



IEC 61400-2

Edition 3.0 2013-12

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**Wind turbines –  
Part 2: Small wind turbines**

**Eoliennes –  
Partie 2: Petits aérogénérateurs**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

**XF**

---

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-1284-4

**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.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references .....	11
3 Terms and definitions .....	12
4 Symbols and abbreviated terms.....	21
4.1 General.....	21
4.2 Symbols.....	21
4.3 Coordinate system .....	25
5 Principal elements .....	26
5.1 General.....	26
5.2 Design methods .....	27
5.3 Quality assurance .....	27
I Design evaluation .....	29
6 External conditions .....	29
6.1 General.....	29
6.2 SWT classes.....	29
6.3 Wind conditions .....	30
6.3.1 General .....	30
6.3.2 Normal wind conditions.....	30
6.3.3 Extreme wind conditions .....	32
6.4 Other environmental conditions.....	36
6.4.1 General .....	36
6.4.2 Other normal environmental conditions .....	37
6.4.3 Other extreme environmental conditions .....	37
6.5 Controlled test conditions.....	38
6.6 Electrical load conditions .....	38
6.6.1 General .....	38
6.6.2 For turbines connected to the electrical power network.....	38
6.6.3 For turbines not connected to the electrical power network.....	38
7 Structural design .....	39
7.1 General.....	39
7.2 Design methodology .....	39
7.3 Loads and load cases .....	39
7.3.1 General .....	39
7.3.2 Vibration, inertial and gravitational loads .....	39
7.3.3 Aerodynamic loads .....	39
7.3.4 Operational loads .....	40
7.3.5 Other loads.....	40
7.3.6 Load cases .....	40
7.4 Simplified loads methodology.....	40
7.4.1 General .....	40
7.4.2 Load case A: normal operation .....	42
7.4.3 Load case B: yawing.....	43
7.4.4 Load case C: yaw error.....	44
7.4.5 Load case D: maximum thrust.....	44
7.4.6 Load case E: maximum rotational speed.....	44

7.4.7	Load case F: short at load connection .....	44
7.4.8	Load case G: shutdown (braking) .....	44
7.4.9	Load case H: extreme wind loading .....	45
7.4.10	Load case I: parked wind loading, maximum exposure.....	46
7.4.11	Load case J: transportation, assembly, maintenance and repair.....	47
7.5	Simulation modelling.....	47
7.5.1	General .....	47
7.5.2	Power production (DLC 1.1 to 1.5).....	48
7.5.3	Power production plus occurrence of fault (DLC 2.1 to 2.3).....	49
7.5.4	Normal shutdown (DLC 3.1 and 3.2) .....	49
7.5.5	Emergency or manual shutdown (DLC 4.1) .....	49
7.5.6	Extreme wind loading (stand-still or idling or spinning) (DLC 5.1 to 5.2).....	49
7.5.7	Parked plus fault conditions (DLC 6.1).....	50
7.5.8	Transportation, assembly, maintenance and repair (DLC 7.1).....	50
7.5.9	Load calculations.....	50
7.6	Load measurements.....	50
7.7	Stress calculation .....	50
7.8	Safety factors.....	51
7.8.1	Material factors and requirements.....	51
7.8.2	Partial safety factor for loads .....	52
7.9	Limit state analysis .....	52
7.9.1	Ultimate strength analysis.....	52
7.9.2	Fatigue failure .....	53
7.9.3	Critical deflection analysis .....	53
8	Protection and shutdown system .....	54
8.1	General.....	54
8.2	Functional requirements of the protection system .....	54
8.3	Manual shutdown.....	54
8.4	Shutdown for maintenance.....	55
9	Electrical system .....	55
9.1	General.....	55
9.2	Protective devices.....	55
9.3	Disconnect device.....	56
9.4	Earthing (grounding) systems .....	56
9.5	Lightning protection .....	56
9.6	Electrical conductors and cables.....	56
9.7	Electrical loads .....	56
9.7.1	General .....	56
9.7.2	Battery charging .....	56
9.7.3	Electrical power network (grid connected systems).....	57
9.7.4	Direct connect to electric motors (e.g. water pumping).....	57
9.7.5	Direct resistive load (e.g. heating) .....	57
9.8	Local requirements .....	57
10	Support structure.....	58
10.1	General.....	58
10.2	Dynamic requirements .....	58
10.3	Environmental factors .....	58

10.4	Earthing .....	58
10.5	Foundation.....	58
10.6	Turbine access design loads.....	58
11	Documentation requirements .....	58
11.1	General.....	58
11.2	Product manuals .....	59
11.2.1	General .....	59
11.2.2	Specification.....	59
11.2.3	Installation.....	60
11.2.4	Operation .....	60
11.2.5	Maintenance and routine inspection.....	61
11.3	Consumer label.....	62
12	Wind turbine markings .....	62
II	Type testing.....	63
13	Testing .....	63
13.1	General.....	63
13.2	Tests to verify design data .....	63
13.2.1	General .....	63
13.2.2	$P_{\text{design}}$ , $n_{\text{design}}$ , $V_{\text{design}}$ and $Q_{\text{design}}$ .....	63
13.2.3	Maximum yaw rate.....	64
13.2.4	Maximum rotational speed .....	64
13.3	Mechanical loads testing.....	64
13.4	Duration testing .....	65
13.4.1	General .....	65
13.4.2	Reliable operation .....	66
13.4.3	Dynamic behaviour .....	68
13.4.4	Reporting of duration test .....	69
13.5	Mechanical component testing .....	70
13.5.1	General .....	70
13.5.2	Blade test .....	70
13.5.3	Hub test.....	71
13.5.4	Nacelle frame test .....	71
13.5.5	Yaw mechanism test.....	71
13.5.6	Gearbox test.....	71
13.6	Safety and function .....	71
13.7	Environmental testing .....	72
13.8	Electrical.....	72
Annex A	(informative) Variants of small wind turbine systems .....	73
A.1	General.....	73
A.2	Example 1: power forms.....	73
A.3	Example 2: blades .....	73
A.4	Example 3: support structures.....	73
Annex B	(normative) Design parameters for describing SWT class S .....	75
Annex C	(informative) Stochastic turbulence models.....	76
C.1	General.....	76
C.2	Exponential coherency model .....	77
C.3	Von Karman isotropic turbulence model .....	77
Annex D	(informative) Deterministic turbulence description.....	79

Annex E (informative) Partial safety factors for materials .....	81
E.1    General.....	81
E.2    Symbols.....	81
E.3    Characteristic value versus design values.....	81
E.4    Material factors and requirements .....	82
E.4.1    General .....	82
E.4.2    Composites .....	83
E.4.3    Metals .....	85
E.4.4    Wood.....	85
E.5    Geometry effects .....	88
E.6    Reference documents .....	89
Annex F (informative) Development of the simplified loads methodology.....	90
F.1    Symbols used in this annex.....	90
F.2    General.....	91
F.3    Caution regarding use of simplified equations .....	91
F.4    General relationships .....	92
F.5    Reference documents .....	100
Annex G (informative) Example of test reporting formats .....	101
G.1    Overview.....	101
G.2    Duration test .....	101
G.2.1    General .....	101
G.2.2    Table summarizing the duration test results.....	101
G.2.3    Plot showing any potential power degradation .....	102
G.3    Power/energy performance .....	102
G.3.1    General .....	102
G.4    Acoustic noise test.....	105
Annex H (informative) EMC measurements.....	106
H.1    Overview.....	106
H.2    Measurement for radiated emissions.....	106
H.3    Measurements of conducted emissions.....	108
H.4    Reference documents .....	108
Annex I (normative) Natural frequency analysis .....	110
Annex J (informative) Extreme environmental conditions .....	112
J.1    Overview.....	112
J.2    Extreme conditions .....	112
J.3    Low temperature .....	112
J.4    Ice .....	112
J.5    High temperature .....	113
J.6    Marine .....	113
Annex K (informative) Extreme wind conditions of tropical cyclones.....	114
K.1    General.....	114
K.2    Using SWT classes in tropical cyclone areas .....	114
K.3    Extreme wind conditions .....	114
K.3.1    Definition of tropical cyclones .....	114
K.3.2    General features of tropical cyclones .....	114
K.3.3    Extreme wind conditions .....	115
K.4    Stochastic simulation (Monte Carlo simulation) .....	116
K.5    Reference documents .....	117

Annex L (informative) Other wind conditions .....	120
L.1    General.....	120
L.2    Typical situations .....	120
L.3    Directionally dependent flow .....	120
L.4    Inclined flow.....	120
L.5    Turbulence.....	122
L.6    Extreme wind direction changes.....	125
L.7    Gust factors .....	126
L.8    Reference documents .....	127
Annex M (informative) Consumer label .....	128
M.1    General.....	128
M.2    Administration.....	128
M.2.1    General .....	128
M.2.2    Test summary report.....	128
M.2.3    Publication of labels .....	129
M.2.4    Wind turbine variants.....	129
M.3    Tests for labelling .....	129
M.3.1    General .....	129
M.3.2    Duration test.....	129
M.3.3    Power curve and reference annual energy .....	130
M.3.4    Acoustic noise test .....	130
M.4    Label layout.....	130
M.5    Reference documents .....	130
Bibliography.....	133
Figure 1 – Definition of the system of axes for HAWT .....	25
Figure 2 – Definition of the system of axes for VAWT .....	26
Figure 3 – IEC 61400-2 decision path .....	28
Figure 4 – Characteristic wind turbulence .....	32
Figure 5 – Example of extreme operating gust ( $N=1$ , $V_{hub} = 25$ m/s) .....	33
Figure 6 – Example of extreme direction change magnitude ( $N = 50$ , $D = 5$ m, $z_{hub} = 20$ m).....	35
Figure 7 – Example of extreme direction change transient ( $N = 50$ , $V_{hub} = 25$ m/s) .....	35
Figure 8 – Extreme coherent gust ( $V_{hub} = 25$ m/s) (ECG).....	35
Figure 9 – The direction change for ECD .....	36
Figure 10 – Time development of direction change for $V_{hub} = 25$ m/s.....	36
Figure E.1 – Normal and Weibull distribution .....	82
Figure E.2 – Typical S-N diagram for fatigue of glass fibre composites (Figure 41 from reference [E.2]).....	84
Figure E.3 – Typical environmental effects on glass fibre composites (Figure 25 from reference [E.2]).....	84
Figure E.4 – Fatigue strain diagram for large tow unidirectional 0° carbon fibre/vinyl ester composites, $R = 0,1$ and 10 (Figure 107 from reference [E.2]) .....	84
Figure E.5 – S-N curves for fatigue of typical metals .....	85
Figure E.6 – Fatigue life data for jointed softwood (from reference [E.5]) .....	86
Figure E.7 – Typical S-N curve for wood (from reference [E.5]).....	86

Figure E.8 – Effect of moisture content on compressive strength of lumber parallel to grain (Figure 4-13 from reference [E.6]).....	87
Figure E.9 – Effect of moisture content on wood strength properties (Figure 4-11 from reference [E.6]).....	87
Figure E.10 – Effect of grain angle on mechanical property of clear wood according to Hankinson-type formula (Figure 4-4 from reference [E.6]).....	88
Figure G.1 – Example power degradation plot.....	102
Figure G.2 – Example binned sea level normalized power curve .....	103
Figure G.3 – Example scatter plot of measured power and wind speed .....	104
Figure G.4 – Example immission noise map.....	105
Figure H.1 – Measurement setup of radiated emissions (set up type A) .....	107
Figure H.2 – Measurement setup of radiated emissions (set up type B) .....	107
Figure H.3 – Measurement setup of conducted emissions (setup type A).....	108
Figure H.4 – Measurement setup of conducted emissions (setup type B).....	108
Figure I.1 – Example of a Campbell diagram.....	111
Figure K.1 – Comparison of predicted and observed extreme winds in a mixed climate region (after Isihara, T. and Yamaguchi, A.).....	117
Figure K.2 – Tropical cyclone tracks between 1945 and 2006 .....	119
Figure L.1 – Simulation showing inclined flow on a building (courtesy Sander Mertens) .....	121
Figure L.2 – Example wind flow around a building.....	122
Figure L.3 – Turbulence intensity and wind speed distribution, 5 m above treetops in a forest north of Uppsala, Sweden, during Jan-Dec 2009.....	123
Figure L.4 – Turbulence intensity and wind speed distribution, 69 m above treetops in a forest north of Uppsala, Sweden, during 2009 (limited data for high wind speeds) .....	123
Figure L.5 – Turbulence intensity and wind distribution, 2 m above rooftop in Melville, Western Australia, during Jan-Feb 2009, reference [L.4].....	124
Figure L.6 – Turbulence intensity and wind speed distribution, 5,7 m above a rooftop in Port Kennedy, Western Australia, during Feb-Mar 2010, reference [L.4] .....	124
Figure L.7 – Example extreme direction changes; 1,5 m above a rooftop in Tokyo, Japan during three months February-May of 2007 (0,5 Hz data, reference [L.5]).....	125
Figure L.8 – Example extreme direction changes; 1,5 m above a rooftop in Tokyo, Japan during five months September 2010 to February 2011 (1,0 Hz data, reference [L.5]).....	126
Figure L.9 – Gust factor measurements during storm in Port Kennedy, Western Australia, during March 2010, measured 5 m above rooftop compared with 10-min average wind speed .....	126
Figure M.1 – Sample label in English .....	131
Figure M.2 – Sample bilingual label (English/French).....	132
Table 1 – Basic parameters for SWT classes .....	30
Table 2 – Design load cases for the simplified load calculation method.....	42
Table 3 – Force coefficients ( $C_f$ ) .....	47
Table 4 – Minimum set of design load cases (DLC) for simulation by aero-elastic models.....	48
Table 5 – Equivalent stresses .....	51
Table 6 – Partial safety factors for materials .....	52
Table 7 – Partial safety factors for loads .....	52

Table C.1 – Turbulence spectral parameters for Kaimal model.....	76
Table E.1 – Factors for different survival probabilities and variabilities.....	82
Table E.2 – Geometric discontinuities .....	89
Table G.1 – Example duration test result .....	101
Table G.2 – Example calculated annual energy production (AEP) table .....	104
Table K.1 – Top five average extreme wind speeds recorded at meteorological stations .....	115
Table K.2 – Extreme wind speeds recorded at meteorological stations .....	116



## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

WIND TURBINES –

## Part 2: Small wind turbines

## 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 61400-2 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind turbines.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2006.

This edition constitutes a technical revision. This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- the title has been modified to better reflect the scope;
- restructured into part I (design evaluation) and part II (type testing) to harmonise use with IEC 61400-22 conformity testing and certification;
- caution provided regarding the use of simplified equations;
- added annex on other wind conditions;
- added annex on tropical storms;
- added annex on extreme environmental conditions;

- added annex on EMC testing;
- added annex on dynamic behaviour;
- duration testing requirements modified;
- added annex on standardised format consumer label;
- many minor changes and all known errata corrected.

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

FDIS	Report on voting
88/465/FDIS	88/469/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 61400 series, published 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.

The contents of the corrigendum of October 2019 have been included in this copy.

**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.**

# WIND TURBINES –

## Part 2: Small wind turbines

### 1 Scope

This part of IEC 61400 deals with safety philosophy, quality assurance, and engineering integrity and specifies requirements for the safety of small wind turbines (SWTs) including design, installation, maintenance and operation under specified external conditions. Its purpose is to provide the appropriate level of protection against damage from hazards from these systems during their planned lifetime.

This standard is concerned with all subsystems of SWTs such as protection mechanisms, internal electrical systems, mechanical systems, support structures, foundations and the electrical interconnection with the load. A small wind turbine system includes the wind turbine itself including support structures, the turbine controller, the charge controller / inverter (if required), wiring and disconnects, the installation and operation manual(s) and other documentation.

While this standard is similar to IEC 61400-1, it does simplify and make significant changes in order to be applicable to small wind turbines. Any of the requirements of this standard may be altered if it can be suitably demonstrated that the safety of the turbine system is not compromised. This provision, however, does not apply to the classification and the associated definitions of external conditions in Clause 6. Compliance with this standard does not relieve any person, organisation, or corporation from the responsibility of observing other applicable regulations.

This standard applies to wind turbines with a rotor swept area smaller than or equal to 200 m<sup>2</sup>, generating electricity at a voltage below 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. for both on-grid and off-grid applications.

This standard should be used together with the appropriate IEC and ISO standards (see Clause 2).

### 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 60038:2009, *IEC standard voltages*

IEC 60204-1:2005, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*

IEC 60364-5-54, *Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors*

IEC 60721-2-1, *Classification of environmental conditions – Part 2-1: Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity*

IEC 61400-11, *Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques*

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

IEC/TS 61400-13, *Wind turbine generator systems – Part 13: Measurement of mechanical loads*

IEC 61400-14:2005, *Wind turbines – Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values*

IEC/TS 61400-23:2001, *Wind turbine generator systems – Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades*

IEC 61643-11:2011, *Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and test methods*

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

ISO 2394:1998, *General principles on reliability for structures*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	143
1 Domaine d'application .....	145
2 Références normatives .....	145
3 Termes et définitions .....	146
4 Symboles et abréviations.....	155
4.1 Généralités .....	155
4.2 Symboles.....	155
4.3 Système de coordonnées.....	159
5 Éléments principaux .....	162
5.1 Généralités .....	162
5.2 Méthodes de conception .....	162
5.3 Assurance qualité .....	163
I Évaluation de la conception.....	165
6 Conditions externes.....	165
6.1 Généralités .....	165
6.2 Classes de PAG.....	165
6.3 Conditions de vent .....	166
6.3.1 Généralités .....	166
6.3.2 Conditions normales de vent.....	167
6.3.3 Conditions extrêmes de vent.....	168
6.4 Autres conditions d'environnement.....	172
6.4.1 Généralités .....	172
6.4.2 Autres conditions d'environnement normales .....	173
6.4.3 Autres conditions d'environnement extrêmes .....	173
6.5 Conditions d'essai contrôlées.....	174
6.6 Conditions de charge électrique .....	174
6.6.1 Généralités .....	174
6.6.2 Concernant les éoliennes connectées au réseau électrique .....	174
6.6.3 Concernant les éoliennes non connectées au réseau électrique .....	175
7 Conception de la structure.....	175
7.1 Généralités .....	175
7.2 Méthodologie de conception .....	175
7.3 Charges et hypothèses de charge .....	175
7.3.1 Généralités .....	175
7.3.2 Charges de vibration, d'inertie et de gravité.....	176
7.3.3 Charges aérodynamiques .....	176
7.3.4 Charges opérationnelles .....	176
7.3.5 Autres charges .....	176
7.3.6 Hypothèses de charge .....	176
7.4 Méthodologie des charges simplifiées.....	177
7.4.1 Généralités .....	177
7.4.2 Hypothèse de charge A: fonctionnement normal .....	178
7.4.3 Hypothèse de charge B: orientation .....	179
7.4.4 Hypothèse de charge C: erreur d'orientation.....	180
7.4.5 Hypothèse de charge D: poussée maximale .....	180

7.4.6	Hypothèse de charge E: vitesse de rotation maximale .....	181
7.4.7	Hypothèse de charge F: court-circuit à la borne côté charge.....	181
7.4.8	Hypothèse de charge G: arrêt (freinage).....	181
7.4.9	Hypothèse de charge H: charge extrême du vent.....	182
7.4.10	Hypothèse de charge I: charge du vent en immobilisation, exposition maximale .....	183
7.4.11	Hypothèse de charge J: transport, assemblage, maintenance et réparation .....	184
7.5	Modèle de simulation .....	184
7.5.1	Généralités .....	184
7.5.2	Production d'électricité (DLC 1.1 à 1.5) .....	185
7.5.3	Production d'électricité et survenance de panne (DLC 2.1 à 2.3).....	186
7.5.4	Arrêt normal (DLC 3.1 à 3.2).....	186
7.5.5	Arrêt d'urgence ou manuel (DLC 4.1).....	186
7.5.6	Charge extrême du vent (arrêt ou ralenti ou tournant) (DLC 5.1 à 5.2).....	186
7.5.7	Immobilisation et conditions de panne (DLC 6.1) .....	187
7.5.8	Transport, assemblage, maintenance et réparation (DLC 7.1).....	187
7.5.9	Calculs de charge.....	187
7.6	Mesures de charge .....	187
7.7	Calcul des contraintes.....	188
7.8	Facteurs de sécurité .....	188
7.8.1	Facteurs de matériau et exigences .....	188
7.8.2	Facteur de sécurité partielle des charges .....	189
7.9	Analyse d'état limite.....	190
7.9.1	Analyse de la résistance ultime .....	190
7.9.2	Défaillance due à la fatigue .....	190
7.9.3	Analyse de la déviation critique .....	191
8	Système de protection et d'arrêt.....	191
8.1	Généralités .....	191
8.2	Exigences de fonctionnement du système de protection .....	191
8.3	Arrêt manuel.....	192
8.4	Arrêt pour maintenance.....	192
9	Système électrique .....	193
9.1	Généralités .....	193
9.2	Dispositifs de protection.....	193
9.3	Dispositif de déconnexion .....	193
9.4	Systèmes de mise à la terre.....	193
9.5	Protection contre la foudre.....	194
9.6	Conducteurs et câbles électriques .....	194
9.7	Charges électriques .....	194
9.7.1	Généralités .....	194
9.7.2	Recharge des batteries.....	194
9.7.3	Réseau d'alimentation électrique (systèmes raccordés au réseau).....	194
9.7.4	Raccordement direct aux moteurs électriques (par exemple, pompage d'eau).....	195
9.7.5	Charge résistive directe (par exemple, chauffage) .....	195
9.8	Exigences locales .....	195

10	Structure de support .....	195
10.1	Généralités .....	195
10.2	Exigences dynamiques .....	196
10.3	Facteurs environnementaux .....	196
10.4	Mise à la terre .....	196
10.5	Fondations .....	196
10.6	Charges de calcul au niveau de l'accès à l'éolienne .....	196
11	Exigences en matière de documentation .....	196
11.1	Généralités .....	196
11.2	Manuels du produit .....	197
11.2.1	Généralités .....	197
11.2.2	Spécification .....	197
11.2.3	Installation .....	198
11.2.4	Fonctionnement .....	198
11.2.5	Maintenance et contrôles de routine .....	199
11.3	Étiquette consommateur .....	200
12	Marquage des éoliennes .....	200
II	Essais de type .....	201
13	Essais .....	201
13.1	Généralités .....	201
13.2	Essais destinés à vérifier les données de conception .....	201
13.2.1	Généralités .....	201
13.2.2	$P_{\text{design}}$ , $n_{\text{design}}$ , $V_{\text{design}}$ et $Q_{\text{design}}$ .....	201
13.2.3	Vitesse d'orientation maximale .....	202
13.2.4	Vitesse de rotation maximale .....	202
13.3	Essais des charges mécaniques .....	203
13.4	Essai de durée .....	203
13.4.1	Généralités .....	203
13.4.2	Fonctionnement fiable .....	205
13.4.3	Comportement dynamique .....	207
13.4.4	Rapport de l'essai de durée .....	207
13.5	Essai mécanique des composants .....	209
13.5.1	Généralités .....	209
13.5.2	Essai de pale .....	209
13.5.3	Essai de moyeu .....	209
13.5.4	Essai du châssis de la nacelle .....	210
13.5.5	Essai du dispositif d'orientation .....	210
13.5.6	Essai du multiplicateur .....	210
13.6	Sécurité et fonctionnement .....	210
13.7	Essai d'environnement .....	210
13.8	Électrique .....	211
Annexe A	(informative) Variantes de petits aérogénérateurs .....	212
A.1	Généralités .....	212
A.2	Exemple 1: formes de puissance .....	212
A.3	Exemple 2: pales .....	212
A.4	Exemple 3: structures de support .....	213
Annexe B	(normative) Paramètres de conception destinés à décrire la classe S de PAG .....	214

Annexe C (informative) Modèles de turbulence stochastiques .....	216
C.1 Généralités .....	216
C.2 Modèle de cohérence exponentielle .....	217
C.3 Modèle de turbulence isotrope de Von Karman .....	217
Annexe D (informative) Description déterministe de la turbulence .....	219
Annexe E (informative) Facteurs de sécurité partielle des matériaux .....	221
E.1 Généralités .....	221
E.2 Symboles .....	221
E.3 Comparaison de la valeur caractéristique avec les valeurs de calcul .....	221
E.4 Facteurs de matériau et exigences .....	222
E.4.1 Généralités .....	222
E.4.2 Composites .....	223
E.4.3 Métaux .....	225
E.4.4 Bois .....	226
E.5 Effets géométriques .....	228
E.6 Documents de référence .....	229
Annexe F (informative) Élaboration de la méthodologie des charges simplifiées .....	231
F.1 Symboles utilisés dans cette annexe .....	231
F.2 Généralités .....	232
F.3 Précautions relatives à l'utilisation des équations simplifiées .....	232
F.4 Relations générales .....	233
F.5 Documents de référence .....	242
Annexe G (informative) Exemple de formats de rapports d'essai .....	243
G.1 Aperçu .....	243
G.2 Essais de durée .....	243
G.2.1 Généralités .....	243
G.2.2 Tableau synthétisant les résultats des essais de durée .....	243
G.2.3 Courbe montrant toutes les dégradations de puissance potentielles .....	244
G.3 Performance de puissance/performance énergétique .....	245
G.4 Essai de bruit acoustique .....	247
Annexe H (informative) Mesures de CEM .....	248
H.1 Aperçu .....	248
H.2 Mesures des émissions rayonnées .....	248
H.3 Mesure des émissions conduites .....	250
H.4 Documents de référence .....	251
Annexe I (normative) Analyse de fréquences naturelles .....	253
Annexe J (informative) Conditions d'environnement extrêmes .....	255
J.1 Aperçu .....	255
J.2 Conditions extrêmes .....	255
J.3 Basse température .....	255
J.4 Gel .....	255
J.5 Haute température .....	256
J.6 Environnement marin .....	256
Annexe K (informative) Conditions de vent extrêmes des cyclones tropicaux .....	257
K.1 Généralités .....	257
K.2 Utilisation des classes de PAG dans les zones de cyclones tropicaux .....	257
K.3 Conditions extrêmes de vent .....	257



K.3.1	Définition des cyclones tropicaux.....	257
K.3.2	Caractéristiques générales des cyclones tropicaux.....	257
K.3.3	Conditions extrêmes de vent.....	258
K.4	Simulation stochastique (simulation de Monte Carlo).....	260
K.5	Documents de référence.....	260
Annexe L (informative)	Autres conditions de vent.....	263
L.1	Généralités.....	263
L.2	Situations typiques.....	263
L.3	Flux dépendant de la direction.....	263
L.4	Flux inclinés.....	264
L.5	Turbulence.....	265
L.6	Changement de direction extrême du vent.....	268
L.7	Facteurs de rafale.....	269
L.8	Documents de référence.....	270
Annexe M (informative)	Etiquette consommateur.....	271
M.1	Généralités.....	271
M.2	Administration.....	271
M.2.1	Généralités.....	271
M.2.2	Rapport de synthèse des essais.....	271
M.2.3	Publication d'étiquettes.....	272
M.2.4	Variantes d'éoliennes.....	272
M.3	Essais pour l'étiquetage.....	272
M.3.1	Généralités.....	272
M.3.2	Essai de durée.....	273
M.3.3	Courbe de puissance et énergie annuelle de référence.....	273
M.3.4	Essai de bruit acoustique.....	273
M.4	Disposition de l'étiquette.....	273
M.5	Documents de référence.....	274
Bibliographie.....		277
Figure 1 – Définition des systèmes d'axes pour EAH.....		160
Figure 2 – Définition des systèmes d'axes pour EAV.....		161
Figure 3 – Arbre décisionnel de la CEI 61400-2.....		164
Figure 4 – Turbulence caractéristique du vent.....		168
Figure 5 – Exemple de rafale extrême en fonctionnement ( $N=1$ , $V_{hub} = 25$ m/s).....		170
Figure 6 – Exemple d'amplitude de changement extrême de direction ( $N = 50$ , $D = 5$ m, $z_{hub} = 20$ m).....		171
Figure 7 – Exemple de phase transitoire de changement extrême de direction ( $N = 50$ , $V_{hub} = 25$ m/s).....		171
Figure 8 – Rafale extrême cohérente ( $V_{hub} = 25$ m/s) (ECG).....		171
Figure 9 – Changement de direction pour ECD.....		172
Figure 10 – Déroulement temporel du changement de direction pour $V_{hub} = 25$ m/s.....		172
Figure E.1 – Loi normale et loi de Weibull.....		222
Figure E.2 – Diagramme S-N classique de la fatigue des composites en fibres de verre (Figure 41 extraite de la référence [E.2]).....		224
Figure E.3 – Effets de l'environnement typiques sur les composites en fibres de verre (Figure 25 extraite de la référence [E.2]).....		224

Figure E.4 – Diagramme de fatigue et de la déformation pour des composites de fibres de carbone / ester vinylique à fibres larges unidirectionnelles à 0°, $R = 0,1$ et 10 (Figure 107 extraite de la référence [E.2]).....	225
Figure E.5 – Courbes S-N relatives à la fatigue des métaux habituels.....	225
Figure E.6 – Données de durée de résistance à la fatigue pour bois tendres (extrait de la référence [E.5]).....	226
Figure E.7 – Courbe S-N classique pour le bois (extrait de la référence [E.5]).....	227
Figure E.8 – Effet de l'hygrométrie sur la résistance à la compression de pièces de bois parallèlement au grain (Figure 4-13 extraite de la référence [E.6]).....	227
Figure E.9 – Effet de l'hygrométrie sur les propriétés de résistance du bois (Figure 4-11 extraite de la référence [E.6]).....	228
Figure E.10 – Effet de l'angle du grain sur la propriété mécanique du bois clair selon une formule de type Hankinson (Figure 4-4 extraite de la référence [E.6]).....	228
Figure G.1 – Exemple de courbe de dégradation de puissance.....	244
Figure G.2 – Exemple de courbe de puissance normalisée par rapport au niveau de la mer avec tri.....	245
Figure G.3 – Exemple de diagramme de dispersion de la puissance mesurée et de la vitesse du vent.....	246
Figure G.4 – Exemple de carte des immissions de bruit.....	247
Figure H.1 – Montage de mesure des émissions rayonnées (montage de type A).....	249
Figure H.2 – Montage de mesure des émissions rayonnées (montage de type B).....	250
Figure H.3 – Montage de mesure des émissions conduites (montage de type A).....	251
Figure H.4 – Montage de mesure des émissions conduites (montage de type B).....	251
Figure I.1 – Exemple de diagramme de Campbell.....	254
Figure K.1 – Comparaison des vents extrêmes prévus et observés dans une région au climat contrasté (d'après Isihara, T. et Yamaguchi, A.).....	260
Figure K.2 – Trajectoires des cyclones tropicaux entre 1945 et 2006.....	262
Figure L.1 – Simulation montrant un flux incliné sur un bâtiment (fournie par Sander Mertens).....	264
Figure L.2 – Exemple de flux de vent autour d'un bâtiment.....	265
Figure L.3 – Intensité des turbulences et distribution des vitesses du vent, à 5 m au-dessus de la cime des arbres dans une forêt au nord d'Uppsala, Suède, de janvier à décembre 2009.....	266
Figure L.4 – Intensité des turbulences et distribution des vitesses du vent, à 69 m au-dessus de la cime des arbres dans une forêt au nord d'Uppsala, Suède, en 2009 (données limitées pour les vitesses de vent élevées).....	266
Figure L.5 – Intensité des turbulences et distribution du vent, à 2 m au-dessus des toitures à Melville, Australie occidentale, de janvier à février 2009, Référence [L.4].....	267
Figure L.6 – Intensité des turbulences et distribution des vitesses du vent, à 5,7 m au-dessus des toitures à Port Kennedy, Australie occidentale, de février à mars 2010, Référence [L.4].....	267
Figure L.7 – Exemple de changements de direction extrêmes, à 1,5 m au-dessus d'une toiture à Tokyo, Japon, pendant trois mois de février à mai 2007 (données à 0,5 Hz, Référence [L.5]).....	268
Figure L.8 – Exemple de changements de direction extrêmes, à 1,5 m au-dessus d'une toiture à Tokyo, Japon, pendant cinq mois de septembre 2010 à mai 2011 (données à 1,0 Hz, Référence [L.5]).....	269
Figure L.9 – Mesures du facteur de rafale pendant la tempête à Port Kennedy, Australie occidentale, en mars 2010, à 5 m au-dessus des toitures comparées à une vitesse du vent moyennée sur 10 min.....	269

Figure M.1 – Exemple d'étiquette en anglais .....	275
Figure M.2 – Exemple d'étiquette bilingue (anglais/français) .....	276
Tableau 1 – Paramètres de base pour classes de PAG .....	166
Tableau 2 – Hypothèses de charges de calcul pour la méthode simplifiée de calcul des charges .....	178
Tableau 3 – Coefficients de force ( $C_f$ ) .....	183
Tableau 4 – Ensemble minimal d'hypothèses de charge de calcul (DLC) pour simulation par modèles aéroélastiques .....	185
Tableau 5 – Contraintes équivalentes .....	188
Tableau 6 – Facteurs de sécurité partielle des matériaux.....	189
Tableau 7 – Facteurs de sécurité partielle des charges.....	190
Tableau C.1 – Paramètres du spectre de la turbulence pour le modèle de Kaimal.....	216
Tableau E.1 – Facteurs des différentes probabilités de survie et variabilités .....	222
Tableau E.2 – Discontinuités géométriques .....	229
Tableau G.1 – Exemple de résultat de l'essai de durée .....	243
Tableau G.2 – Exemple de tableau de production annuelle d'énergie calculée (AEP).....	246
Tableau K.1 – Les cinq plus grandes vitesses du vent extrêmes moyennes enregistrées aux stations météorologiques .....	258
Tableau K.2 – Vitesses du vent extrêmes enregistrées aux stations météorologiques.....	259

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## ÉOLIENNES –

### Partie 2: Petits aérogénérateurs

#### AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61400-2 a été établie par le comité d'études 88 de la CEI: Éoliennes.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2006.

Cette édition constitue une révision technique. Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- le titre a été modifié pour mieux refléter le domaine d'application;
- la partie I (évaluation de la conception) et la partie II (essais de type) ont été restructurées pour harmoniser l'utilisation avec les essais de conformité et la certification de la CEI 61400-22;
- des précautions ont été ajoutées concernant l'utilisation des équations simplifiées;
- une annexe traitant des autres conditions de vent a été ajoutée;

- une annexe traitant des tempêtes tropicales a été ajoutée;
- une annexe traitant des conditions d'environnement extrêmes a été ajoutée;
- une annexe traitant des essais CEM a été ajoutée;
- une annexe traitant du comportement dynamique a été ajoutée;
- les exigences concernant les essais de durée ont été modifiées;
- une annexe traitant de l'étiquette consommateur au format normalisé a été ajoutée;
- de nombreux changements mineurs ont été apportés et toutes les erreurs connues ont été corrigées.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
88/465/FDIS	88/469/RVD

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

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

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

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

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

**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.**

Le contenu du corrigendum d'octobre 2019 a été pris en considération dans cet exemplaire.

## ÉOLIENNES –

### Partie 2: Petits aérogénérateurs

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61400 traite de la philosophie relative à la sécurité, l'assurance de la qualité et l'intégrité de l'ingénierie, et elle spécifie les exigences relatives à la sécurité des petits aérogénérateurs (PAG), comprenant leur conception, leur installation et leur maintenance, ainsi que leur exploitation dans des conditions externes spécifiées. Son but est de fixer un niveau approprié de protection contre les dommages dus aux dangers que ces systèmes pourraient causer pendant leur durée de vie.

La présente norme se préoccupe de tous les sous-systèmes des PAG tels que les mécanismes de protection, les systèmes électriques internes, les systèmes mécaniques, les structures de support, les fondations et l'interconnexion électrique avec la charge. Un système de petit aérogénérateur comprend l'éolienne proprement dite, qui est composée des structures de support, du régulateur de turbine, du contrôleur/onduleur de charge (si nécessaire), du câblage et des connecteurs, et du ou des manuels d'installation et d'utilisation et autre documentation.

Bien que la présente norme soit similaire à la CEI 61400-1, elle la simplifie et y apporte des changements significatifs afin d'être applicable aux petits aérogénérateurs. Il est permis de modifier les exigences de la présente norme s'il peut être démontré convenablement que la sécurité de l'aérogénérateur n'est pas compromise. Cependant, cette disposition ne s'applique pas à la classification et aux définitions des conditions externes associées de l'Article 6. La conformité à la présente norme ne soustrait aucune personne, organisation ou société de la responsabilité de respecter les autres réglementations applicables.

La présente norme s'applique aux éoliennes en réseau et hors réseau ayant une surface balayée par le rotor inférieure ou égale à 200 m<sup>2</sup> et générant de l'électricité à une tension inférieure à 1 000 V c.a. ou 1 500 V c.c.

Il convient d'utiliser la présente norme conjointement avec les normes CEI et ISO appropriées (voir Article 2).

NOTE 1 Dans la présente norme, les termes "éoliennes" et "aérogénérateurs" sont utilisés comme synonymes.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60038:2009, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60204-1:2005, *Sécurité des machines – Équipement électrique des machines – Partie 1: Règles générales*

CEI 60364-5-54, *Installations électriques basse-tension – Partie 5-54: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Installations de mise à la terre et conducteurs de protection*

CEI 60721-2-1, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-1: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Température et humidité*

CEI 61400-11, *Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques* (disponible en anglais seulement)

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

CEI/TS 61400-13, *Aérogénérateurs – Partie 13: Mesure des charges mécaniques*

CEI 61400-14:2005, *Wind turbines – Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values* (disponible en anglais seulement)

CEI/TS 61400-23, *Aérogénérateurs – Partie 23: Essais en vraie grandeur des structures des pales* (disponible en anglais seulement)

CEI 61643-11:2011, *Parafoudres basse tension – Partie 11: Parafoudres connectés aux systèmes basse tension – Exigences et méthodes d'essai*

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

ISO 2394:1998, *Principes généraux de la fiabilité des constructions*