



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_{design} , n_{design} , V_{design} and Q_{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.

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 m², 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_{design} , n_{design} , V_{design} et Q_{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	Variante 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.

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 m² 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*