

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Wind turbines –
Part 11: Acoustic noise measurement techniques**

**Éoliennes –
Partie 11: Techniques de mesure du bruit acoustique**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-11:2012



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Wind turbines –
Part 11: Acoustic noise measurement techniques**

**Éoliennes –
Partie 11: Techniques de mesure du bruit acoustique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-6321-1

**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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 Symbols and units	12
5 Outline of method	13
6 Instrumentation	14
6.1 Acoustic instruments	14
6.1.1 General	14
6.1.2 Equipment for the determination of the equivalent continuous A-weighted sound pressure level.....	14
6.1.3 Equipment for the determination of A-weighted 1/3-octave band spectra	14
6.1.4 Equipment for the determination of narrow band spectra	14
6.1.5 Microphone with measurement board and windscreen	14
6.1.6 Acoustical calibrator	16
6.1.7 Data recording/playback systems	16
6.2 Non-acoustic Instruments	16
6.2.1 General	16
6.2.2 Anemometers	16
6.2.3 Electric power transducer	17
6.2.4 Other instrumentation	17
6.3 Traceable calibration	17
7 Acoustic measurements and measurement procedures	17
7.1 Acoustic measurement positions	17
7.2 Acoustic measurements	20
7.2.1 General	20
7.2.2 Acoustic measurement requirements	20
7.2.3 A-weighted sound pressure level	21
7.2.4 A-weighted 1/3-octave band measurements.....	21
7.2.5 A-weighted narrow band measurements	21
7.2.6 Optional acoustic measurements at positions 2, 3 and 4.....	21
7.2.7 Other optional measurements	21
8 Non-acoustic measurements	21
8.1 General	21
8.2 Wind speed measurements	22
8.2.1 Determination of the wind speed during wind turbine operation.....	22
8.2.2 Wind speed measurements during background noise measurements.....	23
8.3 Downwind direction	24
8.4 Other atmospheric conditions	24
8.5 Rotor speed and pitch angle measurement.....	24
9 Data reduction procedures.....	24
9.1 General methodology for sound power levels and 1/3-octave band levels.....	24
9.2 Calculation of sound pressure levels	27
9.2.1 General	27

9.2.2	Calculation of average sound spectra and uncertainty per bin	27
9.2.3	Calculation of average wind speed and uncertainty per bin	29
9.2.4	Calculation of noise levels at bin centres including uncertainty	30
9.3	Apparent sound power levels	31
9.4	Apparent sound power levels with reference to wind speed in 10 m height	32
9.5	Tonal audibility	33
9.5.1	General methodology for tonality	33
9.5.2	Identifying possible tones	34
9.5.3	Classification of spectral lines within the critical band	34
9.5.4	Identified tone	37
9.5.5	Determination of the tone level	37
9.5.6	Determination of the masking noise level	37
9.5.7	Determination of tonality	37
9.5.8	Determination of audibility	38
9.5.9	Background noise	38
10	Information to be reported	39
10.1	General	39
10.2	Characterisation of the wind turbine	39
10.3	Physical environment	39
10.4	Instrumentation	40
10.5	Acoustic data	40
10.6	Non-acoustic data	41
10.7	Uncertainty	41
Annex A (informative)	Other possible characteristics of wind turbine noise emission and their quantification	42
Annex B (informative)	Assessment of turbulence intensity	44
Annex C (informative)	Assessment of measurement uncertainty	45
Annex D (informative)	Apparent roughness length	47
Annex E (informative)	Characterization of a secondary wind screen	49
Annex F (normative)	Small wind turbines	53
Annex G (informative)	Air absorption	57
Bibliography		58
Figure 1	– Mounting of the microphone	15
Figure 2	– Picture of microphone and measurement board	16
Figure 3	– Standard pattern for microphone measurement positions (plan view)	18
Figure 4	– Illustration of the definitions of R_0 and slant distance R_1	19
Figure 5	– Acceptable meteorological mast position (hatched area)	22
Figure 6	– Flowchart showing the data reduction procedure	26
Figure 7	– Flowchart for determining tonal audibility for each wind speed bin	33
Figure 8	– Illustration of $L_{70} \%$ level in the critical band	35
Figure 9	– Illustration of lines below the $L_{70} \% + 6$ dB criterion	36
Figure 10	– Illustration of $L_{pn,avg}$ level and lines classified as masking	36
Figure 11	– Illustration of classifying all spectral lines	37
Figure E.1	– Example 1 of a secondary wind screen	50
Figure E.2	– Example 2 of secondary wind screen	51

Figure E.3 – Example on insertion loss from Table E.1	52
Figure F.1 – Allowable region for meteorological mast position as a function of β – Plan view	54
Figure F.2 – Example immission noise map	56
Figure G.1 – Example of 1/3-octave spectrum.....	57
Table C.1 – Examples of possible values of type B uncertainty components relevant for apparent sound power spectra	46
Table C.2 – Examples of possible values of type B uncertainty components for wind speed determination relevant for apparent sound power spectra	46
Table D.1 – Roughness length	47
Table E.1 – Example on reporting of insertion loss.....	51

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-11:2012

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WIND TURBINES –

Part 11: Acoustic noise measurement techniques

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 61400-11 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind turbines.

This third edition of IEC 61400-11 cancels and replaces the second edition published in 2002 and its Amendment 1 (2006). It constitutes a technical revision, introducing new principles for data reduction procedures.

This bilingual version (2019-01) corresponds to the monolingual English version, published in 2012-11.

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

FDIS	Report on voting
88/436/FDIS	88/440/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.

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts of the IEC 61400 series, under the general title *Wind turbines*, can be found on the IEC website.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-11:2012

INTRODUCTION

The purpose of this part of IEC 61400 is to provide a uniform methodology that will ensure consistency and accuracy in the measurement and analysis of acoustical emissions by wind turbine generator systems. This International Standard has been prepared with the anticipation that it would be applied by:

- wind turbine manufacturers striving to meet well defined acoustic emission performance requirements and/or a possible declaration system (e.g. IEC/TS 61400-14);
- wind turbine purchasers for specifying performance requirements;
- wind turbine operators who may be required to verify that stated, or required, acoustic performance specifications are met for new or refurbished units;
- wind turbine planners or regulators who must be able to accurately and fairly define acoustical emission characteristics of a wind turbine in response to environmental regulations or permit requirements for new or modified installations.

This standard provides guidance in the measurement, analysis and reporting of complex acoustic emissions from wind turbine generator systems. The standard will benefit those parties involved in the manufacture, installation, planning and permitting, operation, utilization, and regulation of wind turbines. The measurement and analysis techniques recommended in this document should be applied by all parties to ensure that continuing development and operation of wind turbines is carried out in an atmosphere of consistent and accurate communication relative to environmental concerns. This standard presents measurement and reporting procedures expected to provide accurate results that can be replicated by others.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-11:2012

WIND TURBINES –

Part 11: Acoustic noise measurement techniques

1 Scope

This part of IEC 61400 presents measurement procedures that enable noise emissions of a wind turbine to be characterised. This involves using measurement methods appropriate to noise emission assessment at locations close to the machine, in order to avoid errors due to sound propagation, but far away enough to allow for the finite source size. The procedures described are different in some respects from those that would be adopted for noise assessment in community noise studies. They are intended to facilitate characterisation of wind turbine noise with respect to a range of wind speeds and directions. Standardisation of measurement procedures will also facilitate comparisons between different wind turbines.

The procedures present methodologies that will enable the noise emissions of a single wind turbine to be characterised in a consistent and accurate manner. These procedures include the following:

- location of acoustic measurement positions;
- requirements for the acquisition of acoustic, meteorological, and associated wind turbine operational data;
- analysis of the data obtained and the content for the data report; and
- definition of specific acoustic emission parameters, and associated descriptors which are used for making environmental assessments.

This International Standard is not restricted to wind turbines of a particular size or type. The procedures described in this standard allow for the thorough description of the noise emission from a wind turbine. A method for small wind turbines is described in Annex F.

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 60688, *Electrical measuring transducers for converting a.c. electrical quantities to analogue or digital signals*

IEC 60942:2003, *Electroacoustics – Sound calibrators*

IEC 61260:1995, *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters*

IEC 61400-12-1:2005, *Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines*

IEC 61400-12-2, *Wind turbines – Part 12-2: Power performance verification of electricity producing wind turbines*¹

¹ To be published.

IEC 61672 (all parts), *Electroacoustics – Sound level meters*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Terms and definitions

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

3.1

apparent sound power level

L_{WA}

A-weighted sound power level re. 1 pW of a point source at the rotor centre with the same emission in the downwind direction as the wind turbine being measured, L_{WA} is determined at bin centre wind speeds at hub height

Note 1 to entry: Apparent sound power level is expressed in dB re. 1 pW.

3.2

apparent sound power level with reference to wind speed at 10 m height

$L_{WA,10m}$

A-weighted sound power level re. 1 pW of a point source at the rotor centre with the same emission in the downwind direction as the wind turbine being measured, $L_{WA,10m}$ are determined at bin centre wind speeds at 10 m height within the measured wind speed range

Note 1 to entry: Apparent sound power level with reference to wind speed at 10 m height is expressed in dB re. 1 pW.

3.3

audibility criterion

L_a

frequency dependent criterion curve determined from listening tests, and reflecting the subjective response of a “typical” listener to tones of different frequencies

Note 1 to entry: Audibility criterion is expressed in dB re. 20 µPa.

3.4 sound pressure levels

3.4.1 A-weighted sound pressure levels

L_A

sound pressure levels measured with the A frequency weighting networks specified in IEC 61672

Note 1 to entry: A-weighted sound pressure levels are expressed in dB re. 20 µPa.

3.4.2 C-weighted sound pressure levels

L_C

sound pressure levels measured with the C frequency weighting networks specified in IEC 61672

Note 1 to entry: C-weighted sound pressure levels are expressed in dB re. 20 µPa.

3.5

bin centre

centre value of a wind speed bin

3.6 inclination angle

ϕ

angle between the plane of the measurement board and a line from the microphone to the rotor centre

Note 1 to entry: Inclination angle is expressed in °.

3.7 maximum power

maximum value of the binned power curve for the power optimised mode of operation

Note 1 to entry: Maximum power is expressed in kW.

3.8 measured wind speed at height Z

$V_{Z,m}$

wind speed measured at height Z with a mast mounted anemometer

Note 1 to entry: Measured wind speed at height Z is expressed in m/s.

3.9 measured nacelle wind speed at hub height

$V_{nac,m}$

wind speed measured at hub height with a nacelle anemometer

Note 1 to entry: Measured nacelle wind speed at hub height is expressed in m/s.

3.10 normalised nacelle wind speed at hub height

$V_{nac,n}$

normalised wind speed measured at hub height with a nacelle anemometer corrected to standard meteorological conditions

Note 1 to entry: Normalised nacelle wind speed at hub height is expressed in m/s.

3.11 normalised wind speed derived from power curve

$V_{P,n}$

normalised wind speed derived from power curve under standard meteorological conditions

Note 1 to entry: Normalised wind speed derived from power curve is expressed in m/s.

3.12 normalised wind speed at hub height during background noise measurements

$V_{B,n}$

normalised wind speed at hub height from anemometer

Note 1 to entry: Normalised wind speed at hub height during background noise measurements is expressed in m/s.

3.13 normalised wind speed at hub height

$V_{H,n}$

normalised wind speed at hub height

Note 1 to entry: Normalised wind speed at hub height is expressed in m/s.

3.14 normalised wind speed at height Z

$V_{Z,n}$

normalised wind speed at height Z from mast mounted anemometer

Note 1 to entry: Normalised wind speed at height Z is expressed in m/s.

3.15

reference distance

R_0

nominal horizontal distance from the centre of the base of the wind turbine to each of the prescribed microphone positions

Note 1 to entry: Reference distance is expressed in m.

3.16

reference roughness length

$z_{0\text{ref}}$

roughness length of 0,05 m used for converting wind speed to meteorological reference conditions

Note 1 to entry: Reference roughness length is expressed in m.

3.17

sound pressure level

L_p

10 times the $\log_{10}$ of the ratio of the square mean sound pressure to the square of the reference sound pressure of 20 μPa

Note 1 to entry: Sound pressure level is expressed in dB re. 20 μPa .

3.18

tonal audibility

$\Delta L_{a,k}$

difference between the tonality and the audibility criterion in each wind speed bin, where k is the centre value of the wind speed bin

Note 1 to entry: Tonal audibility is expressed in dB.

3.19

tonality

ΔL_k

difference between the tone level and the level of the masking noise in the critical band around the tone in each wind speed bin where k is the centre value of the wind speed bin

Note 1 to entry: Tonality is expressed in dB.

3.20

wind speed bin

wind speed interval, 0,5 m/s wide, centred around integer and half-integer wind speeds open at the low end, and closed at the high end

3.21

wind speed at 10 m height

V_{10}

wind speed at 10 m height for reporting apparent sound power levels and spectra with reference to 10 m height

Note 1 to entry: Wind speed at 10 m height is expressed in m/s.

4 Symbols and units

D	rotor diameter (horizontal axis turbine) or equatorial diameter (vertical axis turbine)	(m)
H	height of rotor centre (horizontal axis turbine) or height of rotor equatorial plane (vertical axis turbine) above local ground near the wind turbine	(m)
L_A or L_C	A or C-weighted sound pressure level	(dB)
L_{Aeq}	equivalent continuous A-weighted sound pressure level	(dB)
$L_{pn,j,k}$	sound pressure level of masking noise within a critical band in the " j^{th} " spectra at the " k^{th} " wind speed bin	(dB)
$L_{pn,avg,j,k}$	average of analysis bandwidth sound pressure levels of masking noise in the " j^{th} " spectra at the " k^{th} " wind speed bin	(dB)
$L_{pt,j,k}$	sound pressure level of the tone or tones in the " j^{th} " spectra at the " k^{th} " wind speed bin	(dB)
$L_{WA,k}$	apparent sound power level, where k is a wind speed bin centre value	(dB)
log	logarithm to base 10	
P_m	measured electric power	(kW)
P_n	normalised electric power	(kW)
R_1	slant distance, from rotor centre to actual measurement position	(m)
R_0	reference distance	(m)
S_0	reference area, $S_0 = 1 \text{ m}^2$	(m ²)
T_C	air temperature	(°C)
T_K	absolute air temperature	(K)
U_A	type A uncertainty	(-)
U_B	type B uncertainty	(-)
V_H	wind speed at hub height, H	(m/s)
V_P	derived wind speed from power curve	(m/s)
V_z	wind speed at height, z	(m/s)
V_{nac}	wind speed from nacelle anemometer	(m/s)
f	frequency of the tone	(Hz)
f_c	centre frequency of critical band	(Hz)
p	atmospheric pressure	(kPa)
z_0	roughness length	(m)
z_{0ref}	reference roughness length, 0,05 m	(m)

z	anemometer height	(m)
κ	ratio of normalised wind speed and measured wind speed	(-)
$\Delta L_{tn,j,k}$	tonality of the “ j^{th} ” spectra at “ k^{th} ” wind speed	(dB)
ϕ	inclination angle	(°)

5 Outline of method

This part of IEC 61400 defines the procedures to be used in the measurement, analysis and reporting of acoustic emissions of a wind turbine. Instrumentation and calibration requirements are specified to ensure accuracy and consistency of acoustic and non-acoustic measurements. Non-acoustic measurements required defining the atmospheric conditions relevant to determining the acoustic emissions are also specified. All parameters to be measured and reported are identified, as are the data reduction methods required for obtaining these parameters.

Application of the method described in this International Standard provides the apparent A-weighted sound power levels, spectra, and tonal audibility at bin centre wind speeds at hub height and 10 m height of an individual wind turbine. The tonal audibility is included to give information on the presence of tones in the noise. The tonality determined is not giving information on the tonality at other distances. Optionally, measurements can be made in supplementary positions to give information on the directional characteristics.

The method applies to all wind speeds. The wind speed range for documentation is related to the specific wind turbine. As a minimum it is defined as the hub height wind speed from 0,8 to 1,3 times the wind speed at 85 % of maximum power rounded to bin centres. Indicatively, this is a wind speed range of approximately 6 to 10 m/s at 10 m height, depending on the turbine type. The wind speed range may be expanded for instance to comply with national requirements.

The measurements are made at locations close to the turbine in order to minimise the influence of terrain effects, atmospheric conditions or wind-induced noise. To account for the size of the wind turbine under test, a reference distance R_0 based on the wind turbine dimensions is used.

Measurements are taken with a microphone positioned on a measurement board placed on the ground to reduce the wind noise generated at the microphone and to minimise the influence of different ground types.

Measurements of sound pressure levels, sound pressure spectra, wind speeds, electrical power, rotor rotational speed and, if measured, pitch angle are made simultaneously over short periods of time and over a wide range of hub height wind speeds. The sound pressure levels and spectra at bin centre wind speeds are determined and used for calculating the apparent A-weighted sound power spectra and levels.

Annexes are included that cover:

- other possible characteristics of wind turbine noise emission and their quantification (Annex A informative);
- assessment of turbulence intensity (Annex B informative);
- assessment of measurement uncertainty (Annex C informative);
- apparent roughness length (Annex D informative);
- classification of a secondary wind screen (Annex E informative);
- small wind turbines (Annex F normative);

- air absorption (Annex G informative).

6 Instrumentation

6.1 Acoustic instruments

6.1.1 General

The following equipment is necessary to perform the acoustic measurements as set forth in this standard.

6.1.2 Equipment for the determination of the equivalent continuous A-weighted sound pressure level

The equipment shall meet the requirements of an IEC 61672 class 1 sound level meter. The diameter of the microphone diaphragm shall be no greater than 13 mm.

6.1.3 Equipment for the determination of A-weighted 1/3-octave band spectra

In addition to the requirements given for class 1 sound level meters, the equipment shall have a constant frequency response over at least the frequency range given by the 1/3-octave bands with centre frequencies from 20 Hz to 10 kHz. The filters shall meet the requirements of IEC 61260 for class 1 filters.

The equivalent A-weighted continuous sound pressure levels in 1/3-octave bands with centre frequencies from 20 Hz to 10 kHz shall be determined simultaneously.

6.1.4 Equipment for the determination of narrow band spectra

The equipment shall fulfil the relevant requirements for IEC 61672 series class 1 instrumentation in the 20 Hz to 11 200 Hz frequency range.

6.1.5 Microphone with measurement board and windscreen

The microphone shall be mounted at the centre of a flat hard board with the diaphragm of the microphone in a plane normal to the board and with the axis of the microphone pointing towards the wind turbine as in Figure 1 and Figure 2. The measurement board shall be circular with a diameter of at least 1,0 m and made from material that is acoustically hard, such as plywood or hard chip-board with a thickness of at least 12,0 mm or metal with a thickness of at least 2,5 mm. In the exceptional case that the board is split (i.e. not in one piece) there are considerations; the pieces shall be level within the same plane, the gap less than 1 mm, and the split shall be off the centre line and parallel with the microphone axis as shown in Figure 1a.

The windscreen to be used with the ground-mounted microphone shall consist of a primary and, where necessary, a secondary windscreen. The primary windscreen shall consist of one half of an open cell foam sphere with a diameter of approximately 90 mm, which is centred around the diaphragm of the microphone, as in Figure 2.

The secondary windscreen may be used when it is necessary to obtain an adequate signal-to-noise ratio at low frequencies in high winds.

If the secondary windscreen is used, the influence of the secondary windscreen on the frequency response shall be documented and corrected for in 1/3-octave bands. A procedure for calibration of the secondary windscreen can be found in Annex E together with suggestions for design and demands on the insertion loss.

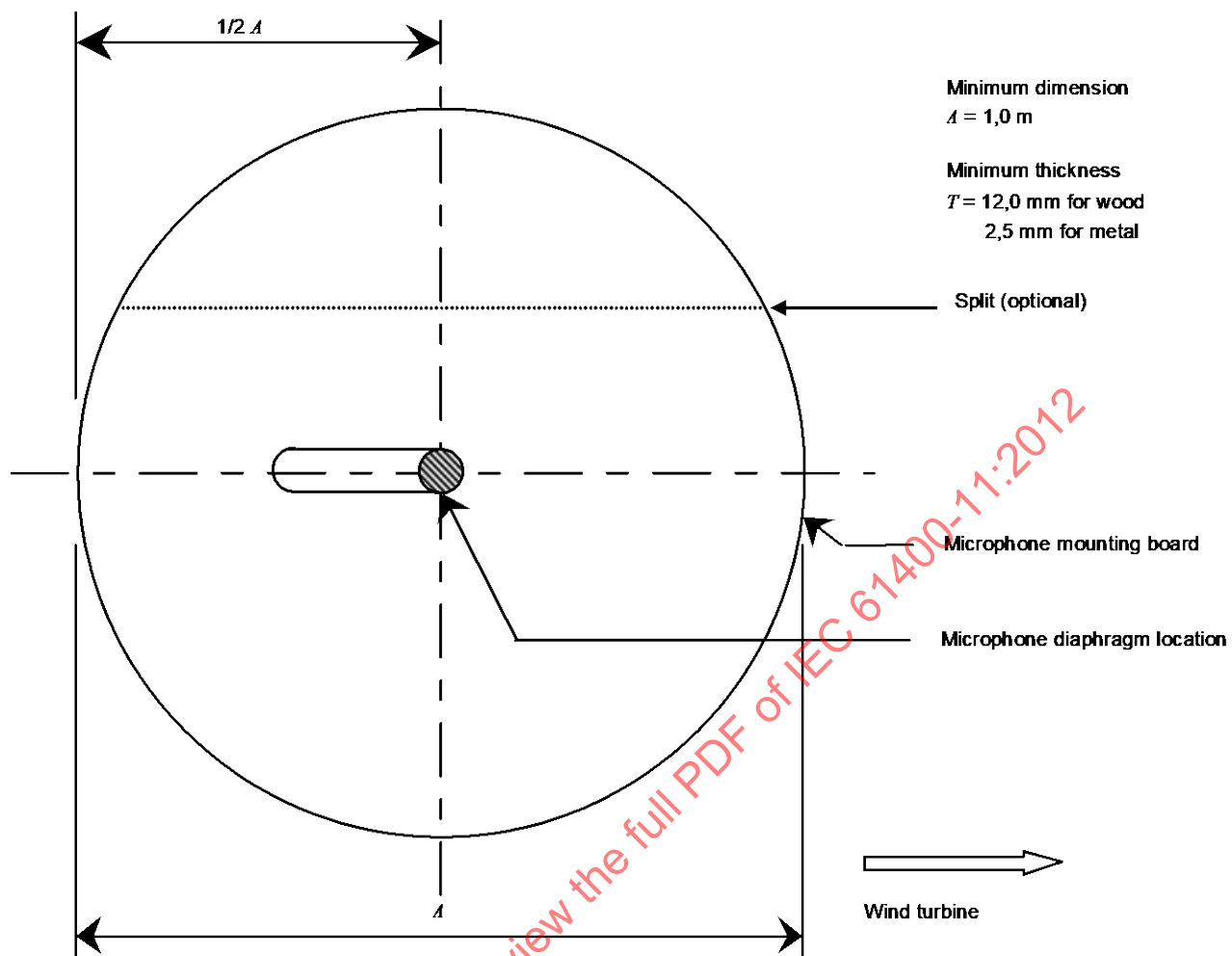


Figure 1a – Mounting of the microphone – Plan view

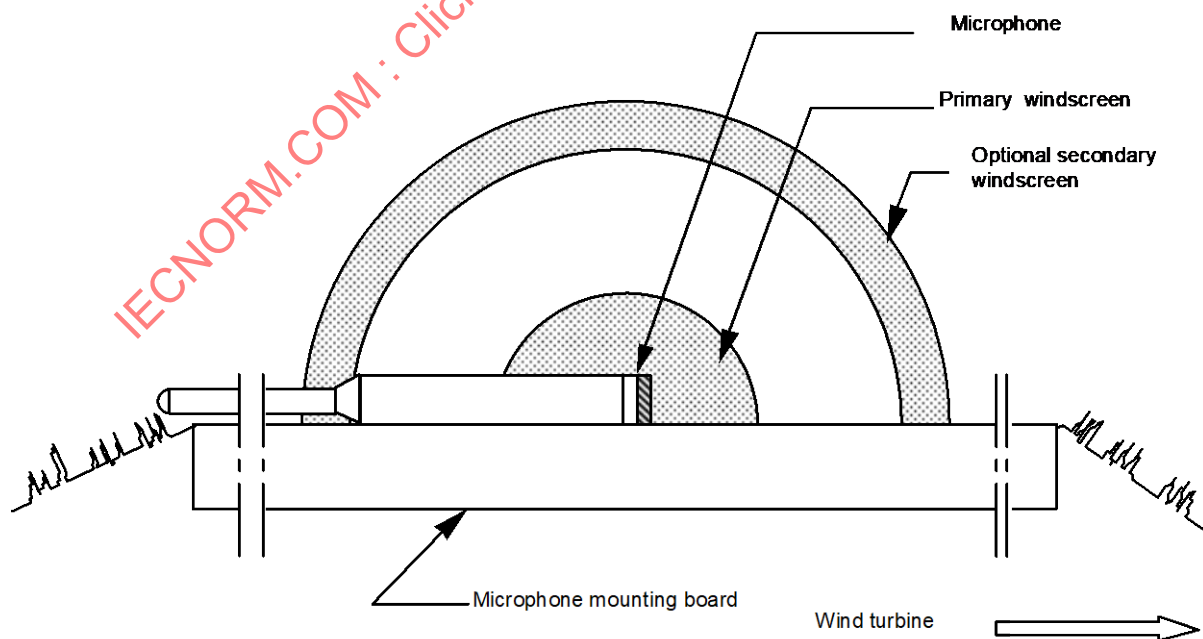


Figure 1b – Mounting of the microphone – Vertical cross-section

Figure 1 – Mounting of the microphone



Figure 2 – Picture of microphone and measurement board

6.1.6 Acoustical calibrator

The complete sound measurement system, including any recording, data logging or computing systems, shall be calibrated immediately before and after the measurement session at one or more frequencies using an acoustical calibrator on the microphone. The calibrator shall fulfil the requirements of IEC 60942:2003 class 1, and shall be used within its specified environmental conditions.

6.1.7 Data recording/playback systems

A data recording/playback system is a required part of the measurement instrumentation. If used for analysis (other than re-listening), the entire chain of measurement instruments shall fulfil the relevant requirements of IEC 61672 series, for class 1 instrumentation.

6.2 Non-acoustic Instruments

6.2.1 General

The following equipment is necessary to perform the non-acoustic measurements set forth in this standard.

6.2.2 Anemometers

The mast mounted anemometer and its signal processing equipment shall have a maximum deviation from the calibration value of $\pm 0,2$ m/s in the wind speed range from 4 m/s to 12 m/s. It shall be capable of measuring the average wind speed over time intervals synchronized with the acoustic measurements.

Because the nacelle anemometer is calibrated in-situ (8.2.1.2) during measurements, the demand for calibration does not apply to the nacelle anemometer. The measurements from the nacelle anemometer may be supplied from the wind turbine control system. The nacelle anemometer shall not be used for background noise measurements.

6.2.3 Electric power transducer

The electric power transducer, including current and voltage transformers, shall meet the accuracy requirements of IEC 60688 class 1. If a calibrated system is not available for the power signal, an additional uncertainty of the electrical power shall be included. The power signal may be supplied by the manufacturer if the uncertainty of the measurement chain can be documented by a detailed description of the entire power measurement chain and the corresponding uncertainty components.

6.2.4 Other instrumentation

A camera and instruments to measure distance are required. The temperature shall be measured with an accuracy of ± 1 °C. The atmospheric pressure shall be measured with an accuracy of ± 1 kPa.

6.3 Traceable calibration

The following equipment shall be checked regularly and be calibrated with traceability to a national or primary standards laboratory. The maximum time from the last calibration shall be as stated for each item of equipment:

- acoustic calibrator (12 months);
- microphone (24 months);
- integrating sound level meter (24 months);
- spectrum analyzer (36 months);
- data recording/playback system (24 months), if used for analysis;
- anemometer (24 months);
- electric power transducer (24 months);
- temperature transducer (24 months);
- atmospheric pressure transducer (24 months).

Where temperature and atmospheric pressure measurements are made only to give general information about the meteorological conditions during the measurement, an internal verification of the instrument is sufficient.

An instrument shall always be recalibrated if it has been repaired or is suspected of fault or damage.

7 Acoustic measurements and measurement procedures

7.1 Acoustic measurement positions

To fully characterize the noise emission of a wind turbine, the following measurement positions are required.

One, and optionally another three, microphone positions are to be used. The positions shall be laid out in a pattern around the vertical centreline of the wind turbine tower as indicated in the plan view shown in Figure 3. The required downwind measurement position is identified as the reference position, as shown in Figure 3. The direction of the positions shall be within $\pm 15^\circ$ relative to the downwind direction of the wind turbine at the time of measurement. The

downwind direction can be derived from the yaw position. The horizontal distance R_0 from the wind turbine tower vertical centreline to each microphone position shall be as shown in Figure 3, with a tolerance of $\pm 20\%$, maximum ± 30 m, and shall be measured with an accuracy of $\pm 2\%$.

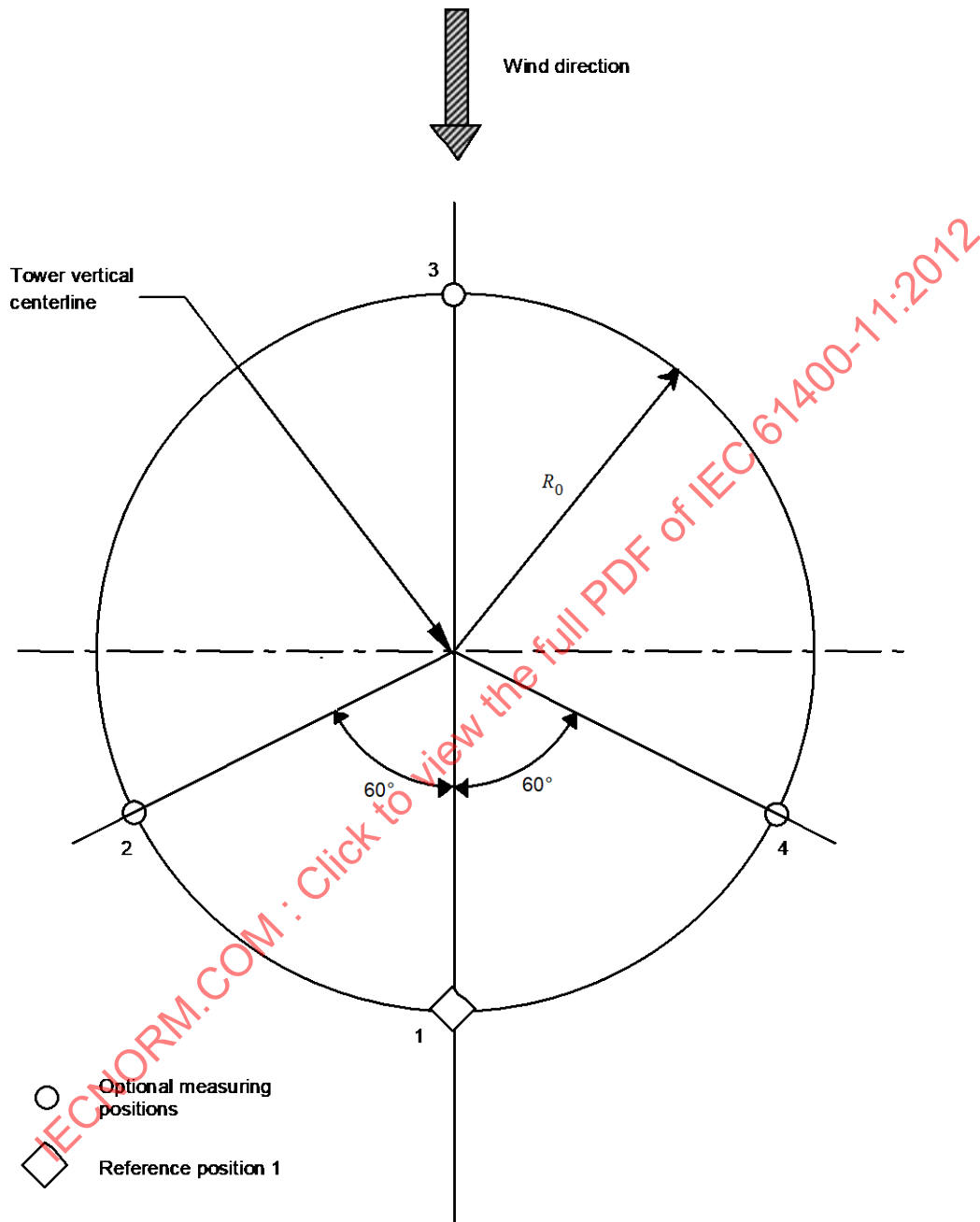


Figure 3 – Standard pattern for microphone measurement positions (plan view)

As shown in Figure 4a, the reference distance R_0 for horizontal axis turbines is given by:

$$R_0 = H + \frac{D}{2} \quad (1)$$

where

H is the vertical distance from the ground to the rotor centre; and

D is the diameter of the rotor.

As shown in Figure 4b, the reference distance R_0 for vertical axis wind turbines is given by:

$$R_0 = H + D \quad (2)$$

where

H is the vertical distance from the ground to the rotor equatorial plane; and

D is the equatorial diameter.

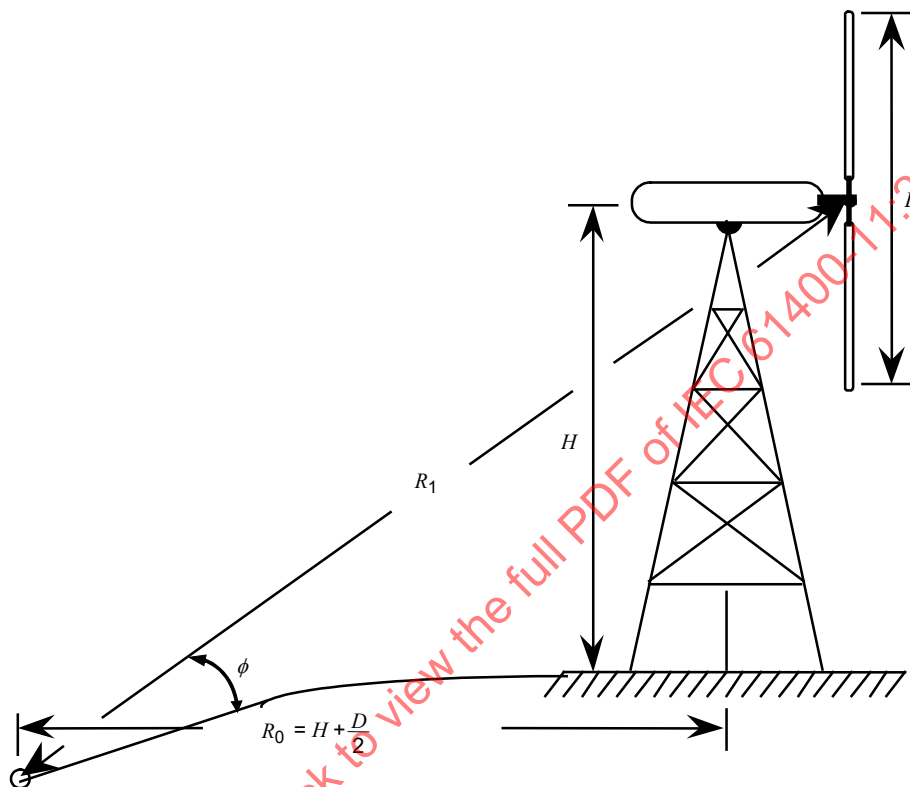


Figure 4a – Horizontal axis turbine

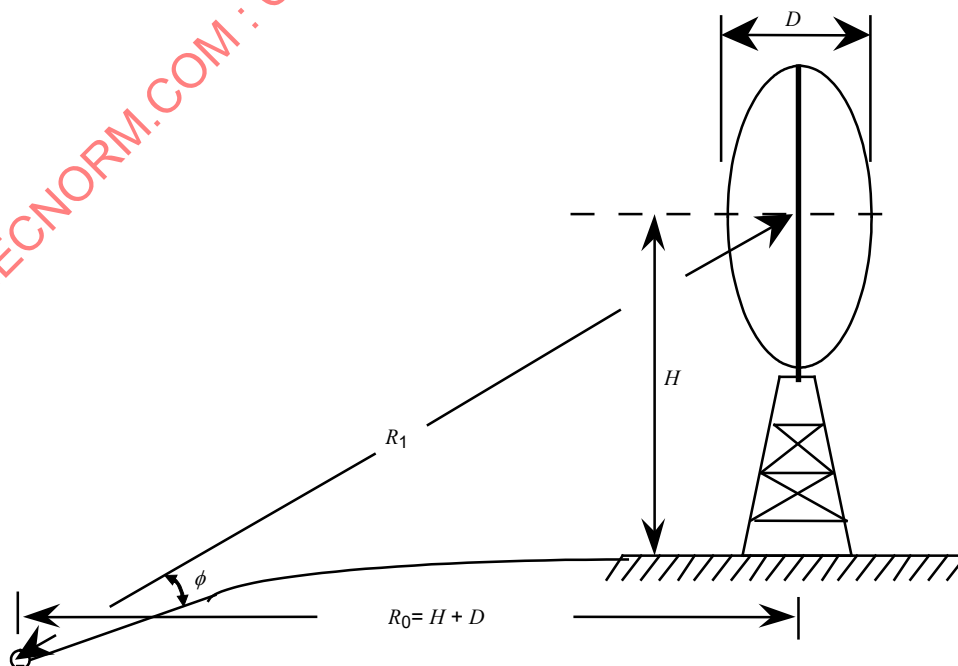


Figure 4b – Vertical axis turbine

Figure 4 – Illustration of the definitions of R_0 and slant distance R_1

To minimize influence due to the edges of the measurement board on the measurement results, it shall be ensured that the board is positioned flat on the ground. Any edges or gaps under the board should be levelled out by means of soil. The inclination angle ϕ , as shown in Figure 4, shall be between 25° and 40°. This may require adjustment of the measurement position within the tolerances stated above. Additional considerations shall be made for measurements in complex terrain to avoid influence such as screening or reflections from obstructions or terrain.

The measurement position shall be chosen so that the calculated influence from any reflecting structures, such as buildings or walls, shall be less than 0,2 dB.

7.2 Acoustic measurements

7.2.1 General

The acoustic measurements shall permit the following information to be determined about the noise emission from the wind turbine at bin centre wind speeds:

- the A-weighted apparent sound power level;
- the A-weighted 1/3-octave band levels;
- the tonal audibility.

Optional measurements may include directivity, infrasound, low-frequency noise and impulsivity.

7.2.2 Acoustic measurement requirements

For all acoustic measurements, the following requirements are valid:

- The complete measurement chain shall be calibrated at least at one frequency before and after the measurements, or if the microphones are dis- and reconnected during the measurements.
- All acoustical signals shall be recorded and stored for later inspection.
- Periods with intruding intermittent background noise (as from aircraft) shall be omitted.
- The wind speed range is related to the specific wind turbine. As a minimum it is defined as the hub height wind speed from 0,8 to 1,3 times the wind speed at 85 % of maximum power rounded to wind speed bin centres.
- With the wind turbine stopped, and using the same measurement set-up, the background noise shall be measured immediately before or after each measurement series of wind turbine noise and during similar wind conditions. When measuring background noise, every effort shall be made to ensure that the background sound measurements are representative of the background noise that occurred during the wind turbine noise emission measurements. It is recommended to measure the background noise several times during the measurement period to cover the same wind speed range as for the total noise.
- The measurements shall cover as broad a range of wind speeds as practically possible. To obtain a sufficient range of wind speeds it may be necessary to take the measurements in several measurement series.
- At least 180 measurements shall be made overall for both total noise and background noise covering corresponding wind speed ranges.
- At least 10 measurements shall be made in each wind speed bin for both total noise and background noise.

Additionally, the following requirements are valid for the individual acoustic measurements.

7.2.3 A-weighted sound pressure level

The equivalent continuous A-weighted sound pressure level of the noise from the wind turbine shall be measured at the reference position. Each measurement shall be integrated over a period of 10 s.

7.2.4 A-weighted 1/3-octave band measurements

A-weighted 1/3-octave spectra are measured synchronously with the overall sound pressure levels as the energy average over 10 s periods. As a minimum, 1/3-octave bands with centre frequencies from 20 Hz to 10 kHz, inclusive, shall be measured. A-weighting shall be applied in the time domain i.e. before the frequency analysis.

Background measurements with the wind turbine stopped shall satisfy the same requirements.

7.2.5 A-weighted narrow band measurements

Narrowband spectra are measured synchronously with the sound pressure levels as the energy average over 10 s periods. Narrow band spectra shall be A-weighted. A Hanning window with an overlap of at least 50 % shall be used. The frequency resolution shall be between 1 and 2 Hz.

Additional noise measurements may be needed to determine the audibility of an identified tone as stated in 9.5.8.

Background noise measurements shall be used to determine that tones do not originate from background noise.

7.2.6 Optional acoustic measurements at positions 2, 3 and 4

Measurements in the non-reference positions shall fulfil the requirements for the reference position.

The measurements in the non-reference positions should be made simultaneously with corresponding measurements in the reference position. The measurements in the three non-reference positions can be made individually, but each one shall be made simultaneously with measurement in the reference position.

7.2.7 Other optional measurements

Additional measurements can be taken to quantify noise emissions that have definite character that is not described by the measurement procedures detailed in this standard.

Such character might be the emission of infrasound, low-frequency noise, modulation of broadband noise, impulses, or unusual sounds (such as a whine, hiss, screech or hum), distinct impulses in the noise (for example bangs, clatters, clicks, or thumps), or noise that is irregular enough in character to attract attention. These areas are discussed, and possible quantitative measures are outlined in Annex A. These measures are not universally accepted and are given for guidance only.

8 Non-acoustic measurements

8.1 General

The following non-acoustic measurements shall be made. Wind speed, electric power and rotational speed shall be sampled with at least 1 Hz. If other turbine parameters are measured the sampling rate shall be the same.

8.2 Wind speed measurements

The wind speed is to be measured from the produced power through a power curve.

For sections of the power curve where the requirements in Equation (3) are not met, the wind speed cannot be determined from the power readings and the nacelle anemometer shall be used. If no nacelle anemometer is available an anemometer shall be mounted on the nacelle. Guidance for mounting the nacelle anemometer is given in IEC 61400-12-2.

The wind speed measured by the nacelle anemometer shall be representative of the wind speed hitting the rotor.

For measurements of background noise an anemometer mounted on a met mast of at least 10 m height shall be used. The position of the met mast should be relatively undisturbed and represent the free wind at the turbine position. In order to ensure a correlation between the measured wind speeds at the met mast, at hub height, and the wind at the microphone position, guidance on the met mast position is given in Figure 5.

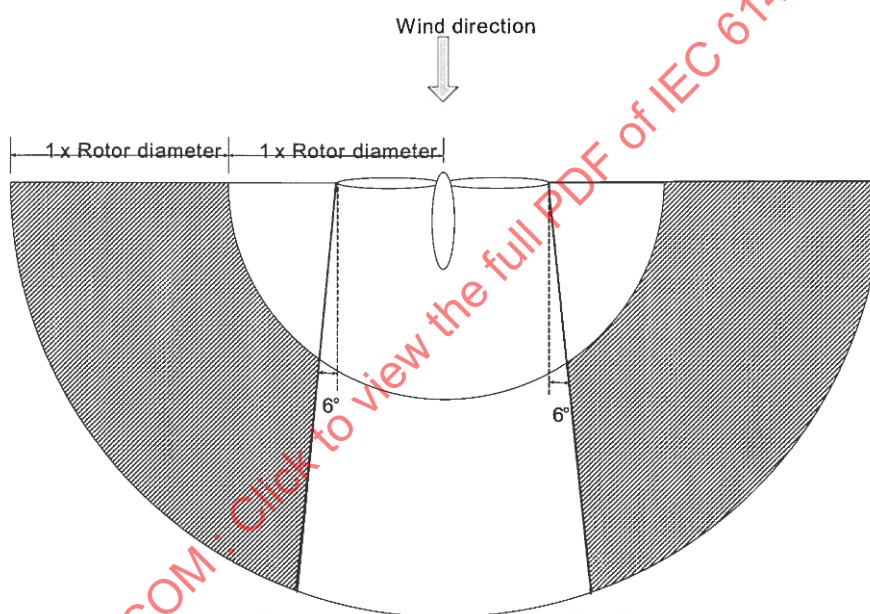


Figure 5 – Acceptable meteorological mast position (hatched area)

Wind speed and power data shall be collected and arithmetically averaged synchronously with the acoustic measurements.

Turbulence in the wind incident to a wind turbine can affect its aerodynamic noise emission. A discussion of assessment of turbulence is contained in Annex B.

8.2.1 Determination of the wind speed during wind turbine operation

8.2.1.1 Determination of wind speed through power curve

The power curve relates the power to the wind speed at hub height. The wind speed is determined from the measured electric power. Correlation between measured sound level and measured electric power is very high for the allowed intervals of the power curve, see Equation (3).

The wind speed $V_{P,n}$ shall be obtained from measurements of the produced electric power using a documented power versus wind speed curve. The power curve shall represent the specific wind turbine type and preferably be measured according to IEC 61400-12-1 or IEC 61400-12-2. If a measured power curve is not available a calculated power curve may be used. If a calculated power curve is used an uncertainty in the range of a measured power curve can be assumed. The power curve shall give the relation between the wind speed at hub height and the electric power that the turbine produces for standard atmospheric conditions of 15 °C and 101,3 kPa.

The intervals on the power curve that can be used are all intervals where no duplicated values exist and the slope of the power curve including the uncertainty is positive.

The demand on the slope of the power curve is satisfied for any interval on the power curve, where the following is fulfilled:

$$(P_{k+1} - P_{tol}) - (P_k + P_{tol}) > 0 \quad (3)$$

where

- k is the wind speed bin number of the power curve;
- P_k is the power curve value at wind bin k ;
- P_{tol} is the tolerance on the power reading, typical values for P_{tol} are 1 to 5 % of maximum value.

All power curve intervals meeting this demand are called *allowed range* of the power curve. For these intervals,

$$V_{H,n} = V_{P,n}$$

$V_{H,n}$ is the normalised hub height wind speed.

8.2.1.2 Determination of wind speed with nacelle anemometer

For all data points with power levels from the allowed range of the power curve, the average value of the ratio of the wind speed derived from the power curve $V_{P,n}$ and the measured nacelle wind speed $V_{nac,m}$, κ_{nac} , is derived. This value shall then be applied to the measured nacelle wind speed for the data points with power levels outside the allowed range of the power curve to derive the normalised wind speed using Equation (4).

$$V_{nac,n} = \kappa_{nac} V_{nac,m} \quad (4)$$

where

- $V_{nac,m}$ is the wind speed measured with the nacelle anemometer;
- $V_{nac,n}$ is the normalised wind speed from the nacelle anemometer, corrected to hub height.

If $V_{nac,n}$ takes on values in the allowed range of the power curve, the data point shall be omitted from the analysis.

Outside the allowed range of the power curve $V_{H,n} = V_{nac,n}$

8.2.2 Wind speed measurements during background noise measurements

For background noise measurements, the wind speed shall be measured with a met mast mounted anemometer at a height of at least 10 m. For in-situ calibration purposes the wind speed from the met mast shall be measured during the entire measurement.

For all data points with power levels from the allowed range of the power curve, the average value of ratio of the wind speed derived from the power curve $V_{P,n}$ and the measured wind speed V_{Z,m, κ_Z} , shall be derived. This ratio shall then be applied to the measured wind speed of the data points achieved during background noise measurements to derive the normalised wind speed using Equation (5).

$$V_{B,n} = \kappa_Z V_{Z,m} \quad (5)$$

where

$V_{Z,m}$ is the wind speed measured with an anemometer at height Z of at least 10 m;

$V_{B,n}$ is the normalised wind speed at hub height.

During background noise measurements $V_{H,n} = V_{B,n}$

8.3 Downwind direction

The nacelle position with respect to the measurement board position will be observed to ensure that only data are used for the analysis, where the measurement board or microphone position is within $\pm 15^\circ$ of the downwind direction derived from the nacelle position. It is recommended to measure the yaw position from the turbine controller simultaneously with the other turbine controller signals.

8.4 Other atmospheric conditions

Air temperature and pressure shall be measured and recorded at least every 2 h at a height of at least 1,5 m.

8.5 Rotor speed and pitch angle measurement

Measurement and reporting of rotor speed is mandatory and measurement and reporting of pitch angle is recommended. These data can be obtained from the wind turbine controller and shall be collected and arithmetically averaged synchronously with the acoustic measurements.

9 Data reduction procedures

9.1 General methodology for sound power levels and 1/3-octave band levels

The aim of this procedure is to produce sound power spectra in 1/3-octave bands and overall sound power levels using statistical methods. It should be noted there are two types of averaging used in the analysis: arithmetic averaging for non-acoustic data and energy averaging for acoustic data.

The uncertainty is also determined in this subclause and determined along with the sound power spectra in 1/3-octave bands and overall sound power levels. For most instruments the accuracy is given. Before using this in the text below, the accuracy shall be converted into an uncertainty. Guidelines are given in Annex C.

Noise and wind speed are measured and averaged over 10 s periods. Noise is measured both as the A-weighted sound pressure level L_{Aeq} and A-weighted 1/3-octave spectrum $L_{Aeq,o}$. Each 1/3-octave spectrum is normalized to the measured value for the L_{Aeq} .

The data points are sorted into wind speed bins and averaged giving:

- average wind speed;
- average A-weighted 1/3-octave spectrum;

- corresponding standard uncertainties.

The average wind speed may not be at the bin centre.

For each 1/3-octave band the value of the noise at the bin centre is found by linear interpolation between the adjacent bin average values. This results in a 1/3-octave spectrum at the centre of each bin.

The procedure described above applies to both the total noise and the background noise to determine bin centre spectra.

At each wind speed bin centre the wind turbine noise 1/3-octave spectrum is found by correcting the total noise spectrum with the background noise spectrum for the same wind speed bin centre. If the difference between the sum of the 1/3-octave bands of the total noise and the sum of the 1/3-octave bands of background noise is between 3 and 6 dB the result shall be marked with an asterisk when reported. If the difference is 3 dB or less, the result for that wind speed bin shall not be reported.

In the description below following subscripts and indexes are used:

- i* 1/3 octave band number (e.g. *i* = 1 for 20 Hz centre frequency, *i* = 2 for 25 Hz centre frequency, ... , *i* = 28 for 10 kHz centre frequency);
- j* 10 s measurement period number (each bin should have the minimum of 10 points per bin therefore *j* = 1 to 10 or greater);
- k* wind speed bin (i.e. *k* = 6 m/s bin, *k* = 6,5 m/s bin, *k* = 7 m/s bin, etc.);
- V* bin centre value;
- o* measured 1/3 octave spectrum;
- n* normalized spectrum;
- T* total noise;
- B* background noise;
- C* background corrected total noise.

The details of the procedure are described hereafter and illustrated in the flowchart in Figure 6.

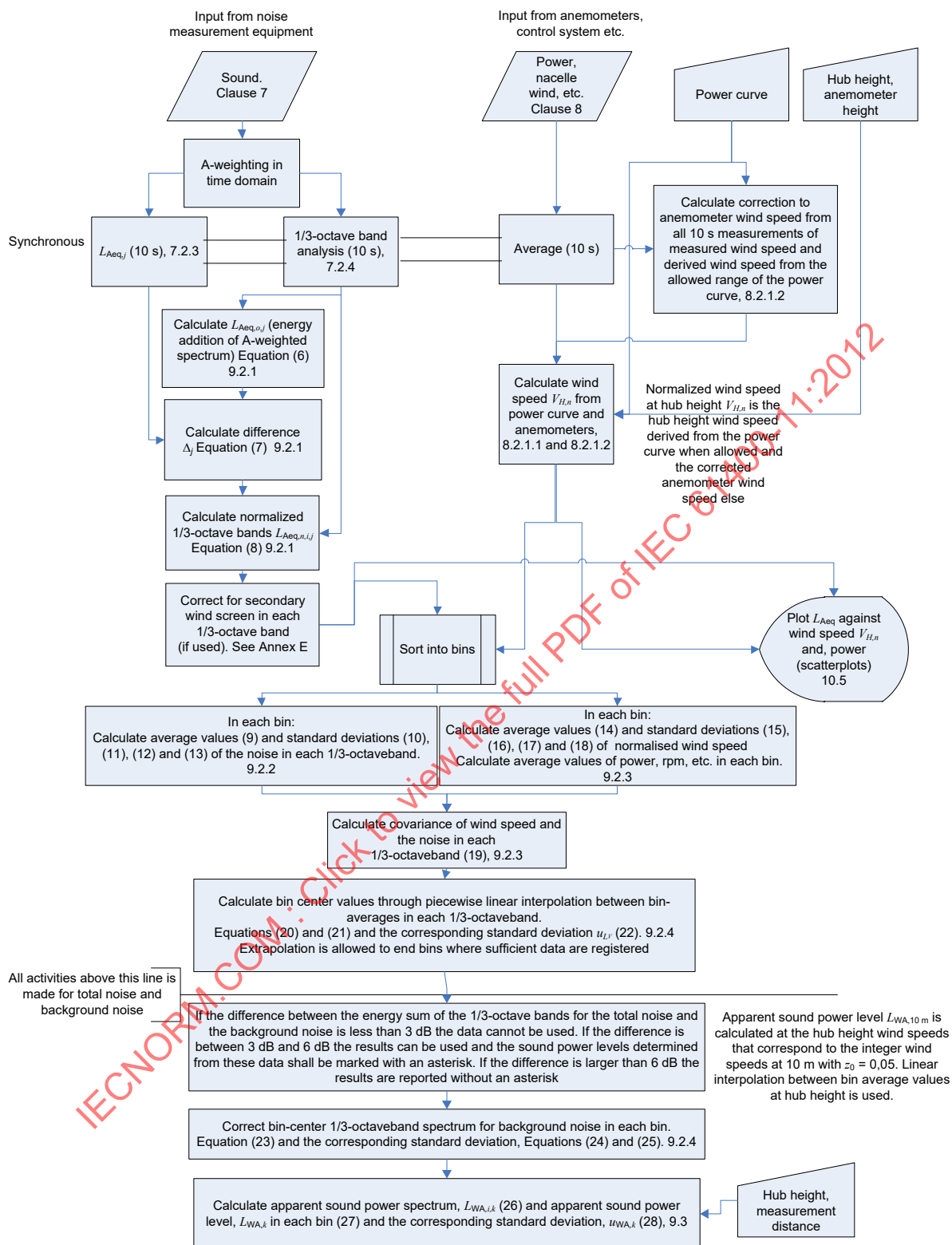


Figure 6 – Flowchart showing the data reduction procedure

9.2 Calculation of sound pressure levels

9.2.1 General

The noise is measured as an equivalent noise level L_{Aeq} and a 1/3-octave band spectrum with centre frequencies from 20 Hz to 10 kHz. The equivalent noise level $L_{Aeq,o}$ is determined from the energy sum of the 1/3-octave bands. The difference $L_{Aeq} - L_{Aeq,o}$ is determined.

$$L_{Aeq,o,j} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^{28} 10^{\left(\frac{L_{Aeq,i,j}}{10} \right)} \quad (6)$$

$$\Delta_j = L_{Aeq,j} - L_{Aeq,o,j} \quad (7)$$

This difference is added to each individual band in the 1/3-octave band spectrum to give the normalized 1/3-octave band spectrum for each measurement period j .

$$L_{Aeq,n,i,j} = L_{Aeq,i,j} + \Delta_j \quad (8)$$

where

$L_{Aeq,o,j}$ is the A-weighted sound pressure level calculated from the 1/3-octave spectrum in the measurement period j ;

$L_{Aeq,i,j}$ is the A-weighted sound pressure level at 1/3-octave band i in the measurement period j ;

$L_{Aeq,j}$ is the measured A-weighted sound pressure level in the measurement period j ;

Δ_j is the difference between the calculated A-weighted sound pressure level from the 1/3-octave spectrum and the measured A-weighted sound pressure level;

$L_{Aeq,n,i,j}$ is the normalized 1/3-octave band i in the measurement period j .

If a secondary wind screen is used, the normalized spectra shall be corrected for the influence of the secondary wind screen in 1/3-octave bands.

All the following analyses are made using the normalized 1/3-octave band spectra. The 1/3-octave band spectra are sorted into wind speed bins k . Average value and uncertainties for both sound pressure level and wind speed for each bin are calculated using the following expressions within each wind speed bin k .

The total noise and background noise are analysed using the same principles.

9.2.2 Calculation of average sound spectra and uncertainty per bin

The average sound pressure level $\bar{L}_{i,k}$ for each 1/3-octave band i is calculated by Equation (9):

$$\bar{L}_{i,k} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{\left(\frac{L_{i,j,k}}{10} \right)} \right) \quad (9)$$

where

N is the number of measurements in wind speed bin k ;

$L_{i,j,k}$ is the sound pressure level of 1/3-octave band i of measurement period j in wind speed bin k .

The result will be one average 1/3-octave spectrum for each wind speed bin k .

The type A standard uncertainty on the average sound pressure level of 1/3-octave band i in wind speed bin k $s_{L_{i,k}}$ is calculated by Equation (10):

$$s_{L_{i,k}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (L_{i,j,k} - \bar{L}_{i,k})^2}{N \cdot (N-1)}} \quad (10)$$

where

$\bar{L}_{i,k}$ is the average sound pressure spectrum in wind speed bin k from Equation (9);

$L_{i,j,k}$ is the sound pressure level of 1/3-octaveband i of measurement period j in wind speed bin k .

The combined type B standard uncertainty on the energy averaged sound pressure level of 1/3-octave band i , $u_{L_{i,j}}$, for each measurement period, j , is calculated by Equation (11).

Guidance for type B uncertainties are given in Annex C.

$$u_{L_{i,j}} = \sqrt{\sum_{q=1}^7 u_{L_{i,j,q}}^2} \quad (11)$$

where

$u_{L_{i,j,q}}$ is the type B standard uncertainty from source q on the average sound pressure level of 1/3-octave band i for each measurement period j .

The type B standard uncertainty on the average sound pressure level of 1/3-octave band i in wind speed bin k , $u_{L_{i,k}}$ is calculated by Equation (12):

$$u_{L_{i,k}} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_{L_{i,j,k}}^2 \right)} \equiv u_{L_{i,j,k}} \quad (12)$$

where

$u_{L_{i,j,k}}$ is the combined type B standard uncertainty on the average sound pressure level of 1/3-octave band i for each measurement period j , see Equation (11). This value is the same for all values of j .

The combined standard uncertainty on the average sound pressure level of 1/3-octave band i in wind speed bin k $u_{\text{com},L_{i,k}}$ is calculated by Equation (13):

$$u_{\text{com},L_{i,k}} = \sqrt{s_{L_{i,k}}^2 + u_{L_{i,k}}^2} \quad (13)$$

9.2.3 Calculation of average wind speed and uncertainty per bin

The average wind speed, $\bar{V}_k$, in bin k is calculated by Equation (14):

$$\bar{V}_k = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N V_{j,k} \quad (14)$$

where

N is the number of measurements in wind speed bin k ;

$V_{j,k}$ is the average value of wind speed at measurement period j in wind speed bin k .

The type A standard uncertainty on the average wind speed in bin k $s_{V,k}$, is calculated by Equation (15):

$$s_{V,k} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (V_{j,k} - \bar{V}_k)^2}{N \cdot (N - 1)}} \quad (15)$$

where

$V_{j,k}$ is the average wind speed for measurement period j ;

$\bar{V}_k$ is the average wind speed in wind speed bin k , see Equation (14).

The type B standard uncertainty on the wind speed for each measurement period j u_{V_j} is calculated by Equation (16):

$$u_{V_j} = \sqrt{\sum_{q=8}^9 u_{V_j,q}^2} \quad (16)$$

where

$u_{V_j,q}$ is the type B standard uncertainty from source q on the average wind speed for each measurement period j .

The type B standard uncertainty on average wind speed in bin k $u_{V,k}$ is calculated by Equation (17):

$$u_{V,k} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N u_{V_j}^2} \quad (17)$$

where

u_{V_j} is the type B standard uncertainty on the average wind speed for each measurement period j , see Equation (16).

The combined standard uncertainty of the wind speed in bin k , $u_{\text{com},V,k}$, is calculated by Equation (18):

$$u_{\text{com},V,k} = \sqrt{s_{V,k}^2 + u_{V,k}^2} \quad (18)$$

The corresponding covariance, $\text{cov}_{LV,i,k}$, is calculated by Equation (19):

$$\text{cov}_{LV,i,k} = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{j=1}^N (V_{j,k} - \bar{V}_k) \cdot (L_{i,j,k} - \bar{L}_{i,k}) \quad (19)$$

where

$V_{j,k}$ is the average wind speed measured in measurement period j ;

$\bar{V}_k$ is the average wind speed for bin k , see Equation (14);

$L_{i,j,k}$ is the measured noise level of 1/3-octave band i from measurement period j in wind speed bin k ;

$\bar{L}_{i,k}$ is the average noise level of the 1/3-octave band i in wind speed bin k , see Equation (9).

9.2.4 Calculation of noise levels at bin centres including uncertainty

For both total noise and background noise, estimates for the sound pressure level of 1/3-octave band i at the bin centre wind speeds are calculated using linear interpolation between the bin average values. In principle the method is applicable for any wind speed.

The estimated sound pressure level at this wind speed V is calculated as

$$L_V(t) = (1-t) \cdot \bar{L}_k + t \cdot \bar{L}_{k+1} \quad (20)$$

where

$$\bar{V}_k \leq V < \bar{V}_{k+1}$$

The t value at a given wind speed V is calculated as

$$t = \frac{(V - \bar{V}_k)}{(\bar{V}_{k+1} - \bar{V}_k)} \quad (21)$$

The standard uncertainty on the calculated sound pressure levels at bin centre wind speed V is calculated using

$$u_{L_V}(t) = \sqrt{u_{L_k}^2(t) - \frac{\text{cov}_{LV}^2(t)}{u_{V_k}^2(t)}} \quad (22)$$

where

$$u_{L_k}^2(t) = (1-t)^2 \cdot u_{\text{com},L,k}^2 + t^2 \cdot u_{\text{com},L,k+1}^2$$

$$\text{cov}_{L_V}(t) = (1-t)^2 \cdot \frac{\text{cov}_{LV,k}}{N_k} + t^2 \cdot \frac{\text{cov}_{LV,k+1}}{N_{k+1}}$$

$$u_V^2(t) = (1-t)^2 \cdot u_{\text{com},V,k}^2 + t^2 \cdot u_{\text{com},V,k+1}^2$$

N_k is the number of measurements in wind speed bin k .

N_k in Equation (22) is compensating for the use of standard uncertainty on average values for noise level and wind speed.

If the bin average of the wind speed is below the bin centre at the highest bin, extrapolation to the bin centre is allowed. If the bin average of the wind speed is above the bin centre at the lowest bin, extrapolation to the bin centre is allowed. Extrapolation is only allowed for bins with at least 10 measurement data points.

If the total noise level $L_{V,T,i,k}$ is at least 3 dB higher than the background noise level, $L_{V,B,i,k}$, in the same 1/3-octave band i , the background corrected sound pressure level for 1/3-octave band i and the corresponding standard deviation on the value, are calculated using

$$L_{V,c,i,k} = 10 \cdot \log\left(10^{\left(\frac{L_{V,T,i,k}}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{L_{V,B,i,k}}{10}\right)}\right) \quad (23)$$

$$u_{c,i,k} = \frac{\sqrt{\left(u_{L_{V,T,i}} \cdot 10^{\left(\frac{L_{V,T,i}}{10}\right)}\right)^2 + \left(u_{L_{V,B,i}} \cdot 10^{\left(\frac{L_{V,B,i}}{10}\right)}\right)^2}}{10^{\left(\frac{L_{V,T,i}}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{L_{V,B,i}}{10}\right)}} \quad (24)$$

It is assumed the total and background noise are uncorrelated if the difference is larger than 3 dB. This may lead to an overestimation of the uncertainty if there is any correlation. For bins or 1/3-octave bands, where the total noise level, $L_{V,T,i}$, is less than 3 dB higher than the background noise level, $L_{V,B,i}$, a 3 dB correction is applied and the result marked with brackets []. The uncertainty is calculated as if the difference is 3 dB, see Equation (25).

$$u_{c,i,k} = \frac{\sqrt{\left(u_{L_{V,T,i}} \cdot 10^{\left(\frac{L_{V,T,i}}{10}\right)}\right)^2 + \left(u_{L_{V,B,i}} \cdot 10^{\left(\frac{L_{V,T,i}-3}{10}\right)}\right)^2}}{10^{\left(\frac{L_{V,T,i}}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{L_{V,T,i}-3}{10}\right)}} \quad (25)$$

9.3 Apparent sound power levels

Within each bin, the apparent sound power level for each 1/3-octave band $L_{WA,i,k}$ is calculated from the corresponding background corrected sound pressure level for the same 1/3-octave band, $L_{V,c,i,k}$, at the bin centre wind speeds as follows:

$$L_{WA,i,k} = L_{V,c,i,k} - 6 + 10 \log \left[\frac{4 \pi R_1^2}{S_0} \right] \quad (26)$$

where

- $L_{V,c,i,k}$ is the background corrected A-weighted sound pressure level in 1/3-octave band i at the bin centre wind speed k under meteorological reference conditions;
- R_1 is the slant distance in meters from the rotor centre to the microphone as shown in Figure 4; and
- S_0 is a reference area, $S_0 = 1 \text{ m}^2$.

The 6 dB constant in Equation (26) accounts for the approximate pressure doubling that occurs for the sound level measurements on a measurement board.

The estimate for the A-weighted sound power level in bin k is calculated by energy summing of all 1/3-octave band sound power values.

$$L_{WA,k} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^{28} 10^{\left(\frac{L_{WA,i,k}}{10} \right)} \quad (27)$$

If the difference between the sum of the 1/3-octave bands of the total noise and the sum of the 1/3-octave bands of the background noise is between 3 and 6 dB the result shall be marked with an asterisk when reported. If the difference is 3 dB or less, the result for that wind speed bin shall not be reported.

$$u_{L_{WA,k}} = \frac{\sum_{i=1}^{28} \left(u_{c,i,k} \cdot 10^{\left(\frac{L_{WA,i,k}}{10} \right)} \right)}{\sum_{i=1}^{28} 10^{\left(\frac{L_{WA,i,k}}{10} \right)}} \quad (28)$$

Equation (28) is valid for correlated uncertainties. The uncertainties of the sound power levels of the 1/3 octave bands are assumed to be correlated.

Guidance for Type B uncertainties are given in Annex C.

9.4 Apparent sound power levels with reference to wind speed in 10 m height

To calculate the apparent sound power level with reference to wind speed in 10 m height, $L_{WA,10 \text{ m},k}$ at integer wind speeds within the measurement range, the following procedure is used:

Calculate the corresponding wind speed at hub height, $V_{H,n}$ by using Equation (29). Then use linear interpolation and the background noise correction as described in Equations (20) to (26).

$$V_H = V_{10} \cdot \frac{\ln\left(\frac{H}{z_{0\text{ref}}}\right)}{\ln\left(\frac{10}{z_{0\text{ref}}}\right)} \quad (29)$$

$L_{WA,10 \text{ m},k}$ for integer wind speeds k within the measurement range with corresponding uncertainty, $u_{L_{WA,10 \text{ m},k}}$ is calculated by using Equations (27) and (28).

9.5 Tonal audibility

9.5.1 General methodology for tonality

The presence of tones in the noise at different wind speeds shall be determined on the basis of the narrowband analysis. The procedure for tonality assessment is described by the flowchart in Figure 7.

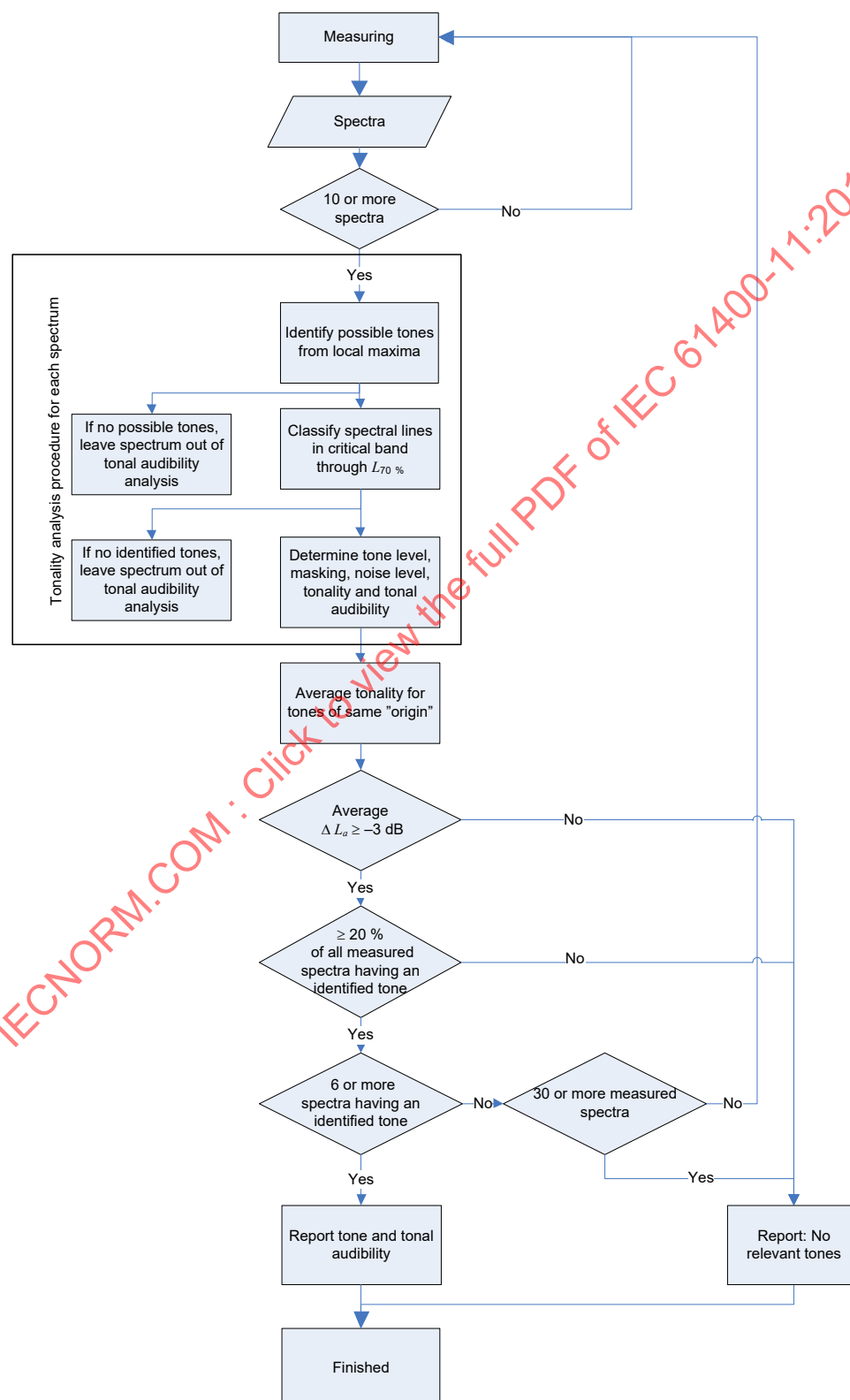


Figure 7 – Flowchart for determining tonal audibility for each wind speed bin

The tonal analysis shall cover the same wind speed range as the sound power level measurement. The complete measurement shall be divided into 10 s energy averaged spectra as defined in 7.2.5.

All spectra are sorted into wind speed bins. The overall tonal audibility for a given wind speed bin can only be determined if at least 6 of the narrowband spectra for that wind speed bin have an identified tone with the same origin.

Tones of the same origin are defined as follows: Identified tones in different spectra are considered as tones of the same origin if they are within an interval $\pm 25\%$ of the critical band centered at the frequency. Tones of the same origin are treated and reported as one tone.

For each spectrum with identified tone, j , in each wind speed bin

- The sound pressure level of the tone $L_{pt,j,k}$ shall be determined.
- The sound pressure level of the masking noise $L_{pn,j,k}$ in the critical band around the tone shall be determined.
- The tonality $\Delta L_{tn,j,k}$, the difference between the sound pressure level of the tone and the masking noise level, shall be found.
- The tonal audibility $\Delta L_{a,j,k}$, the difference between the tonality and the audibility criterion of the tone, shall be found.

The overall tonal audibility, $\Delta L_{a,k}$, is determined in each wind speed bin for each of the identified tones of the same origin as the energy average of the individual $\Delta L_{a,j,k}$. Only spectra with identified tones are included.

In exceptional cases (for example very broad tones consisting of many lines or masking noise with very steep gradients) this method may not give the correct results. In such cases, deviations from the prescribed method may be needed and shall be reported.

9.5.2 Identifying possible tones

A preliminary identification of tones is needed for the classification of the spectrum lines.

The following procedure is used to identify possible tones:

- a) find local maxima in the spectrum;
- b) calculate the critical band, a closed interval centred on the maxima with a bandwidth determined by:

$$\text{Critical bandwidth} = 25 + 75 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \left[\frac{f_c}{1000} \right]^2 \right)^{0,69} \quad (30)$$

where f_c is the frequency of the maxima in Hz;

- c) calculate the average energy in the critical band centred on each local maximum, not including the line of the local maximum and the two adjacent lines;
- d) if the local maximum is more than 6 dB above the average energy as calculated in the previous bullet, then it is a possible tone.

9.5.3 Classification of spectral lines within the critical band

The critical band shall be positioned with centre frequency coincident with the possible tone frequency. For possible tones with frequencies between 20 Hz and 70 Hz, the critical band is 20 Hz to 120 Hz.

If the centre frequency of a line is included in the critical band, the line is part of the critical band.

Within each critical band, every spectral line is classified as tone, masking, or neither, using the following procedure.

- a) Calculate the $L_{70\%}$ sound pressure level, where $L_{70\%}$ is the energy average of 70 % of spectral lines in the critical band with the lowest levels as shown in Figure 8.
- b) The criterion level is equal to $L_{70\%}$ plus 6 dB as illustrated in Figure 9.
 - A line is classified as “masking” if its level is less than the criterion level. $L_{pn,avg}$ is then the energy average of all the lines classified as masking as illustrated in Figure 10.
 - A line is classified as “tone” if its level exceeds $L_{pn,avg}$ plus 6 dB.
 - Where there are several adjacent lines classified as “tone”, the line having the greatest level is identified. Adjacent lines are then only classified as “tone” if their levels are within 10 dB of the highest level.
 - A line is classified as “neither” if it cannot be classified as either “tone” or “masking”. Spectral lines identified as “neither” are ignored in further analysis. Figure 11 illustrates the classification of lines in a critical band.

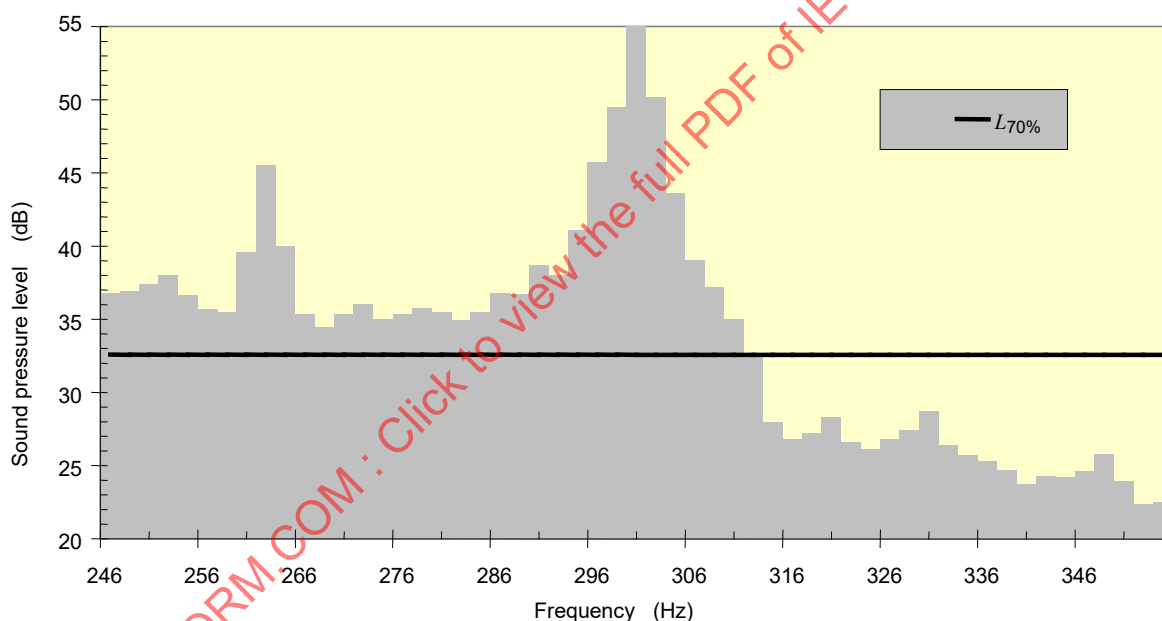


Figure 8 – Illustration of $L_{70\%}$ level in the critical band

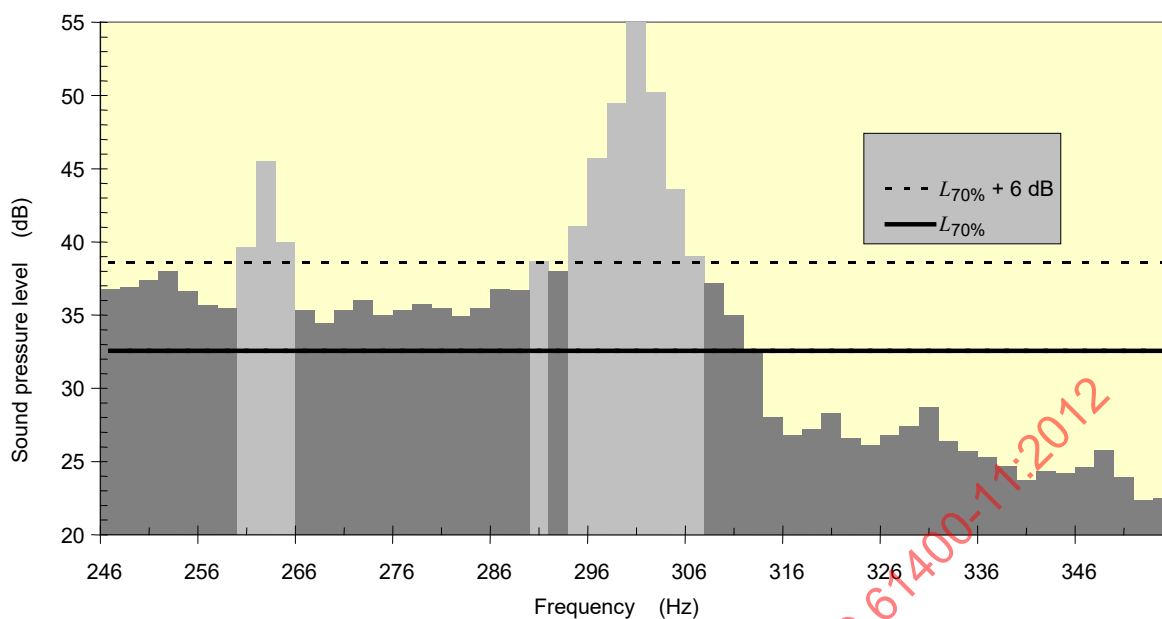


Figure 9 – Illustration of lines below the $L_{70\%} + 6$ dB criterion

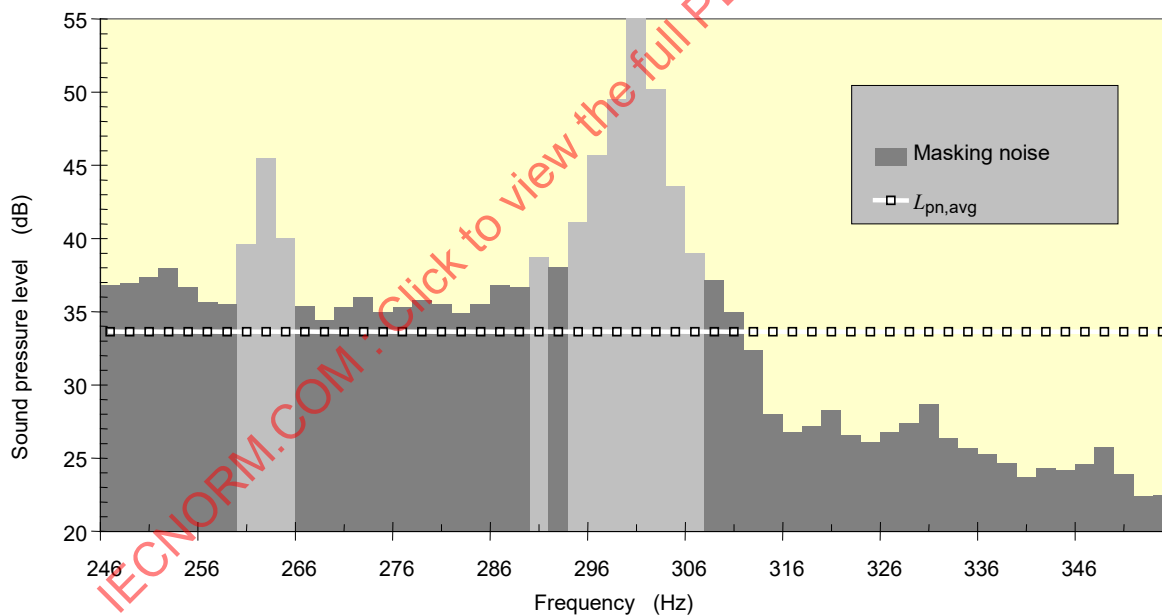


Figure 10 – Illustration of $L_{pn,avg}$ level and lines classified as masking

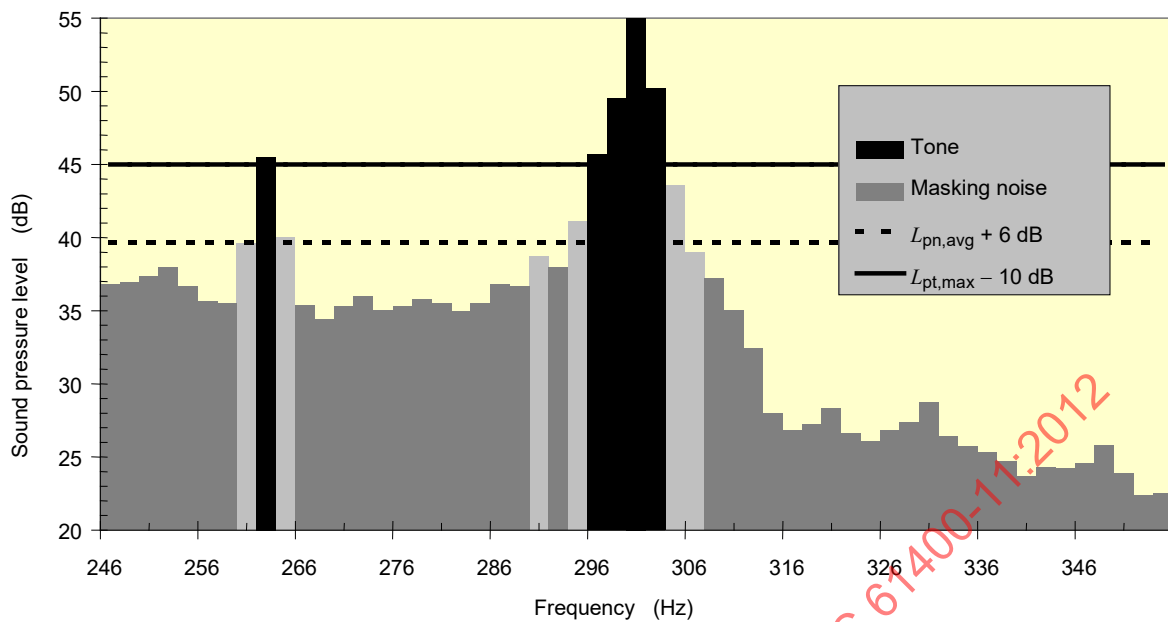


Figure 11 – Illustration of classifying all spectral lines

9.5.4 Identified tone

An identified tone is a possible tone with one or more spectral lines classified as “tone”. According to 9.5.3, the spectral line with the highest level is the frequency of the tone.

9.5.5 Determination of the tone level

The sound pressure level of the tone $L_{pt,j,k}$ is determined by energy summing all spectral lines identified as tones within the critical band in 9.5.2. Where this involves 2 or more adjacent lines, a correction is applied for using the Hanning window. This requires dividing the energy sum by 1,5.

Note that if more than one tone is present within the same critical band, the above procedure is equivalent to energy summing the level of these individual tones.

9.5.6 Determination of the masking noise level

The masking noise level, $L_{pn,j,k}$, is defined as follows:

$$L_{pn,j,k} = L_{pn,avg,j,k} + 10 \cdot \log \left[\frac{\text{Critical bandwidth}}{\text{Effective noise bandwidth}} \right] \quad (31)$$

where $L_{pn,avg,j,k}$ is the energy average of the spectral lines identified as “masking” within the critical band.

The effective noise bandwidth is 1,5 times the frequency resolution, which includes a correction for the use of the Hanning window.

9.5.7 Determination of tonality

The tonality, the difference between the tone level and the level of the masking noise in the corresponding critical band, is given by Equation 32:

$$\Delta L_{\text{tn},j,k} = L_{\text{pt},j,k} - L_{\text{pn},j,k} \quad (32)$$

9.5.8 Determination of audibility

For each value of $\Delta L_{\text{tn},j,k}$, a frequency dependent correction shall be applied to compensate for the response of the human ear to tones of different frequency.

The “tonal audibility” for each spectrum, $\Delta L_{a,j,k}$, is defined as:

$$\Delta L_{a,j,k} = \Delta L_{\text{tn},j,k} - L_a \quad (33)$$

L_a is the frequency dependent audibility criterion, defined as:

$$L_a = -2 - \log \left[1 + \left(\frac{f}{502} \right)^{2,5} \right] \quad (34)$$

where f is the frequency of the tone maximum in the critical band, in Hz.

Note that this criterion curve has been determined from listening tests, and reflects the subjective response of a “typical” listener to time-invariant tones of different frequencies.

The $\Delta L_{a,j,k}$ are energy averaged to one $\Delta L_{a,k}$ for each tone of the same origin in each bin.

For tonal audibilities meeting the condition:

$$\Delta L_{a,k} \geq -3,0 \text{ dB} \quad (35)$$

The tonal audibility is reported. Except if:

- $\Delta L_{a,k} \geq -3,0 \text{ dB}$ and less than 20 % of 10 spectra or more, contain identified tones with the same origin the values of $\Delta L_{a,k}$ shall be reported as “No relevant tones.”
- $\Delta L_{a,k} \geq -3,0 \text{ dB}$ and more than 20 % but less than 6 spectra contain identified tones with the same origin more measurements are needed. Up to 30 spectra may be necessary.

For tonal audibilities where:

$$\Delta L_{a,k} < -3,0 \text{ dB} \quad (36)$$

the values of $\Delta L_{a,k}$ shall be reported as “No relevant tones”.

A tone is audible if the tonal audibility is above 0 dB.

9.5.9 Background noise

Narrowband spectra shall be made of the background noise for each wind speed bin. If tones originating from the background significantly affect the audibility analysis then measures shall be taken to establish the degree to which this occurs and these measures shall be reported.

No correction for broadband background noise is made.

10 Information to be reported

10.1 General

The configuration of the wind turbine and its operating conditions shall be reported as follows.

10.2 Characterisation of the wind turbine

The wind turbine configuration shall include the following information:

- Wind turbine details:
 - manufacturer;
 - model number;
 - serial number.
- Operating details:
 - vertical or horizontal axis wind turbine;
 - upwind or downwind rotor;
 - hub height;
 - horizontal distance from rotor centre to tower axis;
 - diameter of rotor;
 - tower type (lattice or tube);
 - passive stall, active stall, or pitch controlled turbine;
 - constant or variable speed;
 - power curve;
 - rotational speed at wind bins;
 - rated power output;
 - control software version.
- Rotor details:
 - rotor control devices;
 - presence of vortex generators, stall strips, serrated trailing edges;
 - blade type;
 - serial number;
 - number of blades.
- Gearbox details:
 - manufacturer;
 - model number;
 - serial number.
- Generator details:
 - manufacturer;
 - model number;
 - serial number.

10.3 Physical environment

The following information on the physical environment at and near the site of the wind turbine and the measuring positions shall be reported:

- details of the site including location, site map and other relevant information;
- type of topography/terrain (hilly, flat, cliffs, mountains, etc.) in surrounding area (nearest 1 km);
- surface characteristics (such as grass, sand, trees, bushes, water surfaces);
- nearby reflecting structures such as buildings or other structures, cliffs, trees, water surfaces;
- other nearby sound sources possibly affecting background noise level, such as other wind turbines, highways, industrial complexes, airports;
- two photos, one taken in the direction of the turbine from the reference microphone position, and one taken from the wind mast toward the turbine;
- a photo of the microphone on the measurement board positioned on the ground and immediate surroundings, see Figure 2.

10.4 Instrumentation

The following information on the measurement instrumentation shall be reported:

- manufacturer(s);
- instrument name and type;
- serial number(s);
- other relevant information (such as last calibration date);
- met mast anemometer position and height for each measurement series;
- influence of secondary wind screen, if used;
- measurement position of each microphone for each measurement series.

10.5 Acoustic data

The following acoustic data shall be reported:

- measurement position of each microphone for each measurement series;
- time and date of each measurement series;
- apparent sound power level $L_{WA,k}$ at bin centre wind speeds at hub height;
- apparent sound power level $L_{WA,10\text{ m},k}$ at integer wind speeds at 10 m height;
- a plot showing all measured data pairs at reference position 1 of the measured total noise and background noise (with different symbols). Differentiate in the plot if the wind speed was derived from different methods. On the plot, the axes of L_{Aeq} and $V_{H,n}$ shall be linear, and scaled so that 1 m/s corresponds to 2 dB;
- a plot showing all measured total noise versus electrical power data;
- table and plot of sound power spectrum in 1/3-octaves for each bin centre wind speed; coordinates plotted at 1 octave = 10 dB, and levels bracketed as appropriate;
- table showing total noise and background noise. The values shall be calculated as the energy sum of the average 1/3-octave band spectra for each bin. The corrected L_{Aeq} at bin centre values calculated from the corrected 1/3-octave band spectrum at the bin centre can be included in the table. If the difference between total noise and background noise is between 3 and 6 dB the result shall be marked with an asterisk. If the difference is 3 dB or less the result shall not be used.

For each bin centre wind speed k :

- $\Delta L_{tn,j,k}$ for each identified tone;
- ΔL_k for each identified tone;

- $\Delta L_{a,k}$ for each identified tone;
- frequency for each identified tone;
- narrowband spectra of total and background noise as an overlay plot per bin.

Optional acoustic data that may be reported includes:

- low frequency noise;
- infrasound;
- impulsivity;
- amplitude modulation;
- other noise characteristics, if any.

10.6 Non-acoustic data

The following non-acoustic data shall be reported:

- wind speed determination method(s);
- plots of wind speed from the power curve relative to measured nacelle wind speed and met mast measured wind speed;
- rotor rotational speed;
- air temperature;
- atmospheric pressure;
- roughness length (estimated);
- range of the downwind direction during the measurement including the method used to ensure the yaw direction was within $\pm 15^\circ$ of the microphone position.

Optional non-acoustic data that may be reported include:

- estimates or measurements of the turbulence intensity during acoustic measurements;
- whether the turbulence intensity data were determined by measurement or by inference from meteorological conditions.

10.7 Uncertainty

The uncertainty of the following reported acoustic quantities shall be assessed and reported:

- description of type B uncertainties;
- apparent sound power levels at bin centre wind speeds;
- 1/3-octave band spectrum of the noise at the reference position at bin centre wind speeds.

Guidance for the assessment of measurement uncertainty can be found in Annex C and in ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*.

Annex A (informative)

Other possible characteristics of wind turbine noise emission and their quantification

A.1 General

In addition to those characteristics of wind turbine noise described in the main text of this standard, the noise emission may also possess some, or all, of the following:

- infrasound;
- low-frequency noise;
- impulsivity;
- low-frequency modulation of broad band or tonal noise;
- other, such as a whine, hiss, screech or hum, etc., distinct impulses in the noise, such as bangs, clatters, clicks, or thumps, etc.

These characteristics are described briefly below, and possible quantitative measures discussed.

It should be noted that certain aspects of infrasound, low frequency noise, impulsivity and amplitude modulation are not fully understood at present. Thus it may prove that measurement positions farther away from the wind turbine than those specified in the standard may be preferable for the determination of these characteristics.

A.2 Infrasound

Sound at frequencies below 20 Hz is called infrasound. Although such sound is barely audible to the human ear, it can still cause problems such as vibration in buildings and, in extreme cases, can cause annoyance. If infrasound is thought to be emitted, an appropriate measure is the G-weighted sound pressure level according to ISO 7196. Research has shown that modern upwind wind turbines do not produce audible infrasound.

A.3 Low frequency noise

The general procedure extends one-third octave bands to 20 Hz and covers the relevant frequency range to describe the low frequency noise. From the data it is possible to predict the low frequency noise levels in the far field.

A disturbance can be caused by low-frequency noise with frequencies in the range from 20 Hz to 100 Hz. The annoyance caused by noise dominated by low frequencies begins when the noise is clearly audible. At levels close to the hearing threshold the nuisance of such a noise may be overestimated if assessed using only L_{Aeq} values.

A.4 Impulsivity

An impulsive, thumping sound may be emitted from a wind turbine due, for example, to the interaction of the blade with the disturbed wind around the tower. Impulsivity is a measure of the degree of this thumping.

A quantification of impulsivity can be obtained from the average of several measurements of the difference between the C-weighted “impulse hold” and maximum C-weighted “slow” sound pressure levels.

A.5 Amplitude modulation of the broad band noise

In some cases, it is possible that the broadband noise emitted by a wind turbine is modulated by the blade passage frequency giving rise to a characteristic “swishing” or “whooshing” sound.

This modulation can be displayed by recording the measured A-weighted sound pressure level with time weighting F for at least ten full rotations of the rotor.

The characteristics of this modulation can be influenced by local atmospheric conditions (see Annex B), and for this reason such conditions should be recorded during measurements.

A.6 Other noise characteristics

If the noise emission contains a whine, hiss, screech, hum, bang, clatter, click, thump, etc., then this characteristic should be reported. A full description as possible of the noise should be given in words, and any measurements that illustrate the nature of the noise should be taken.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-11:2012

Annex B (informative)

Assessment of turbulence intensity

Turbulence is a natural part of the wind environment, and as it passes through the rotor disk, it causes unsteady pressures on the blades that radiate noise. Studies suggest that at high power levels or wind speeds, noise due to inflow turbulence can become the dominant source of aerodynamic noise emission from a wind turbine.

Because of its effect on overall noise emission, turbulence levels should be assessed and recorded during acoustic measurements. The preferred method is by direct measurement of wind speed within at least three time periods of 10 min each, and at a sampling rate of at least 1 Hz. Both the average and standard deviation of the wind speed are determined from the measured data for each 10 min period. The average turbulence intensity is then determined as the average of the ratio of standard deviation divided by the average wind speed for each period.

Turbulence intensity is usually measured with an anemometer at rotor centre height in undisturbed flow. Using a 10 m met mast, power curve, or nacelle anemometer gives an estimated value. These can be used for relative measurements on the same turbine, in order to compare noise measurement results.

If such turbulence measurements are not practical, turbulence levels may be inferred from knowledge of the local atmospheric stability and surface roughness. On clear, sunny days the ground heats up and turbulent energy arises in the atmospheric boundary layer due to air buoyancy effects. This represents an unstable atmospheric boundary layer and results in high turbulence levels. On the other hand, after sunset the ground often cools, due to radiant loss to the night sky, and cold air settles below warmer air. This condition represents stable atmospheric conditions, wherein turbulent mixing in the boundary layer is inhibited, and turbulence levels are low. The surface roughness of the measurement site also affects the levels of turbulence. High turbulence levels can occur over rougher ground surfaces and over complex terrain. The time of day, cloud cover during measurements, and the surface roughness, should be reported as an alternative to reporting measured turbulence levels.

Annex C (informative)

Assessment of measurement uncertainty

C.1 General

This Annex gives some guidance on how to make uncertainty determinations.

C.2 Uncertainty components of type A and B

The measurement uncertainty of each of the reported acoustic quantities should be derived and reported as the combined standard uncertainty in the manner defined in this annex. Additional guidance on applying the methods is contained in the ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*. In this annex, distinction is made between type A uncertainty components that are evaluated by using statistical methods to a series of repeated determinations, and type B uncertainty components that are evaluated by judgement, using different kinds of relevant information including experience from similar situations. Uncertainty components of both type A and B are expressed in the form of standard uncertainties and are combined by the method of combination of variances to form the combined standard uncertainty.

C.3 Site effects

When the uncertainty of the measurement results are evaluated, it is important to take into account the influence that the actual measurement site can have upon the measured wind speed and upon the acoustic conditions of the microphone mounting board. If the site terrain is non-uniform, the measured wind speed can deviate from the wind speed incident on the rotor. The deviation will increase with increasing distance between the rotor centre and the anemometer. If the ground is sloping or uneven, the conditions for the microphone mounting board may not be fully met, and the measured sound pressure levels may be inaccurate. The uncertainty of spectra will be larger than for A-weighted total levels and will increase with decreasing board size. The site effects are type B uncertainty components.

C.4 Uncertainty on acoustic parameters

C.4.1 Apparent sound power spectra and levels

This subclause describes the uncertainty components that, based on current knowledge, are the most important with respect to the apparent sound power spectra and levels.

The parameter describing the type A uncertainty is the standard error of the estimated noise spectra at each wind speed bin centre for each 1/3-octave band in the spectrum. Details on this are found in Clause 9.

The following are considered uncertainty components of type B for sound level determination:

- calibration of the acoustic instruments, u_{B1} ;
- tolerances on the chain of acoustic measurement instruments, u_{B2} ;
- uncertainty on the acoustic conditions for microphone mounting board, u_{B3} ;
- uncertainty on the wind screen insertion loss, u_{B4} ;
- uncertainty on the distance from microphone to hub and direction, u_{B5} ;

- uncertainty on the acoustic impedance of air, air absorption, u_{B6} ;
- uncertainty on the acoustic emission of wind turbine due to changing weather conditions, including turbulence, u_{B7} .

The following are considered uncertainty components of type B for wind speed determination.

- uncertainty on the measured wind speed, including anemometer calibration and site effects, or on derived wind speed, including power reading uncertainty, u_{B8} ;
- uncertainty on the measured and derived wind speed from the power curve uncertainty, u_{B9} .

For all of the type B uncertainties mentioned here, a rectangular distribution of possible values is assumed for simplicity with a range described as " $\pm a$ ". The standard uncertainty for such a distribution is:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (\text{C.2})$$

Table C.1 and Table C.2 present the possible values of the uncertainty components, which are given as examples. They should only be used as guidance for evaluations to be made in actual cases.

Table C.1 – Examples of possible values of type B uncertainty components relevant for apparent sound power spectra

Component	Possible typical range dB	Possible typical standard uncertainties dB
Calibration, u_{B1}	$\pm 0,3$	0,2
Instrument, u_{B2}	Frequency dependent, can be taken from calibration certificate	
Board, u_{B3}	$\pm 0,5$	0,3
Wind screen insertion loss, u_{B4}	See annex E	
Distance and direction, u_{B5}	$\pm 0,2$	0,1
Air absorption, u_{B6}	See annex G	
Weather conditions, u_{B7}	$\pm 0,8$	0,5

Table C.2 – Examples of possible values of type B uncertainty components for wind speed determination relevant for apparent sound power spectra

Component	Possible typical range m/s	Possible typical standard uncertainties m/s
Wind speed, measured ^a , u_{B8}	$\pm 1,2$	0,7
Wind speed, derived ^b , u_{B8}	$\pm 0,3$	0,2
Wind speed, power curve, u_{B9}	$\pm 0,3$	0,2
^a Through nacelle anemometer or met mast. ^b Through power curve.		

The combined standard uncertainty is found as given in Clause 9.

Annex D (informative)

Apparent roughness length

D.1 General

Roughness length is the parameter used for calculation of the wind speed at different heights based only on the terrain conditions. In Table D.1 guidance on how to estimate the roughness length is given. Since this is crude estimate, valid only for cloudy conditions, this annex gives some guidance on how to determine an apparent roughness length either from wind speed measurements or from typical wind shear data measured during site evaluation.

Table D.1 – Roughness length

Type of terrain	Roughness length z_0 m
Water, snow or sand surfaces	0,000 1
Open, flat land, mown grass, bare soil	0,01
Farmland with some vegetation	0,05
Suburbs, towns, forests, many trees and bushes	0,3

D.2 Method for determination of roughness length.

Roughness length is a parameter in the equation for the logarithmic wind profile. The equation for the logarithmic wind profile is given in Equation (D.1).

$$V_z = V_{z,\text{ref}} \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{\text{ref}}}{z_0}\right)} \right) \quad (\text{D.1})$$

where,

- V_z is the wind speed at height z above ground level;
- $V_{z,\text{ref}}$ is the wind speed at height z_{ref} above ground level (typical hub height);
- z is the height above ground for the desired wind speed;
- z_{ref} is the height above ground where the wind speed is known;
- z_0 is the roughness length in the wind direction under consideration.

Equation (D.1) can be rearranged to

$$z_0 = e^{\left(\frac{V_z \cdot \ln(z_{\text{ref}}) - V_{z,\text{ref}} \cdot \ln(z)}{V_z - V_{z,\text{ref}}} \right)} \quad (\text{D.2})$$

By measuring the wind velocity in two different heights above ground we are able to determine the roughness length in the wind direction under consideration. The roughness length is determined by averaging all the calculated 10 s roughness length during the

complete noise measurement. Preferable z_{ref} is chosen to be hub height, and z is chosen to be tip low height, in order to minimise local ground effects.

D.3 Conversion of wind shear to apparent roughness length

Very often wind shear is measured during site evaluation. Wind shear is another measure for the variation of wind speed with height as seen in (D.3). The wind shear can be converted to an apparent roughness length by equalling Equations (D.1) and (D.3).

$$V_z = V_{z,\text{ref}} \cdot \left(\frac{z}{z_{\text{ref}}} \right)^\alpha \quad (\text{D.3})$$

where,

- V_z is the wind speed at height z above ground level;
- $V_{z,\text{ref}}$ is the wind speed at height z_{ref} above ground level (typical hub height);
- z is the height above ground for the desired wind speed;
- z_{ref} is the height above ground where the wind speed is known;
- α is the wind shear factor for the wind direction under consideration.

By solving for z_0 we get the following result:

$$z_0 = e^{\left(\frac{z^\alpha \cdot \ln(z_{\text{ref}}) - z_{\text{ref}}^\alpha \cdot \ln(z)}{z^\alpha - z_{\text{ref}}^\alpha} \right)} \quad (\text{D.4})$$

By calculating z_0 this way, we can find two intersection point using the two different wind profiles, namely for a height equal to z and a height equal to z_{ref} , therefore we chose the equality to be valid for 10 m height and hub height, and thereby we can rewrite the equation to the equation for determination of the apparent roughness length from wind shear.

$$z_0 = e^{\left(\frac{10^\alpha \cdot \ln(H) - H^\alpha \cdot \ln(10)}{10^\alpha - H^\alpha} \right)} \quad (\text{D.5})$$

where,

- H is the hub height of the turbine;
- α is the wind shear factor for the measured wind direction.

The measured roughness length (see Equation (D.2), the apparent roughness length (see Equation (D.5)) or the roughness length found from Table D.1 shall be used, when finding the sound power level as a function of wind speed at 10 m height.

Annex E (informative)

Characterization of a secondary wind screen

E.1 General

A secondary wind screen can be used when measurements are made at high wind speeds and at low frequencies. The secondary wind screen improves the signal to noise ratio at the lowest and highest frequencies by reducing wind induced noise in the microphone.

If the secondary windscreen is used, the influence of the secondary windscreen on the frequency response shall be documented and corrected for in the results. The insertion loss of the wind screen should cover the meteorological conditions for which it is intended, i.e. different degrees of humidity, moisture.

E.2 Secondary wind screen

The secondary wind screen can be designed in different ways. For example, it could consist of a wire frame of approximate hemispherical shape which is covered with a 13 mm to 25 mm layer of open cell foam with a porosity of 4 to 8 pores per 10 mm or different types of textile. The secondary hemispherical windscreen shall be placed symmetrically over the smaller primary windscreen.

The diameter of the wind screen shall be at least 450 mm.

E.3 Insertion loss

As the secondary wind screen is part of the entire measurement chain the insertion loss of the secondary wind screen shall be measured with high precision. The following measurement procedure shall be followed.

E.4 Measurement procedure

The measurement setup is similar to the measurement situation for wind turbine noise measurements.

The insertion loss is measured using a loudspeaker and a pink noise signal.

The test microphone is put on a measurement board at a horizontal distance of 6 m from the loudspeaker. The loudspeaker is put on a stand at a height of 4 m. The horizontal distance of the measurement board is varied by $\pm 20\%$, corresponding to the allowed variation in measurement distance.

An extra microphone, a control microphone, is put on a separate measurement board next to the first measurement board. The purpose of this is to monitor the noise from the loudspeaker during the measurements, looking for variation in the noise emission. A half standard wind screen is applied on each of the two microphones.

The secondary wind screen is applied to the test microphone. Noise is emitted from a loudspeaker and the resulting sound pressure levels at the microphone positions are recorded for 1 min to 2 min. The secondary wind screen is removed from the test microphone and another recording is made. This is repeated 3 times. The background noise is measured

before and after these measurements. This procedure is repeated with 3 different distances of the measurement board: 4,8 m, 6,0 m, and 7,2 m. All measurements are made in 1/3-octave bands.

The insertion loss can then be determined as the level difference with and without the secondary wind screen as an arithmetic average for the 9 measurements. The standard deviation shall be calculated as well. As the result is a small difference between high sound pressure levels it is necessary to normalize the level difference with the level difference between the corresponding measurements from the control microphone.

The background noise in each 1/3-octave band shall be at least 3 dB below the noise with the loudspeaker on. For 1/3-octave bands where this is not the case the insertion loss cannot be reported.

At frequencies below 100 Hz the insertion loss can be assumed equal to the insertion loss at 125 Hz if background noise has prevented measurements.

E.5 Other demands

The values of the insertion loss shall be within –1,0 dB to 3,0 dB for any one-third octave band.

The difference in insertion loss between 2 neighbouring 1/3-octave bands shall not exceed 2 dB to prevent a distortion of the FFT-spectra, where it is not possible to correct for the secondary wind screen.

E.6 Examples of secondary wind screens

Two examples of secondary wind screens are shown in Figure E.1 and Figure E.2.



Figure E.1 – Example 1 of a secondary wind screen



Figure E.2 – Example 2 of secondary wind screen

Examples of insertion loss

In Table E.1 and Figure E.3 the insertion loss of a secondary wind screen is reported. The insertion loss should be measured down to at least 100 Hz. Below 100 Hz the insertion loss can be equalled to 0 for most secondary wind screens.

Table E.1 – Example on reporting of insertion loss

Frequency 1/3-octave band, Hz	Insertion loss dB	Standard deviation dB
20	0,1	0,2
25	0,2	0,4
31,5	0,1	0,2
40	0,1	0,2
50	0,1	0,3
63	0,0	0,3
80	0,2	0,2
100	0,2	0,1
125	0,1	0,1
160	-0,1	0,2
200	-0,3	0,3
250	0,0	0,2
315	0,3	0,2
400	0,6	0,2
500	1,2	0,2
630	1,7	0,2
800	1,7	0,4
1 000	0,7	0,3
1 250	1,3	0,7
1 600	1,7	0,5
2 000	1,6	0,5
2 500	2,3	0,4
3 150	2,6	0,6
4 000	2,1	0,9
5 000	0,8	1,3
6 300	-0,1	0,7
8 000	0,7	1,0
10 000	1,6	1,9

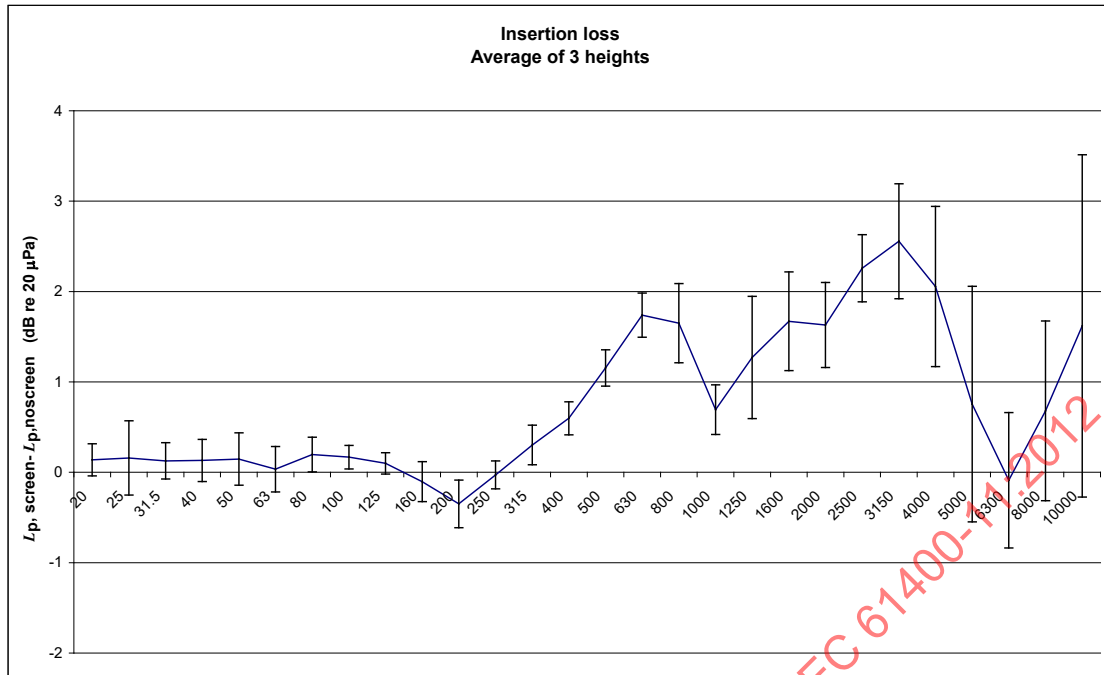


Figure E.3 – Example on insertion loss from Table E.1

Annex F (normative)

Small wind turbines

F.1 General

Along with the development of larger wind turbines there is a development of small low-cost wind turbines. Due to the lower production cost as well as the different design it is found appropriate to ease the demands on the noise measurement for these wind turbines.

This annex describes the method for noise measurements on small low-cost wind turbines. The method can be used only for wind turbines with a maximum power output less than 100 kW.

The method in this annex deviates from the general method in the main body of the standard to better address the dynamic character of small wind turbines (e.g. free yaw, greater rotor speed variations). It also removes requirements that specifically address large turbines such as nacelle anemometry. The noise from wind turbines can either be determined according to the general method or according to this annex depending on the turbine configuration.

This annex follows the principles of the general method. The annex describes the deviations from the general method.

If a wind turbine is designed to run unloaded (e.g. if the battery is full, in a battery charging application) this situation should be included in the measurements and reported separately.

F.2 Acoustic measurement positions

Acceptable measurements shall not be more than $\pm 45^\circ$ relative to the downwind microphone position and may be determined by wind direction measurements.

F.3 Wind speed measurements

Wind speed shall be measured directly instead of derived from electric power.

If a site assessment has been done in accordance with IEC 61400-12-1 to determine valid measurement sectors, data from the valid measurement sectors may be used. If no site assessment has been done then the meteorological tower shall be placed in accordance with Figure F.1, using $\beta = 90^\circ$.

The wind speed is determined from an anemometer which shall be placed at a height of least 10 m and preferably at rotor centre height. The distance between rotor centre and anemometer height shall be less than 25 m.

The wind speed shall be normalised to standard meteorological conditions as described in Equation (F.1) and adjusted to hub height applying the reference roughness length as described in Equation (F.2).

$$V_{Z,n} = V_{Z,m} \cdot \left(\frac{p}{T_k} \cdot \frac{T_{ref}}{p_{ref}} \right)^{1/3} \quad (F.1)$$

where

- $V_{Z,m}$ is the measured wind speed at height Z averaged over 10 s;
- T_k is the measured absolute air temperature averaged over 10 s;
- p is the measured air pressure averaged over 10 s in kPa;
- T_{ref} is the reference air temperature, $T_0 = 288$ K;
- p_{ref} is the reference air pressure, $p_0 = 101,325$ kPa.

$$V_{H,n} = V_{Z,n} \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right) \quad (F.2)$$

where

- H is the hub height;
- z is the measurement height for the wind speed;
- z_0 is the apparent roughness length.

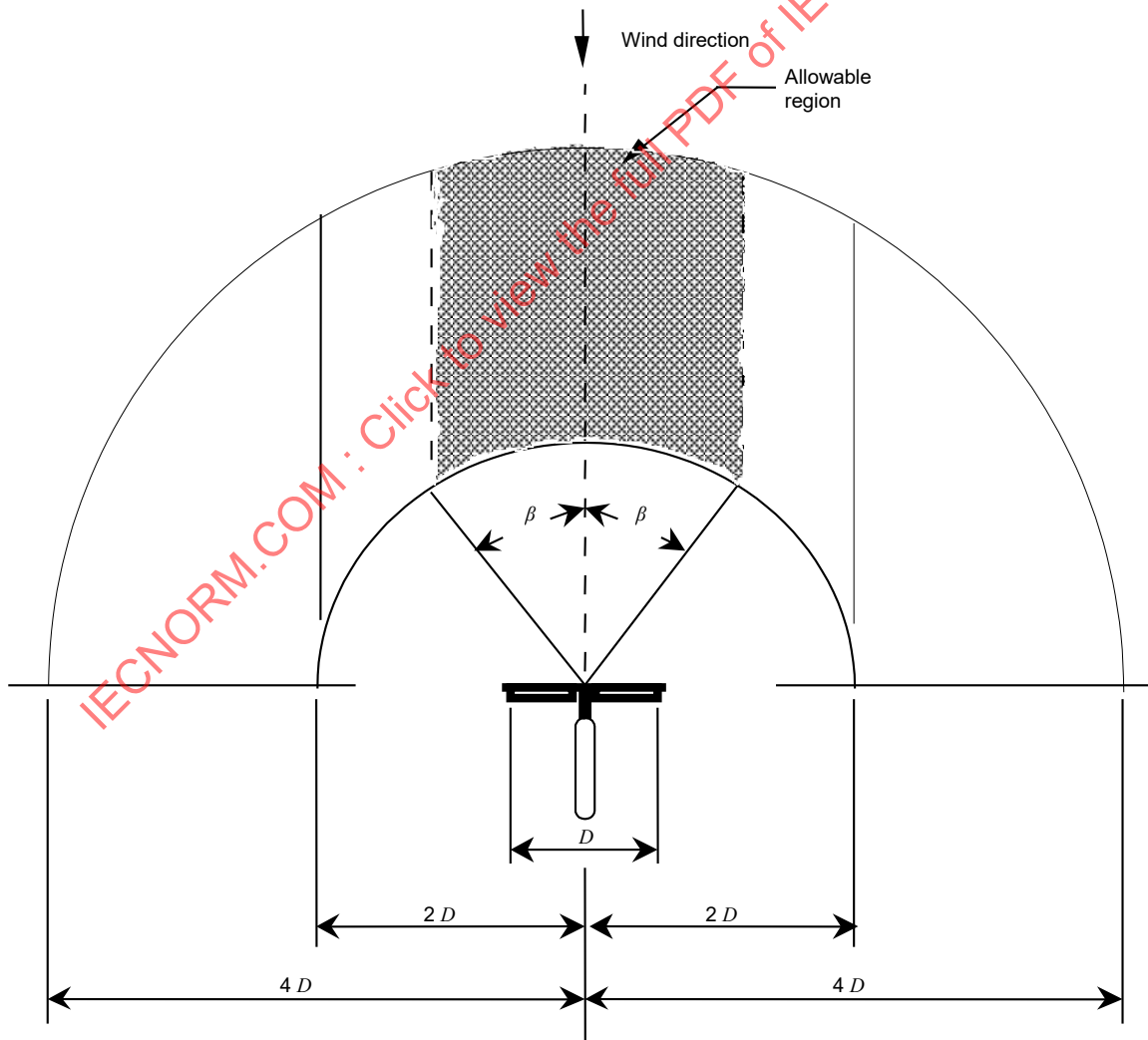


Figure F.1 – Allowable region for meteorological mast position as a function of β – Plan view

F.4 Wind speed range

The required wind speed range is from cut-in wind speed to 11 m/s as a minimum. Data should cover up to cut-out wind speed if possible, particularly for turbines that have speed control mechanisms.

The data shall be sorted into wind speed bins, 1 m/s wide, centred on integer wind speeds.

F.5 Tonal Audibility

The general methodology will be followed with the exception of determination of tonal audibility.

For each integer wind speed, at least twelve 10 s spectra of A-weighted wind turbine noise are required. These 12 spectra shall be as close as possible to the integer wind speeds. If the A-weighting cannot be applied during measurement, linear spectra may be converted to A-weighted spectra according to IEC 61672-1:2002.

The tonality is analysed according to the method in 9.5.

If no tone was identified according to 9.5.4 for some of the twelve 10 s spectra so that $\Delta L_{\text{tn},j,k}$ is undefined, it shall be replaced by the following value:

$$\Delta L_{\text{tn},j,k} = -10 \log \left[\frac{\text{Critical bandwidth}}{\text{Effective noise bandwidth}} \right] \quad (\text{F.3})$$

The overall tonality, ΔL_k , is determined as the energy average of the 12 individual $\Delta L_{\text{tn},j,k}$.

F.6 Information to be reported

The report shall contain the information described in Clause 10. Measurements and reporting of measured power, rotor rpm, pitch angle, yaw direction are not mandatory.

For small wind turbines an immission map based on the determined sound power levels shall be reported. The immission map shall cover the wind speed range for which reportable sound power levels are available. On the horizontal axis, the minimal value shall be the tower height of the test turbine and the maximum value shall be chosen such that a representative part of the 35 dB(A) contour line is showing. The sound pressure levels shall be calculated using spherical spreading. Sound pressure contours shall be drawn for multiples of 5 dB (e.g. 30 dB(A), 35 dB(A), 40 dB(A) and 45 dB(A)). Note that the immission map does not include penalties for tonality or similar as penalties are subject to local regulations. If penalties from local regulations are included in the immission map a statement of this shall follow the map.

If no data is available for a single wind speed bin, that data can be interpolated between neighboring bins. Interpolated data shall be distinguishable from actual data in the map either by using a different line style or by adding a statement under the map (e.g. "Immission levels at 7 m/s are based on interpolated data")

Figure F.2 shows an example of an immission map.

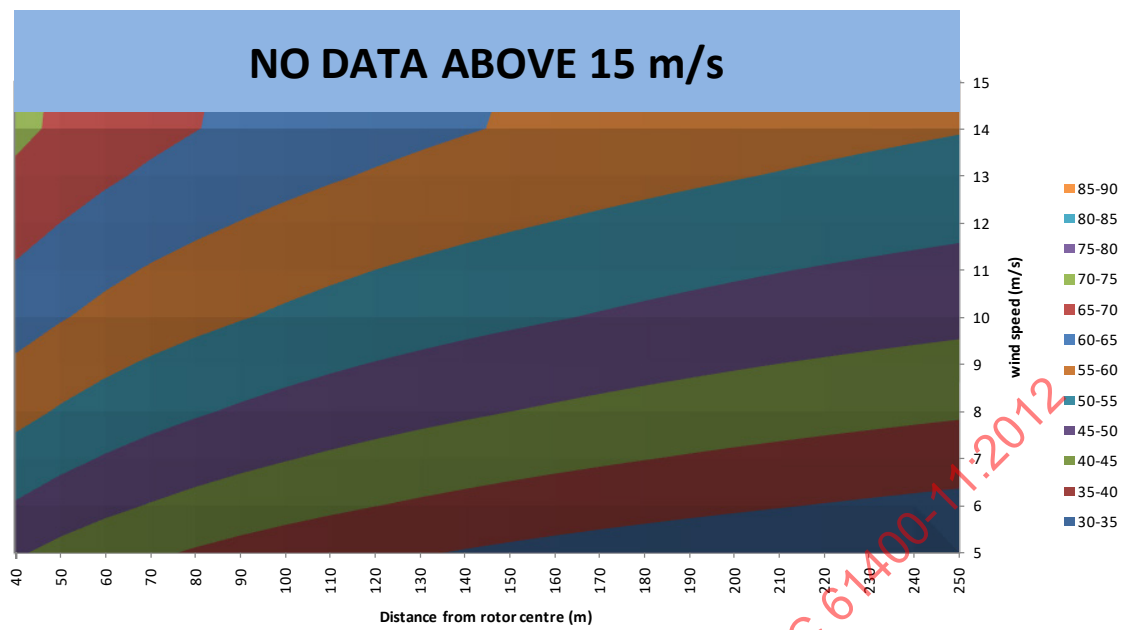


Figure F.2 – Example immission noise map

Annex G (informative)

Air absorption

With the increasing size of wind turbines the distance, R_1 , to the reference point for the noise measurements is becoming larger and the air absorption may have an influence on the results of the measurements.

The air absorption is well defined for various meteorological conditions (e.g. ISO 9613-1:1993, *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outside – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*).

The sound attenuation coefficients of high frequencies can – depending on the air temperature, humidity and the distance to the noise source – amount to considerable values. High frequency noise of modern wind turbines is mostly radiated from the rotor blades. In the last years there was a very high focus on the development of the blade design, particularly the tip of the blade, to reduce the noise emission. This means that the distance of the measured total noise at high frequencies is usually low compared to the background noise during the measurement (see Figure G.1). Consequently, a background noise correction is not reliable for every 1/3-octave band and a possible correction for the air absorption would lead to an overestimation as it would be applied to background noise and not to the turbine noise only.

According to the data reduction procedure the background noise correction is leading to conservative sound pressure levels for the turbine noise, if the distance between total noise and background noise is small. As this approach is leading to higher sound power levels and a correction for the air absorption has a considerable uncertainty, it is recommended not to correct for the air absorption.

To minimise the effect of the air absorption the tolerance for the reference position is limited to ± 30 m and especially for large wind turbines it is recommended to choose a microphone position close to the turbine.

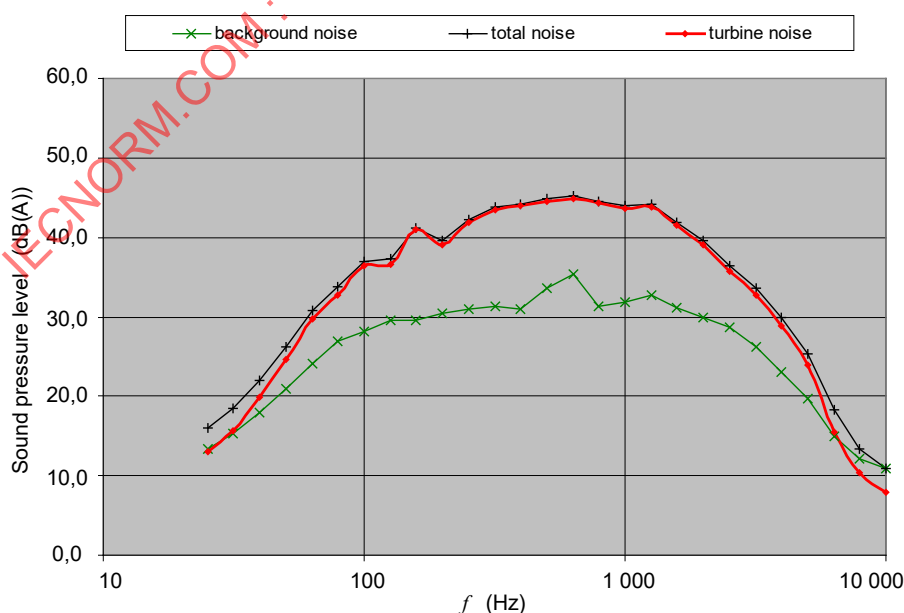


Figure G.1 – Example of 1/3-octave spectrum

Bibliography

ISO 7196, *Acoustics – Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements*

IEC/TS 61400-14, *Wind turbines – Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values*

ISO 9613-1:1993, *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outside – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-11:2012

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-11:2012

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	63
INTRODUCTION.....	65
1 Domaine d'application	66
2 Références normatives	66
3 Termes et définitions	67
4 Symboles et unités	70
5 Présentation de méthode.....	71
6 Instruments	72
6.1 Instruments acoustiques	72
6.1.1 Généralités	72
6.1.2 Matériel pour la détermination du niveau équivalent continu de pression acoustique pondérée A	72
6.1.3 Matériel pour la détermination des spectres de bandes de tiers d'octave pondérées A	72
6.1.4 Matériel pour la détermination des spectres à bandes étroites	72
6.1.5 Microphone avec panneau de mesure et écran antivent.....	72
6.1.6 Calibreur acoustique.....	75
6.1.7 Systèmes d'enregistrement/lecture des données	75
6.2 Instruments non acoustiques	75
6.2.1 Généralités	75
6.2.2 Anémomètres	75
6.2.3 Transducteur de puissance électrique.....	76
6.2.4 Autres instruments.....	76
6.3 Étalonnage traçable	76
7 Mesurages acoustiques et procédures de mesure	76
7.1 Positions des mesures acoustiques	76
7.2 Mesurages acoustiques	79
7.2.1 Généralités.....	79
7.2.2 Exigences concernant les mesurages acoustiques	79
7.2.3 Niveau de pression acoustique pondérée A	80
7.2.4 Mesurages de bandes de tiers d'octave pondérées A	80
7.2.5 Mesurages de bandes étroites pondérées A	80
7.2.6 Mesurages acoustiques facultatifs aux positions 2, 3 et 4	81
7.2.7 Autres mesurages facultatifs.....	81
8 Mesurages non acoustiques	81
8.1 Généralités	81
8.2 Mesurages de la vitesse du vent.....	81
8.2.1 Détermination de la vitesse du vent lors du fonctionnement de l'éolienne	82
8.2.2 Mesurages de la vitesse du vent lors des mesurages du bruit de fond	83
8.3 Direction sous le vent	84
8.4 Autres conditions atmosphériques.....	84
8.5 Mesurage de la vitesse du rotor et de l'angle d'inclinaison	84
9 Procédures de traitement des données.....	84
9.1 Méthodologie générale pour les niveaux de puissance acoustique et les niveaux de bandes de tiers d'octave	84
9.2 Calcul des niveaux de pression acoustique	88

9.2.1	Généralités	88
9.2.2	Calcul des spectres acoustiques moyens et de l'incertitude par tranche	89
9.2.3	Calcul de la vitesse moyenne du vent et de l'incertitude par tranche.....	90
9.2.4	Calcul des niveaux de bruit aux valeurs centrales de tranches, y compris l'incertitude.....	91
9.3	Niveaux de puissance acoustique apparente.....	93
9.4	Niveaux de puissance acoustique apparente par rapport à la vitesse du vent à une hauteur de 10 m	94
9.5	Audibilité tonale	94
9.5.1	Méthodologie générale de détermination de la tonalité	94
9.5.2	Identification des sons possibles	97
9.5.3	Classification des raies spectrales dans la bande critique.....	97
9.5.4	Son identifié	100
9.5.5	Détermination du niveau de son.....	100
9.5.6	Détermination du niveau de bruit de masque	100
9.5.7	Détermination de la tonalité	100
9.5.8	Détermination de l'audibilité.....	100
9.5.9	Bruit de fond.....	101
10	Informations à consigner	101
10.1	Généralités	101
10.2	Caractérisation de l'éolienne.....	101
10.3	Environnement physique.....	102
10.4	Instruments.....	103
10.5	Données acoustiques.....	103
10.6	Données non acoustiques	104
10.7	Incertaince.....	104
Annexe A (informative)	Autres caractéristiques possibles de l'émission sonore des éoliennes et leur quantification.....	105
Annexe B (informative)	Évaluation de l'intensité de turbulence	107
Annexe C (informative)	Évaluation de l'incertitude de mesure	108
Annexe D (informative)	Longueur de rugosité apparente.....	111
Annexe E (informative)	Caractérisation d'un écran antivibratoire secondaire	113
Annexe F (normative)	Petites éoliennes.....	118
Annexe G (informative)	Absorption par l'air.....	123
Bibliographie.....		125
Figure 1 – Montage du microphone		74
Figure 2 – Photographie du microphone et du panneau de mesure		75
Figure 3 – Schéma classique de positions de mesure de microphones (vue en plan)		77
Figure 4 – Illustration des définitions de R_0 et de la distance oblique R_1		79
Figure 5 – Position acceptable du mât météorologique (zone hachurée)		82
Figure 6 – Organigramme de représentation de la procédure de traitement des données.....		88
Figure 7 – Organigramme de détermination de l'audibilité tonale pour chaque tranche de vitesse du vent.....		96
Figure 8 – Illustration du niveau $L_{70} \%$ dans la bande critique		98
Figure 9 – Illustration des raies en dessous du critère $L_{70} \% + 6 \text{ dB}$		98

Figure 10 – Illustration du niveau $L_{pn,avg}$ et des raies classées comme raies de masque.....	99
Figure 11 – Illustration de la classification de toutes les raies spectrales	99
Figure E.1 – Exemple 1 d'écran antivient secondaire	115
Figure E.2 – Exemple 2 d'écran antivient secondaire	115
Figure E.3 – Exemple de perte par insertion issu du Tableau E.1.....	117
Figure F.1 – Région admissible pour la position du mât météorologique en fonction de β – Vue en plan	120
Figure F.2 – Exemple de carte des immissions de bruit.....	122
Figure G.1 – Exemple de spectre de tiers d'octave	124
Tableau C.1 – Exemples de valeurs possibles des composantes d'incertitude de Type B appropriées aux spectres de puissance acoustique apparente.....	109
Tableau C.2 – Exemples de valeurs possibles des composantes d'incertitude de Type B pour la détermination de la vitesse du vent, appropriées aux spectres de puissance acoustique apparente	110
Tableau D.1 – Longueur de rugosité	111
Tableau E.1 – Exemple de consignation de la perte par insertion.....	116

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-11:2012

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉOLIENNES –

Partie 11: Techniques de mesure du bruit acoustique

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 61400-11 a été établie par le comité d'études 88 de l'IEC: Éoliennes.

Cette troisième édition de l'IEC 61400-11 annule et remplace la deuxième édition parue en 2002 et son Amendement 1 (2006). Cette édition constitue une révision technique, introduisant de nouveaux principes concernant les procédures de traitement des données.

La présente version bilingue (2019-01) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2012-11.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 88/436/FDIS et 88/440/RVD.

Le rapport de vote 88/440/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61400, sous le titre général *Éoliennes*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-11:2012

INTRODUCTION

L'objectif de la présente partie de l'IEC 61400 est de fournir une méthodologie uniforme de garantie de la cohérence et de l'exactitude de la mesure et de l'analyse des émissions sonores par les aérogénérateurs. La présente Norme internationale a été établie avec prévision de son application par:

- les fabricants d'éoliennes s'efforçant de satisfaire à des exigences de performances d'émissions sonores bien définies et/ou à un système de déclaration possible (par exemple, IEC/TS 61400-14);
- les acquéreurs d'éoliennes pour la spécification d'exigences de performances;
- les exploitants d'éoliennes desquels il peut être exigé qu'ils vérifient la satisfaction aux spécifications de performances acoustiques, indiquées ou exigées, pour les nouvelles éoliennes ou les éoliennes remises en état;
- les planificateurs ou les régulateurs dans le domaine des éoliennes qui doivent être capables de définir avec exactitude et justesse les caractéristiques d'émissions sonores d'une éolienne en réaction aux règlements en matière d'environnement ou à autoriser le développement d'exigences pour des installations nouvelles ou modifiées.

La présente norme fournit des recommandations pour le mesurage, l'analyse et la consignation des émissions sonores complexes des aérogénérateurs. La norme bénéficie aux parties impliquées dans la fabrication, l'installation, la planification et l'autorisation, le fonctionnement, l'exploitation et la réglementation des éoliennes. Il convient que toutes les parties appliquent les techniques de mesure et d'analyse recommandées dans le présent document afin d'assurer le développement et le fonctionnement permanents des éoliennes dans un climat de communication cohérente et précise par rapport aux enjeux environnementaux. La présente norme spécifie les procédures de mesure et de consignation présumées fournir des résultats exacts qui peuvent être reproduits par des tiers.

ÉOLIENNES –

Partie 11: Techniques de mesure du bruit acoustique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61400 spécifie les procédures de mesure qui permettent de caractériser les émissions sonores d'une éolienne. Cette démarche implique l'utilisation de méthodes de mesure appropriées à l'évaluation des émissions sonores à des emplacements proches de la machine, afin d'éviter les erreurs dues à la propagation du son, mais toutefois suffisamment éloignés pour permettre de déterminer la dimension des sources finies. Les procédures décrites sont différentes à certains égards de celles qui seraient adoptées pour l'évaluation du bruit dans le cadre des études portant sur le bruit ambiant. Ces procédures sont destinées à faciliter la caractérisation du bruit émis par une éolienne par rapport à une plage donnée de vitesses et de directions du vent. La normalisation des procédures de mesure facilite également les comparaisons entre différentes éoliennes.

Les procédures présentent des méthodologies qui permettent une caractérisation cohérente et précise des émissions sonores d'une seule éolienne. Ces procédures incluent les facteurs suivants:

- emplacement des positions de mesures acoustiques;
- exigences concernant l'acquisition de données acoustiques, météorologiques et des données d'exploitation associées d'une éolienne;
- analyse des données obtenues et du contenu du rapport de données; et
- définition des paramètres spécifiques d'émission sonore, et des descripteurs associés utilisés pour les évaluations environnementales.

La présente Norme internationale ne se limite pas aux éoliennes d'une taille ou d'un type particuliers. Les procédures décrites dans la présente norme permettent une description approfondie de l'émission sonore d'une éolienne. Une méthode applicable aux petites éoliennes est décrite à l'Annexe F.

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).

IEC 60688, *Transducteurs électriques de mesure convertissant les grandeurs électriques alternatives en signaux analogiques ou numériques*

IEC 60942:2003, *Électroacoustique – Calibreurs acoustiques*

IEC 61260:1995, *Électroacoustique – Filtres de bande d'octave et de bande d'une fraction d'octave*

IEC 61400-12-1:2005, *Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines* (disponible en anglais seulement)

IEC 61400-12-2, *Wind turbines – Part 12-2: Power performance verification of electricity producing wind turbines*¹ (disponible en anglais seulement)

IEC 61672 (toutes les parties), *Électroacoustique – Sonomètres*

ISO/IEC Guide 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente norme, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

niveau de puissance acoustique apparente

L_{WA}

niveau de puissance acoustique pondérée A par rapport à 1 pW d'une source ponctuelle située au niveau de l'axe du rotor avec la même émission dans la direction sous le vent que l'éolienne soumise à la mesure, L_{WA} est déterminé aux vitesses du vent à valeurs centrales de tranches à la hauteur du moyeu

Note 1 à l'article: Le niveau de puissance acoustique apparente est exprimé en dB par rapport à 1 pW.

3.2

niveau de puissance acoustique apparente par rapport à la vitesse du vent à une hauteur de 10 m

$L_{WA,10m}$

niveau de puissance acoustique pondérée A par rapport à 1 pW d'une source ponctuelle située au niveau de l'axe du rotor avec la même émission dans la direction sous le vent que l'éolienne soumise à la mesure, $L_{WA,10m}$ est déterminé aux vitesses du vent à valeurs centrales de tranches à une hauteur de 10 m dans la plage mesurée des vitesses du vent

Note 1 à l'article: Le niveau de puissance acoustique apparente par rapport à la vitesse du vent à une hauteur de 10 m est exprimé en dB par rapport à 1 pW.

3.3

critère d'audibilité

L_a

courbe de critères dépendant de la fréquence déterminée à partir d'essais de réception, et traduisant la réaction subjective d'un récepteur "typique" à des sons de différentes fréquences

Note 1 à l'article: Le critère d'audibilité est exprimé en dB par rapport à 20 μ Pa.

3.4 niveaux de pression acoustique

3.4.1 niveaux de pression acoustique pondérée A

L_A

niveaux de pression acoustique mesurés avec les réseaux de pondération fréquentielle A spécifiés dans l'IEC 61672

Note 1 à l'article: Les niveaux de pression acoustique pondérée A sont exprimés en dB par rapport à 20 μ Pa.

3.4.2 niveaux de pression acoustique pondérée C

L_C

niveaux de pression acoustique mesurés avec les réseaux de pondération fréquentielle C spécifiés dans l'IEC 61672

¹ À publier.

Note 1 à l'article: Les niveaux de pression acoustique pondérée C sont exprimés en dB par rapport à 20 µPa.

3.5

valeur centrale de tranche

valeur centrale d'une tranche de vitesse du vent

3.6

angle d'inclinaison

ϕ

angle entre le plan du panneau de mesure et une droite comprise entre le microphone et l'axe du rotor

Note 1 à l'article: L'angle d'inclinaison est exprimé en °.

3.7

puissance maximale

valeur maximale de la courbe de puissance échantillonnée pour le mode de fonctionnement à puissance optimisée

Note 1 à l'article: La valeur maximale est exprimée en kW.

3.8

vitesse du vent mesurée à la hauteur Z

$V_{Z,m}$

vitesse du vent mesurée à la hauteur Z au moyen d'un anémomètre monté sur mât

Note 1 à l'article: La vitesse du vent mesurée à la hauteur Z est exprimée en m/s.

3.9

vitesse du vent mesurée par nacelle à la hauteur du moyeu

$V_{nac,m}$

vitesse du vent mesurée à la hauteur du moyeu au moyen d'un anémomètre de nacelle

Note 1 à l'article: La vitesse du vent mesurée par nacelle à la hauteur du moyeu est exprimée en m/s.

3.10

vitesse du vent normalisée mesurée par nacelle à la hauteur du moyeu

$V_{nac,n}$

vitesse du vent normalisée mesurée à la hauteur du moyeu au moyen d'un anémomètre de nacelle, corrigé selon les conditions météorologiques normales

Note 1 à l'article: La vitesse du vent normalisée mesurée par nacelle à la hauteur du moyeu est exprimée en m/s.

3.11

vitesse du vent normalisée déduite de la courbe de puissance

$V_{P,n}$

vitesse du vent normalisée déduite de la courbe de puissance dans les conditions météorologiques normales

Note 1 à l'article: La vitesse du vent normalisée déduite de la courbe de puissance est exprimée en m/s.

3.12

vitesse du vent normalisée à la hauteur du moyeu pendant les mesurages du bruit de fond

$V_{B,n}$

vitesse du vent normalisée à la hauteur du moyeu mesurée par un anémomètre

Note 1 à l'article: La vitesse du vent normalisée à la hauteur du moyeu pendant les mesurages du bruit de fond est exprimée en m/s.

3.13**vitesse du vent normalisée à la hauteur du moyeu** $V_{H,n}$

vitesse du vent normalisée à la hauteur du moyeu

Note 1 à l'article: La vitesse du vent normalisée à la hauteur du moyeu est exprimée en m/s.

3.14**vitesse du vent normalisée à la hauteur Z** $V_{Z,n}$

vitesse du vent normalisée à la hauteur Z mesurée par un anémomètre monté sur mât

Note 1 à l'article: La vitesse du vent normalisée à la hauteur Z est exprimée en m/s.

3.15**distance de référence** R_0

distance horizontale nominale entre le centre de la base de l'éolienne et chacune des positions prescrites du microphone

Note 1 à l'article: La distance de référence est exprimée en m.

3.16**longueur de rugosité de référence** z_{0ref}

longueur de rugosité de 0,05 m permettant de convertir la vitesse du vent en conditions météorologiques de référence

Note 1 à l'article: La longueur de rugosité de référence est exprimée en m.

3.17**niveau de pression acoustique** L_p niveau correspondant à 10 fois le $\log_{10}$ du rapport de la pression acoustique moyenne au carré sur le carré de la pression acoustique de référence égale à 20 μPa

Note 1 à l'article: Le niveau de pression acoustique est exprimé en dB par rapport à 20 μPa .

3.18**audibilité tonale** $\Delta L_{a,k}$

différence entre la tonalité et le critère d'audibilité dans chaque tranche de vitesse du vent, k étant la valeur centrale de cette tranche

Note 1 à l'article: L'audibilité tonale est exprimée en dB.

3.19**tonalité** ΔL_k

différence entre le niveau du son et le niveau du bruit de masque dans la bande critique entourant le son dans chaque tranche de vitesse du vent, k étant la valeur centrale de cette tranche

Note 1 à l'article: La tonalité est exprimée en dB.

3.20**tranche de vitesse du vent**

intervalle de vitesse du vent, d'une largeur de 0,5 m/s, centré autour de vitesses du vent entières et mi-entières, ouvert à son extrémité basse et fermé à son extrémité haute

3.21

vitesse du vent à une hauteur de 10 m

V_{10}

vitesse du vent à une hauteur de 10 m permettant de consigner les niveaux et les spectres de puissance acoustique apparente par rapport à une hauteur de 10 m

Note 1 à l'article: La vitesse du vent à une hauteur de 10 m est exprimée en m/s.

4 Symboles et unités

D	diamètre du rotor (éolienne à axe horizontal) ou diamètre équatorial (éolienne à axe vertical)	(m)
H	hauteur de l'axe du rotor (éolienne à axe horizontal) ou hauteur du plan équatorial du rotor (éolienne à axe vertical) au-dessus du sol local proche de l'éolienne	(m)
L_A ou L_C	niveau de pression acoustique pondérée A ou C	(dB)
L_{Aeq}	niveau équivalent continu de pression acoustique pondérée A	(dB)
$L_{pn,j,k}$	niveau de pression acoustique du bruit de masque dans une bande critique des " $j^{\text{èmes}}$ " spectres à la " $k^{\text{ème}}$ " tranche de vitesse du vent	(dB)
$L_{pn,avg,j,k}$	moyenne des niveaux de pression acoustique à largeur de bande d'analyse du bruit de masque dans les " $j^{\text{èmes}}$ " spectres à la " $k^{\text{ème}}$ " tranche de vitesse du vent	(dB)
$L_{pt,j,k}$	niveau de pression acoustique du ou des sons dans les " $j^{\text{èmes}}$ " spectres à la " $k^{\text{ème}}$ " tranche de vitesse du vent	(dB)
$L_{WA,k}$	niveau de puissance acoustique apparente, k étant une valeur centrale de la tranche de vitesse du vent	(dB)
$\log$	logarithme de base 10	
P_m	puissance électrique mesurée	(kW)
P_n	puissance électrique normalisée	(kW)
R_1	distance oblique, entre l'axe du rotor et la position de mesure réelle	(m)
R_0	distance de référence	(m)
S_0	surface de référence, $S_0 = 1 \text{ m}^2$	(m ²)
T_C	température de l'air	(°C)
T_K	température de l'air absolue	(K)
U_A	incertitude de type A	(-)
U_B	incertitude de type B	(-)
V_H	vitesse du vent à la hauteur du moyeu, H	(m/s)
V_P	vitesse du vent déduite de la courbe de puissance	(m/s)
V_z	vitesse du vent normalisée à la hauteur z	(m/s)
V_{nac}	vitesse du vent mesurée par un anémomètre de nacelle	(m/s)

f	fréquence du son	(Hz)
f_c	fréquence centrale de bande critique	(Hz)
p	pression atmosphérique	(kPa)
z_0	longueur de rugosité	(m)
z_{0ref}	longueur de rugosité de référence, 0,05 m	(m)
z	hauteur de l'anémomètre	(m)
κ	rapport de la vitesse du vent normalisée sur la vitesse du vent mesurée	(-)
$\Delta L_{tn,j,k}$	tonalité des " $j^{\text{èmes}}$ " spectres à la " $k^{\text{ème}}$ " vitesse du vent	(dB)
ϕ	angle d'inclinaison	(°)

5 Présentation de méthode

La présente partie de l'IEC 61400 définit les procédures à utiliser pour le mesurage, l'analyse et la consignation des émissions sonores d'une éolienne. Des exigences sont spécifiées concernant l'instrumentation et l'étalonnage afin d'assurer l'exactitude et la cohérence des mesurages acoustiques et non acoustiques. Les mesurages non acoustiques exigés qui définissent les conditions atmosphériques permettant de déterminer les émissions sonores sont également spécifiés. Tous les paramètres à mesurer et à consigner sont identifiés, tout comme le sont les méthodes de traitement des données exigées pour obtenir ces paramètres.

L'application de la méthode décrite dans la présente Norme internationale fournit les niveaux et les spectres de puissance acoustique pondérée A apparente, ainsi que l'audibilité tonale aux vitesses du vent à valeurs centrales de tranches à la hauteur du moyeu et à une hauteur de 10 m pour une éolienne individuelle. L'audibilité tonale est destinée à fournir des informations concernant la présence de sons dans le bruit. La tonalité déterminée ne fournit pas d'informations concernant la tonalité à d'autres distances. Les mesurages peuvent éventuellement être effectués en des positions supplémentaires afin de fournir des informations concernant les caractéristiques de direction.

La méthode s'applique à toutes les vitesses du vent. La plage de vitesses du vent pour documentation est associée à l'éolienne spécifique. Elle est définie au minimum comme la vitesse du vent à la hauteur du moyeu comprise entre 0,8 fois et 1,3 fois la vitesse du vent à 85 % de la puissance maximale arrondie aux valeurs centrales de tranches. À titre indicatif, il s'agit d'une plage de vitesses du vent comprise environ entre 6 m/s et 10 m/s à une hauteur de 10 m, selon le type d'éolienne. La plage de vitesses du vent peut être élargie par exemple pour satisfaire aux exigences nationales.

Les mesurages sont effectués aux emplacements proches de l'éolienne afin de réduire le plus possible l'influence des effets du terrain, des conditions atmosphériques ou du bruit dû à l'éolienne. Une distance de référence R_0 basée sur les dimensions de l'éolienne est utilisée afin de tenir compte de la taille de l'éolienne en essai.

Les mesurages sont effectués avec un microphone disposé sur un panneau de mesure au sol afin de réduire le bruit du vent produit au niveau du microphone, et de réduire le plus possible l'influence des différents types de sols.

Les mesurages des niveaux et des spectres de pression acoustique, des vitesses du vent, de la puissance électrique, de la vitesse de rotation du rotor et, lorsqu'il est mesuré, l'angle de calage sont effectués simultanément pendant de courtes durées et sur une large plage de vitesses du vent à la hauteur du moyeu. Les niveaux et spectres de pression acoustique aux

vitesse du vent à valeurs centrales de tranches sont déterminés et utilisés pour le calcul des niveaux et spectres de puissance acoustique pondérée A apparente.

Les annexes incluses traitent des éléments suivants:

- autres caractéristiques possibles de l'émission sonore des éoliennes et leur quantification (Annexe A informative);
- évaluation de l'intensité de turbulence (Annexe B informative);
- évaluation de l'incertitude de mesure (Annexe C informative);
- longueur de rugosité apparente (Annexe D informative);
- classification d'un écran antivent secondaire (Annexe E informative);
- petites éoliennes (Annexe F normative);
- absorption par l'air (Annexe G informative).

6 Instruments

6.1 Instruments acoustiques

6.1.1 Généralités

Le matériel suivant est nécessaire pour effectuer les mesurages acoustiques établis dans la présente norme.

6.1.2 Matériel pour la détermination du niveau équivalent continu de pression acoustique pondérée A

Le matériel doit satisfaire aux exigences d'un sonomètre de classe 1 défini dans l'IEC 61672. Le diamètre de membrane de microphone ne doit pas être supérieur à 13 mm.

6.1.3 Matériel pour la détermination des spectres de bandes de tiers d'octave pondérées A

Outre les exigences indiquées pour les sonomètres de classe 1, le matériel doit avoir une réponse en fréquence constante sur au moins la plage de fréquences donnée par les bandes de tiers d'octave avec des fréquences centrales comprises entre 20 Hz et 10 kHz. Les filtres doivent satisfaire aux exigences de l'IEC 61260 pour les filtres de classe 1.

Les niveaux équivalents continus de pression acoustique pondérée A dans les bandes de tiers d'octave avec des fréquences centrales comprises entre 20 Hz et 10 kHz doivent être déterminés simultanément.

6.1.4 Matériel pour la détermination des spectres à bandes étroites

Le matériel doit satisfaire aux exigences appropriées des instruments de classe 1 de la série IEC 61672 dans la plage de fréquences comprise entre 20 Hz et 11 200 Hz.

6.1.5 Microphone avec panneau de mesure et écran antivent

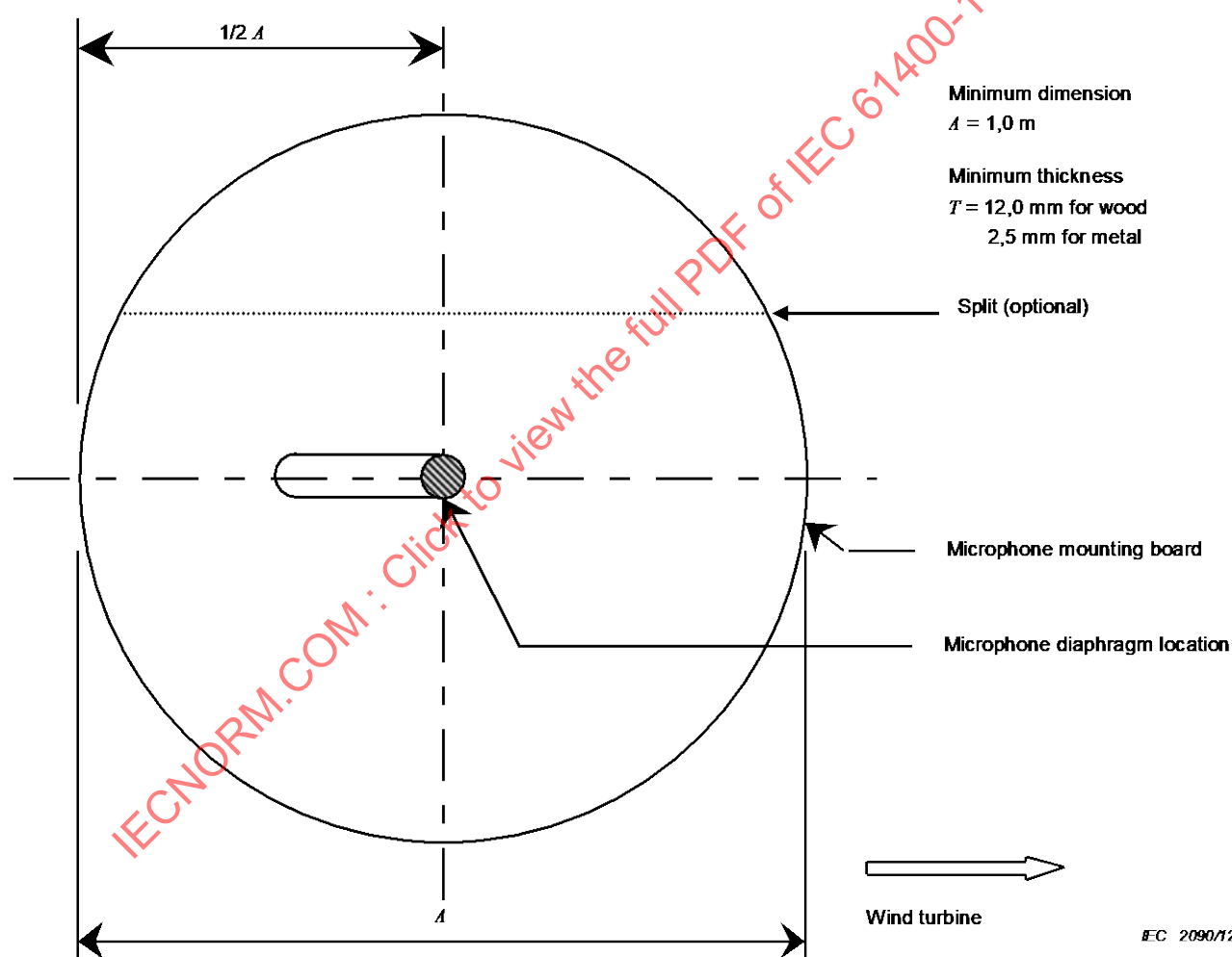
Le microphone doit être monté au centre d'un panneau dur plat, la membrane du microphone étant disposée sur un plan perpendiculaire au panneau et l'axe du microphone pointant en direction de l'éolienne, comme représenté à la Figure 1 et à la Figure 2. Le panneau de mesure doit être circulaire avec un diamètre d'au moins 1,0 m et constitué d'un matériau à dureté acoustique, tel que du contreplaqué ou du carton rigide d'une épaisseur d'au moins 12,0 mm, ou d'un métal d'une épaisseur d'au moins 2,5 mm. Dans le cas exceptionnel d'un panneau fractionné (c'est-à-dire panneau comprenant deux ou plusieurs éléments), les facteurs suivants sont à prendre en considération: les éléments doivent être de niveau dans

le même plan, l'espace entre les éléments doit être inférieur à 1 mm, et la division doit être hors de l'axe et parallèle à l'axe du microphone, comme représenté à la Figure 1a.

L'écran antivent à utiliser avec le microphone monté au sol doit être composé d'un écran principal et, si nécessaire, d'un écran secondaire. L'écran principal doit être composé d'une demi-sphère en mousse à cellules ouvertes d'un diamètre d'environ 90 mm, la demi-sphère étant centrée autour de la membrane du microphone, comme représenté à la Figure 2.

L'écran antivent secondaire peut être utilisé lorsqu'il est nécessaire d'obtenir un rapport signal/bruit approprié à de basses fréquences sous des vents forts.

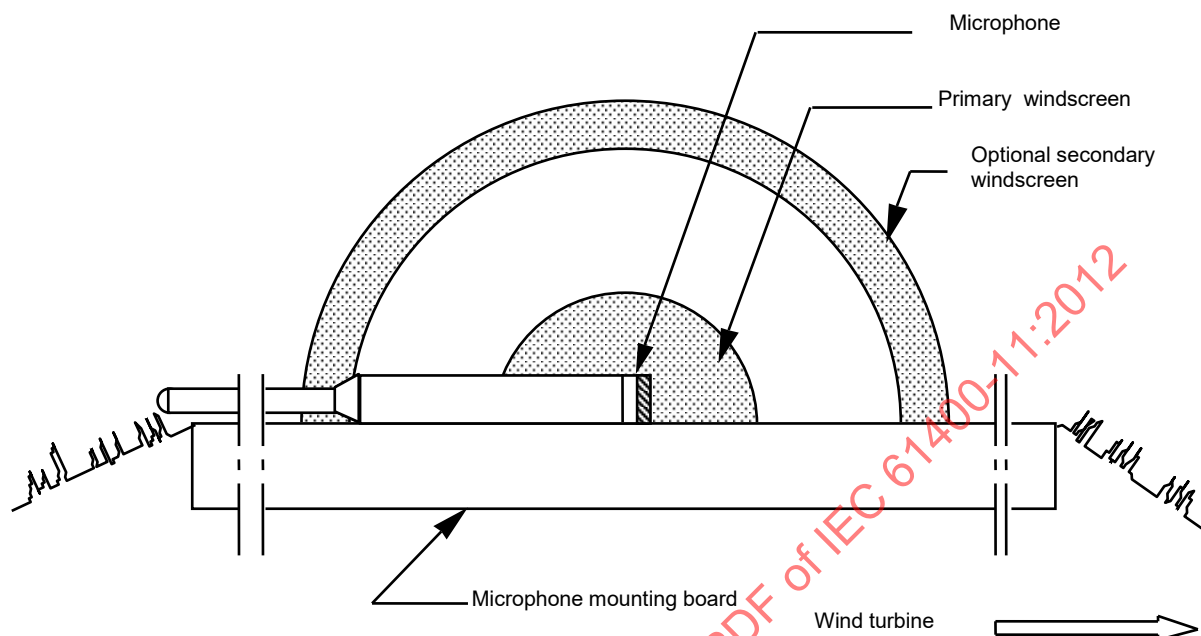
Lorsque l'écran antivent secondaire est utilisé, son influence sur la réponse en fréquence doit être documentée et corrigée dans les bandes de tiers d'octave. L'Annexe E fournit une procédure d'étalonnage de l'écran antivent secondaire, ainsi que des recommandations pour la conception et des exigences concernant la perte par insertion.



Anglais	Français
Minimum dimension	Dimension minimale
Minimum thickness	Épaisseur minimale
For wood	Pour le bois
For metal	Pour le métal
Split (optional)	Division (facultatif)
Microphone mounting board	Panneau de montage du microphone

Microphone diaphragm location	Emplacement de la membrane du microphone
Wind turbine	Éolienne

Figure 1a – Montage du microphone – Vue en plan



Anglais	Français
Microphone	Microphone
Primary windscreen	Écran antivent principal
Optional secondary windscreen	Écran antivent secondaire
Microphone mounting board	Panneau de montage du microphone
Wind turbine	Éolienne

Figure 1b – Montage du microphone – Section verticale

Figure 1 – Montage du microphone



Figure 2 – Photographie du microphone et du panneau de mesure

6.1.6 Calibreur acoustique

Le système complet de mesure acoustique, y compris les systèmes d'enregistrement, de consignation de données ou de calcul, doit être étalonné immédiatement avant et après la session de mesure à une ou plusieurs fréquences en utilisant un calibreur acoustique placé sur le microphone. Le calibreur doit satisfaire aux exigences de la classe 1 définies dans l'IEC 60942:2003, et doit être utilisé dans ses conditions d'environnement spécifiées.

6.1.7 Systèmes d'enregistrement/lecture des données

Un système d'enregistrement/lecture des données constitue un élément exigé des instruments de mesure. Lorsqu'elle est utilisée à des fins d'analyse (autre qu'une nouvelle réception), la chaîne complète d'instruments de mesure doit satisfaire aux exigences appropriées de la série IEC 61672 pour les instruments de classe 1.

6.2 Instruments non acoustiques

6.2.1 Généralités

Le matériel suivant est nécessaire pour effectuer les mesurages non acoustiques établis dans la présente norme.

6.2.2 Anémomètres

L'anémomètre monté sur mât et son matériel de traitement des signaux doivent présenter un écart maximal de $\pm 0,2$ m/s par rapport à la valeur d'étalonnage dans la plage de vitesses du vent comprise entre 4 m/s et 12 m/s. L'anémomètre doit être capable de mesurer la vitesse moyenne du vent sur des intervalles de temps synchronisés avec les mesurages acoustiques.

En raison de l'étalonnage sur site de l'anémomètre de nacelle (8.2.1.2) pendant les mesurages, l'exigence d'étalonnage ne s'applique pas à l'anémomètre de nacelle. Les mesurages à partir de l'anémomètre de nacelle peuvent être assurés par le système de commande de l'éolienne. L'anémomètre de nacelle ne doit pas être utilisé pour les mesurages du bruit de fond.

6.2.3 Transducteur de puissance électrique

Le transducteur de puissance électrique, y compris les transformateurs de courant et de tension, doit satisfaire aux exigences d'exactitude de la classe 1 définie dans l'IEC 60688. Lorsqu'il n'existe pas de système étalonné pour le signal de puissance, une incertitude supplémentaire de la puissance électrique doit être incluse. Le signal de puissance peut être fourni par le fabricant si l'incertitude de la chaîne de mesure peut être documentée par une description détaillée de la chaîne complète de mesure de puissance et des composantes d'incertitude correspondantes.

6.2.4 Autres instruments

Une caméra et des instruments de mesure de la distance sont exigés. La température doit être mesurée à ± 1 °C près. La pression atmosphérique doit être mesurée à ± 1 kPa près.

6.3 Étalonnage traçable

Les matériels suivants doivent être vérifiés régulièrement et étalonnés selon une traçabilité par rapport à un laboratoire d'étalon national ou primaire. La durée maximale depuis le dernier étalonnage doit être telle qu'indiquée pour chaque matériel.

- calibreur acoustique (12 mois);
- microphone (24 mois);
- sonomètre d'intégration (24 mois);
- analyseur de spectre (36 mois);
- systèmes d'enregistrement/lecture des données (24 mois), si utilisé pour analyse;
- anémomètre (24 mois);
- transducteur de puissance électrique (24 mois);
- transducteur de température (24 mois);
- transducteur de pression atmosphérique (24 mois).

Lorsque les mesurages de la température et de la pression atmosphérique sont effectués uniquement pour fournir des informations générales concernant les conditions météorologiques lors du mesurage, une vérification interne de l'instrument est suffisante.

Un instrument doit toujours faire l'objet d'un nouvel étalonnage en cas de réparation ou de suspicion d'une panne ou d'un dommage.

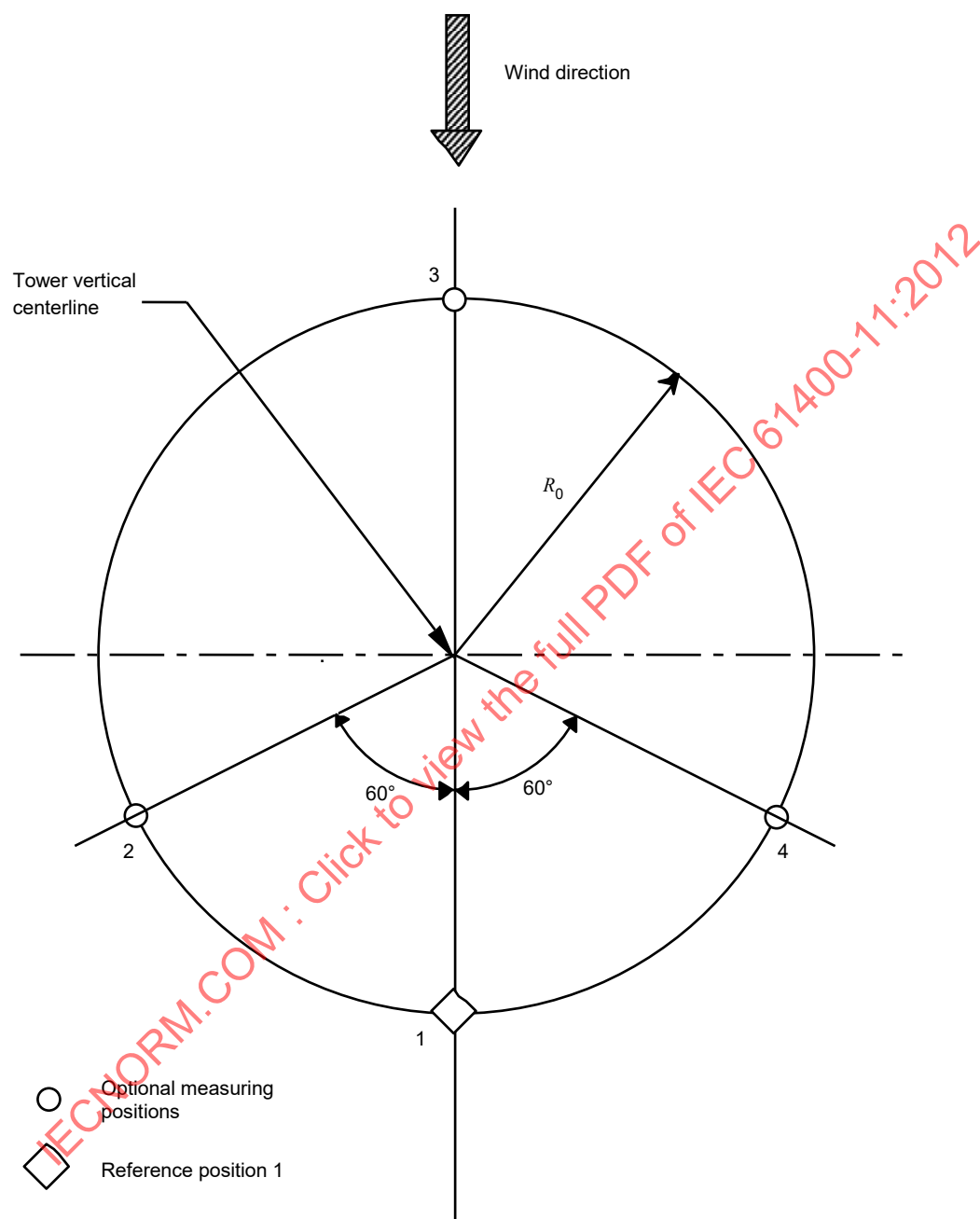
7 Mesurages acoustiques et procédures de mesure

7.1 Positions des mesures acoustiques

Pour une caractérisation complète de l'émission sonore d'une éolienne, les positions de mesure suivantes sont exigées.

Une, deux, voire trois positions de microphones doivent être utilisées. Les positions doivent être établies autour de l'axe vertical du mât de l'éolienne comme l'indique la vue en plan représentée à la Figure 3. La position exigée de mesure dans le sens du vent est identifiée comme la position de référence, telle que représentée à la Figure 3. La direction des positions doit être de $\pm 15^\circ$ par rapport à la direction sous le vent de l'éolienne au moment de

la mesure. La direction sous le vent peut être déduite de l'orientation. La distance horizontale R_0 entre l'axe vertical du mât de l'éolienne et chaque position de microphone doit être telle que représentée à la Figure 3, avec une tolérance de $\pm 20\%$, au maximum ± 30 m, et doit être mesurée à $\pm 2\%$ près.



Anglais	Français
Wind direction	Direction du vent
Tower vertical centerline	Axe vertical du mât
Optional measuring positions	Positions de mesure facultatives
Reference position	Position de référence

Figure 3 – Schéma classique de positions de mesure de microphones (vue en plan)

Comme représenté à la Figure 4a, la distance de référence R_0 pour les éoliennes à axe horizontal est donnée par:

$$R_0 = H + \frac{D}{2} \quad (1)$$

où

H est la distance verticale (hauteur) entre le sol et l'axe du rotor; et

D est le diamètre du rotor.

Comme représenté à la Figure 4b, la distance de référence R_0 pour les éoliennes à axe vertical est donnée par:

$$R_0 = H + D \quad (2)$$

où

H est la distance verticale (hauteur) entre le sol et le plan équatorial du rotor; et

D est le diamètre équatorial.

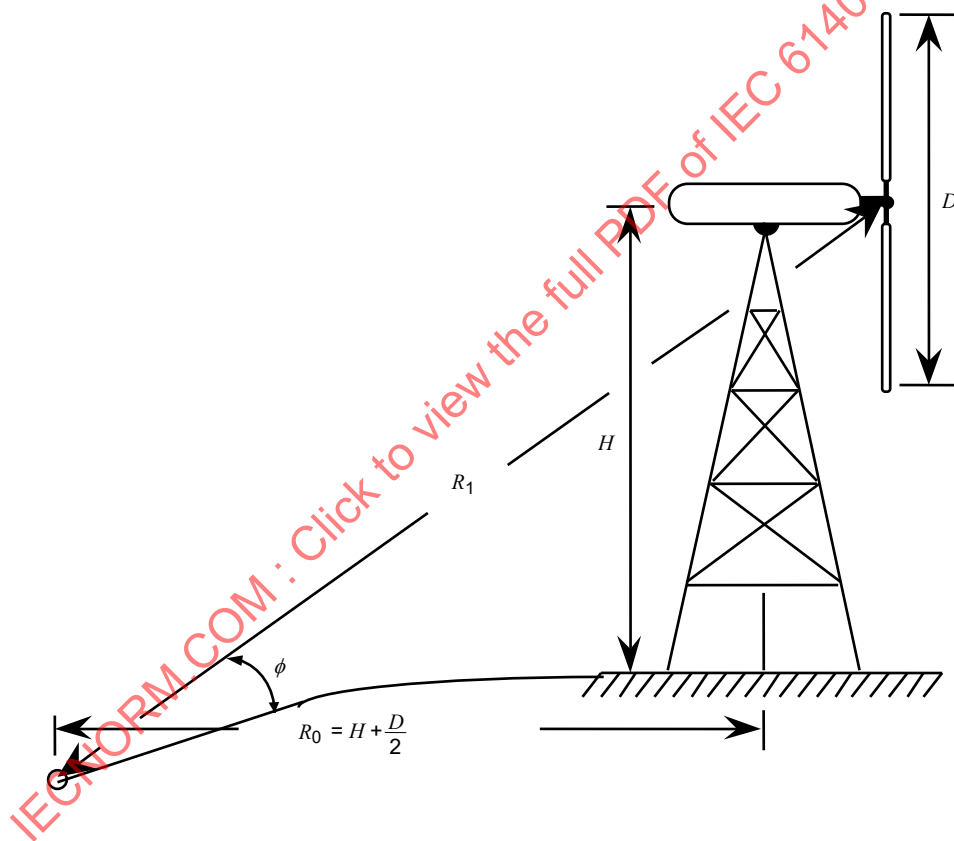


Figure 4a – Éolienne à axe horizontal

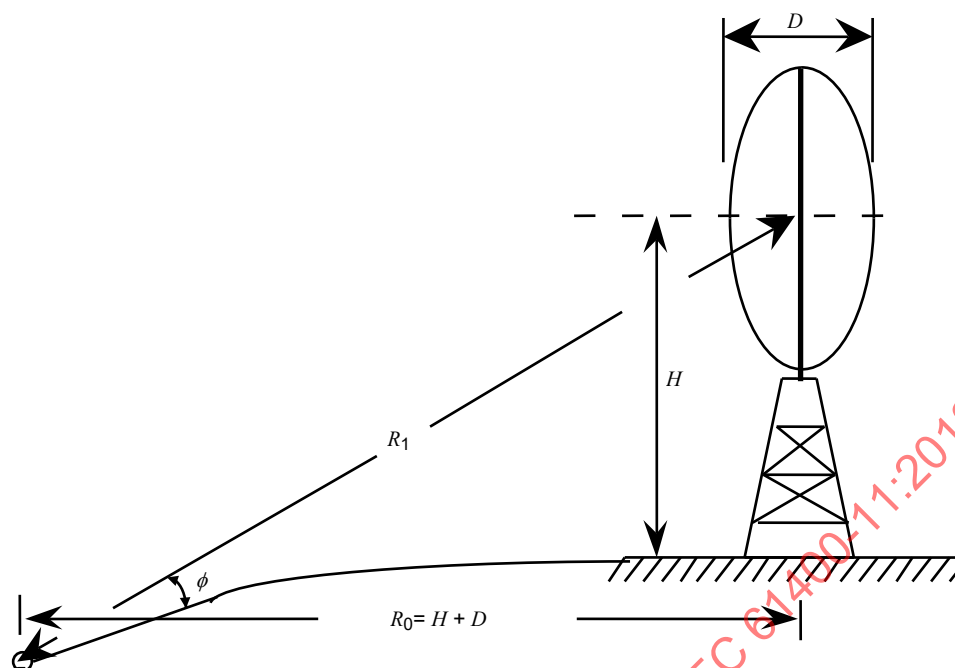


Figure 4b – Éolienne à axe vertical

Figure 4 – Illustration des définitions de R_0 et de la distance oblique R_1

Pour réduire le plus possible l'influence des bords du panneau de mesure sur les résultats de mesure, il doit être vérifié que le panneau est positionné à plat sur le sol. Il convient d'aplanir par de la terre les bords ou les espaces éventuels sous le panneau. L'angle d'inclinaison ϕ , tel que représenté à la Figure 4, doit être compris entre 25° et 40° . Cette disposition peut exiger le réglage de la position de mesure dans les limites de tolérance susmentionnées. D'autres éléments doivent être pris en considération pour les mesurages effectués sur un terrain complexe afin d'éviter toute influence telle que le filtrage ou les réflexions dues aux obstacles ou au terrain.

La position de mesure doit être choisie de sorte que l'influence calculée des structures réfléchissantes éventuelles, telles que les bâtiments ou les parois, doit être inférieure à 0,2 dB.

7.2 Mesurages acoustiques

7.2.1 Généralités

Les mesurages acoustiques doivent permettre de déterminer les informations suivantes concernant l'émission sonore de l'éolienne aux vitesses du vent à valeurs centrales de tranches:

- le niveau de puissance acoustique apparente pondérée A;
- les niveaux de bandes de tiers d'octave pondérées A;
- l'audibilité tonale.

Les mesurages facultatifs peuvent inclure la directivité, l'infrason, le bruit à basse fréquence et l'impulsivité.

7.2.2 Exigences concernant les mesurages acoustiques

Les exigences suivantes s'appliquent pour tous les mesurages acoustiques:

- La chaîne de mesure complète doit être étalonnée au moins à une fréquence avant et après les mesurages, ou en cas de déconnexion et de reconnexion des microphones pendant les mesurages.
- Tous les signaux acoustiques doivent être enregistrés et stockés pour une inspection ultérieure.
- Les durées de mesure avec un bruit de fond intermittent intrusif (celui émis par un aéronef par exemple) doivent être supprimées.
- La plage de vitesses du vent est associée à l'éolienne spécifique. Elle est au minimum définie comme la vitesse du vent à la hauteur du moyeu comprise entre 0,8 fois et 1,3 fois la vitesse du vent à 85 % de la puissance maximale arrondie aux valeurs centrales de tranches de vitesse du vent.
- L'éolienne étant à l'arrêt, et en utilisant le même montage d'essai, le bruit de fond doit être mesuré immédiatement avant ou après chaque série de mesures du bruit émis par l'éolienne et dans des conditions de vent analogues. L'opérateur qui effectue les mesurages du bruit de fond doit s'efforcer de garantir qu'ils sont représentatifs du bruit de fond émis pendant les mesurages des émissions sonores de l'éolienne. Il est recommandé de mesurer le bruit de fond plusieurs fois pendant la durée de mesure afin de couvrir la même plage de vitesses du vent que pour le bruit total.
- Les mesurages doivent couvrir la plus large plage possible de vitesses du vent que la pratique permet. Pour obtenir une plage suffisante de vitesses du vent, il peut être nécessaire d'effectuer les mesurages selon plusieurs séries de mesures.
- Au moins 180 mesurages doivent être effectués en tout pour le bruit total et le bruit de fond, ces mesurages couvrant les plages de vitesses du vent correspondantes.
- Au moins 10 mesurages doivent être effectués dans chaque tranche de vitesse du vent pour le bruit total et le bruit de fond.

De plus, les exigences suivantes s'appliquent pour les mesurages acoustiques individuels.

7.2.3 Niveau de pression acoustique pondérée A

Le niveau équivalent continu de pression acoustique pondérée A du bruit émis par l'éolienne doit être mesuré à la position de référence. Chaque mesurage doit être intégré pendant une durée de 10 s.

7.2.4 Mesurages de bandes de tiers d'octave pondérées A

Les spectres de tiers d'octave pondérés A sont mesurés de manière synchrone avec les niveaux de pression acoustique globale utilisés comme moyenne énergétique pendant des durées de 10 s. Au minimum, des bandes de tiers d'octave avec des fréquences centrales comprises entre 20 Hz et 10 kHz, doivent être mesurées. La pondération A doit être appliquée dans le domaine temporel, c'est-à-dire préalablement à l'analyse des fréquences.

Les mesurages du bruit de fond avec l'éolienne à l'arrêt doivent satisfaire aux mêmes exigences.

7.2.5 Mesurages de bandes étroites pondérées A

Les spectres à bandes étroites sont mesurés de manière synchrone avec les niveaux de pression acoustique utilisés comme moyenne énergétique pendant des durées de 10 s. Les spectres à bandes étroites doivent être pondérés A. Une fenêtre de Hanning avec un recouvrement d'au moins 50 % doit être utilisée. La résolution en fréquence doit être comprise entre 1 Hz et 2 Hz.

Des mesurages du bruit complémentaires peuvent s'avérer nécessaires pour déterminer l'audibilité d'un son identifié tel qu'indiqué en 9.5.8.

Les mesurages du bruit de fond doivent permettre de déterminer que les sons ne proviennent pas du bruit de fond.

7.2.6 Mesurages acoustiques facultatifs aux positions 2, 3 et 4

Les mesurages effectués dans les positions qui ne sont pas les positions de référence doivent satisfaire aux exigences concernant la position de référence.

Il convient d'effectuer les mesurages dans les positions qui ne sont pas les positions de référence simultanément avec les mesurages correspondants dans la position de référence. Les mesurages effectués dans les trois positions qui ne sont pas les positions de référence peuvent être effectués de manière individuelle, mais chacun d'entre eux doit être effectué simultanément avec un mesurage dans la position de référence.

7.2.7 Autres mesurages facultatifs

Des mesurages complémentaires peuvent être effectués pour quantifier les émissions sonores dont la caractéristique définie n'est pas décrite par les procédures de mesure détaillées dans la présente norme.

Cette caractéristique peut être l'émission d'un infrason, un bruit à basse fréquence, la modulation d'un bruit à large bande, des impulsions ou des sons inhabituels (tels qu'un sifflement, souffle, cri ou bourdonnement), des impulsions distinctes dans le bruit (par exemple, éclats, ferraillements, claquements ou bruits sourds), ou un bruit dont la caractéristique est suffisamment irrégulière pour attirer l'attention. Ces éléments sont abordés et des mesures quantitatives possibles sont présentées à l'Annexe A. Ces mesures ne sont pas acceptées de manière universelle et sont indiquées uniquement à titre de recommandations.

8 Mesurages non acoustiques

8.1 Généralités

Les mesurages non acoustiques suivants doivent être effectués. La vitesse du vent, la puissance électrique et la vitesse de rotation doivent être échantillonnées avec une fréquence d'au moins 1 Hz. Si d'autres paramètres d'éolienne sont mesurés, la fréquence d'échantillonnage doit être identique.

8.2 Mesurages de la vitesse du vent

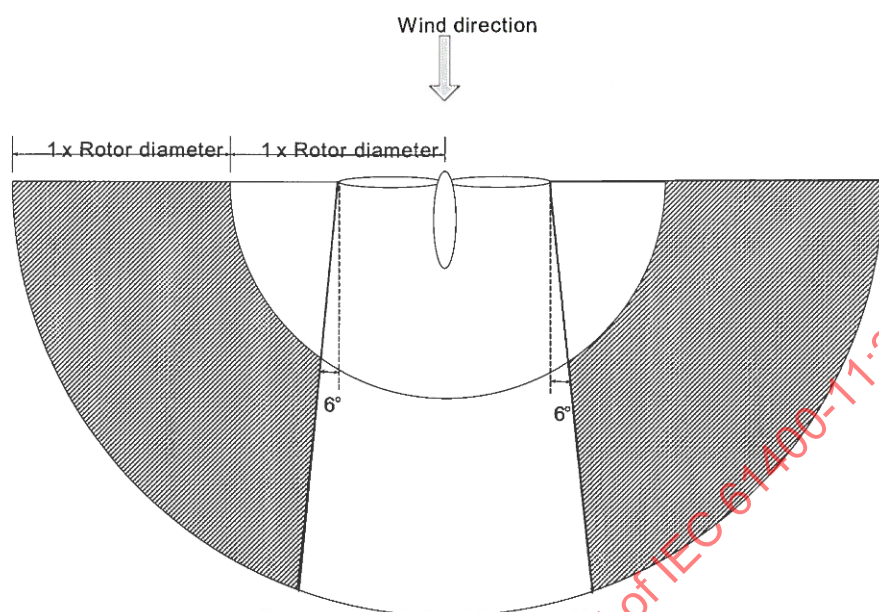
La vitesse du vent doit être mesurée par une courbe de puissance à partir de la puissance produite.

Pour les sections de la courbe de puissance pour lesquelles les exigences de l'Équation (3) ne sont pas satisfaites, la vitesse du vent ne peut pas être déterminée à partir des valeurs lues de puissance, et l'anémomètre de nacelle doit être utilisé. En l'absence d'anémomètre de nacelle, un anémomètre doit être monté sur la nacelle. Des recommandations pour l'installation de l'anémomètre de nacelle sont fournies dans l'IEC 61400-12-2.

La vitesse du vent mesurée par l'anémomètre de nacelle doit être représentative de la vitesse du vent frappant le rotor.

Les mesurages du bruit de fond doivent utiliser un anémomètre monté sur un mât météorologique d'au moins 10 m de haut. Il convient que la position du mât météorologique ne soit relativement pas perturbée, et qu'elle représente le vent en écoulement libre au niveau de la position de l'éolienne. La Figure 5 fournit des recommandations concernant la position du mât météorologique afin d'assurer une corrélation entre les vitesses du vent

mesurées au niveau du mât météorologique et à la hauteur du moyeu, et le vent à la position de microphone.



Anglais	Français
Wind direction	Direction du vent
Rotor diameter	Diamètre du rotor

Figure 5 – Position acceptable du mât météorologique (zone hachurée)

Les données concernant la vitesse et la puissance du vent doivent être collectées et faire l'objet d'un calcul de moyenne arithmétique de manière synchrone avec les mesurages acoustiques.

Des turbulences du vent incident sur une éolienne peuvent altérer ses émissions sonores aérodynamiques. L'Annexe B traite de l'évaluation des turbulences.

8.2.1 Détermination de la vitesse du vent lors du fonctionnement de l'éolienne

8.2.1.1 Détermination de la vitesse du vent par la courbe de puissance

La courbe de puissance associe la puissance à la vitesse du vent à la hauteur du moyeu. La vitesse du vent est déterminée à partir de la puissance électrique mesurée. La corrélation entre le niveau acoustique mesuré et la puissance électrique mesurée est très élevée pour les intervalles admis de la courbe de puissance, voir Équation (3).

La vitesse du vent $V_{P,n}$ doit être obtenue à partir des mesurages de la puissance électrique produite au moyen d'une courbe documentée puissance/vitesse du vent. La courbe de puissance doit représenter le type spécifique d'éolienne et de préférence être mesurée conformément à l'IEC 61400-12-1 ou à l'IEC 61400-12-2. Une courbe de puissance calculée peut être utilisée en l'absence de courbe de puissance mesurée. En cas d'utilisation d'une courbe de puissance calculée, l'hypothèse d'une incertitude de l'étendue d'une courbe de puissance mesurée peut être posée. La courbe de puissance doit indiquer la relation entre la vitesse du vent à la hauteur du moyeu et la puissance électrique produite par l'éolienne pour des conditions atmosphériques normales de 15 °C et 101,3 kPa.

Les intervalles de la courbe de puissance qui peuvent être utilisés sont tous des intervalles qui ne comportent aucune valeur reproduite et avec lesquels la pente de la courbe de puissance comprenant l'incertitude est positive.

L'exigence concernant la pente de la courbe de puissance est satisfaite pour tout intervalle de ladite courbe, lorsque la relation suivante est satisfaite:

$$(P_{k+1} - P_{tol}) - (P_k + P_{tol}) > 0 \quad (3)$$

où

- k est le nombre de tranches de la vitesse du vent de la courbe de puissance;
- P_k est la valeur de la courbe de puissance à la tranche de vitesse du vent k ;
- P_{tol} est la tolérance pour les valeurs lues de puissance, les valeurs typiques de P_{tol} étant comprises entre 1 et 5 % des valeurs maximales.

Tous les intervalles de courbe de puissance satisfaisant à cette exigence sont appelés *étendue admise* de la courbe de puissance. Pour ces intervalles,

$$V_{H,n} = V_{P,n}$$

$V_{H,n}$ est la vitesse normalisée du vent à la hauteur du moyeu.

8.2.1.2 Détermination de la vitesse du vent au moyen de l'anémomètre de nacelle

Pour tous les points de données dont les niveaux de puissance sont déterminés à partir de l'étendue admise de la courbe de puissance, la valeur moyenne du rapport κ_{nac} de la vitesse du vent déduite de la courbe de puissance $V_{P,n}$ sur la vitesse du vent mesurée par nacelle $V_{nac,m}$, est calculée par dérivation. Cette valeur doit alors être appliquée à la vitesse du vent mesurée par nacelle pour les points de données dont les niveaux de puissance se situent hors de l'étendue admise de la courbe de puissance, afin de déduire la vitesse du vent normalisée à l'aide de l'Équation (4).

$$V_{nac,n} = \kappa_{nac} V_{nac,m} \quad (4)$$

où

$V_{nac,m}$ est la vitesse du vent mesurée au moyen de l'anémomètre de nacelle;

$V_{nac,n}$ est la vitesse du vent normalisée mesurée par l'anémomètre de nacelle, et corrigée à la hauteur du moyeu.

Si $V_{nac,n}$ prend des valeurs dans l'étendue admise de la courbe de puissance, l'analyse doit omettre le point de données.

$V_{H,n} = V_{nac,n}$ hors de l'étendue admise de la courbe de puissance.

8.2.2 Mesurages de la vitesse du vent lors des mesurages du bruit de fond

Pour les mesurages du bruit de fond, la vitesse du vent doit être mesurée au moyen d'un anémomètre monté sur mât météorologique à une hauteur d'au moins 10 m. À des fins d'étalonnage sur site, la vitesse du vent déterminée par le mât météorologique doit être mesurée lors du mesurage complet.

Pour tous les points de données dont les niveaux de puissance sont déterminés à partir de l'étendue admise de la courbe de puissance, la valeur moyenne du rapport κ_z de la vitesse du vent déduite de la courbe de puissance $V_{P,n}$ sur la vitesse du vent mesurée $V_{z,m}$, doit être calculée par dérivation. Ce rapport doit alors être appliqué à la vitesse du vent mesurée des points de données obtenus lors des mesurages du bruit de fond afin de déduire la vitesse du vent normalisée à l'aide de l'Équation (5).

$$V_{B,n} = \kappa_Z V_{Z,m} \quad (5)$$

où

$V_{Z,m}$ est la vitesse du vent mesurée au moyen d'un anémomètre à une hauteur Z d'au moins 10 m;

$V_{B,n}$ est la vitesse du vent normalisée à la hauteur du moyeu.

$V_{H,n} = V_{B,n}$ lors des mesurages du bruit de fond.

8.3 Direction sous le vent

La position de la nacelle par rapport à la position du panneau de mesure est observée afin de garantir que seules les données sont utilisées pour l'analyse, lorsque la position du panneau ou la position de microphone correspond à un angle de $\pm 15^\circ$ par rapport à la direction sous le vent déduite de la position de la nacelle. Il est recommandé de mesurer l'orientation à partir du contrôleur de l'éolienne, et ce, simultanément avec les autres signaux dudit contrôleur.

8.4 Autres conditions atmosphériques

La température et la pression de l'air doivent être mesurées et enregistrées au moins toutes les 2 h à une hauteur d'au moins 1,5 m.

8.5 Mesurage de la vitesse du rotor et de l'angle d'inclinaison

Le mesurage et la consignation de la vitesse du rotor sont obligatoires, alors que le mesurage et la consignation de l'angle sont recommandés. Ces données peuvent être obtenues par le contrôleur de l'éolienne et doivent être collectées et faire l'objet d'un calcul de moyenne arithmétique de manière synchrone avec les mesurages acoustiques.

9 Procédures de traitement des données

9.1 Méthodologie générale pour les niveaux de puissance acoustique et les niveaux de bandes de tiers d'octave

L'objectif de ces procédures est de générer des spectres de puissance acoustique dans des bandes de tiers d'octave, ainsi que des niveaux de puissance acoustique globale en appliquant des méthodes statistiques. Il convient de noter que l'analyse utilise deux types de calcul de la moyenne: calcul de la moyenne arithmétique pour les données non acoustiques et calcul de la moyenne énergétique pour les données acoustiques.

Le présent paragraphe détermine également l'incertitude associée aux spectres de puissance acoustique dans des bandes de tiers d'octave et aux niveaux de puissance acoustique globale. L'exactitude est indiquée pour la plupart des instruments. Avant d'utiliser cet élément ci-dessous, l'exactitude doit être convertie en incertitude. Des lignes directrices sont fournies à l'Annexe C.

Le bruit et la vitesse du vent sont mesurés et moyennés pendant des durées de 10 s. Le bruit est mesuré à la fois comme le niveau de pression acoustique pondérée A L_{Aeq} et comme le spectre de bandes de tiers d'octave pondérées A $L_{Aeq,o}$. Chaque spectre de bandes de tiers d'octave est normalisé selon la valeur mesurée pour le niveau L_{Aeq} .

Les points de données sont triés en tranches de vitesse du vent et moyennés, ce qui donne:

- la vitesse moyenne du vent;
- le spectre moyen de bandes de tiers d'octave pondérées A;
- les incertitudes types correspondantes.

La vitesse moyenne du vent peut ne pas être la valeur centrale de tranche.

Pour chaque bande de tiers d'octave, la valeur du bruit correspondant à la valeur centrale est déterminée par interpolation linéaire entre les valeurs moyennes de tranches contiguës. Cette opération génère un spectre de tiers d'octave au niveau de la valeur centrale de chaque tranche.

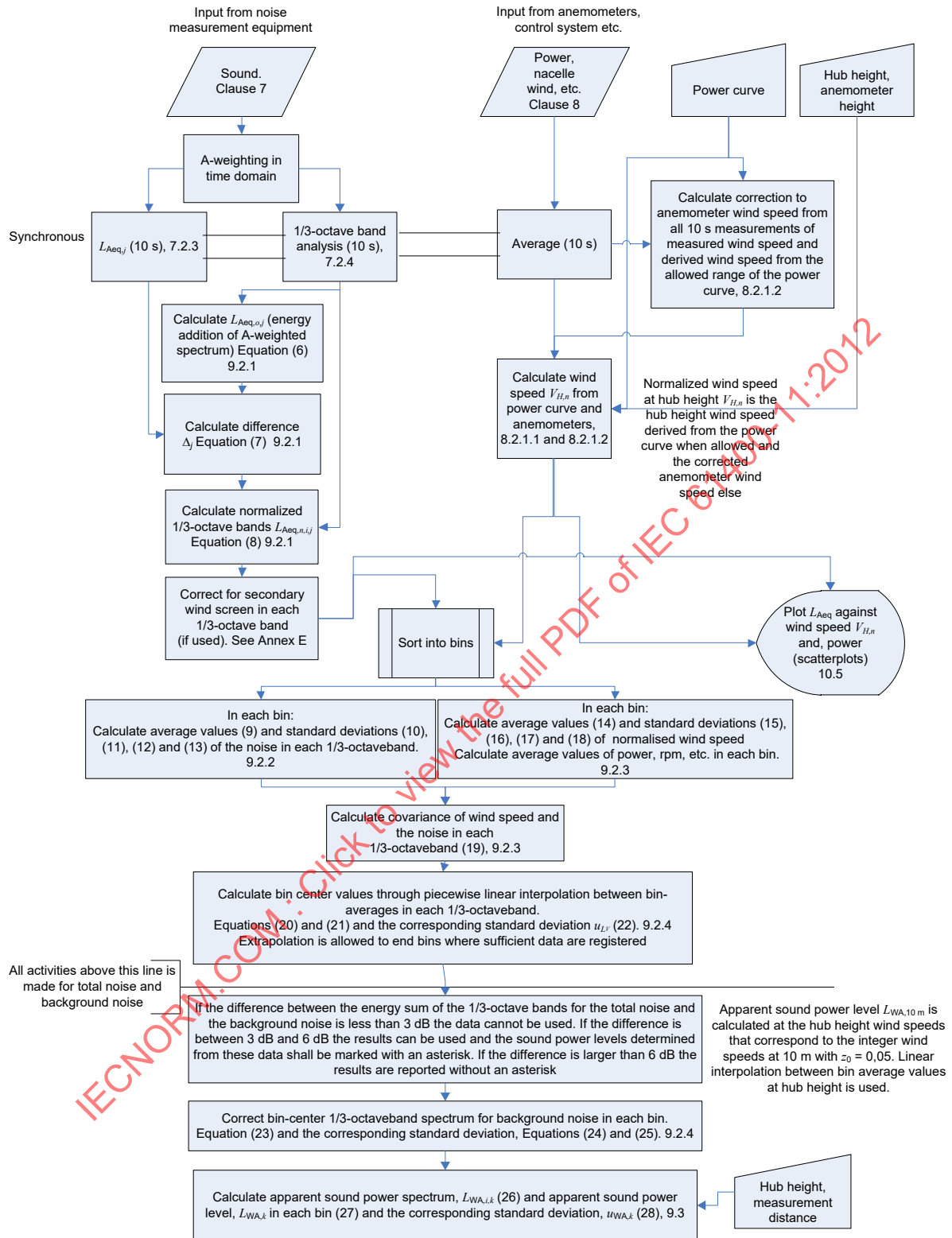
La procédure décrite ci-dessus s'applique tant au bruit total qu'au bruit de fond afin de déterminer les spectres de valeurs centrales de tranches.

Le spectre de bandes de tiers d'octave du bruit émis par une éolienne pour chaque valeur centrale de tranche de vitesse du vent est déterminé par correction du spectre de bruit total avec le spectre de bruit de fond pour la même valeur centrale de tranche de vitesse du vent. Si la différence entre la somme des bandes de tiers d'octave du bruit total et la somme des bandes de tiers d'octave du bruit de fond est comprise entre 3 et 6 dB, le résultat consigné doit être marqué avec un astérisque. Si la différence est inférieure ou égale à 3 dB, le résultat propre à cette tranche de vitesse du vent ne doit pas être consigné.

La description ci-dessous utilise les indices suivants:

- i* nombre de bandes de tiers d'octave (par exemple, $i = 1$ pour une fréquence centrale de 20 Hz, $i = 2$ pour une fréquence centrale de 25 Hz, ..., $i = 28$ pour une fréquence centrale de 10 kHz);
- j* nombre de durées de mesure de 10 s (il convient que chaque tranche comporte au minimum 10 points; par conséquent $j = 1$ à 10 ou plus);
- k* tranche de vitesse du vent (c'est-à-dire $k =$ tranche de 6 m/s, $k =$ tranche de 6,5 m/s, $k =$ tranche de 7 m/s, etc.);
- V* valeur centrale de tranche;
- o* spectre mesuré de bandes de tiers d'octave;
- n* spectre normalisé;
- T* bruit total;
- B* bruit de fond;
- C* bruit total de fond corrigé.

La procédure est décrite de manière détaillée ci-après et illustrée dans l'organigramme de la Figure 6.



Anglais	Français
Input from noise measurement equipment	Intrant du matériel de mesure du bruit
Input from anemometers, control system, etc.	Intrant des anémomètres, du système de commande, etc.
Sound, Clause 7	Son, Article 7
Power, nacelle wind, Clause 8	Puissance, vent soufflant sur la nacelle, Article 8
Power curve	Courbe de puissance

Hub height, anemometer height	Hauteur du moyeu, hauteur de l'anémomètre
A-weighting in time domain	Pondération A dans le domaine temporel
Synchronous	Synchrone
1/3-octave band analysis	Analyse de bandes de tiers d'octave
Average	Moyenne
Calculate correction to anemometer wind speed from all 10 s measurements of measured wind speed and derived wind speed from the allowed range of the power curve	Calculer la correction de la vitesse du vent mesurée par anémomètre à partir de la totalité des mesurages de 10 s de la vitesse du vent mesurée et de la vitesse du vent déduite de la plage admise de la courbe de puissance
Calculate LEAq, oj (energy addition of A-weighted spectrum)	Calculer LEAq, oj (ajout énergétique du spectre pondéré A)
Calculate difference	Calculer la différence
Calculate wind speed from power curve and anemometers, 8.2.1.1 and 8.2.1.2	Calculer la vitesse du vent à partir de la courbe de puissance et des anémomètres, 8.2.1.1 et 8.2.1.2
Normalized wind speed at hub height is the hub height wind speed derived from the power curve when allowed and the corrected anemometer wind speed else	La vitesse du vent normalisée à la hauteur du moyeu est la vitesse du vent à la hauteur du moyeu déduite de la courbe de puissance lorsque cela est admis, sinon de la vitesse du vent corrigée mesurée par anémomètre
Calculate normalized 1/3-octave bands	Calculer les bandes de tiers d'octave normalisées
Correct for secondary wind screen in each 1/3-octave band (if used). See Annex E	Corriger l'écran antivent secondaire dans chaque bande de tiers d'octave (lorsqu'utilisée). Voir Annexe E
Sort into bins	Trier en tranches
Plot LAeq against wind speed and power (scatterplots)	Tracer la valeur LAeq par rapport à la vitesse du vent et à la puissance (nuages de points)
In each bin	Dans chaque tranche
Calculate average values and standard deviations (10), (11), (12) and (13) of the noise in each 1/3-octave band	Calculer les valeurs moyennes et les écarts types (10), (11), (12) et (13) du bruit dans chaque bande de tiers d'octave
Calculate average values and standard deviations (15), (16), (17) and (18) of normalised wind speed. Calculate average values of power, rpm, etc. in each bin	Calculer les valeurs moyennes et les écarts types (15), (16), (17) et (18) de la vitesse du vent normalisée. Calculer les valeurs moyennes de puissance, tours/minutes, etc. dans chaque tranche
Calculate covariance of wind speed and the noise in each 1/3-octave band	Calculer la covariance de la vitesse du vent et du bruit dans chaque bande de tiers d'octave
Calculate bin center values through piecewise linear interpolation between bin-averages in each 1/3-octave band	Calculer les valeurs centrales de tranches par interpolation linéaire par parties entre les moyennes de tranches dans chaque bande de tiers d'octave
Equations (20) and (21) and the corresponding standard deviation	Les équations (20) et (21) et l'écart type correspondant
Extrapolation is allowed to end bins where sufficient data are registered	L'extrapolation est admise pour les tranches d'extrémité lorsque des données suffisantes sont enregistrées
All activities above this line is made for total noise and background noise	Toutes les activités au-dessus de cette ligne concernent le bruit total et le bruit de fond
If the difference between the energy sum of the 1/3-octave bands for the total noise and the background noise is less than 3 dB the data cannot be used. if the difference is between 3 dB and 6 dB the results can be used and the sound power levels determined from these data shall be marked with an asterisk. If the difference is larger than 6 dB the results are reported without an asterisk	Les données ne peuvent pas être utilisées si la différence entre la somme énergétique des bandes de tiers d'octave pour le bruit total et le bruit de fond est inférieure à 3 dB. Si la différence est comprise entre 3 dB et 6 dB, les résultats peuvent être utilisés et les niveaux de puissance acoustique déterminés à partir de ces données doivent être marqués avec un astérisque.
Apparent sound power level is calculated at the hub height wind speeds that correspond to the integer wind speeds at 10 m with $z_0 = 0,05$. Linear interpolation between bin average values at hub height is used.	Le niveau de puissance acoustique apparente est calculé aux vitesses du vent à la hauteur du moyeu qui correspondent aux vitesses du vent entières à une hauteur de 10 m avec $z_0 = 0,05$. Une interpolation linéaire est appliquée entre les valeurs moyennes de tranches à la hauteur du moyeu.
Correct bin-center 1/3-octave band spectrum for background noise in each bin.	Corriger le spectre de bandes de tiers d'octave à valeurs centrales de tranches pour le bruit de fond dans chaque

	tranche
Equation (23) and the corresponding standard deviation, Equations (24) and (25)	L'équation (23) et l'écart type correspondant, Équations (24) et (25)
Calculate apparent sound power spectrum and apparent sound power level in each bin and the corresponding standard deviation	Calculer le spectre de puissance acoustique apparente et le niveau de puissance acoustique apparente dans chaque tranche, et l'écart type correspondant l
Hub height, measurement distance	Hauteur du moyeu, distance de mesure

Figure 6 – Organigramme de représentation de la procédure de traitement des données

9.2 Calcul des niveaux de pression acoustique

9.2.1 Généralités

Le bruit est mesuré comme un niveau de bruit équivalent L_{Aeq} et un spectre de bandes de tiers d'octave avec des fréquences centrales comprises entre 20 Hz et 10 kHz. Le niveau de bruit équivalent $L_{Aeq,o}$ est déterminé à partir de la somme énergétique des bandes de tiers d'octave. La différence $L_{Aeq} - L_{Aeq,o}$ est déterminée.

$$L_{Aeq,o,j} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^{28} 10^{\left(\frac{L_{Aeq,i,j}}{10} \right)} \quad (6)$$

$$\Delta_j = L_{Aeq,j} - L_{Aeq,o,j} \quad (7)$$

Cette différence est ajoutée à chaque bande individuelle dans le spectre de bandes de tiers d'octave afin de fournir le spectre de bandes de tiers d'octave normalisées pour chaque durée de mesure j .

$$L_{Aeq,n,i,j} = L_{Aeq,i,j} + \Delta_j \quad (8)$$

où

$L_{Aeq,o,j}$ est le niveau de pression acoustique pondérée A calculé à partir du spectre de bandes de tiers d'octave pendant la durée de mesure j ;

$L_{Aeq,i,j}$ est le niveau de pression acoustique pondérée A à la bande de tiers d'octave pendant la durée de mesure j ;

$L_{Aeq,j}$ est le niveau mesuré de pression acoustique pondérée A pendant la durée de mesure j ;

Δ_j est la différence entre le niveau calculé de pression acoustique pondérée A à partir du spectre de bandes de tiers d'octave et le niveau mesuré de pression acoustique pondérée A;

$L_{Aeq,n,i,j}$ est la bande de tiers d'octave i normalisée pendant la durée de mesure j .

En cas d'utilisation d'un écran antivent secondaire, les spectres normalisés doivent être corrigés pour l'influence de cet écran antivent sur les bandes de tiers d'octave.

Toutes les analyses ci-dessous sont réalisées avec les spectres de bandes de tiers d'octave normalisées. Les spectres bandes de tiers d'octave sont triés en tranches de vitesse du vent k . La valeur moyenne et les incertitudes applicables à la fois au niveau de pression acoustique et à la vitesse du vent pour chaque tranche sont calculées en utilisant les expressions suivantes dans chaque tranche de vitesse du vent k .

L'analyse du bruit total et du bruit de fond utilise les mêmes principes.

9.2.2 Calcul des spectres acoustiques moyens et de l'incertitude par tranche

Le niveau moyen de pression acoustique $\bar{L}_{i,k}$ pour chaque bande de tiers d'octave i est calculé par l'Équation (9):

$$\bar{L}_{i,k} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{\left(\frac{L_{i,j,k}}{10} \right)} \right) \quad (9)$$

où

N est le nombre de mesurages dans la tranche de vitesse du vent k ;

$L_{i,j,k}$ est le niveau de pression acoustique de la bande de tiers d'octave i de la durée de mesure j dans la tranche de vitesse du vent k .

Ce calcul donne un spectre moyen de bandes de tiers d'octave pour chaque tranche de vitesse du vent k .

L'incertitude type de Type A relative au niveau moyen de pression acoustique de la bande de tiers d'octave i dans la tranche de vitesse du vent k $s_{L_{i,k}}$ est calculée par l'Équation (10):

$$s_{L_{i,k}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left(L_{i,j,k} - \bar{L}_{i,k} \right)^2}{N \cdot (N - 1)}} \quad (10)$$

où

$\bar{L}_{i,k}$ est le spectre moyen de pression acoustique dans la tranche de vitesse du vent k dans l'Équation (9);

$L_{i,j,k}$ est le niveau de pression acoustique de la bande de tiers d'octave i de la durée de mesure j dans la tranche de vitesse du vent k .

L'incertitude type composée de Type B relative au niveau moyen énergétique de pression acoustique de la bande de tiers d'octave i , $u_{L_{i,j}}$, pour chaque durée de mesure j , est calculée par l'Équation (11). L'Annexe C donne des recommandations concernant les incertitudes de Type B.

$$u_{L_{i,j}} = \sqrt{\sum_{q=1}^7 u_{L_{i,j},q}^2} \quad (11)$$

où

$u_{L_{i,j},q}$ est l'incertitude type de Type B de la source q relative au niveau moyen de pression acoustique de la bande de tiers d'octave i pour chaque durée de mesure j .

L'incertitude type de Type B relative au niveau moyen de pression acoustique de la bande de tiers d'octave i dans la tranche de vitesse du vent k , $u_{L_{i,k}}$, est calculée par l'Équation (12):

$$u_{L_{i,k}} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_{L_{i,j,k}}^2 \right)} \equiv u_{L_{i,j,k}} \quad (12)$$

où

$u_{L_{i,j,k}}$ est l'incertitude type composée de Type B relative au niveau moyen de pression acoustique de la bande de tiers d'octave i pour chaque durée de mesure j , voir l'Équation (11). Cette valeur est identique pour toutes les valeurs de j .

L'incertitude type composée relative au niveau moyen de pression acoustique de la bande de tiers d'octave i dans la tranche de vitesse du vent k , $u_{\text{com},L_{i,k}}$, est calculée par l'Équation (13):

$$u_{\text{com},L_{i,k}} = \sqrt{s_{L_{i,k}}^2 + u_{L_{i,k}}^2} \quad (13)$$

9.2.3 Calcul de la vitesse moyenne du vent et de l'incertitude par tranche

La vitesse moyenne du vent, $\bar{V}_k$, dans la tranche k est calculée par l'Équation (14):

$$\bar{V}_k = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N V_{j,k} \quad (14)$$

où

N est le nombre de mesurages dans la tranche de vitesse du vent k ;

$V_{j,k}$ est la valeur moyenne de la vitesse du vent pendant la durée de mesure j dans la tranche de vitesse du vent k .

L'incertitude type de Type A relative à la vitesse moyenne du vent dans la tranche k $s_{V,k}$, est calculée par l'Équation (15):

$$s_{V,k} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (V_{j,k} - \bar{V}_k)^2}{N \cdot (N-1)}} \quad (15)$$

où

$V_{j,k}$ est la vitesse moyenne du vent pour la durée de mesure j ;

$\bar{V}_k$ est la vitesse moyenne du vent dans la tranche de vitesse du vent k , voir l'Équation (14).

L'incertitude type de Type B relative à la vitesse du vent pour chaque durée de mesure j u_{V_j} est calculée par l'Équation (16):

$$u_{V_j} = \sqrt{\sum_{q=8}^9 u_{V_j,q}^2} \quad (16)$$

où

$u_{V_j,q}$ est l'incertitude type de Type B de la source q relative à la vitesse moyenne du vent pour chaque durée de mesure j .

L'incertitude type de Type B relative à la vitesse moyenne du vent dans la tranche k $u_{V,k}$ est calculée par l'Équation (17):

$$u_{V,k} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N u_{V_j}^2 \right)} \quad (17)$$

où

u_{V_j} est l'incertitude type de Type B relative à la vitesse moyenne du vent pour chaque durée de mesure j , voir l'Équation (16).

L'incertitude type composée relative à la vitesse du vent dans la tranche k , $u_{com,V,k}$, est calculée par l'Équation (18):

$$u_{com,V,k} = \sqrt{s_{V,k}^2 + u_{V,k}^2} \quad (18)$$

La covariance correspondante, $cov_{LV,i,k}$, est calculée par l'Équation (19):

$$cov_{LV,i,k} = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{j=1}^N (V_{j,k} - \bar{V}_k) \cdot (L_{i,j,k} - \bar{L}_{i,k}) \quad (19)$$

où

$V_{j,k}$ est la vitesse moyenne du vent mesurée pendant la durée de mesure j ;

$\bar{V}_k$ est la vitesse moyenne du vent pour la tranche k , voir l'Équation (14);

$L_{i,j,k}$ est le niveau de bruit mesuré de la bande de tiers d'octave i de la durée de mesure j dans la tranche de vitesse du vent k ;

$\bar{L}_{i,k}$ est le niveau de bruit moyen de la bande de tiers d'octave i dans la tranche de vitesse du vent k , voir l'Équation (9).

9.2.4 Calcul des niveaux de bruit aux valeurs centrales de tranches, y compris l'incertitude

Pour le bruit total et le bruit de fond, les estimations du niveau de pression acoustique de la bande de tiers d'octave i aux vitesses du vent à valeurs centrales de tranches sont calculées par interpolation linéaire entre les valeurs moyennes de tranches. En principe, la méthode est applicable pour toute vitesse du vent.

Le niveau de pression acoustique estimé à cette vitesse du vent V est calculé comme suit

$$L_V(t) = (1-t) \cdot \bar{L}_k + t \cdot \bar{L}_{k+1} \quad (20)$$

où

$$\bar{V}_k \leq V < \bar{V}_{k+1}$$

La valeur t à une vitesse du vent donnée V est calculée comme suit

$$t = \frac{(V - \overline{V_k})}{(\overline{V_{k+1}} - \overline{V_k})} \quad (21)$$

L'incertitude type concernant les niveaux de pression acoustique calculés à la vitesse du vent à la valeur centrale de tranche v est calculée à l'aide de la formule

$$u_{LV}(t) = \sqrt{u_L^2(t) - \frac{\text{cov}_{LV}^2(t)}{u_V^2(t)}} \quad (22)$$

où

$$u_L^2(t) = (1-t)^2 \cdot u_{\text{com},L,k}^2 + t^2 \cdot u_{\text{com},L,k+1}^2$$

$$\text{cov}_{LV}(t) = (1-t)^2 \cdot \frac{\text{cov}_{LV,k}}{N_k} + t^2 \cdot \frac{\text{cov}_{LV,k+1}}{N_{k+1}}$$

$$u_V^2(t) = (1-t)^2 \cdot u_{\text{com},V,k}^2 + t^2 \cdot u_{\text{com},V,k+1}^2$$

N_k est le nombre de mesurages dans la tranche de vitesse du vent k .

N_k dans l'Équation (22) compense l'utilisation de l'incertitude type concernant les valeurs moyennes du niveau de bruit et de la vitesse du vent.

Lorsque la moyenne de tranche de la vitesse du vent est inférieure à la valeur centrale de tranche pour la tranche la plus élevée, l'extrapolation de la valeur centrale de tranche est admise. Lorsque la moyenne de tranche de la vitesse du vent est supérieure à la valeur centrale de tranche pour la tranche la plus basse, l'extrapolation de la valeur centrale de tranche est admise. L'extrapolation est admise uniquement pour les tranches comportant au moins 10 points de données de mesure.

Si le niveau de bruit total $L_{V,T,i,k}$ est au moins 3 dB supérieur au niveau de bruit de fond, $L_{V,B,i,k}$ dans la même bande de tiers d'octave i , le niveau de pression acoustique corrigée de fond pour cette bande et l'écart type correspondant de la valeur, sont calculés en utilisant

$$L_{V,c,i,k} = 10 \cdot \log\left(10^{\left(\frac{L_{V,T,i,k}}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{L_{V,B,i,k}}{10}\right)}\right) \quad (23)$$

$$u_{c,i,k} = \frac{\sqrt{\left(u_{L_{V,T,i}} \cdot 10^{\left(\frac{L_{V,T,i}}{10}\right)}\right)^2 + \left(u_{L_{V,B,i}} \cdot 10^{\left(\frac{L_{V,B,i}}{10}\right)}\right)^2}}{10^{\left(\frac{L_{V,T,i}}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{L_{V,B,i}}{10}\right)}} \quad (24)$$

Le bruit total et le bruit de fond sont par hypothèse non corrélés si la différence est supérieure à 3 dB. Cette disposition peut entraîner une surestimation de l'incertitude en cas de corrélation. Pour les tranches ou les bandes de tiers d'octave dont le niveau de bruit total $L_{V,T,i}$ est moins de 3 dB supérieur au niveau du bruit de fond, $L_{V,B,i}$, une correction de 3 dB

est appliquée et le résultat indiqué entre crochets ([]). L'incertitude est calculée comme si la différence est égale à 3 dB, voir l'Équation (25).

$$u_{c,i,k} = \frac{\sqrt{\left(u_{L_{V,T,i}} \cdot 10^{\left(\frac{L_{V,T,i}}{10} \right)} \right)^2 + \left(u_{L_{V,B,i}} \cdot 10^{\left(\frac{L_{V,T,i}-3}{10} \right)} \right)^2}}{10^{\left(\frac{L_{V,T,i}}{10} \right)} - 10^{\left(\frac{L_{V,T,i}-3}{10} \right)}} \quad (25)$$

9.3 Niveaux de puissance acoustique apparente

Dans chaque tranche, le niveau de puissance acoustique apparente pour chaque bande de tiers d'octave $L_{WA,i,k}$ est calculé à partir du niveau de pression acoustique corrigée de fond correspondant pour la même bande de tiers d'octave, $L_{V,c,i,k}$, aux vitesses du vent à valeurs centrales de tranches comme suit:

$$L_{WA,i,k} = L_{V,c,i,k} - 6 + 10 \log \left[\frac{4 \pi R_1^2}{S_0} \right] \quad (26)$$

où

- $L_{V,c,i,k}$ est le niveau de pression acoustique pondérée A corrigée de fond dans la bande de tiers d'octave i à la vitesse du vent à valeur centrale de tranche k dans les conditions météorologiques de référence;
- R_1 est la distance oblique en mètres entre l'axe du rotor et le microphone comme représenté à la Figure 4; et
- S_0 est une surface de référence, $S_0 = 1 \text{ m}^2$.

La constante de 6 dB dans l'Équation (26) tient compte du doublement de la pression approchée qui se produit pour les mesurages du niveau acoustique effectués sur un panneau de mesure.

L'estimation du niveau de puissance acoustique pondérée A dans la tranche k est calculée par la sommation énergétique de toutes les valeurs de puissance acoustique de bandes de tiers d'octave.

$$L_{WA,k} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^{28} 10^{\left(\frac{L_{WA,i,k}}{10} \right)} \quad (27)$$

Si la différence entre la somme des bandes de tiers d'octave du bruit total et la somme des bandes de tiers d'octave du bruit de fond est comprise entre 3 dB et 6 dB, le résultat consigné doit être marqué avec un astérisque. Si la différence est inférieure ou égale à 3 dB, le résultat propre à cette tranche de vitesse du vent ne doit pas être consigné.

$$u_{L_{WA,k}} = \frac{\sum_{i=1}^{28} \left(u_{c,i,k} 10^{\left(\frac{L_{WA,i,k}}{10} \right)} \right)}{\sum_{i=1}^{28} 10^{\left(\frac{L_{WA,i,k}}{10} \right)}} \quad (28)$$

L'Équation (28) est valide pour les incertitudes corrélées. Par hypothèse, les incertitudes des niveaux de puissance acoustique des bandes de tiers d'octave sont corrélées.

L'Annexe C donne des recommandations concernant les incertitudes de Type B.

9.4 Niveaux de puissance acoustique apparente par rapport à la vitesse du vent à une hauteur de 10 m

La procédure suivante est utilisée pour le calcul du niveau de puissance acoustique apparente par rapport à la vitesse du vent à une hauteur de 10 m, $L_{WA,10\text{ m},k}$, à des vitesses du vent entières dans l'étendue de mesure:

Calculer la vitesse du vent correspondante à la hauteur du moyeu, $V_{H,n}$ à l'aide de l'Équation (29). Appliquer ensuite l'interpolation linéaire et la correction du bruit de fond comme cela est décrit dans les Équations (20) à (26).

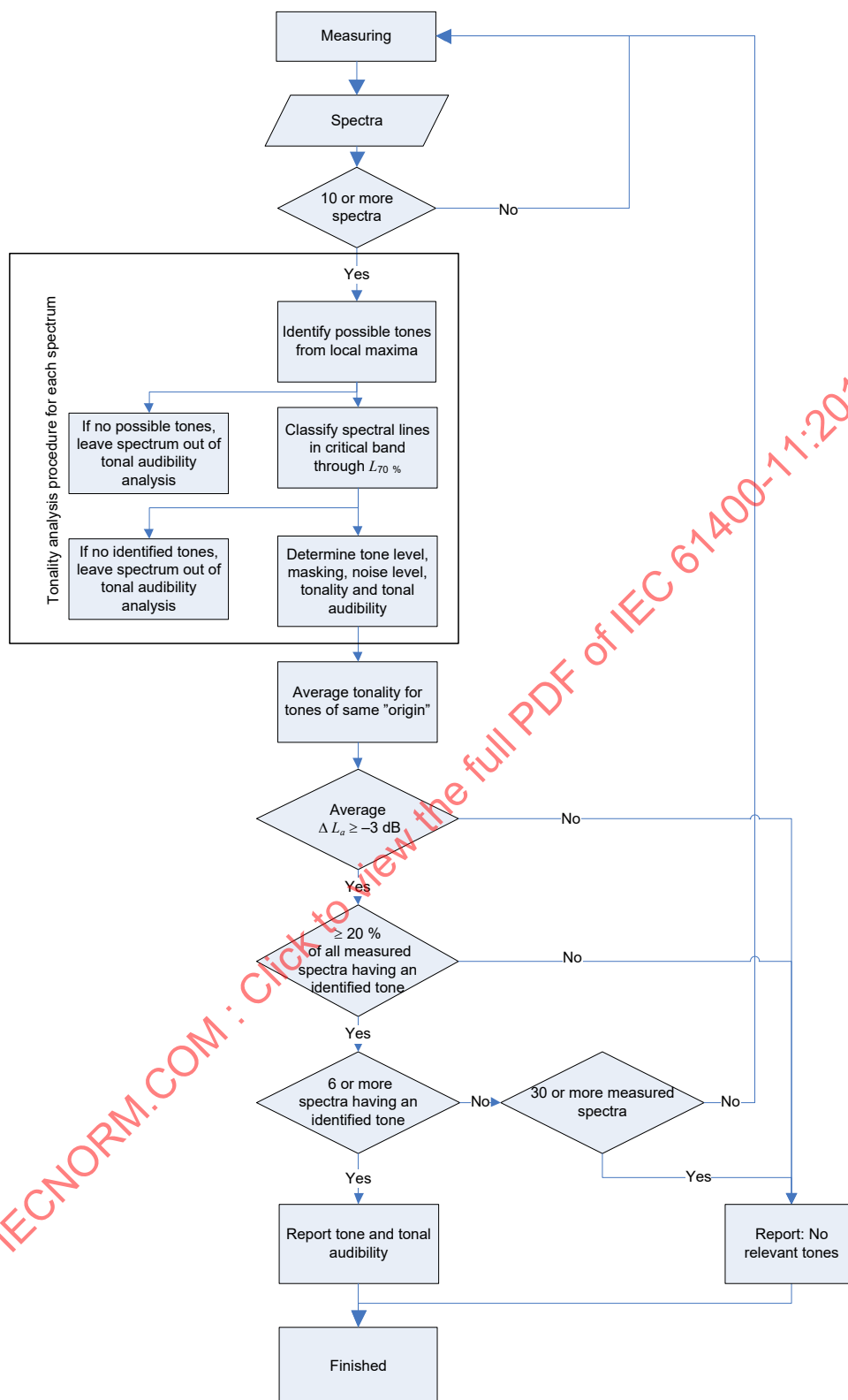
$$V_H = V_{10} \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{H}{z_{0\text{ ref}}}\right)}{\ln\left(\frac{10}{z_{0\text{ ref}}}\right)} \right) \quad (29)$$

$L_{WA,10\text{ m},k}$ pour les vitesses du vent entières k dans l'étendue de mesure avec une incertitude correspondante, $u_{L_{WA,10\text{ m},k}}$ est calculée à l'aide des Équations (27) et (28).

9.5 Audibilité tonale

9.5.1 Méthodologie générale de détermination de la tonalité

La présence de sons dans le bruit à des vitesses du vent différentes doit être déterminée sur la base de l'analyse de bandes étroites. La procédure d'évaluation de la tonalité est décrite par l'organigramme de la Figure 7.



Anglais	Français
Measuring	Mesure
Spectra	Spectres
10 or more spectra	10 spectres ou plus
No	Non

Yes	Oui
Identify possible tones from local maxima	Identifier les sons possibles à partir des valeurs maximales locales
Tonality analysis procedure for each spectrum	Procédure d'analyse de tonalité pour chaque spectre
If no possible tones, leave spectrum out of tonal audibility analysis	En l'absence de sons possibles, exclure le spectre de l'analyse de l'audibilité tonale
Classify spectral lines in critical band through L70%	Classer les raies spectrales dans une bande critique par la valeur L70%
If no identified tones, leave spectrum out of tonal audibility analysis	En l'absence de sons identifiés, exclure le spectre de l'analyse de l'audibilité tonale
Determine tone level, masking, noise level, tonality and tonal audibility	Déterminer le niveau de son, le masquage, le niveau de bruit, la tonalité et l'audibilité tonale
Average tonality for tones of same 'origin'	Tonalité moyenne pour des sons de même "origine"
Average	Moyenne
>20% of all measured spectra having an identified tone	>20% de tous les spectres mesurés ayant un son identifié
6 or more spectra having an identified tone	6 spectres ou plus ayant un son identifié
30 or more measured spectra	30 spectres mesurés ou plus
Report tone and tonal audibility	Consigner le son et l'audibilité tonale
Report: No relevant tones	Rapport: aucun son approprié
Finished	Fin

Figure 7 – Organigramme de détermination de l'audibilité tonale pour chaque tranche de vitesse du vent

L'analyse tonale doit couvrir la même plage de vitesse du vent que le mesurage du niveau de puissance acoustique. Le mesurage complet doit être divisé en spectres à moyennage énergétique de 10 s tels que définis en 7.2.5.

Tous les spectres sont triés en tranches de vitesse du vent. L'audibilité tonale globale pour une tranche de vitesse du vent donnée peut être déterminée uniquement si au moins 6 spectres à bandes étroites parmi les spectres existants propres à cette tranche de vitesse du vent comportent un son identifié de même origine.

Les sons de même origine sont définis comme suit: Les sons identifiés de différents spectres sont considérés comme des sons de même origine s'ils se situent dans un intervalle $\pm 25\%$ de la bande critique à fréquence centrée. Les sons de même origine sont traités et consignés comme un son.

Pour chaque spectre comportant le son identifié, j , dans chaque tranche de vitesse du vent

- Le niveau de pression acoustique du son $L_{pt,j,k}$ doit être déterminé.
- Le niveau de pression acoustique du bruit de masque $L_{pn,j,k}$ dans la bande critique voisine du son doit être déterminé.
- La tonalité $\Delta L_{tn,j,k}$, la différence entre le niveau de pression acoustique du son et le niveau de bruit de masque doivent être déterminés.
- L'audibilité tonale $\Delta L_{a,j,k}$, la différence entre la tonalité et le critère d'audibilité du son, doivent être déterminés.

L'audibilité tonale globale, $\Delta L_{a,k}$, est déterminée dans chaque tranche de vitesse du vent pour chacun des sons identifiés de même origine que la moyenne énergétique de la valeur individuelle $\Delta L_{a,j,k}$. Seuls les spectres comportant des sons identifiés sont inclus.

Dans des cas exceptionnels (par exemple, des sons très importants composés de nombreuses raies ou d'un bruit de masque avec des gradients très prononcés), cette méthode

peut ne pas fournir les résultats corrects. Dans ce type de cas, les écarts par rapport à la méthode spécifiée peuvent s'avérer nécessaires et doivent être consignés.

9.5.2 Identification des sons possibles

Une identification préliminaire des sons est nécessaire pour la classification des raies spectrales.

La procédure suivante permet d'identifier les sons possibles:

- a) déterminer les valeurs maximales locales du spectre;
- b) calculer la bande critique, un intervalle fermé centré sur les valeurs maximales avec une largeur de bande déterminée par:

$$\text{Largeur de bande critique} = 25 + 75 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \left[\frac{f_c}{1000} \right]^2 \right)^{0,69} \quad (30)$$

où f_c est la fréquence des valeurs maximales en Hz;

- c) calculer l'énergie moyenne dans la bande critique centrée sur chaque valeur maximale locale, en excluant la raie de la valeur maximale locale et les deux raies adjacentes;
- d) Si la valeur locale maximale est plus de 6 dB supérieure à l'énergie moyenne telle que calculée dans la puce précédente, elle constitue alors un son possible.

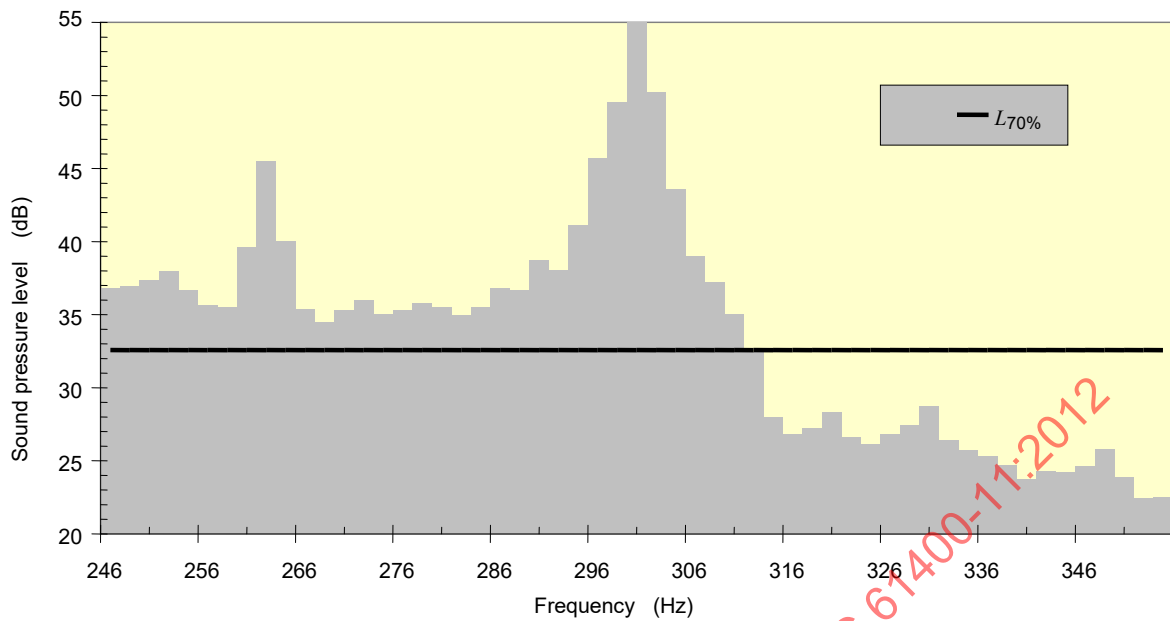
9.5.3 Classification des raies spectrales dans la bande critique

La bande critique doit être positionnée avec la fréquence centrale correspondant à la fréquence de son possible. Pour les sons possibles dont les fréquences sont comprises entre 20 Hz et 70 Hz, la bande critique est comprise entre 20 Hz et 120 Hz.

Lorsque la fréquence centrale d'une raie est incluse dans la bande critique, la raie fait partie intégrante de la bande critique.

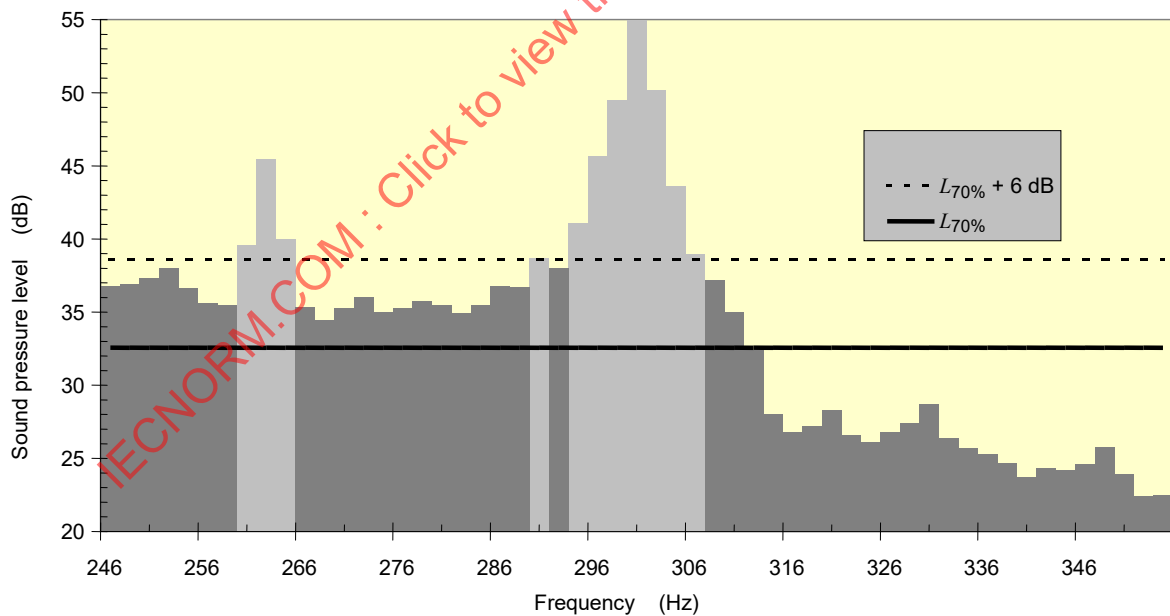
Dans chaque bande critique, la procédure suivante permet de classer chaque raie spectrale comme son, bruit de masque ou aucun des deux.

- a) Calculer le niveau de pression acoustique $L_{70\%}$ avec lequel $L_{70\%}$ est la moyenne énergétique de 70 % des raies spectrales dans la bande critique avec les niveaux les plus bas tels que représentés à la Figure 8.
- b) Le niveau de critère est égal à $L_{70\%}$ plus 6 dB comme illustré à la Figure 9.
 - Une raie est classée comme raie "de masque" si son niveau est inférieur au niveau de critère. $L_{pn,avg}$ est alors la moyenne énergétique de toutes les raies classées comme raies de masque comme illustré à la Figure 10.
 - Une raie est classée comme "son" si son niveau dépasse $L_{pn,avg}$ plus 6 dB.
 - Lorsque plusieurs raies adjacentes sont classées comme "son", la raie ayant le niveau le plus élevé est identifiée. Les raies adjacentes sont alors classées uniquement comme "son" si leurs niveaux correspondent au niveau le plus élevé à 10 dB près.
 - Une raie est classée comme "aucune" si elle ne peut être classée soit comme "son", soit comme "raie de masque". Toute analyse ultérieure ignore les raies spectrales identifiées comme "aucune". La Figure 11 illustre la classification des raies dans une bande critique.



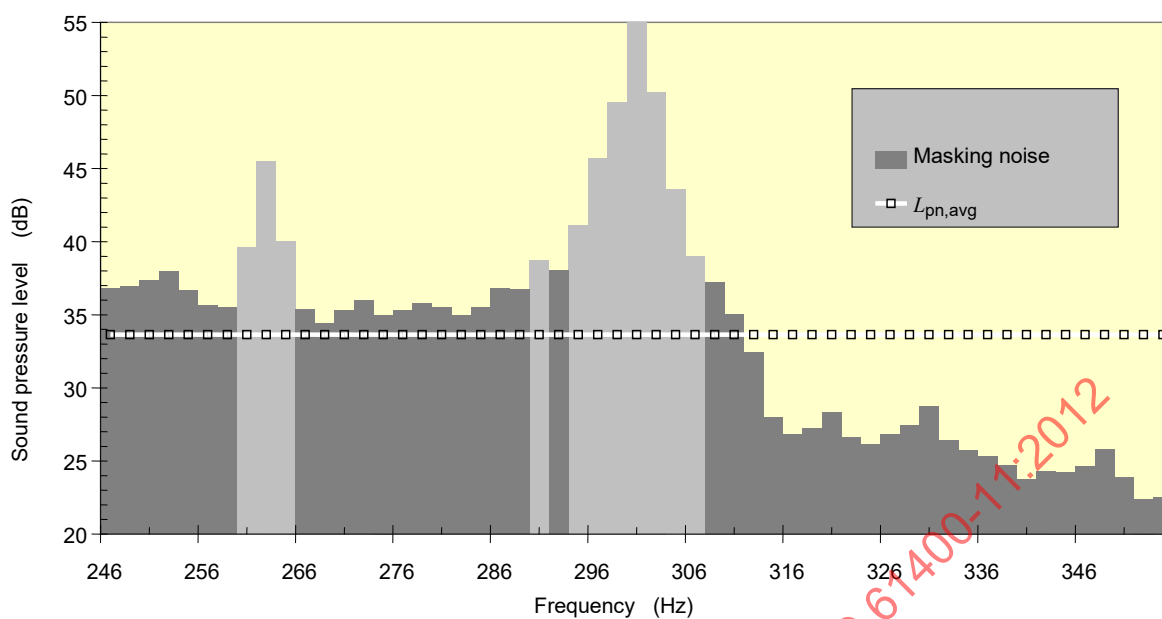
Anglais	Français
Sound pressure level	Niveau de pression acoustique
Frequency	Fréquence

Figure 8 – Illustration du niveau $L_{70\%}$ dans la bande critique



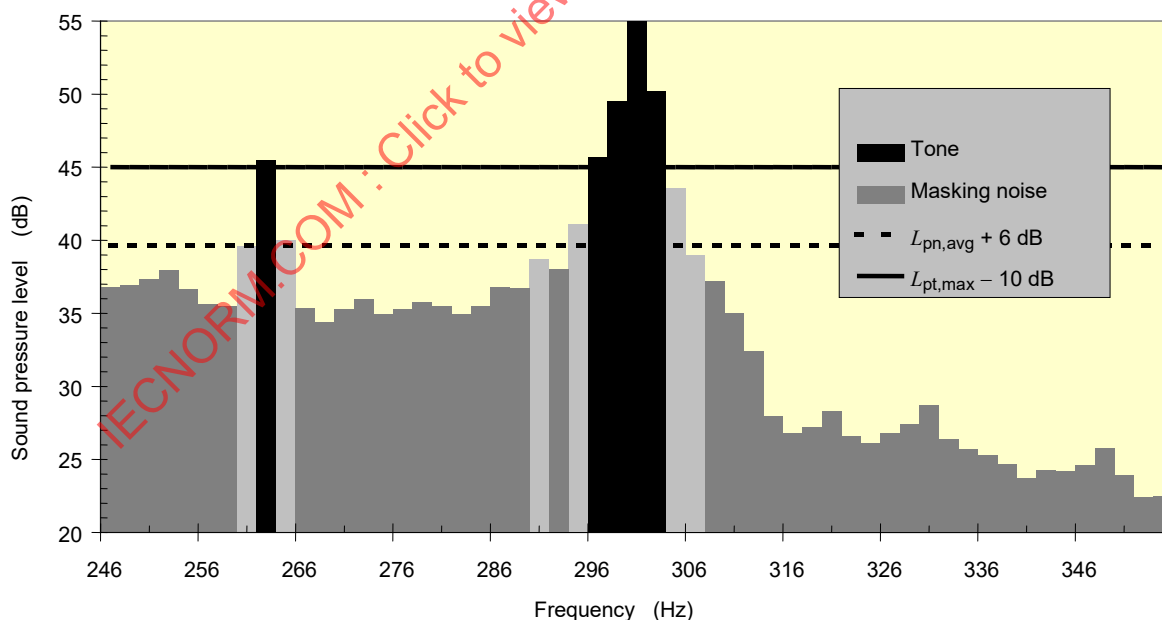
Anglais	Français
Sound pressure level	Niveau de pression acoustique
Frequency	Fréquence

Figure 9 – Illustration des raies en dessous du critère $L_{70\%} + 6$ dB



Anglais	Français
Sound pressure level	Niveau de pression acoustique
Masking noise	Bruit de masque
Frequency	Fréquence

Figure 10 – Illustration du niveau $L_{pn,avg}$ et des raies classées comme raies de masque



Anglais	Français
Sound pressure level	Niveau de pression acoustique
Tone	Son
Masking noise	Bruit de masque
Frequency	Fréquence

Figure 11 – Illustration de la classification de toutes les raies spectrales

9.5.4 Son identifié

Un son identifié est un son possible avec une ou plusieurs raies spectrales classées comme "son". Selon 9.5.3, la raie spectrale avec le niveau le plus élevé est la fréquence du son.

9.5.5 Détermination du niveau de son

Le niveau de pression acoustique du son $L_{pt,j,k}$ est déterminé par la sommation énergétique de toutes les raies spectrales identifiées comme sons dans la bande critique en 9.5.2. Lorsque cette opération implique 2 raies adjacentes ou plus, l'utilisation de la fenêtre de Hanning implique une correction. Cette correction exige de diviser la somme énergétique par 1,5.

Noter que si la même bande critique comporte deux sons ou plus, la procédure ci-dessus est équivalente à la sommation énergétique du niveau de ces sons individuels.

9.5.6 Détermination du niveau de bruit de masque

Le niveau de bruit de masque, $L_{pn,j,k}$, est défini comme suit:

$$L_{pn,j,k} = L_{pn,avg,j,k} + 10 \cdot \log \left[\frac{\text{Largeur de bande critique}}{\text{Largeur de bande de bruit}} \right] \quad (31)$$

où $L_{pn,avg,j,k}$ est la moyenne énergétique des raies spectrales identifiées comme raies "de masque" dans la bande critique.

La largeur de bande de bruit est égale à 1,5 fois la résolution en fréquence, qui inclut une correction pour l'utilisation de la fenêtre de Hanning.

9.5.7 Détermination de la tonalité

La tonalité, la différence entre le niveau de son et le niveau du bruit de masque dans la bande critique correspondante, est indiquée par l'Équation 32:

$$\Delta L_{tn,j,k} = L_{pt,j,k} - L_{pn,j,k} \quad (32)$$

9.5.8 Détermination de l'audibilité

Pour chaque valeur de $\Delta L_{tn,j,k}$, une correction dépendant de la fréquence doit être appliquée pour compenser la réaction de l'oreille humaine aux sons de fréquence différente.

L'"audibilité tonale" pour chaque spectre, $\Delta L_{a,j,k}$, est définie comme suit:

$$\Delta L_{a,j,k} = \Delta L_{tn,j,k} - L_a \quad (33)$$

L_a est le critère d'audibilité dépendant de la fréquence, défini comme suit:

$$L_a = -2 - \log \left[1 + \left(\frac{f}{502} \right)^{2,5} \right] \quad (34)$$

où f est la fréquence du son maximal dans la bande critique, en Hz.

Noter que cette courbe de critères a été déterminée à partir d'essais de réception, et traduit la réaction subjective d'un récepteur "typique" à des sons indépendants du temps et de différentes fréquences.

Les valeurs $\Delta L_{a,j,k}$ font l'objet d'un calcul de moyenne énergétique selon une valeur $\Delta L_{a,k}$ pour chaque son de même origine dans chaque tranche.

Pour les audibilités tonales satisfaisant à la condition:

$$\Delta L_{a,k} \geq -3,0 \text{ dB} \quad (35)$$

l'audibilité tonale est consignée. Sauf si:

- $\Delta L_{a,k} \geq -3,0 \text{ dB}$ et moins de 20 % de 10 spectres ou plus contiennent des sons identifiés de même origine, les valeurs de $\Delta L_{a,k}$ doivent être consignées comme "sons non appropriés".
- $\Delta L_{a,k} \geq -3,0 \text{ dB}$ et plus de 20 %, mais moins de 6 spectres contiennent des sons identifiés de même origine, un plus grand nombre de mesurages est nécessaire. 30 spectres au maximum peuvent être nécessaires.

Pour les audibilités tonales pour lesquelles:

$$\Delta L_{a,k} < -3,0 \text{ dB} \quad (36)$$

les valeurs de $\Delta L_{a,k}$ doivent être consignées comme "sons non appropriés".

Un son est audible si l'audibilité tonale est supérieure à 0 dB.

9.5.9 Bruit de fond

Les spectres à bandes étroites doivent être composés du bruit de fond pour chaque tranche de vitesse du vent. Si les sons provenant du bruit de fond affectent de manière significative l'analyse d'audibilité, des mesures doivent alors être prises pour établir le degré d'occurrence de cet impact, et ces mesures doivent être consignées.

Aucune correction n'est apportée au bruit de fond à large bande.

10 Informations à consigner

10.1 Généralités

La configuration de l'éolienne et ses conditions de fonctionnement doivent être consignées comme suit:

10.2 Caractérisation de l'éolienne

La configuration de l'éolienne doit comporter les informations suivantes:

- Informations détaillées de l'éolienne:
 - fabricant;
 - numéro de modèle;
 - numéro de série.
- Informations détaillées de fonctionnement:

- éolienne à axe vertical ou horizontal;
 - rotor face au vent ou sous le vent;
 - hauteur du moyeu;
 - distance horizontale entre l'axe du rotor et l'axe du mât;
 - diamètre du rotor;
 - type de mât (maillage ou tube);
 - calage passif, calage actif ou éolienne à commande par pas;
 - vitesse constante ou variable;
 - courbe de puissance;
 - vitesse de rotation aux tranches de vitesse du vent;
 - puissance de sortie assignée;
 - version du logiciel de commande.
- Informations détaillées du rotor:
- dispositifs de commande du rotor;
 - présence de générateurs de tourbillons, provocateurs de décrochage et bords de fuite dentelés;
 - Type de pale;
 - numéro de série;
 - nombre de pales.
- Informations détaillées de la boîte de vitesses:
- fabricant;
 - numéro de modèle;
 - numéro de série.
- Informations détaillées du générateur:
- fabricant;
 - numéro de modèle;
 - numéro de série.

10.3 Environnement physique

Les informations suivantes concernant l'environnement physique sur et à proximité du site de l'éolienne et les positions de mesure doivent être consignées:

- les informations détaillées du site, y compris l'emplacement, le plan du site et d'autres informations pertinentes;
- le type de topographie/terrain (vallons, terrain plat, falaises, montagnes, etc.) du milieu environnant (dans un rayon de moins de 1 km);
- les caractéristiques de surface (telles que présence d'herbe, sable, arbres, buissons, surfaces aquifères);
- les structures réfléchissantes proches telles que les bâtiments ou d'autres structures, falaises, arbres, surfaces aquifères;
- d'autres sources acoustiques proches affectant éventuellement le niveau de bruit de fond, telles que d'autres éoliennes, des autoroutes, complexes industriels, aéroports;
- deux photographies, l'une prise dans la direction de l'éolienne par rapport à la position de microphone de référence, et l'autre prise depuis le mât vers l'éolienne;
- une photographie du microphone sur le panneau de mesure placé sur le sol et de l'environnement immédiat, voir Figure 2.