apparatus is required to monitor the sound pressure field around the specimen and, if necessary, to measure the acoustically induced vibrations in the specimen. These measurements require being analysed with respect to their frequency content (see 4.3.3).

4.3.2 Acoustic measurements

The monitoring instrumentation system shall be capable of measuring sound pressure levels in the frequency range between 22,4 Hz and 11 200 Hz in either octave or third-octave bands, with centre frequencies between 31,5 Hz/25 Hz (octave/third-octave) and 8 kHz/10 kHz.

This instrumentation system shall have a nominally flat frequency response within ± 5 % over the frequency range of interest within the tolerances given in Table 1.

Table 1 – Tolerances for acoustic measurement

Frequency range Hz			Tolerance of frequency response dB (relative to the required test severity)
22,4	–	125	± 1
126	–	2 500	± 2
2 501	–	11 200	± 3

The microphones used shall be capable of random incidence measurements for reverberant chamber testing and grazing incidence measurements for progressive wave testing. In either case, they should be capable of measuring peak values of at least three times the maximum rated r.m.s. value.

The instrumentation shall be capable of measuring sound pressure levels at least 10 dB higher than the specified test level. This capability refers both to the overall level and to individual frequency band levels.

4.3.3 Vibration response measurements

The monitoring of the vibration of the specimen, where specified by the relevant specification, may be performed on the basis of acceleration and/or strain measurements. Also interface forces, displacement or velocity response may also be monitored, if appropriate.

The monitoring equipment shall be capable of measuring overall vibration response at least in the frequency range between 16 Hz and 2 000 Hz. This instrumentation shall have a nominally flat frequency response over the frequency range of interest and be suitable for the application and the type of measurement.

4.3.4 Analysis of results

The measured data obtained from 4.3.2 and, if appropriate, 4.3.3, shall be analysed for frequency composition:

- a) acoustic measurements shall be analysed with a resolution of at least one octave or, preferably, third-octave, bands;
- b) vibration response measurements usually require finer resolution analysis.

The frequency resolution bandwidths shall be prescribed by the relevant specification for the particular application.

4.4 Requirements for testing

4.4.1 Type of facility

The service or operational space-time behaviour of the sound field to be simulated influences the choice of testing. The facilities encompassed by this procedure are the reverberation room or chamber and the progressive wave tube. Other types of specialist facilities are described in Annex A and the principles of this standard may be used as the basis for test procedures for those alternative facilities.

The type of facility to be used shall be specified in the relevant specification.

If a combined test is required in which the specimen is exposed simultaneously to a high intensity acoustic environment and some other environmental parameter, the acoustical portion of the testing shall be in accordance with this standard. Combined testing may include acoustic and extreme or varying temperatures as well as mechanical vibrations to augment the acoustic excitation at low frequencies.

4.4.2 Mounting

4.4.2.1 Reverberation chambers

The specimen shall be located in the centre of the reverberation room in such a way as to avoid, as far as possible, parallelism between walls (including floor and ceiling) and the main surfaces of the specimen. The specimens (and its mechanical support, if appropriate) shall be supported or suspended elastically inside the reverberation room. The relevant specification shall prescribe, as necessary, the preferred points of mounting or attachment.

The resonance frequency of the specimen on its suspension shall be less than 25 Hz or a quarter of the lowest frequency of interest, whichever gives the lower value.

The distance between the checkpoints and the surface of the specimen shall be greater than half the wavelength of the lowest frequency of interest or half the distance of the specimen

from the wall, whichever is the lesser. If this is not possible and it becomes necessary to position a microphone closer than half the wavelength, then the measured noise levels may be subject to large variations due to reflections from the specimen and this shall be considered when assessing the results of tests.

If a structural member is required, either between the specimen and the elastic suspension, or for attaching the elastic suspension itself, care shall be taken to avoid distortion of the noise field or the introduction of extraneous vibration.

Any connections to the specimen such as cables, pipes, etc. shall be so arranged that they impose similar restraint and mass to that when the specimen is installed in its operational position. In order to achieve this, it may be necessary to fasten the cables, pipes, etc. to the mounting fixture.

4.4.2.2 Progressive wave tubes

Test specimens shall be mounted within the working section, either on a soft suspension or by the service attachment, such that the excitation is applied over the whole of the external surface. Alternatively, the item may be mounted as part of the wall of the working section when only one side shall be excited. Where the test specimen is provided with specific means of mounting, the support system shall be attached to these points. Where no specific means of attachment are provided, the support system shall be connected to the specimen in such a way that it does not interfere with the free movement of independent parts or provide additional restraint or damping to panels or other structural parts. The rigid body modes of the system shall be lower than 25 Hz or one-quarter of the lowest test frequency, whichever is the lesser.

Care shall be exercised to ensure that no spurious acoustic or vibratory inputs are introduced by the test support system or ancillary structure. Any connections to the specimen, such as cables or pipes shall be arranged so they impose dynamic restraint and mass similar to that when installed in-service.

Test specimens such as panels shall be mounted in the wall of the duct such that the required test surface is exposed to the acoustic excitation. This surface shall be flush with the inner surface of the duct so as to prevent the introduction of cavity resonance or local turbulence effects.

The distance between the checkpoints shall be half the distance of the specimen from the wall or shall be greater than half the wavelength of the lowest frequency of interest, whichever is the lesser. If this is not possible and it becomes necessary to position a microphone closer than half the wavelength, then the measured noise levels may be subject to large variations due to reflections from the specimen and this shall be considered when assessing the results of the test.

When testing panel assemblies, the control microphones should be preferably mounted flush in the duct wall opposite to the test specimen. Other positions within the working section may be selected, provided that the microphone is positioned so that it responds only to grazing incidence waves and that the necessary corrections are applied to the measured levels.

4.4.3 Specimen instrumentation

Where appropriate, the relevant specification shall state the number, type and location of transducers (accelerometers, microphones, strain gauges, etc.) applied to the specimen.

The proof of calibration for each transducer shall be available.

Microphones for use in reverberation chambers shall be calibrated for random incident noise and for grazing incident noise when used in progressive wave tubes.

4.4.4 Preparation of test control

4.4.4.1 Number and location of checkpoints

For specimens located entirely within either a reverberant chamber or progressive wave tube, there shall be at least three control microphones to measure the sound pressure levels around the specimen. To determine the number of checkpoints, the size of the specimen shall be considered with respect to the size of the sound field known to be homogeneous. The number and position of the microphones, which shall be located on the major orthogonal axes of the specimen and of the fictitious surface, shall be prescribed by the relevant specification (see Figure 4).

For specimens located in the wall of a progressive wave tube, control may be achieved with either a single microphone or, for example with large specimens, with microphones distributed over the surface area occupied by the specimen.

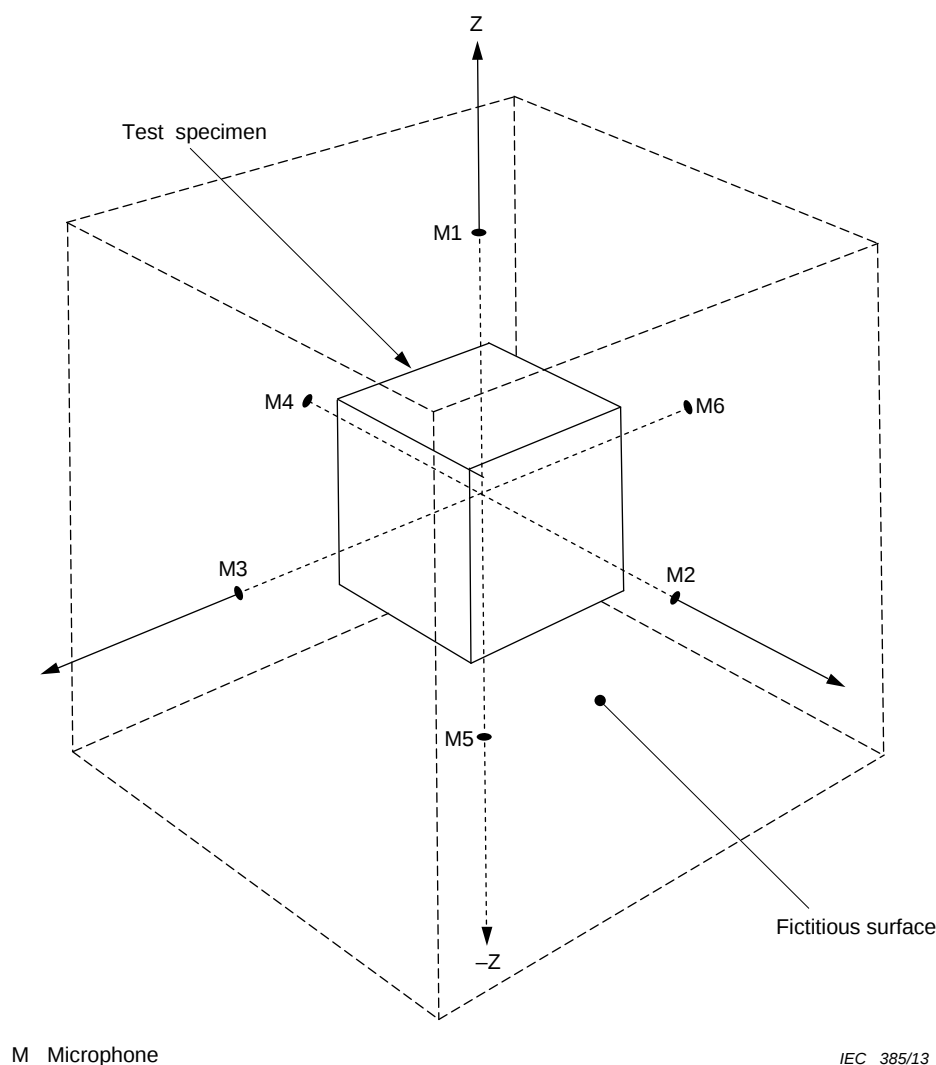


Figure 4 – Typical locations of microphone checkpoints (1 – 6) on a fictitious surface around a specimen

4.4.4.2 Control of spectrum

The responses from each control microphone shall be subjected to octave or third-octave analysis as prescribed in the relevant specification. The average level in each band shall be

obtained as in 3.1.13. The overall average value shall then be calculated from the band levels. The band levels and overall level of the averaged spectrum shall be within the specified level limits given in Figures 1, 2 or 3, or the spectrum prescribed by the relevant specification. The averaged values shall remain within the specified limits for the duration of the testing.

The analysis integration time, as prescribed by the relevant specification, shall be sufficiently long to ensure statistical confidence in the results (see Clause A.8).

Where test durations are of sufficient length, real time analysis of the responses of the control microphones shall be carried out at intervals during the test in order to ensure that the sound pressure levels are within the specified limits.

NOTE 1 The maximum allowable variation in band level and overall sound pressure level measured by each microphone may be prescribed by the relevant specification.

NOTE 2 If the relevant specification prescribes one-third octave analysis, then it will also need to provide the one-third octave spectrum.

4.4.4.3 Spectrum shaping

When over-exposure of the specimen to the sound field has to be avoided, the sound field shall be established, either with a dummy model substituted for the specimen or, in the case of specimens of small volume compared with that of the room, an empty reverberation room may be used. If this procedure of spectrum shaping is applied, identical microphone positions shall be used in the subsequent testing.

This test specifies an OASPL spectrum with increasing, decreasing and flat horizontal portions (see Figure 1). For a standard test, one of the spectra shall be selected according to the dynamic environment of the test item. In special cases, it may be appropriate to specify an individually shaped acceleration spectral density curve and in these cases the relevant specification shall prescribe the shape as a function of frequency. The different levels and their corresponding frequency ranges, (break points) shall be selected, whenever possible, from the values given in Table 2 and Figures 1, 2 and 3.

5 Recommended severities

An acoustic severity is defined by the overall sound pressure level (OASPL), the spectrum shape and the duration of exposure. The relevant specification shall select the OASPL and its minimum duration of exposure from Table 2 and the spectrum shape from Figures 1, 2 or 3. Guidance as to their application is given in Clause A.6.

Table 2 – Overall sound pressure level and duration of exposure

Overall sound pressure level dB	Duration of exposure min
120 ± 1	60
130 ± 1	60
140 ± 1	30
150 ± 1	30
160 ± 1	30
170 ± 1	2

6 Preconditioning

Preconditioning under ambient atmospheric conditions may be required by the relevant specification in order to allow the specimen to reach stability (thermal, mechanical, etc.).

7 Initial measurements

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

An acoustic noise test at sound pressure levels lower than the nominal test levels may be performed and the response of the specimen be measured to determine the dynamic response of the test article before the nominal test. The severity of this low level test shall be prescribed by the relevant specification.

8 Testing

8.1 Normal testing

The specimen, with transducers applied as required by the relevant specification, shall be mounted according to 4.4.2.

Testing shall be carried out using checkpoints located as described in 4.4.4.1. Spectrum shaping is described in 4.4.4.3 and control of the spectrum shall be as described in 4.4.4.2. The severity shall be prescribed by the relevant specification as indicated in Clause 5.

Signals taken during the course of the test from control microphones and, when appropriate, from the specimen instrumentation transducers, shall be processed in order to check that the requirements of this standard and the relevant specification have been met.

8.2 Accelerated testing

Where the operational life of a specimen is required to be so long that normal testing is not appropriate, accelerated testing may be carried out. This involves testing at sound pressure levels higher than the nominal operational levels to which the specimen is exposed, in order to reduce the time for testing. There are no clearly defined rules or procedures for accelerated testing. Consequently, accelerated testing shall only be undertaken if permitted by the relevant specification which should also prescribe the method to be used. General recommendations for accelerated testing are given in Clause A.7.

9 Intermediate measurements

When prescribed by the relevant specification, the specimen shall be functioning during the test and its performance shall be checked.

10 Recovery

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

11 Final measurements

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

An acoustic noise test at sound pressure levels lower than the nominal test levels and identical to the initial low level test may be performed and the response of the specimen be measured to determine the dynamic response of the test article after the nominal test. The severity of this low level test shall be prescribed by the relevant specification. The dynamic responses of the

initial and of the final low level test may then be used for the identification of structural changes.

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

12 Information to be given in the relevant specification

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

	Clauses and subclauses
a) Filter bandwidths*	4.3.2
b) Type of test facility*	4.4.1
c) Mounting*	4.4.2
d) Instrumentation transducers	4.4.3
e) Location and number of checkpoints*	4.4.4.1
f) Third- or octave band analysis*	4.4.4.2
g) Spectrum shape*	4.4.4.2 & 4.4.4.3
h) Analysis integration time*	4.4.4.2
i) Maximum allowable variation in band level	4.4.4.2
j) Spectrum for third-octave band analysis	4.4.4.2
k) OASPL*	5
l) Minimum duration of exposure*	5
m) Preconditioning	6
n) Initial measurements*	7
o) Procedure for accelerated testing, if required	8.2
p) Intermediate measurements	9
q) Recovery	10
r) Final measurements*	11
s) Acceptance and rejection criteria*	11

13 Information to be given in the test report

ISO/IEC 17025:2005, 5.10.2 and 5.10.3 provide information to be given in the test report or calibration certificate. These shall include at least the following information unless there are valid reasons for not doing so, in which case these shall be stated:

- | | | |
|----|----------------------------|---|
| 1) | Customer | (name and address) |
| 2) | Test laboratory | (name and address) |
| 3) | Test report identification | (date of issue, unique number) |
| 4) | Test dates | |
| 5) | Purpose of the test | (development test, qualification, etc.) |
| 6) | Test standard, edition | (relevant test procedure) |

- | | | |
|-----|---|--|
| 7) | Test specimen description | (initial status, unique ID, quantity, photo, drawing, etc.) |
| 8) | Mounting of test specimen | (fixture id, drawing, photo, etc.) |
| 9) | Performance of test apparatus | |
| 10) | Measuring system, sensor location | (description, drawing, photo, etc.) |
| 11) | Uncertainties of measuring system, if required by relevant specification | (overall uncertainty, calibration data, last/next date of calibration) |
| 12) | Control strategy | |
| 13) | Initial, intermediate and/or final measurements | |
| 14) | Required severities | (as specified in test specification) |
| 15) | Test severities with documentation, if required by the relevant specification | (measuring points, test spectra, test duration, frequency resolution, number of DOF's, distribution, etc.) |
| 16) | Test results | (final status of test specimen) |
| 17) | Observations during testing and actions taken | |
| 18) | Summary of test | |
| 19) | Test manager | (name and signature) |
| 20) | Distribution | (list of those receiving the report) |

NOTE A test log should be written for the testing, where the test is documented as, for example, a chronological list of test runs with test parameters, observations during testing and actions taken and data sheets on measurements made. The test log can be attached to the test report.

Annex A (informative)

Guidance for the test requirements

A.1 Reverberation room testing

A.1.1 General

An ideal reverberation room is an enclosure which, when excited by broadband noise, will provide a diffuse sound field in which the time averaged mean square sound pressure is the same everywhere. In practice, however, certain deviations from the ideal have to be accepted.

The nature of the sound field is such that the major contribution to the sound pressure level is from the build-up of resonant acoustic modes within the room. The most important requirement is that the acoustic modes should be sufficiently numerous and be distributed uniformly in frequency to ensure that specimen resonances are adequately excited.

The walls of the room should provide low noise transmission and the ratio of the volume of the room to that of the specimen should not generally be less than approximately 10 to 1. Under some circumstances, ratios smaller than 10 to 1 may be acceptable, but care is necessary in assessing the results from such tests. The distance between a wall of the room and the specimen should, if possible, be greater than half of the wavelength of the lowest frequency of interest (see Figure A.1).

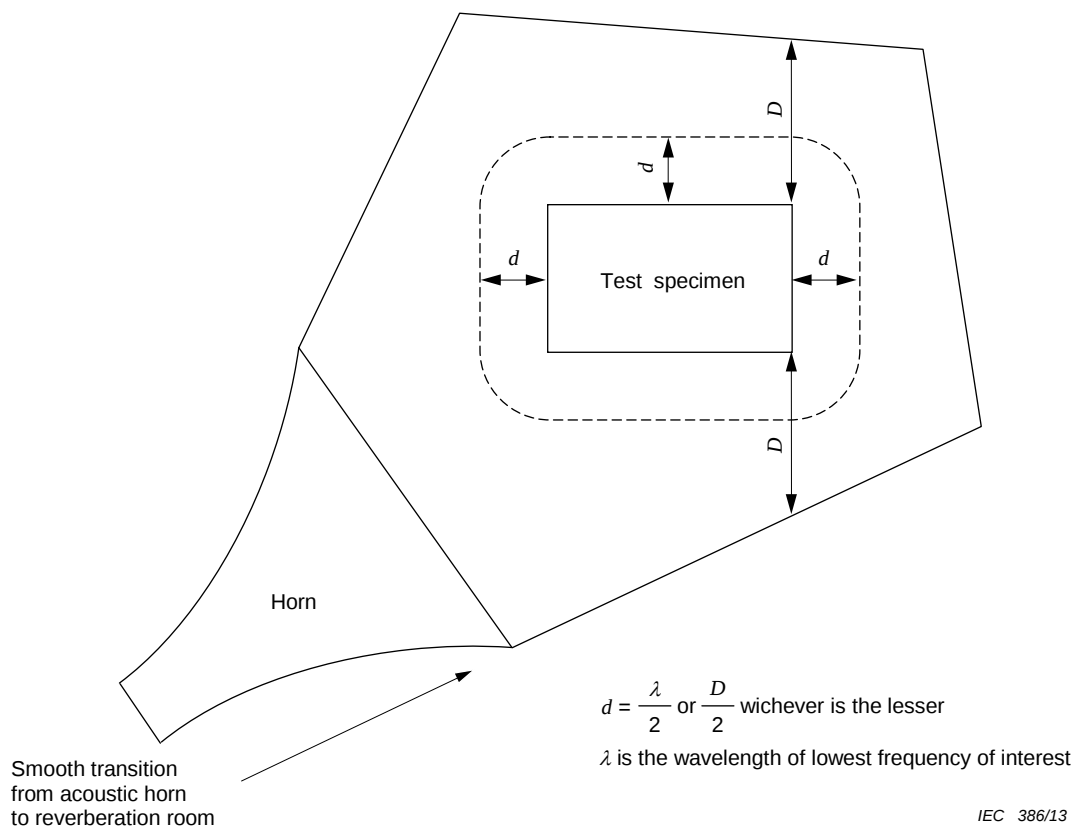


Figure A.1 – Typical microphone arrangement around a specimen in a reverberation chamber

A.1.2 Volume of reverberation room

The relationship between the lowest test octave band centre frequency and the required volume of a reverberation room is given in Table A.1. If these conditions are satisfied, reasonably diffuse fields are obtained even in the lowest test octave band.

Table A.1 – Octave band/room volume relationship

Lowest test centre frequency (octave band) Hz	Required room volume m ³
31,5	≥ 1 000
125	≥ 200
250	≥ 70
500	≥ 5

A.1.3 Shape of reverberation room

It is recommended that the room should be irregularly shaped, that is with no walls, parallel to each other, including the floor and ceiling. A good modal density can be obtained from a room having an uneven pentagonal cross-section with a sloping ceiling. The noise source should be coupled to the room by means of an acoustic horn whose mouth preferably occupies one wall section (see Figure A.1).

All the surfaces of reverberation rooms should be flat, without concavities, in order not to degrade the diffusion of the room.

A rectangular shape can be used successfully if the proportions are selected so that an optimum distribution, in frequency and space, of the room modes is obtained. This condition will be satisfied if the ratio of any two dimensions does not equal or is closely approximate to an integer. The proportions 1: 2^{1/3}: 4^{1/3} are frequently used. Other ratios for the dimensions of rectangular rooms that have been found to be satisfactory for a room with a volume of about 200 m³ or more are given in Table A.2 (see [5] and [6]).

Table A.2 – Reverberation room, ratios of dimensions

Example	L_y / L_x	L_z / L_x
1	0,83	0,47
2	0,83	0,65
3	0,79	0,63
4	0,68	0,42
5	0,70	0,59

L_x , L_y and L_z are the reverberation room dimensions in the x, y and z axes.

The sound field in a small reverberation room may be made more diffuse by the introduction of fatigue-resistant reflecting surfaces suspended in the room, thereby effectively increasing the room surface area. It should be noted that panel sizes should be relatively small compared to the wall dimensions of the room in order not to degrade the low-frequency properties of the room by effectively dividing it into smaller volumes. Another method of improving the sound field diffusion is by suspending a rotating irregularly shaped object so as to change constantly the reflective paths in the room. These devices are particularly useful where low-frequency testing is required.

A further point to note is that low-frequency testing is often based on experimental data which may have been obtained from measurements at only a few discrete locations and may be subject to large standard deviations. These reservations should be borne in mind when carrying out low-frequency acoustic testing and assessing the results obtained.

A.1.4 Absorption of a reverberation room

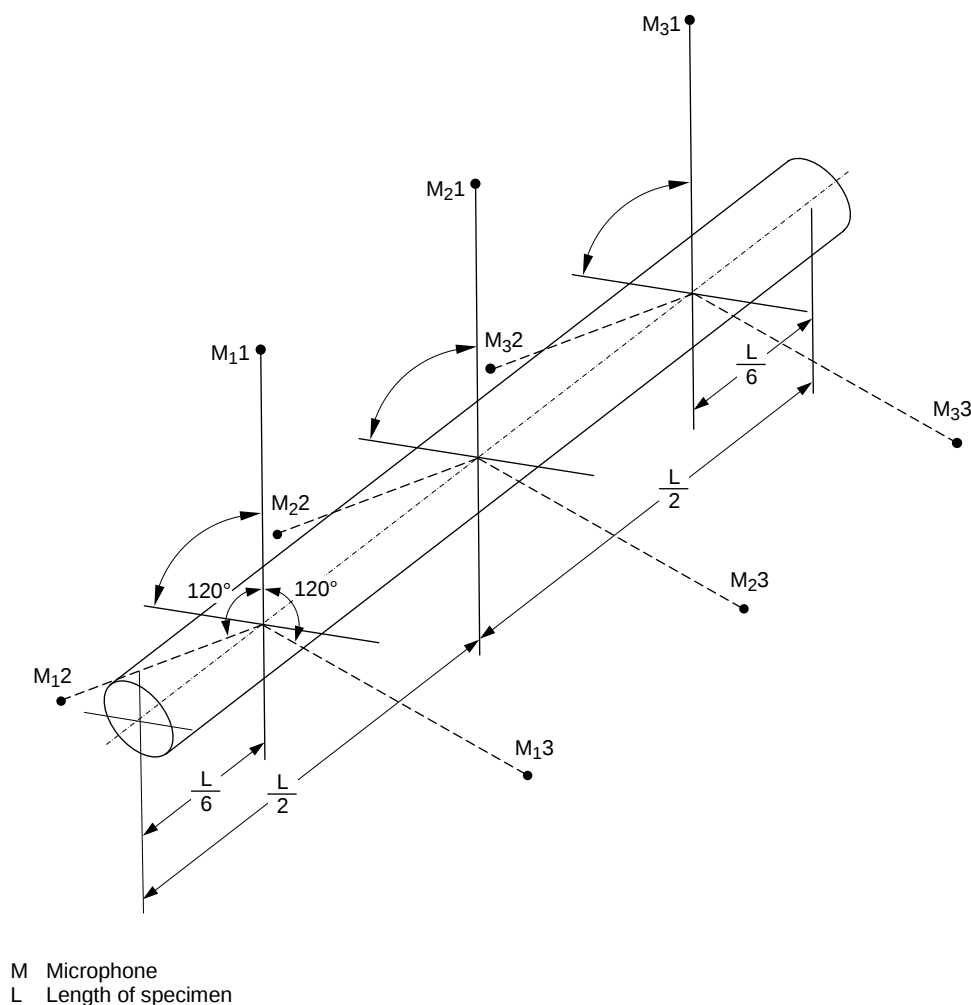
The sound absorption coefficient of the surfaces of a reverberation room should be small enough to ensure a long reverberation time which allows a reverberant sound field to build up. The average sound absorption coefficient of all surfaces of the reverberation room should not exceed 0,06 over the frequency range of interest. This can be achieved by designing the room with metallic or smooth concrete, walls and by coating them with epoxy resin or other non-absorbent paint coatings. Where the walls are metallic, they should be sufficiently massive, stiff and highly damped to avoid resonance (as this absorbs energy) in the frequency range of interest.

A.1.5 Checkpoints

The distance between a checkpoint and the surface of the specimen should be arranged to be greater than a half wavelength of the lowest frequency of interest or half the distance from the specimen to the wall of the room, whichever is the lesser. If it is necessary to position a microphone closer than one-half wavelength, care should be taken in assessing the results to take account of the effects of reflection on the specimen.

Figure A.1 illustrates the general case for the arrangement of microphones around a specimen. Figure 4 shows typical locations of checkpoints on a fictitious surface surrounding a specimen. Figure A.2 shows the typical location of microphones around a slender cylindrical specimen. In any event, the microphone positions should fulfil the requirements of the test.

The requirements for the microphones are given in 4.3.2. Their sensitive surfaces should have a diameter not greater than 20 % of the wavelength corresponding to the upper limit of frequency. For 10 kHz, a 6,35 mm ($\frac{1}{4}$ -inch) diameter microphone is suitable.



IEC 387/13

Figure A.2 – Typical microphone checkpoint arrangement around a long cylindrical specimen

A.2 Progressive wave tube testing

In a progressive wave tube, the sound waves propagate along the tube from the acoustic source. If the cross-sectional area of the tube is constant, then the sound pressure level along the length of the tube is ostensibly constant, apart from any effects of energy absorption by the specimen or the walls of the tube. The progressive wave tube should be terminated by an absorbent acoustic medium, for example glass-fibre wedges, in order to avoid reflection of the progressive wave back along the tube. When coupling it to the main reverberation room such reflections should also be avoided.

The progressive wave tube comprises a tube of cross sectional shape to suit the test specimen, for example, circular for most aircraft carried stores. Acoustic energy is injected into one end of this tube via a suitable coupling horn and the other end is coupled into an acoustically absorbent termination. All of the injected acoustic energy within the designed frequency range will then be absorbed in the termination thus preventing the formation of standing waves. This configuration results in an acceptable acoustic pressure flow in the working section of the tube which will travel with grazing incidence over the exposed surfaces of the specimen.

Specimens may be mounted for test on, or may form the side of, a progressive wave tube and are thus exposed to travelling waves of noise on one side only. Alternatively, they may be positioned within the test section of the tube to simulate simultaneous exposure on both sides.

The achievable sound pressure level in a progressive wave tube is higher than that obtainable in a reverberation room for equal input acoustic power. The level obtained depends on the acoustic power of the source and on the cross-sectional area and shape of the tube. Typically, levels at least 10 dB higher than those obtained in large rooms can be achieved.

The construction of the working section has to include sufficient mass and damping such that the noise spectrum is not unduly affected by vibration of the inner surfaces of, or transmission losses through, its walls.

For a given acoustic noise test level, the diameter of the duct at the working section, has to be balanced against the available sound power and the size of the test specimen. Typically, for a nominally cylindrical test specimen, the annular clearance around the specimen should be 10 % to 25 % of the specimen diameter. In order to achieve an acceptable noise distribution, the clearance around the specimen should be uniform.

When testing panel assemblies, the wall of the duct should accommodate the test specimen such that grazing incidence excitation is applied over the whole of the external surface.

A.3 Cavity resonance testing

Some types of cavity which would be candidates for cavity resonance testing are given below.

Aircraft compartments or stores that open during flight can expose cavities to the airstream. Standing waves often become established at the resonance frequencies of the cavity. Another example is the hollow centre combustion chamber of a solid fuel rocket. As the rocket burns, the cavity changes in size and may resonate and produce very high sound pressure levels which excite the rocket structure.

Cavity resonance testing is carried out on specific items of equipment and is best done using sinusoidal excitation or narrowband random excitation tuned to the cavity resonance. The tests are usually carried out in existing acoustic facilities, adapted as required.

The specimen may be suspended in the test chamber so that only the cavities to be tested are subject to direct impingement of acoustic energy. Other surfaces of the specimen should be protected so that sound pressure levels on their surfaces are at least 20 dB lower. The position of the microphone in the cavity will need to be defined in the relevant specification; it will depend on the shape and volume of the cavity and on the expected resonant modes.

A.4 Standing wave tube testing

The standing wave tube is a rigid, closed tube with lateral dimensions that are small compared with one wavelength, so that plane standing waves will occur along its length. In a standing wave tube, the acoustic source may be coupled to a test section by an acoustic horn. The specimen is mounted at the opposite end of the tube to the acoustic source. The excitation is with pure tone sound and the frequency is tuned to one of the natural frequencies of the tube length. If adjustments to the frequency of the tube are required, provision shall be made for varying the length of the tube.

Examples of the use of standing wave tubes are

- the development of sound absorbers for use in gas-cooled nuclear reactors at very high sound pressure levels, of the order of 165 dB,
- the evaluation of carbon fibre panels for use in jet engine inlet fairings,
- the measurement of the absorptive characteristics of broadband and tuned absorbers.

It should be noted that these tubes are generally small devices for testing samples of materials, for development of special absorbers, etc.

A.5 The selection of sound transducer types

A.5.1 General

Acoustically induced fatigue testing was first studied by using the exhaust gas from a jet engine as the sound energy source. This was very expensive and very restrictive.

As testing requirements for the acoustic environment were evolved, a number of sound source concepts were used. Those sources that have received the greatest attention in the construction of acoustic testing facilities are given in Table A.3 and summarized below.

A.5.2 Electro-pneumatic transducers

Electro-pneumatic transducers are probably the most widely used devices for generating high intensity noise for laboratory use. They provide a controllable method of generating high acoustic power levels by modulating a high-volume, low-pressure gas flow. They may be used for generating quasi-sinusoidal or random acoustic vibration and are available with high sound power outputs; for example, transducers with outputs up to 30 000 acoustic watts are in use.

A.5.3 Electro-hydraulic transducers

Electro-hydraulic transducers are available which generate very high intensity noise for laboratory use. They provide a controllable method of generating high acoustic power levels by modulating a high-volume, low-pressure gas flow. They may be used for generating quasi-sinusoidal or random acoustic vibration and are available with high sound power outputs up to 200 000 acoustic watts.

A.5.4 Electro-dynamic loudspeakers

Direct radiator loudspeakers may be used for low-level acoustic investigations and for carrying out frequency response tests and measurements of room characteristics, etc. They are relatively inexpensive, easy to control, and also produce controllable sound over a wide frequency band. Typically, loudspeakers have an upper limit of approximately 10 acoustic watts.

A.5.5 Wideband sirens

Wideband sirens also provide a relatively inexpensive means of producing sinusoidal or pseudo-random sound with intermediate acoustic power levels. Sirens are supplied with low volumes of compressed air at low pressure and typically produce sound levels of approximately 5 000 acoustic watts. They are useful for carrying out long-term acoustic endurance testing with output spectra to suit specific applications.

A.5.6 Gas jets

Impinging gas jets may be used to produce high-intensity, high-frequency random noise. This method of sound generation was initially used by laboratories before controllable high sound power level acoustic generators were developed. Gas jets have the disadvantages of requiring large volumes of compressed gas and of not being easily controllable.

Table A.3 – Examples of sound sources with waveforms and typical power outputs

Sound source	Waveforms and typical power outputs
Electro-pneumatic transducer	Quasi-sinusoidal or random; high power, up to 30 000 W
Electro-hydraulic transducer	Quasi-sinusoidal or random; very high power, up to 200 000 W
Electro-dynamic loudspeaker	Sinusoidal or random; low power, approximately 5 000 W
Wideband siren	Sinusoidal or pseudo-random; intermediate power, approximately 5 000 W
Gas jet	Random high frequency; low power

A.6 Severities

Some typical values of overall sound pressure level (OASPL) against duration of exposure for various applications are given in Table A.4. These should be used if actual test data from equivalent applications are not available. In all cases, however, including industrial applications, the relevant specification will need to take account of the available information.

Table A.4 – Typical OASPL and exposure durations

Application	OASPL dB	Duration of exposure min	Acoustic spectrum Figure
Noisy industrial machinery	120	60	3
High-powered fans	120	60	2
Exhaust of industrial gas turbines after silencing	120	60	1
General locations within aircraft	130	60	1
Within industrial gas circuits	130	60	^a
Equipment locations within aircraft, exhaust noise from unsilenced industrial gas turbines	140	30	1
Spacecraft and spacecraft components	145	1	Specific
Near noise sources within aircraft	150	30	1
Within gas circuits of nuclear power plants	150	30	^a
External stores on aircraft	160	30	1
Within gas circuits close to circulators	160	30	^a
Equipment within the vicinity of rocket motors or boosters	170	2	1

^a Only data derived or measured for a particular application to be used.

With respect to Table A.4, the relevant specification should clearly define whether OASPL represents an operational level or whether, for example, it has been increased for other purposes.

A.7 Accelerated testing

The accelerated testing approach, i.e. increased level for decreased time, employs increases in sound pressure level above the operational exposure level produced during the acoustic duty cycle, which is the actual duration for which equipments are exposed to significant noise during their normal operation. The basis of accelerated testing is the stress-cycle (S-N) fatigue curve for the structure. For example, for a 100 h duty cycle and using stress-cycle fatigue data for the specimen, the test sound pressure level could be increased and the test duration reduced to, for example, 10 h.

NOTE “Duty cycle” is defined in IEC 151-16-02 [6], as a “specified sequence of operating conditions”.

It has been repeatedly demonstrated that initial fatigue failures in a structure generally occur in a highly stressed resonant mode. The approach, therefore, requires an initial investigation to determine which resonant mode(s) should be monitored during accelerated testing.

When increasing the acoustic test pressure above the operational pressure, care is required in order to ensure that a linear relation is maintained between the applied pressure and the resulting structural stress. The level at which a non-linear relationship is first evident establishes the limit to which the acoustic testing can be accelerated. This non-linear pressure/stress indication shows that stress distribution on the structural component has been altered from that at the operational acoustic level and this may lead to a different mode of failure and invalidate the test.

Monitoring of the resultant strain gauge responses through narrow-band tracking filters during the accelerated testing enables early detection of an incipient failure. Experience has shown that, as a failure starts to develop, there will be a shift (usually downward) in the monitored resonance frequency. Further, it is likely that more power will be required to maintain the level of stress. This is the time to interrupt the testing and to inspect the specimen.

A.8 Statistical accuracy

The statistical accuracy is determined from the statistical degrees of freedom N_d and the confidence level. The statistical degrees of freedom are given by:

$$N_d = 2B_e \times T_a$$

where

B_e is the frequency resolution;

T_a is the effective averaging time.

N_d shall not be less than 120 DOF, unless otherwise specified by the relevant specification. If the relevant specification states confidence levels to be met during the test, these should be used to calculate statistical accuracy.

Bibliography

Cited references

- [1] IEC 60050-801:1994, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 801: Acoustics and electroacoustics*
- [2] ISO 266, *Acoustics – Preferred frequencies for measurements*
- [3] ISO 2671, *Environmental tests for aircraft equipment – Part 3-4: Acoustic vibration*
- [4] BERANEK, L.L, *Noise reduction*, McGraw/Hill, 1960
- [5] SEPMEYER, L.W., *The computed frequency and angular distribution of the normal modes of vibration in rectangular rooms*, JASA, March 1965
- [6] PUJOLLE, J., *Les meilleures dimensions d'une salle rectangulaire*, Revue d'Acoustique, No. 52, 1980
- [7] IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

Non-cited references

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

ISO 2041:1990, *Vibration and shock – Vocabulary*
(withdrawn)

BENDAT, J.S. and PERSOL, A.G., *Measurement and analysis of random data*, Wiley, 1966

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
INTRODUCTION	36
1 Domaine d'application	37
2 Références normatives	37
3 Termes, définitions, symboles et abréviations	38
3.1 Termes et définitions	38
3.2 Symboles et abréviations	41
4 Environnements acoustiques et exigences pour l'essai	42
4.1 Environnement acoustique de l'épreuve	42
4.1.1 Généralités	42
4.1.2 Champ réverbérant	43
4.1.3 Champ d'ondes progressives	44
4.1.4 Résonance de cavité	44
4.1.5 Onde stationnaire	44
4.2 Sources de bruit	44
4.3 Appareils de mesures	44
4.3.1 Généralités	44
4.3.2 Mesures acoustiques	44
4.3.3 Mesures de la réponse vibratoire	45
4.3.4 Analyse des résultats	45
4.4 Exigences pour l'essai	45
4.4.1 Type de moyen d'essai	45
4.4.2 Montage	45
4.4.3 Instrumentation du spécimen	47
4.4.4 Préparation du contrôle d'essai	47
5 Sévérités recommandées	49
6 Préconditionnement	49
7 Mesures initiales	49
8 Epreuve	50
8.1 Epreuve normale	50
8.2 Epreuve accélérée	50
9 Mesures intermédiaires	50
10 Reprise	50
11 Mesures finales	50
12 Renseignements que la spécification applicable doit donner	51
13 Renseignements que doit fournir le rapport d'essai	51
Annexe A (informative) Guide pour les exigences d'essai	53
Bibliographie	61
Figure 1 – Spectre de bande de tiers d'octave pour des applications aéronautiques	42
Figure 2 – Spectre de bande d'octave pour les ventilateurs tiré de [4]	43
Figure 3 – Spectre de bande d'octave pour des applications industrielles bruyant tiré de [4]	43
Figure 4 – Emplacements typiques des points de contrôle du microphone (1 – 6) sur une surface fictive autour d'un spécimen	48

Figure A.1 – Emplacement typique de microphones autour d'un spécimen dans une chambre réverbérante	53
Figure A.2 – Disposition type de point de contrôle de microphone autour d'un spécimen cylindrique long.....	56
Tableau 1 – Tolérances pour la mesure acoustique	44
Tableau 2 – Niveau global de pression acoustique et durée d'exposition	49
Tableau A.1 – Relation entre bande d'octave et volume de la chambre	54
Tableau A.2 – Rapports des dimensions, chambre réverbérante	54
Tableau A.3 – Exemples de sources acoustiques avec formes d'ondes et puissances de sortie typiques	59
Tableau A.4 – OASPL typique et durées d'exposition.....	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2-65: Essais – Essai Fg: Vibrations – Méthode induite acoustiquement

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 CEI 60068-2-65 a été établie par le comité d'études 104 de la CEI: Conditions, classification et essais d'environnement.

Cette deuxième édition annule et remplace la deuxième édition, publiée en 1993, dont elle constitue une révision technique.

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

- des modifications techniques et rédactionnelles mineures ont été faites dans toute la norme, tel qu'il a été demandé à l'origine par le Comité national allemand;

- conformément aux commentaires émis au stade CD, en particulier ceux du Comité national britannique, des ajouts techniques et éditoriaux significatifs ont été réalisés dans la norme pour l'essai acoustique employant la technique du tube à ondes progressives. .

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
104/591/FDIS	104/597/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 CEI 60068, publiées sous le titre général *Essais d'environnement*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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.

INTRODUCTION

Un bruit acoustique peut produire des vibrations significatives dans les composants et les matériels. Dans un champ de bruit acoustique, les fluctuations de la pression acoustique frappent directement le spécimen et la réponse peut être différente de celle produite par excitation mécanique.

Les dispositifs particulièrement sensibles au bruit acoustique incluent les unités relativement légères dont les dimensions sont comparables à la longueur d'onde acoustique dans la bande de fréquences d'intérêt et dont la masse surfacique est faible, tels que les antennes paraboliques et les panneaux solaires, les appareils électroniques, les cartes de circuits imprimés, les éléments d'optique, etc.

L'essai acoustique est applicable aux composants, matériels, unités fonctionnelles et autres produits, dénommés ci-après «spécimens», qui sont susceptibles d'être exposés et/ou qui doivent fonctionner dans des conditions de niveau élevé de pression acoustique. Il convient de noter que, dans les conditions de service, le spécimen peut être sujet à une excitation mécanique et acoustique de manière simultanée.

Des niveaux de pression acoustique élevés peuvent être générés par des moteurs à réaction et d'autres systèmes de propulsion d'aéronefs, des moteurs de fusées, des circulateurs de gaz de forte puissance, des écoulements de gaz turbulents autour d'aéronefs ou de lanceurs etc. La présente partie de la CEI 60068 traite des essais acoustiques dans les gaz compressibles et peut aussi être utilisée pour simuler l'excitation provoquée par les turbulences résultant de la séparation d'écoulements gazeux de grande vitesse.

La procédure d'essai contenue dans la présente norme est destinée à produire un champ de bruit acoustique de forte intensité soit par des méthodes réverbérantes (connues sous le terme essai en chambre réverbérante) soit par des méthodes à ondes progressives (connues sous le terme essai en tube à ondes progressives).

La réalisation d'essais pour connaître les effets des vibrations provoquées par un bruit acoustique nécessite un certain degré de connaissance technique et il convient que cela soit reconnu à la fois par le fabricant/fournisseur et par l'acheteur du spécimen. En se fondant sur le guide fourni dans la présente norme, le rédacteur de la spécification particulière choisit la méthode d'essai la plus appropriée ainsi que les valeurs des sévérités, en prenant en compte la nature du spécimen et son utilisation escomptée.

Etant donné que les niveaux de pression acoustique survenant pendant les essais sont suffisamment élevés pour être dangereux pour le système auditif des personnes, il est nécessaire de prendre des mesures de protection appropriées afin de réduire l'exposition au bruit des opérateurs réalisant l'essai à un niveau considéré comme admissible du point de vue de la conservation de l'audition.

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2-65: Essais – Essai Fg: Vibrations – Méthode induite acoustiquement

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60068 fournit des méthodes normalisées et un guide pour la conduite d'essais acoustiques afin de déterminer l'aptitude d'un spécimen à résister à des vibrations provoquées par un environnement de niveau de pression acoustique spécifié auquel il est, ou est susceptible d'être, exposé.

Lorsque le niveau de pression acoustique de l'environnement est inférieur à 120 dB, des essais acoustiques ne sont normalement pas exigés.

La présente norme détermine la faiblesse mécanique et/ou les dégradations des performances des spécimens et utiliser cette information, en liaison avec les spécifications particulières, pour décider si elles sont acceptables. Les méthodes d'essai peuvent aussi être utilisées comme des moyens pour établir la robustesse mécanique ou la résistance à la fatigue des spécimens.

Deux procédures sont décrites pour conduire les essais et pour mesurer les niveaux de pression acoustique dans le champ acoustique, et examine le besoin de mesurer les réponses vibratoires au niveau de points spécifiés sur le spécimen. Elle constitue aussi un guide pour la sélection de l'environnement acoustique, du spectre, du niveau de pression acoustique et de la durée d'exposition.

La méthode en tube à ondes progressives est appropriée pour les matériaux dans lesquels la turbulence aérodynamique excitera partiellement ou en totalité la surface extérieure complète. Parmi ces applications, il y a les assemblages de panneaux pour aéronefs dans lesquels l'excitation existe uniquement d'un côté. La méthode de la chambre réverbérante est applicable lorsqu'il est préférable d'induire des vibrations sur toute la surface extérieure du matériel par une excitation répartie plutôt que par des points fixes au moyen d'agitateurs électrodynamiques.

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).

CEI 61672-1, *Electroacoustique – Sonomètres – Partie 1: Spécifications*

ISO/CEI 17025:2005, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1.1

pavillon acoustique

tube de section croissante avec enveloppe généralement exponentielle, utilisé pour coupler une source acoustique au volume d'essai, par exemple l'intérieur d'une salle réverbérante, permettant ainsi d'obtenir le transfert maximal d'énergie sonore

Note 1 à l'article: Chaque pavillon acoustique possède des caractéristiques de transfert propres qui influent sur le spectre acoustique.

3.1.2

temps d'intégration d'analyse

durée sur laquelle un signal est moyenné

Note 1 à l'article: Voir l'Article A.8.

3.1.3

largeur de bande

différence entre les fréquences nominales de coupure haute et basse

Note 1 à l'article: Elle peut être exprimée

- a) en hertz,
- b) en pourcentage de la fréquence centrale du filtre passe-bande, ou
- c) comme l'intervalle en octave entre les fréquences de coupure nominales haute et basse.

3.1.4

niveau global de pression acoustique

OASPL¹

valeur calculée à partir des niveaux de pression acoustique par bande d'octave ou tiers d'octave L_i

$$L_G = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^m 10^{L_i/10}$$

où

L_G est le niveau global de pression acoustique en dB;

L_i est le niveau de pression acoustique dans la i ème bande d'octave ou de tiers d'octave;

m est le nombre de bandes d'octave ou de tiers d'octave.

3.1.5

fréquence centrale

moyenne géométrique des fréquences de coupure nominales d'une bande passante

Note 1 à l'article: Les fréquences de coupure nominales hautes et basses d'un filtre passe-bande sont définies comme les fréquences au-dessus et en dessous de la fréquence de réponse maximale du filtre auxquelles les réponses à un signal sinusoïdal sont inférieures de 3 dB à la réponse maximale.

Note 2 à l'article: La moyenne géométrique est égale à $(f_1 \times f_2)^{1/2}$, où f_1 et f_2 sont les fréquences de coupure.

¹ OASPL: en anglais: Overall Sound Pressure Level.

3.1.6**filtre à largeur de bande constante**

filtre qui a une largeur de bande constante quand elle est exprimée en hertz; la largeur de bande est indépendante de la fréquence centrale du filtre

3.1.7**fréquence de coupure (du pavillon acoustique)**

fréquence en-dessous de laquelle un pavillon acoustique devient progressivement inefficace

Note 1 à l'article: Cette fréquence de coupure est une caractéristique essentielle d'un pavillon acoustique.

3.1.8**champ acoustique diffus**

champ acoustique tel que dans une région donnée, la densité d'énergie est statistiquement uniforme et les directions de propagation ont, en tout point une distribution aléatoire

Note 1 à l'article: Dans un champ acoustique diffus, le niveau de pression acoustique mesuré avec un microphone directionnel donnerait les mêmes résultats quelle que soit son orientation.

[SOURCE: CEI 60050-801:1994 [1]², définition 801-23-31, modifiée – Ajout de la Note 1 à l'article]

3.1.9**générateur électropneumatique**

générateur hydropneumatique

source de bruit acoustique la plus généralement employée en laboratoire pour simuler les niveaux de pression acoustique rencontrés dans un environnement opérationnel à haut niveau de bruit

Note 1 à l'article: Ce type de générateur est constitué d'un générateur pneumatique alimenté en gaz comprimé modulé par une valve électromagnétique ou hydraulique.

Note 2 à l'article: Ce type de générateur fournit un spectre continu d'énergie sur une large bande de fréquences avec une distribution d'amplitude aléatoire, et il est en mesure de fournir un spectre acoustique donné pour satisfaire aux spécifications d'un essai acoustique (voir l'Article A.5).

3.1.10**incidence rasante**

angle entre la direction de l'onde acoustique et soit la surface du spécimen et/ou la surface sensible du générateur acoustique, 0 ° équivalant à parallèle et 90 ° à perpendiculaire par rapport à la surface

3.1.11**intervalle de fréquence**

rapport de deux fréquences

[SOURCE: CEI 60050-801:1994, définition 801-30-07]

3.1.11.1**octave**

intervalle entre deux fréquences qui sont dans un rapport 2

3.1.11.2**un tiers d'octave**

1/3

intervalle entre deux fréquences qui sont dans un rapport de $2^{1/3}$

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

Note 1 à l'article: Les bandes de fréquence d'octave et de tiers d'octave sont définies par leur fréquence géométrique centrale dans l'ISO 266 [1]³.

3.1.11.3

un douzième d'octave

(1/12

intervalle entre deux fréquences qui ont un rapport de $2^{1/12}$

3.1.12

points de mesure

points spécifiques du champ acoustique auxquels la pression acoustique est mesurée pour la réalisation de l'essai

Note 1 à l'article: Les mesures peuvent être faites en des points à l'intérieur du spécimen, dans le but d'évaluer son comportement, mais ceux-ci ne sont pas considérés comme des points de mesure au sens de cette norme.

3.1.12.1

points de contrôle

points situés sur une surface fictive entourant le spécimen à une distance fixée de celui-ci

3.1.12.2

points de vérification

points choisis parmi les points de contrôle dont les signaux sont utilisés pour commander l'essai de manière à ce que les exigences de cette norme soient satisfaites

3.1.13

commande multi-points

commande réalisée en utilisant la moyenne des signaux aux points de vérification (voir 3.1.11.2).

Note 1 à l'article: Quand on utilise une commande multi-points, chaque signal microphonique traduit le niveau de pression acoustique où il est placé. Le niveau de pression acoustique moyen L_{AV} peut aussi être calculé selon la CEI 60058-801:1994, définition 801-31-36 selon laquelle

$$L_{AV} = 10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}$$

où

n est le nombre de points de vérification;

L_i est le niveau de pression acoustique dans la i ème bande d'octave ou le i ème tiers d'octave.

3.1.14

filtre de fréquence en bande étroite

filtre passe-bande pour lequel la bande passante est généralement plus petite qu'un tiers d'octave

3.1.15

filtre large bande

filtre passe-bande pour lequel la bande passante est relativement large, en général plus grande qu'une octave

3.1.16

tube à ondes progressives

tube le long duquel les ondes acoustiques se propagent depuis la source acoustique, qui est couplée à la veine d'essai appropriée grâce à un pavillon acoustique

³ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

Note 1 à l'article: Le tube présente une terminaison acoustique absorbante placée à l'extrémité de la veine d'essai afin de minimiser les réflexions des ondes acoustiques progressives dans la bande de fréquences concernée (voir l'Article A.2).

3.1.17

filtre à largeur de bande proportionnelle

filtre dont la largeur de bande est proportionnelle à la fréquence

Note 1 à l'article: Les largeurs de bande d'une octave, d'un tiers d'octave, etc. sont des largeurs de bandes typiques des filtres à largeur de bande proportionnelle.

3.1.18

chambre (ou salle) réverbérante

chambre ou salle qui possède des surfaces rigides hautement réfléchissantes telles que le champ acoustique y devient diffus

Note 1 à l'article: La géométrie de la chambre ou de la salle peut influencer l'essai. Des informations concernant les chambres réverbérantes sont données à l'Article A.1.

3.1.19

coefficient d'absorption acoustique

pourcentage de la puissance acoustique incidente non réfléchi par la surface d'un matériau à une fréquence donnée et dans des conditions spécifiées

Note 1 à l'article: L'absorption acoustique est la propriété que possèdent les matériaux et les objets de convertir l'énergie acoustique en chaleur.

[SOURCE: CEI 60050-801:1994, définition 801-31-02, modifiée – pour la définition, l'ordre des mots est inversé; la Note 1 à l'article remplace la NOTE précédente et n'a aucun rapport avec cette dernière]

3.1.20

pression acoustique

p

racine carrée de la moyenne quadratique des pressions acoustiques instantanées calculée sur un intervalle de temps donné, sauf spécification contraire

Note 1 à l'article: La pression acoustique caractérise la variation autour de la pression statique, de la pression produite par des ondes acoustiques qui sont les variations de pression provoquées par des perturbations dans un milieu gazeux.

[SOURCE: CEI 60050-801:1994, définition 801-21-20, modifiée – ajout de la Note 1 à l'article]

3.1.21

niveau de pression acoustique L_p

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \text{ dB}$$

3.2 Symboles et abréviations

NOTE Lorsque cela est approprié, la correspondance avec les définitions est indiquée.

OASPL niveau global de pression acoustique (dérivé de 801-22-07), voir 3.1.4;

L_G niveau global de pression acoustique en dB (voir 3.1.4);

L_i niveau de pression acoustique en tiers d'octave ou bande d'octave en dB (voir 3.1.4);

L_p niveau de pression acoustique en dB (voir 3.1.21);

L_{AV} niveau moyen de pression acoustique en dB (voir 3.1.13);

p valeur efficace de la pression acoustique en N/m² ou en Pa (voir 3.1.20);

p_0 pression acoustique de référence internationale, normalisée à 2×10^{-5} Pa ou 20 μ Pa dans l'air (CEI 61672-1), 1 μ Pa dans d'autres milieux;

DOF les degrés de liberté (degrees of freedom) statistiques sont donnés par:

$$N_d = 2B_e \times T_a$$

où

B_e est la résolution de fréquence;

T_a est la durée réelle sur laquelle est calculée la moyenne.

4 Environnements acoustiques et exigences pour l'essai

4.1 Environnement acoustique de l'épreuve

4.1.1 Généralités

Un essai acoustique est réalisé pour déterminer l'aptitude d'un spécimen à fonctionner ou à survivre dans un champ spécifié de bruit acoustique de niveau élevé. En pratique, l'environnement de pression fluctuante exercé sur un spécimen étudié peut être une combinaison complexe d'ondes progressives et de champs acoustiques réverbérants. Les ondes stationnaires, créées à l'intérieur des structures et des cavités exposées au bruit, peuvent résonner et produire localement de très forts niveaux de pression acoustique. Il est donc nécessaire de choisir le type d'essai acoustique le plus approprié pour le spécimen. La sélection peut être fondée sur les données réelles mesurées lors d'essais en vraie grandeur ou lors d'essais en vol ou bien être obtenue à partir de niveaux spécifiés pour des applications particulières de l'équipement, par exemple comme dans les Figures 1, 2 et 3. Le spectre d'essai appliqué peut contenir une énergie supérieure et inférieure aux fréquences données dans les figures.

NOTE Pour une information plus complète sur les niveaux de pression acoustique associés à l'environnement aéronautique, voir l'ISO 2671 [3].

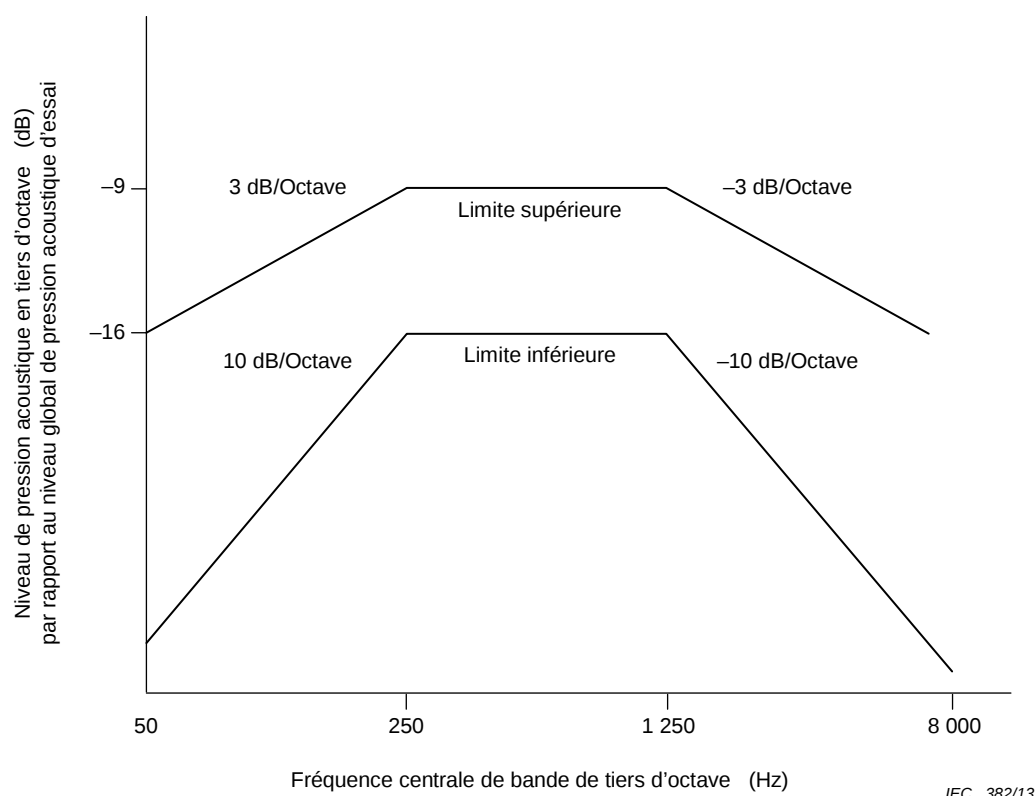
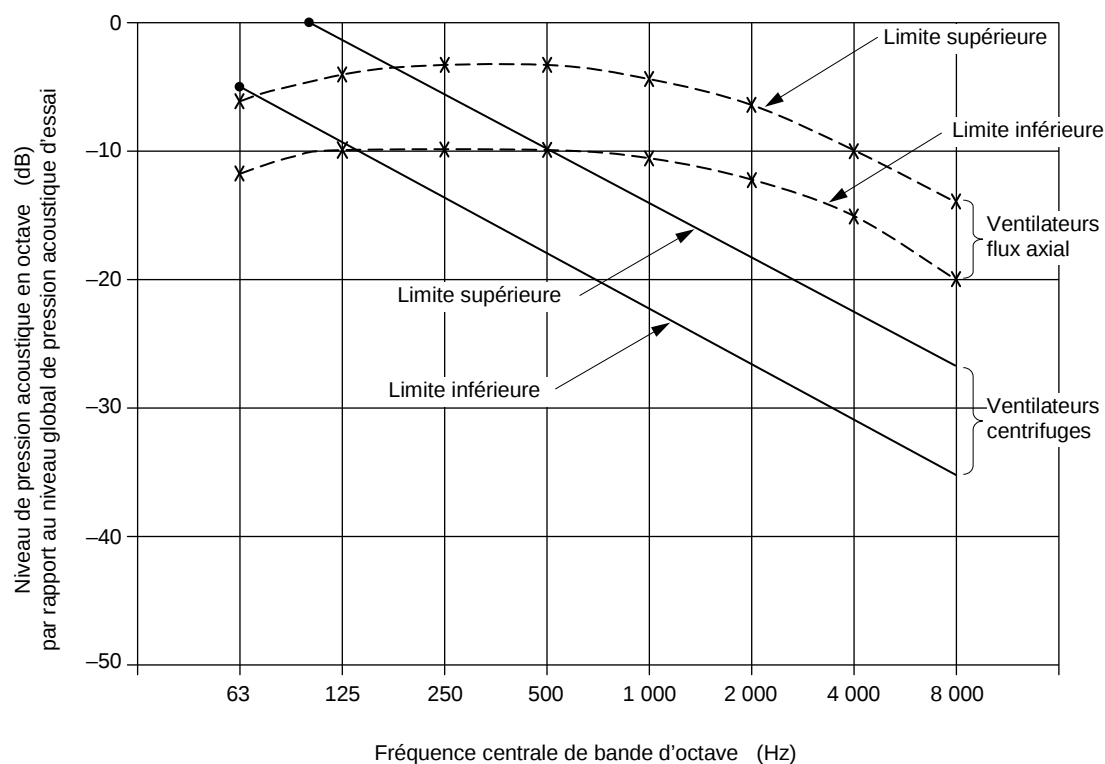
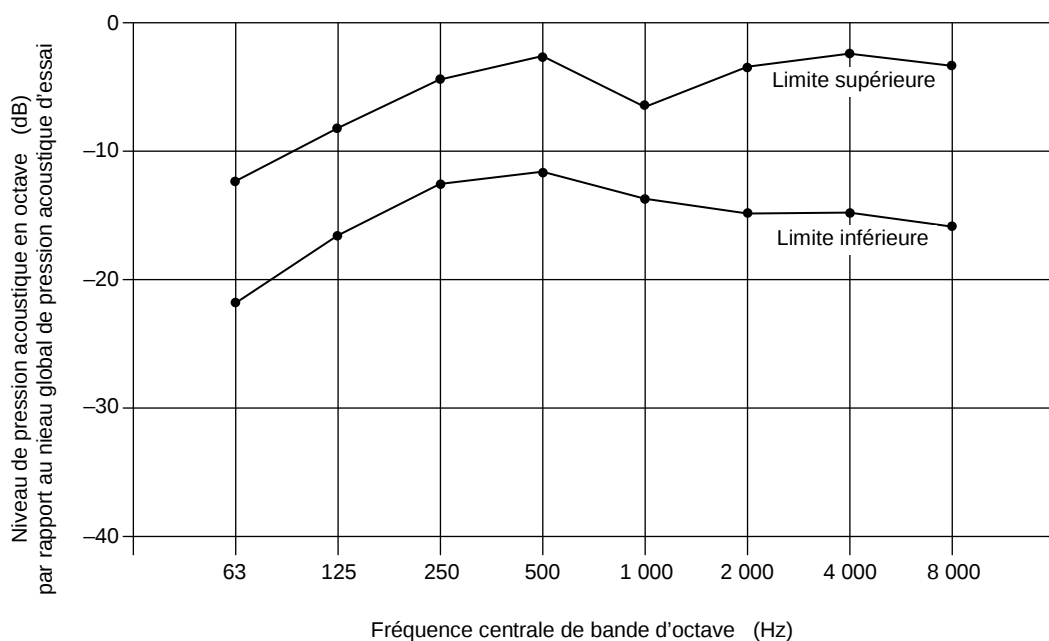


Figure 1 – Spectre de bande de tiers d'octave pour des applications aéronautiques



IEC 383/13

Figure 2 – Spectre de bande d'octave pour les ventilateurs tiré de [4]



IEC 384/13

Figure 3 – Spectre de bande d'octave pour des applications industrielles bruyant tiré de [4]

4.1.2 Champ réverbérant

Un champ réverbérant est généralement utilisé pour des spécimens situés dans des volumes fermés quand les fluctuations de pression vues par les spécimens sont uniformément réparties. Cependant, il peut être aussi utilisé pour essayer les enceintes elles-mêmes, par

exemple le carénage avant des gros lanceurs, etc., pour lesquels aucune autre simulation appropriée n'est possible. Des champs réverbérants peuvent s'établir dans des enceintes à partir de l'excitation des structures de limite par un flux turbulent de gaz, ou par une séparation de flux sur une surface, par un bruit rayonné de propulsion, et à l'intérieur, par exemple, de volumes clos de réservoirs pressurisés de réacteurs refroidis par du gaz (voir l'Article A.1).

4.1.3 Champ d'ondes progressives

Le champ d'ondes progressives est utilisé quand la pression acoustique balaye la surface du spécimen. Des exemples d'exposition à cet environnement incluent des charges externes transportées sur avion, des protections thermiques des moteurs de fusée, des panneaux ou des surfaces de dérives d'aéronefs (voir Article A.2).

4.1.4 Résonance de cavité

Une cavité de résonance peut apparaître à la suite d'un flux turbulent sur les cavités ou lorsqu'elles sont exposées à une excitation acoustique. On peut donner comme exemples, les logements de train d'atterrissage d'avion lorsque les roues sont sorties pour l'atterrissage ou les chambres de combustion (voir l'Article A.3).

4.1.5 Onde stationnaire

Une onde stationnaire peut produire des niveaux de pression acoustique très élevés (voir l'Article A.4).

4.2 Sources de bruit

Un guide pour la sélection d'une source acoustique appropriée pour l'essai est donné à l'Article A.5.

4.3 Appareils de mesures

4.3.1 Généralités

Des appareils de mesures sont exigés pour surveiller le champ de pression acoustique autour du spécimen et, si nécessaire, pour mesurer les vibrations induites acoustiquement dans le spécimen. Ces mesures nécessitent d'être analysées en accord avec leurs contenus fréquentiels (voir 4.3.3).

4.3.2 Mesures acoustiques

La chaîne d'instrumentation de surveillance doit être capable de mesurer les niveaux de pression acoustique dans la bande de fréquences entre 22,4 Hz et 11 200 Hz, soit par bandes d'octave soit par bandes de tiers d'octave avec des fréquences centrales entre 31,5 Hz/25 Hz (octave/tiers d'octave) et 8 kHz/10 kHz.

Cette chaîne d'instrumentation doit avoir une réponse en fréquence nominalement plate de $\pm 5\%$ sur la bande de fréquences d'intérêt avec les tolérances données dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Tolérances pour la mesure acoustique

Bande de fréquences Hz			Tolérance de la réponse en fréquence dB (par rapport à la sévérité d'essai exigée)
22,4	–	125	± 1
126	–	2 500	± 2
2 501	–	11 200	± 3

Les microphones utilisés doivent pouvoir réaliser les mesures de l'incidence aléatoire pour les essais en chambres réverbérantes et les mesures de l'incidence rasante pour les essais en ondes progressives. Dans les deux cas, il convient qu'ils soient capables de mesurer les valeurs de crête d'au moins trois fois la valeur efficace assignée maximale.

L'instrumentation doit être capable de mesurer les niveaux de pression acoustique supérieurs d'au moins 10 dB au niveau d'essai spécifié. Cette capacité s'applique à la fois au niveau global et aux niveaux individuels par bande de fréquences.

4.3.3 Mesures de la réponse vibratoire

La surveillance de la vibration du spécimen, lorsqu'elle est stipulée par la spécification applicable, peut être réalisée sur la base des mesures d'accélération et/ou de contrainte. De même, si cela est approprié, les forces d'interface, la réponse en déplacement ou en vitesse peuvent aussi être surveillées.

L'équipement de surveillance doit être capable de mesurer la réponse vibratoire globale au moins dans la bande de fréquences entre 16 Hz et 2 000 Hz. Cette instrumentation doit avoir une réponse en fréquence nominale plate sur la bande de fréquences considérée et être adaptée à l'application et au type de mesure.

4.3.4 Analyse des résultats

Les données mesurées obtenues en 4.3.2 et, s'il y a lieu, en 4.3.3, doivent être analysées pour connaître la composition spectrale:

- a) les mesures acoustiques doivent être analysées avec une résolution d'au moins une bande d'octave ou, de préférence, une bande de tiers d'octave;
- b) les mesures de la réponse vibratoire nécessitent généralement une analyse de résolution plus fine.

Les largeurs de bande de résolution de fréquence doivent être prescrites par la spécification applicable à l'application spécifique.

4.4 Exigences pour l'essai

4.4.1 Type de moyen d'essai

Le comportement spatio-temporel du champ acoustique en service ou opérationnel devant être simulé influence le choix du moyen d'essai. La présente procédure comprend la salle ou chambre réverbérante et tube à ondes progressives. D'autres types de moyens spécialisés sont décrits à l'Annexe A et les principes de la présente norme peuvent être utilisés comme base pour les procédures d'essai des moyens alternatifs.

Le type de moyen à utiliser doit être stipulé dans la spécification applicable.

Si un essai combiné est demandé au cours duquel le spécimen est exposé simultanément à un environnement acoustique de forte intensité et à plusieurs autres agents d'environnement, la partie acoustique de l'essai doit être conforme à la présente norme. Les essais combinés peuvent inclure des vibrations acoustiques et des températures extrêmes ou qui varient ainsi que des vibrations mécaniques pour augmenter l'excitation acoustique aux fréquences peu élevées.

4.4.2 Montage

4.4.2.1 Chambres réverbérantes

Le spécimen doit être placé au centre de la salle réverbérante, de manière à éviter, autant que possible, le parallélisme entre les parois de la salle (y compris le plancher et le plafond) et les surfaces principales du spécimen. Les spécimens (et leur support mécanique, le cas

échéant) doivent être supportés ou suspendus de manière élastique à l'intérieur de la salle réverbérante. La spécification applicable doit prescrire, autant que nécessaire, les points de montage ou de fixation préférentiels.

La fréquence de résonance du spécimen sur sa suspension doit être inférieure à 25 Hz ou un quart de la fréquence la plus faible considérée, en prenant celle des deux valeurs qui donne la plus faible valeur.

La distance entre les points de contrôle et la surface du spécimen doit être supérieure à la moitié de la longueur d'onde de la fréquence considérée la plus faible ou la moitié de la distance entre le spécimen et la paroi, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus faible. Si cela n'est pas possible et s'il est nécessaire de placer un microphone plus près qu'une demi-longueur d'onde, les niveaux de bruit mesurés peuvent être sujets à de larges variations dues aux réflexions sur le spécimen et ceci doit être pris en compte pour l'évaluation des résultats des essais.

Si un adaptateur est exigé, soit entre le spécimen et la suspension élastique, soit pour attacher la suspension élastique elle-même, on doit prendre soin d'éviter la distorsion du champ acoustique ou l'introduction d'une vibration étrangère.

Toutes les connexions au spécimen, telles que câbles, tuyaux, etc. doivent être disposées de manière qu'elles imposent les mêmes contraintes et la même masse que ce qui existe quand le spécimen est installé dans sa configuration opérationnelle. Afin de parvenir à cela, il peut être nécessaire d'attacher les câbles, les tuyaux ou autres au dispositif de fixation.

4.4.2.2 Tubes à ondes progressives

Les spécimens d'essai doivent être montés dans l'espace de travail, soit sur une suspension souple soit par une fixation de service, de manière à ce que l'excitation soit appliquée sur toute la surface extérieure. Sinon, l'élément peut être monté comme une partie de la paroi de l'espace de travail lorsqu'un seul côté doit être excité. Lorsque le spécimen d'essai est équipé de moyens spécifiques de montage, le système de support doit être fixé sur ces points. En l'absence de moyens spécifiques de fixation, le système de support doit être relié au spécimen de manière à ce qu'il ne gêne pas le mouvement des parties indépendantes ou qu'il n'applique pas une contrainte ou un amortissement supplémentaire aux panneaux ou aux autres parties structurelles. Les modes des parties rigides du système doivent être inférieurs à 25 Hz ou à un quart de la fréquence d'essai la plus faible, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus faible.

On doit s'assurer qu'aucun intrant acoustique ou vibratoire parasite ne soit introduit par le système de support d'essai ou par la structure auxiliaire. Toute connexion avec le spécimen, telle que câbles ou tuyaux, doit être disposée de manière à imposer les mêmes contraintes dynamiques et de masse que celles de la configuration opérationnelle.

Les spécimens d'essai tels que les panneaux doivent être montés dans la paroi de la conduite de manière à ce que la surface d'essai nécessaire soit exposée à l'excitation acoustique. Cette surface doit être au niveau de la surface interne de la conduite de manière à empêcher l'introduction d'une résonance de cavité ou des effets locaux de turbulence.

La distance entre les points de contrôle doit être égale à la moitié de la distance qui sépare le spécimen de la paroi ou doit être supérieure à la moitié de la longueur d'onde de la plus faible fréquence prise en compte, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus faible. Si cela n'est pas possible et s'il est nécessaire de placer un microphone plus près qu'une demi-longueur d'onde, les niveaux de bruit mesurés peuvent être sujets à de larges variations dues aux réflexions sur le spécimen et ceci doit être pris en compte pour l'évaluation des résultats des essais.

Lorsque les ensembles de panneaux sont soumis aux essais, il convient que les microphones soient montés de préférence à niveau dans la paroi de la conduite du côté opposé au

spécimen d'essai. D'autres positions dans l'espace de travail peuvent être choisies, sous réserve que le microphone soit positionné de manière à répondre seulement aux ondes à incidence rasante et que les conditions nécessaires soient appliquées aux niveaux mesurés.

4.4.3 Instrumentation du spécimen

S'il y a lieu, la spécification applicable doit indiquer le nombre, le type et l'emplacement des capteurs (accéléromètres, microphones, jauges de contraintes, etc.) à poser sur le spécimen.

La preuve de l'étalonnage pour chaque capteur doit être disponible.

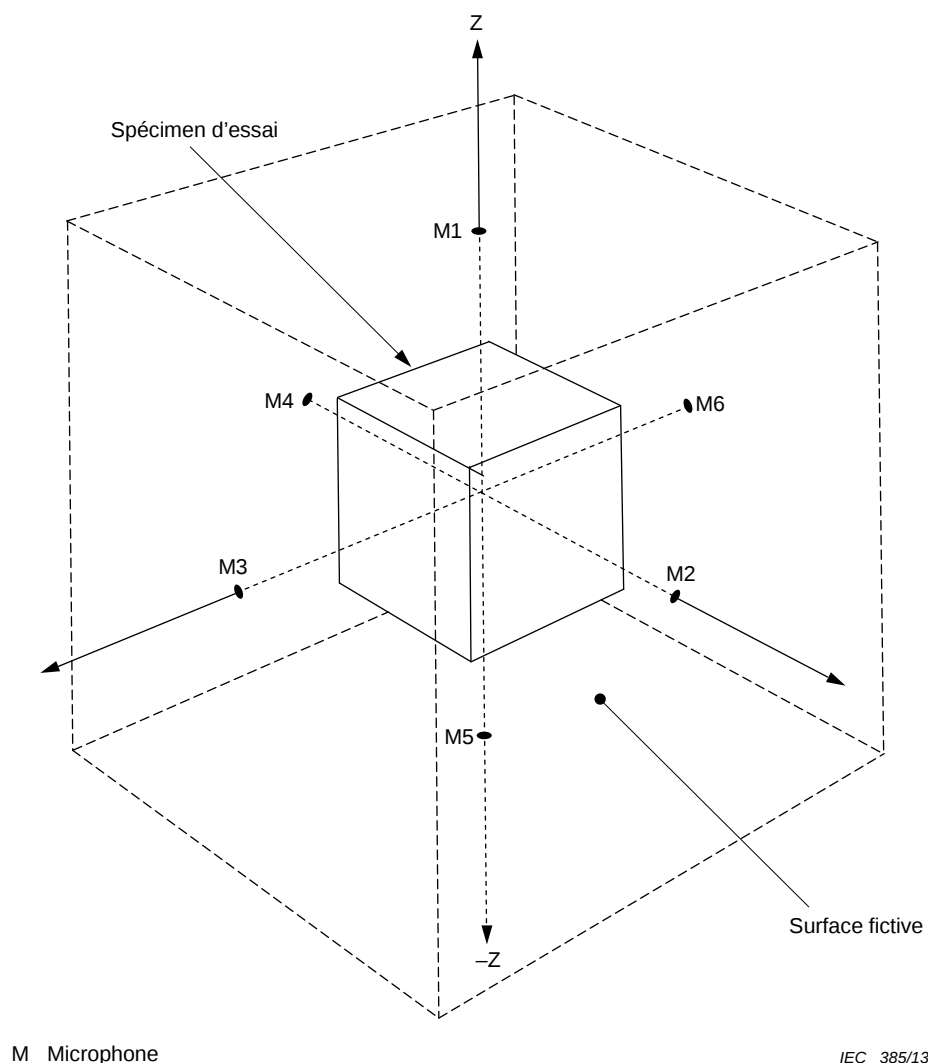
Les microphones destinés à être utilisés dans les chambres réverbérantes doivent être étalonnés pour le bruit incident aléatoire et pour le bruit incident rasant lorsqu'ils sont utilisés dans les tubes à onde progressive.

4.4.4 Préparation du contrôle d'essai

4.4.4.1 Nombre et emplacement des points de contrôle

Pour les spécimens situés entièrement à l'intérieur d'une chambre réverbérante ou d'un tube à ondes progressives, il doit y avoir au moins trois microphones de contrôle pour mesurer les niveaux de pression acoustique autour du spécimen. Pour déterminer le nombre de points de contrôle, la taille des spécimens doit être prise en compte par rapport à la taille du champ acoustique connu comme étant homogène. Le nombre et la position des microphones qui doivent être placés sur les principaux axes orthogonaux du spécimen et de la surface fictive, doivent être prescrits par la spécification applicable (voir Figure 4).

Pour les spécimens situés dans la paroi d'un tube à ondes progressives, le contrôle peut être obtenu soit par un microphone individuel soit par exemple avec les spécimens de grande taille, avec des microphones répartis sur la surface occupée par le spécimen.



IEC 385/13

Figure 4 – Emplacements typiques des points de contrôle du microphone (1 – 6) sur une surface fictive autour d'un spécimen

4.4.4.2 Contrôle du spectre

Les réponses de chaque microphone de contrôle doivent être soumises à une analyse d'octave ou de tiers d'octave, comme cela est exigé dans la spécification applicable. Le niveau moyen dans chaque bande doit être obtenu comme en 3.1.13. La valeur moyenne globale doit ensuite être calculée à partir des niveaux de bande. Les niveaux dans les bandes et le niveau global du spectre moyenné doivent se situer dans les limites des niveaux spécifiés donnés dans les Figures 1, 2 ou 3 ou de celles du spectre exigé par la spécification applicable. Les valeurs moyennes doivent rester dans les limites spécifiées pour la durée de l'épreuve.

Le temps d'intégration d'analyse, comme prescrit par la spécification applicable, doit être suffisamment long pour assurer un niveau de confiance statistique dans les résultats (voir l'Article A.8).

Lorsque les durées d'essai sont de longueur suffisante, l'analyse en temps réel des réponses des microphones de commande doit être réalisée périodiquement durant l'essai pour s'assurer que les niveaux de pression acoustique sont dans les limites spécifiées.

NOTE 1 La variation maximale admissible sur le niveau global de pression acoustique et en bande mesuré par chaque microphone, peut être prescrite par la spécification applicable.

NOTE 2 Si la spécification applicable prescrit l'analyse en bande de tiers d'octave, elle devra alors fournir le spectre en tiers d'octave.

4.4.4.3 Formation du spectre

Lorsqu'une surexposition du spécimen au champ acoustique doit être évitée, le champ acoustique doit être établi, soit avec une maquette mise à la place du spécimen soit, dans le cas de spécimens de faible volume comparé à celui de la salle, en utilisant une salle réverbérante vide. Si une maquette est utilisée pour la formation du spectre, les positions des microphones doivent être identiques à celles utilisées dans l'épreuve ultérieure.

Cet essai spécifie un spectre OASPL comprenant des parties croissantes, décroissantes et constantes (voir Figure 1). Pour un essai normalisé, un des spectres doit être sélectionné selon l'environnement dynamique du point d'essai. Dans certains cas, il peut être approprié de spécifier une courbe de densité spectrale d'accélération ayant une forme individualisée. Dans de tels cas, la spécification correspondante doit prescrire la forme en fonction de la fréquence. Les différents niveaux et les bandes de fréquences correspondantes, (points aux fréquences de transfert) doivent être, dans la mesure du possible, choisis parmi les valeurs données au Tableau 2 et aux Figures 1, 2 et 3.

5 Sévérités recommandées

Une sévérité acoustique est définie par le niveau global de pression acoustique (OASPL), la forme du spectre et la durée d'exposition. La spécification applicable doit sélectionner le niveau global de pression acoustique ainsi que la durée minimale d'exposition dans le Tableau 2 et la forme du spectre dans les Figures 1, 2 ou 3. Un guide d'application est donné à l'Article A.6.

Tableau 2 – Niveau global de pression acoustique et durée d'exposition

Niveau global de pression acoustique dB	Durée d'exposition min
120 ± 1	60
130 ± 1	60
140 ± 1	30
150 ± 1	30
160 ± 1	30
170 ± 1	2

6 Préconditionnement

Un preconditionnement dans des conditions atmosphériques ambiantes peut être prescrit par la spécification applicable pour permettre au spécimen d'atteindre l'équilibre (thermique, mécanique, etc.).

7 Mesures initiales

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

Un essai de bruit acoustique à des niveaux de pression acoustique inférieurs aux valeurs nominales d'essai peut être réalisé et la réponse du spécimen peut être mesurée pour déterminer la réponse dynamique de l'article en essai avant l'essai nominal. La sévérité de cet essai à faible niveau doit être prescrite par la spécification applicable.

8 Epreuve

8.1 Epreuve normale

Le spécimen, avec les capteurs montés comme exigé par la spécification applicable, doit être fixé selon 4.4.2.

L'épreuve doit être réalisée en utilisant les points de contrôle localisés comme décrit en 4.4.4.1. La formation du spectre est décrite en 4.4.4.3 et la commande du spectre doit être telle que décrite en 4.4.4.2. La sévérité doit être prescrite par la spécification applicable comme indiqué à l'Article 5.

Les signaux transmis pendant le déroulement de l'essai par les microphones de commande et, lorsque c'est le cas, par les capteurs d'instrumentation, doivent être traités dans le but de vérifier que les exigences de cette norme et de la spécification applicable ont été remplies.

8.2 Epreuve accélérée

Lorsqu'il est exigé que la durée de vie opérationnelle d'un spécimen soit tellement longue que la procédure normale n'est pas appropriée, un essai accéléré peut être effectué. Cela implique une épreuve à des niveaux de pression acoustique supérieurs aux niveaux opérationnels nominaux auxquels le spécimen est exposé afin de réduire la durée de l'essai. Il n'existe pas de règles ou procédures clairement définies pour les épreuves accélérées. Par conséquent, les épreuves accélérées doivent être utilisées si la spécification applicable le permet et dans ce cas il convient qu'elle prescrive la méthode à utiliser. Des recommandations générales pour la procédure accélérée sont données dans l'Article A.7.

9 Mesures intermédiaires

Lorsque la spécification applicable l'exige, le spécimen doit être en fonctionnement durant l'essai et ses performances doivent être contrôlées.

10 Reprise

Il est quelquefois nécessaire, lorsque cela est prescrit par la spécification applicable, de prévoir un délai après le conditionnement et avant les mesures finales, pour permettre au spécimen d'atteindre les mêmes conditions, par exemple de température, que celles qui existaient lors des mesures initiales.

11 Mesures finales

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

Un essai de bruit acoustique à des niveaux de pression acoustique inférieurs aux valeurs nominales d'essai et identiques à l'essai initial de faible niveau peut être réalisé et la réponse du spécimen peut être mesurée pour déterminer la réponse dynamique du dispositif en essai avant l'essai nominal. La sévérité de cet essai à faible niveau doit être prescrite par la spécification applicable. Les réponses dynamiques de l'essai à faible niveau initial et final peuvent ensuite être utilisées pour l'identification des modifications structurelles.

La spécification applicable doit donner les critères sur lesquels repose la décision d'acceptation ou de rejet du spécimen.

12 Renseignements que la spécification applicable doit donner

Lorsque cet essai est inclus dans une spécification particulière, les détails suivants doivent y être donnés, dans la mesure où ils sont applicables, en faisant particulièrement attention aux points repérés par un astérisque (*), car ce renseignement doit toujours être donné.

	Articles et paragraphes
a) Largeurs de bande des filtres*	4.3.2
b) Type de moyen d'essai*	4.4.1
c) Montage*	4.4.2
d) Capteurs d'instrumentation	4.4.3
e) Emplacement et nombre de points de contrôle*	4.4.4.1
f) Analyse de bande d'octave ou de tiers d'octave*	4.4.4.2
g) Forme de spectre*	4.4.4.2 & 4.4.4.3
h) Temps d'intégration d'analyse*	4.4.4.2
i) Variations maximales admissibles sur le niveau de bande	4.4.4.2
j) Spectre pour l'analyse en bande de tiers d'octave	4.4.4.2
k) OASPL*	5
l) Durée minimale d'exposition*	5
m) Préconditionnement	6
n) Mesure initiales*	7
o) Procédure lorsque l'épreuve est accélérée, si requis	8.2
p) Mesures intermédiaires	9
q) Reprise	10
r) Mesures finales*	11
s) Critères d'acceptation et de rejet*	11

13 Renseignements que doit fournir le rapport d'essai

L'ISO/CEI 17025:2005 donnent en 5.10.2 et 5.10.3 les renseignements à fournir dans le rapport d'essai ou le certificat d'étalonnage. Ceux-ci doivent inclure au moins les informations suivantes sauf s'il existe des raisons valables de ne pas le faire, auquel cas ces raisons doivent être exposées:

1)	Client	(nom et adresse)
2)	Laboratoire d'essai	(nom et adresse)
3)	Identification du rapport d'essai	(Date d'émission, référence unique)
4)	Dates de l'essai	
5)	Objet de l'essai	(essai de développement, qualification, etc.)
6)	Norme d'essai, édition	(procédure d'essai applicable)
7)	Description du spécimen d'essai	(état initial, numéro d'identification unique, quantité, photo, dessin, etc.)
8)	Montage du spécimen d'essai	(id de fixation, dessin, photo, etc.)
9)	Performance des appareils d'essai	

- | | | |
|-----|--|---|
| 10) | Système de mesure, emplacement du capteur | (description, dessin, photo, etc.) |
| 11) | Incertitudes du système de mesure, si cela est exigé par la spécification applicable | (incertitude globale, données d'étalonnage, dernière/prochaine date d'étalonnage) |
| 12) | Technique de pilotage | |
| 13) | Mesures initiales, intermédiaires et/ou finales | |
| 14) | Sévérités exigées | (comme stipulé dans la spécification d'essai) |
| 15) | Sévérités d'essai avec documentation, si exigé par la spécification applicable | (points de mesure, spectres d'essai, essai durée, résolution de fréquence, nombre de DOF, distribution, etc.) |
| 16) | Résultats d'essai | (état final du spécimen d'essai) |
| 17) | Observations au cours de l'essai et actions menées | |
| 18) | Résumé de l'essai | |
| 19) | Responsable d'essai | (nom et signature) |
| 20) | Diffusion | (liste des personnes recevant le rapport) |

NOTE Il convient de rédiger une liste de contrôle des essais pour les essais, dans laquelle ceux-ci sont documentés, par exemple, au moyen d'une liste chronologique des cycles d'essais avec les paramètres d'essais, les observations émises au cours des essais et les actions entreprises, ainsi que des fiches techniques sur les mesures réalisées. La liste de contrôle des essais peut être fournie avec le rapport d'essai.

Annexe A (informative)

Guide pour les exigences d'essai

A.1 Mise à l'essai de la chambre réverbérante

A.1.1 Généralités

Une chambre réverbérante idéale est une enceinte qui, lorsqu'elle est excitée par un bruit large bande, fournira un champ acoustique diffus dans lequel la valeur de la moyenne des carrés de la pression acoustique moyennée dans le temps, est la même partout. En pratique, cependant, certains écarts par rapport à la situation idéale doivent être acceptés.

La nature du champ acoustique est telle que la contribution principale au niveau de pression acoustique est due à l'établissement des modes acoustiques résonnants dans la chambre. L'exigence la plus importante est que les modes acoustiques soient suffisamment nombreux et uniformément répartis en fréquence pour garantir que les résonances du spécimen sont excitées convenablement.

Il convient que les parois de la chambre assurent une faible transmission du bruit et que le rapport du volume de la chambre sur celui du spécimen soit généralement inférieur à environ 10 pour 1. Dans certaines circonstances, des rapports plus faibles que 10 pour 1 peuvent être acceptables mais il est nécessaire d'être prudent lors de l'évaluation des résultats de tels essais. Il convient que la distance entre une paroi de la chambre et le spécimen soit, si possible, supérieure à la moitié de la longueur d'onde de la plus basse fréquence considérée (voir Figure A.1).

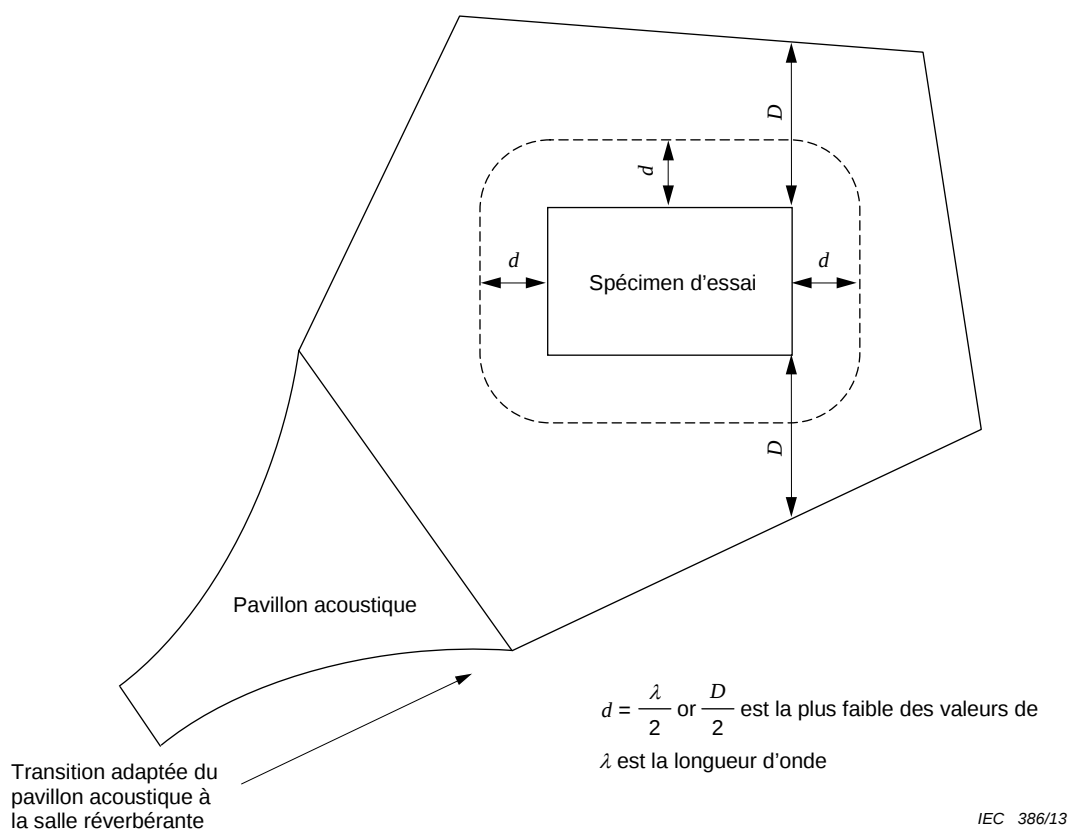


Figure A.1 – Emplacement typique de microphones autour d'un spécimen dans une chambre réverbérante

A.1.2 Volume de la chambre réverbérante

La relation entre la fréquence centrale de la bande d'octave la plus basse de l'épreuve et le volume exigé d'une chambre réverbérante est donnée dans le Tableau A.1. Si ces conditions sont satisfaites, des champs raisonnablement diffus sont obtenus, même dans la bande d'octave la plus basse pour l'essai.

Tableau A.1 – Relation entre bande d'octave et volume de la chambre

Fréquence centrale d'essai la plus basse (bande d'octave) Hz	Volume exigé pour la salle m ³
31,5	≥ 1 000
125	≥ 200
250	≥ 70
500	≥ 5

A.1.3 Forme de la chambre réverbérante

Il est recommandé que la chambre soit de forme irrégulière, c'est-à-dire qu'aucune paroi ne soit parallèle à une autre, y compris le sol et le plafond. Une bonne densité modale peut être obtenue dans une chambre ayant une section en forme de pentagone irrégulier avec un plafond incliné. Il convient que la source acoustique soit couplée à la chambre au moyen d'un pavillon acoustique dont le débouché occupe de préférence la section d'une paroi (voir Figure A.1).

Il convient que toutes les surfaces des chambres réverbérantes soient planes, sans concavités, afin de ne pas dégrader la diffusion de la chambre.

Une forme rectangulaire peut être utilisée avec succès si les proportions sont choisies de telle sorte qu'une distribution spatiale et fréquentielle optimale des modes de la chambre soit obtenue. Cette condition sera satisfaite si le rapport de n'importe lesquelles de deux dimensions n'égale pas ou n'est pas proche d'un entier. Les proportions 1: 2^{1/3}: 4^{1/3} sont fréquemment utilisées. Les autres rapports des dimensions des chambres rectangulaires qui ont été trouvés satisfaisants pour une chambre de volume voisin ou supérieur à 200 m³ sont donnés dans le Tableau A.2 (voir [5] et [6]).

Tableau A.2 – Rapports des dimensions, chambre réverbérante

Exemple	L_y / L_x	L_z / L_x
1	0,83	0,47
2	0,83	0,65
3	0,79	0,63
4	0,68	0,42
5	0,70	0,59

L_x , L_y et L_z sont les dimensions de la salle réverbérante dans les axes x, y et z.

Le champ acoustique d'une petite salle réverbérante peut être rendu plus diffus par l'introduction de surfaces réfléchissantes, résistantes à la fatigue, suspendues dans la salle et qui en fait en accroissent la surface. Il convient de noter que la taille des panneaux devrait être relativement petite comparée aux dimensions des parois de la salle afin de ne pas dégrader les propriétés à basse fréquence de la salle en la divisant effectivement en volume plus petits. Une autre méthode pour améliorer la diffusion du champ acoustique consiste à suspendre un objet tournant de forme irrégulière dans la salle de manière à changer

constamment les trajets de réflexion. Ces appareils sont particulièrement utiles lorsque l'essai à basse fréquence est requis.

Un autre point à noter est que cet essai à basse fréquence est souvent fondé sur des données expérimentales qui peuvent avoir été obtenues par des mesures en quelques emplacements ponctuels et peuvent être sujettes à des écarts-types élevés. Il convient que ces réserves soient présentes à l'esprit lorsqu'on réalisera des essais acoustiques à basse fréquence et que l'on évaluera les résultats obtenus.

A.1.4 Absorption d'une salle réverbérante

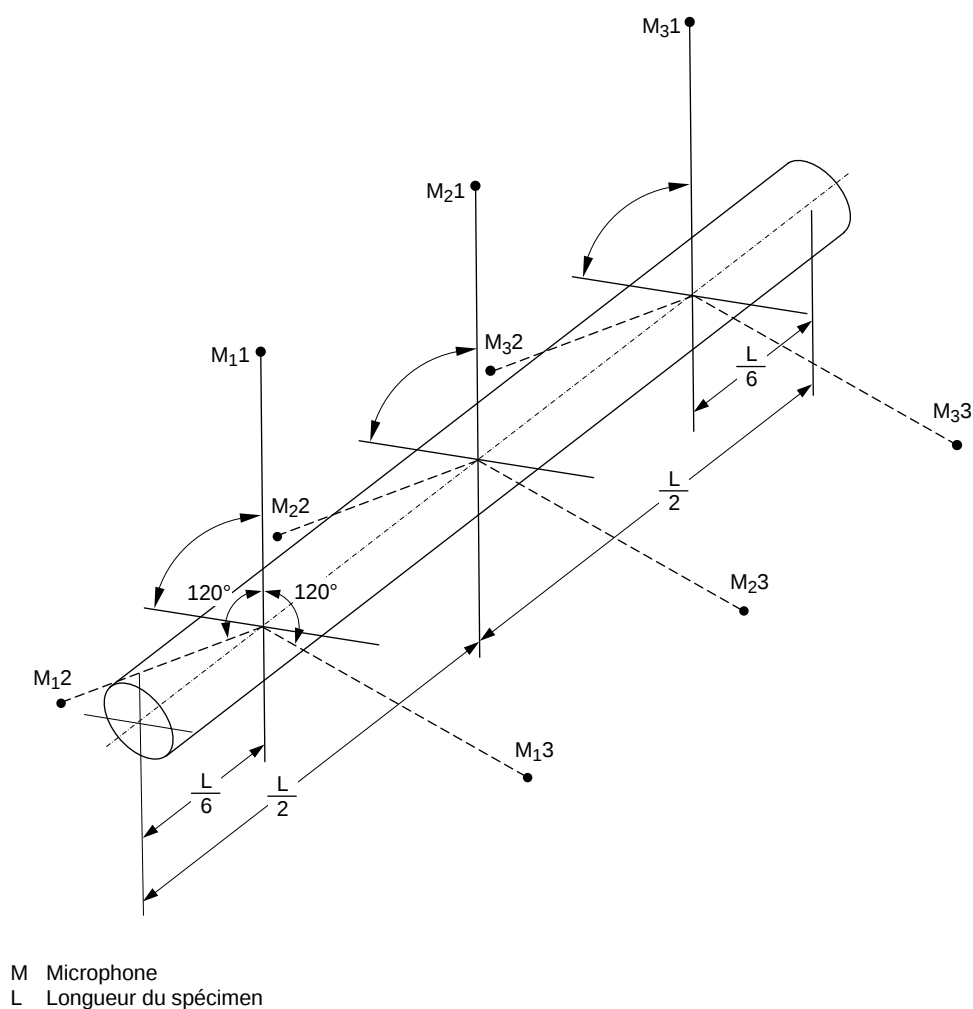
Il convient que le coefficient d'absorption acoustique des surfaces d'une salle réverbérante soit suffisamment faible pour assurer une longue durée de réverbération qui permette au champ acoustique réverbérant de s'établir. Il convient que le coefficient d'absorption acoustique moyen de toutes les surfaces de la salle réverbérante ne dépasse pas 0,06 dans la bande de fréquence concernée. Cela peut être atteint en concevant la salle avec des parois en métal ou en béton lisse, recouvertes d'une résine époxyde ou d'une peinture non absorbante. Lorsque les parois sont métalliques, il convient qu'elles soient suffisamment massives, rigides et fortement amorties de façon à ne pas résonner (sinon elles absorberaient de l'énergie) dans la bande de fréquence considérée.

A.1.5 Points de contrôle

Il convient que la distance entre un point de contrôle et la surface du spécimen soit telle qu'elle soit supérieure à la moitié de la longueur d'onde de la fréquence considérée la plus faible ou la moitié de la distance entre le spécimen et la paroi, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus faible. S'il est nécessaire de positionner un microphone plus près qu'une demi-longueur d'onde, il conviendra, lors de l'évaluation des résultats, de veiller à tenir compte des effets de réflexion sur le spécimen.

La Figure A.1 illustre le cas général d'arrangement des microphones autour du spécimen. La Figure 4 montre l'emplacement typique des points de contrôle sur une surface fictive entourant un spécimen. La Figure A.2 montre l'emplacement typique des microphones autour d'un spécimen cylindrique allongé. Dans tous les cas, il convient que les positions des microphones remplissent les exigences de l'essai.

Les exigences relatives à ces microphones sont données en 4.3.2. Il convient que leurs surfaces sensibles aient un diamètre ne dépassant pas 20 % de la longueur d'onde correspondant à la limite de la fréquence supérieure. Pour 10 kHz, un microphone de 6,35 mm (« $\frac{1}{4}$ de pouce») de diamètre est approprié.



IEC 387/13

Figure A.2 – Disposition type de point de contrôle de microphone autour d'un spécimen cylindrique long

A.2 Mise à l'essai du tube à ondes progressives

Dans un tube à ondes progressives, les ondes acoustiques se propagent le long du tube depuis la source acoustique. Si la surface de la section du tube est constante, le niveau de pression acoustique le long du tube est alors apparemment constant, mis à part des effets d'absorption d'énergie par le spécimen ou par les parois du tube. Il convient que le tube à ondes progressives soit terminé par un milieu acoustiquement absorbant, par exemple des coins en fibre de verre, dans le but d'éviter des réflexions de l'onde progressive vers l'arrière du tube. Lorsqu'il est couplé à la chambre réverbérante principale, il convient que de telles réflexions soient aussi évitées.

Le tube à ondes progressives est constitué d'un tube dont la forme de la section est destinée à s'adapter au spécimen d'essai, par exemple, elle est circulaire pour la plupart des soutes en aéronautique. L'énergie acoustique est injectée à une extrémité de ce tube via un cornet de couplage et l'autre extrémité est couplée à une terminaison acoustiquement absorbante. Toute l'énergie acoustique injectée dans la bande de fréquences sera ensuite absorbée dans la terminaison empêchant ainsi la formation d'ondes stationnaires. Cette configuration donne un flux de pression acoustique acceptable dans l'espace de travail du tube qui va se déplacer avec l'incidence rasante sur les surfaces exposées du spécimen.

Les spécimens peuvent être montés pour essais dans le tube, ou peuvent former le côté d'un tube à ondes progressives; ils sont ainsi exposés aux ondes qui se déplacent sur un côté

seulement. En alternative, ils peuvent être positionnés dans la section d'essai du tube pour simuler une exposition simultanée sur les deux côtés.

Le niveau de pression acoustique réalisable dans un tube à ondes progressives est supérieur à celui que l'on peut obtenir dans une chambre réverbérante pour une puissance acoustique égale en entrée. Le niveau obtenu dépend de la puissance acoustique de la source et de la surface de la section ainsi que de la forme du tube. Typiquement, des niveaux d'au moins 10 dB supérieurs à ceux obtenus dans de grandes salles peuvent être atteints.

Il faut que la construction de l'espace de travail inclue une masse suffisante et un amortissement tel que le spectre de bruit ne soit pas indûment affecté par les vibrations des surfaces intérieures de ses parois ou par les pertes de transmission à travers elles.

Pour un niveau d'essai de bruit acoustique donné, le diamètre de la conduite au niveau de l'espace de travail doit être équilibré par rapport à la puissance acoustique disponible et à la taille du spécimen d'essai. Typiquement, pour un spécimen d'essai nominale cylindrique, il convient que l'espace annulaire autour du spécimen soit compris entre 10 % et 25 % du diamètre du spécimen. Pour obtenir une répartition acceptable du bruit, il convient que l'espace autour du spécimen soit uniforme.

Pour les essais des assemblages de panneaux, il convient que la paroi de la conduite contienne le spécimen d'essai de telle manière que l'excitation d'incidence rasante soit appliquée sur toute la surface extérieure.

A.3 Essai de résonance des cavités

Quelques types de cavités qui pourraient être choisis pour des essais de résonance de cavité sont donnés ci-après.

Les compartiments d'avions ou les soutes qui s'ouvrent durant le vol peuvent exposer les cavités au flux d'air. Les ondes stationnaires s'établissent souvent aux fréquences de résonance de la cavité. Un autre exemple est la chambre de combustion à centre évidé d'une fusée à combustible solide. Au fur et à mesure que la fusée brûle, la cavité change en taille, peut résonner et produire de très forts niveaux de pression acoustique qui exciteront la structure de la fusée.

Les essais de résonance de cavité sont effectués sur des parties spécifiques de matériels et il vaut mieux les faire en utilisant une excitation sinusoïdale ou aléatoire à bande étroite accordée à la résonance de la cavité. Les essais sont généralement réalisés dans des installations d'essais acoustiques existantes, adaptées aux exigences.

Le spécimen peut être suspendu dans la chambre d'essai de telle façon que seules les cavités à soumettre aux essais soient soumises à l'impact direct de l'énergie acoustique. Il convient que les autres surfaces du spécimen soient protégées de manière à ce que les niveaux de pression acoustique sur leurs surfaces soient au moins de 20 dB plus bas. Il est recommandé que la position du microphone soit définie dans la spécification applicable; elle dépendra de la forme et du volume de la cavité ainsi que des modes de résonance attendus.

A.4 Mise à l'essai du tube à ondes stationnaires

Le tube à ondes stationnaires est un tube rigide et clos avec des dimensions latérales qui sont petites comparées à la longueur d'onde, si bien que des ondes stationnaires planes se produiront le long de l'axe. Dans un tube à ondes stationnaires, la source acoustique peut être couplée à une section d'essai par un pavillon acoustique. Le spécimen est monté à l'extrémité du tube opposée à la source acoustique. L'excitation se fait avec un son pur et la fréquence est ajustée sur l'une des fréquences naturelles de la longueur du tube. Si des

réglages à la fréquence du tube sont nécessaires, des dispositions doivent être prises pour permettre de faire varier la longueur du tube.

Des exemples d'usage de tubes à ondes stationnaires sont

- le développement d'absorbants acoustiques pour utilisation dans des réacteurs nucléaires refroidis au gaz, à de très forts niveaux de pression acoustique de l'ordre de 165 dB,
- l'évaluation de panneaux de fibre de carbone pour l'utilisation dans les protections d'entrée d'air de moteurs à réaction,
- la mesure des caractéristiques d'absorption d'absorbants à large bande ou accordés.

Il convient de noter que ces tubes sont en général de petits appareils pour essayer de petits échantillons de matériaux, pour développer des absorbants spéciaux ou autres.

A.5 Sélection du type de modulateur acoustique

A.5.1 Généralités

L'essai de fatigue induite acoustiquement a été tout d'abord étudié en utilisant le gaz d'échappement d'un moteur à réaction comme source d'énergie acoustique. Cela était très coûteux et très limitatif.

Au fur et à mesure de l'évolution des demandes pour l'environnement acoustique, un certain nombre de concepts de sources acoustiques a été utilisé. Les sources qui ont reçu la plus grande attention dans la construction de moyens d'essais acoustiques sont données dans le Tableau A.3 et résumées ci-après.

A.5.2 Modulateurs électropneumatiques

Les modulateurs électropneumatiques sont probablement les systèmes les plus largement utilisés pour générer un bruit à forte intensité pour l'utilisation en laboratoire. Ils fournissent une méthode pilotable pour générer des niveaux élevés de puissance acoustique en modulant un fort débit volumique de gaz sous faible pression. Ils peuvent être utilisés pour générer des vibrations acoustiques quasi sinusoïdales ou aléatoires et sont disponibles avec de fortes puissances acoustiques de sortie; par exemple, des modulateurs avec des sorties jusqu'à 30 000 W acoustiques sont utilisés.

A.5.3 Modulateurs électrohydrauliques

Des modulateurs électrohydrauliques sont disponibles pour générer un bruit à très forte intensité pour l'utilisation en laboratoire. Ils fournissent une méthode pilotable pour générer des niveaux élevés de puissance acoustique en modulant un fort débit volumique de gaz sous faible pression. Ils peuvent être utilisés pour générer des vibrations acoustiques quasi sinusoïdales ou aléatoires et sont disponibles avec de fortes puissances acoustiques de sortie, jusqu'à 200 000 W acoustiques.

A.5.4 Haut-parleurs électrodynamiques

Des haut-parleurs à radiation directe peuvent être utilisés pour des recherches à faible niveau acoustique et pour réaliser des essais de réponse en fréquence et des mesures de caractéristiques de chambres, etc. Ils sont relativement bon marché, faciles à piloter et produisent aussi du bruit pilotable sur une large bande de fréquences. Typiquement, les haut-parleurs ont une limite supérieure d'environ 10 W acoustiques.

A.5.5 Sirènes large bande

Les sirènes large bande fournissent aussi des moyens relativement peu chers pour produire du bruit sinusoïdal ou pseudo-aléatoire avec des niveaux intermédiaires de puissance acoustique. Les sirènes sont alimentées avec de faibles volumes d'air comprimé sous faible

pression et produisent typiquement des niveaux de bruit d'environ 5 000 W acoustiques. Elles sont utilisées pour réaliser un environnement acoustique d'endurance sur de longues durées avec un spectre de sortie adapté à des applications spécifiques.

A.5.6 Jets de gaz

Des jets de gaz dirigés peuvent être utilisés pour produire du bruit aléatoire à forte intensité et à haute fréquence. Cette méthode de génération du bruit était initialement utilisée par les laboratoires avant que les générateurs acoustiques pilotables à haut niveau de puissance acoustique ne fussent développés. Les jets de gaz ont les désavantages de nécessiter de grands volumes de gaz comprimé et de ne pas pouvoir être facilement pilotés.

Tableau A.3 – Exemples de sources acoustiques avec formes d'ondes et puissances de sortie typiques

Source acoustique	Formes d'onde et puissance de sortie typiques
Modulateurs électropneumatiques	Quasi-sinusoïdale ou aléatoire; forte puissance, jusqu'à 30 000 W
Modulateurs électrohydrauliques	Quasi-sinusoïdale ou aléatoire; très forte puissance, jusqu'à 200 000 W
Haut-parleurs électrodynamiques	Sinusoïdale ou aléatoire; faible puissance, environ 5 000 W
Sirènes large bande	Sinusoïdale ou pseudo-aléatoire; puissance intermédiaire, environ 5 000 W
Jets de gaz	haute fréquence aléatoire; faible puissance

A.6 Sévérités

Quelques valeurs typiques du niveau global de pression acoustique et des durées d'exposition pour différentes applications sont données dans le Tableau A.4. Il convient de les utiliser si les données d'essais réelles provenant d'applications équivalentes ne sont pas disponibles. Cependant, dans tous les cas, y compris les applications industrielles, la spécification applicable devra prendre en compte toute l'information disponible.

Tableau A.4 – OASPL typique et durées d'exposition

Application	OASPL dB	Durée d'exposition min	Spectre acoustique Figure
Machinerie industrielle bruyante	120	60	3
Ventilateur de forte puissance	120	60	2
Sortie de turbine à gaz industrielle après les silencieux	120	60	1
Emplacements généraux dans les avions	130	60	1
Dans les circuits de gaz industriels	130	60	^a
Emplacements d'équipement dans les avions, sortie de turbine à gaz industrielle sans silencieux	140	30	1
Véhicules spatiaux et composants de véhicules spatiaux	145	1	Spécifique
Près des sources de bruit dans les avions	150	30	1
A l'intérieur des circuits de gaz dans les centrales nucléaires	150	30	^a
Réservoirs externes pour les avions	160	30	1
A l'intérieur de circuits de gaz près des circulateurs	160	30	^a
Équipement dans le voisinage des moteurs de fusée ou des propulseurs d'appoints	170	2	1
^a N'utiliser que les données déduites ou mesurées pour une application particulière.			

En accord avec le Tableau A.4, il convient que la spécification applicable définisse clairement si le niveau global de pression acoustique représente un niveau opérationnel ou si, par exemple, il a été accru dans d'autres buts.

A.7 Epreuve accélérée

L'approche de l'épreuve accélérée, c'est-à-dire un niveau accru pour une durée diminuée, emploie une augmentation progressive du niveau de pression acoustique au-dessus du niveau d'exposition opérationnel produit durant le cycle de fonctionnement acoustique qui est la durée réelle à laquelle les matériels sont exposés à un bruit significatif durant leur utilisation normale. La base de l'épreuve accélérée est la courbe de fatigue (S-N) du cycle de contraintes pour la structure. Par exemple, pour un cycle de fonctionnement de 100 h et utilisant les données de fatigue de cycle de contraintes pour le spécimen, le niveau de pression acoustique de l'essai pourrait être accru et la durée de l'essai réduite à, par exemple, 10 h.

NOTE «Le cycle de fonctionnement» est défini dans la VEI 151-16-02 [6], comme «séquence spécifiée de conditions de fonctionnement».

Il a été démontré de manière répétée que les dommages initiaux de fatigue d'une structure surviennent généralement dans un mode résonant à forte contrainte. Cette approche nécessite donc une investigation initiale pour déterminer quel(s) mode(s) résonant(s) il convient de surveiller durant l'épreuve d'endurance acoustique.

Lorsque la pression acoustique d'essai dépasse la pression opérationnelle, on doit s'assurer qu'une relation linéaire est maintenue entre la pression appliquée et la contrainte de la structure en résultant. Le niveau pour lequel une relation non linéaire est évidente marque la limite pour laquelle l'épreuve d'endurance acoustique peut être accélérée. Cette indication de non-linéarité entre la pression et la contrainte montre que la distribution des contraintes sur le composant structurel a été modifiée par rapport au niveau acoustique opérationnel; cela peut conduire à un type de défaillance différent et invalider les résultats d'essais.

La surveillance des réponses des jauges de contrainte à la résonance par des filtres de poursuite à bande étroite durant l'épreuve d'endurance permet une détection précoce d'un défaut naissant. L'expérience a montré qu'un défaut commencera à se développer lorsqu'il y aura un glissement (habituellement une décroissance) dans la fréquence de résonance surveillée. De plus, il est vraisemblable que davantage de puissance sera nécessaire pour maintenir le niveau de contrainte. C'est alors le moment d'interrompre l'épreuve et d'examiner le spécimen.

A.8 Précision statistique

La précision statistique est déterminée à partir des degrés de liberté statistiques N_d et du niveau de confiance. Les degrés de liberté statistiques sont donnés par:

$$N_d = 2B_e \times T_a$$

où

B_e est la résolution de fréquence;

T_a est la durée réelle sur laquelle est calculée la moyenne.

N_d ne doit pas être inférieur à 120 DOF, sauf indication contraire dans la spécification applicable. Si la spécification applicable indique des niveaux de confiance à satisfaire pendant l'essai, il convient de les utiliser pour calculer la précision statistique.

Bibliographie

Références citées

- [1] CEI 60050-801:1994, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 801: Acoustique et électroacoustique*
- [2] ISO 266, *Acoustique – Fréquences normales pour les mesurages*
- [3] ISO 2671, *Essais en environnement pour les équipements aéronautiques – Partie 3-4: Vibrations acoustiques*
- [4] BERANEK, L.L, *Noise reduction*, McGraw/Hill, 1960
- [5] SEPMEYER, L.W., *The computed frequency and angular distribution of the normal modes of vibration in rectangular rooms*, JASA, March 1965
- [6] PUJOLLE, J., *Les meilleures dimensions d'une salle rectangulaire*, Revue d'Acoustique, No. 52, 1980
- [7] CEI 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

Références non-citées

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

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

BENDAT, J.S. and PIERSOL, A.G., *Measurement and analysis of random data*, Wiley, 1966

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch