

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61400-2

Deuxième édition
Second edition
2006-03

Aérogénérateurs –

**Partie 2:
Exigences en matière de conception
des petits aérogénérateurs**

Wind turbines –

**Part 2:
Design requirements for small
wind turbines**

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XC**

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	8
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives	12
3 Termes et définitions	14
4 Symboles et abréviations	28
4.1 Symboles	28
4.2 Système de coordonnées	36
5 Eléments principaux	38
5.1 Généralités	38
5.2 Méthodes de conception	38
5.3 Assurance qualité	38
6 Conditions externes	42
6.1 Généralités	42
6.2 Classes de PAG	42
6.3 Conditions de vent	44
6.4 Autres conditions environnementales	56
6.5 Conditions de charge électrique	60
7 Conception de la structure	62
7.1 Généralités	62
7.2 Méthodologie de conception	62
7.3 Charges et hypothèses de charge	62
7.4 Modèle de charge simplifiée	66
7.5 Modélisation aéroélastique	78
7.6 Mesures de charge	86
7.7 Calcul des contraintes	86
7.8 Facteurs de sécurité	88
7.9 Analyse d'état limite	90
8 Système de protection et d'arrêt	92
8.1 Généralités	92
8.2 Exigences de fonctionnement du système de protection	92
8.3 Arrêt manuel	92
8.4 Arrêt pour maintenance	92
9 Essais	94
9.1 Généralités	94
9.2 Essais destinés à vérifier les données de conception	94
9.3 Essais de charges mécaniques	96
9.4 Essai de durée	98
9.5 Essai mécanique des composants	104
9.6 Sécurité et fonctionnement	106
9.7 Essai environnemental	108
9.8 Electrique	108

CONTENTS

FOREWORD	9
1 Scope	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	15
4 Symbols and abbreviated terms	29
4.1 Symbols	29
4.2 Coordinate system	37
5 Principal elements	39
5.1 General	39
5.2 Design methods	39
5.3 Quality assurance	39
6 External conditions	43
6.1 General	43
6.2 SWT classes	43
6.3 Wind conditions	45
6.4 Other environmental conditions	57
6.5 Electrical load conditions	61
7 Structural design	63
7.1 General	63
7.2 Design methodology	63
7.3 Loads and load cases	63
7.4 Simplified load model	67
7.5 Aeroelastic modelling	79
7.6 Load measurements	87
7.7 Stress calculation	87
7.8 Safety factors	89
7.9 Limit state analysis	91
8 Protection and shutdown system	93
8.1 General	93
8.2 Functional requirements of the protection system	93
8.3 Manual shutdown	93
8.4 Shutdown for maintenance	93
9 Testing	95
9.1 General	95
9.2 Tests to verify design data	95
9.3 Mechanical load testing	97
9.4 Duration testing	99
9.5 Mechanical component testing	105
9.6 Safety and function	107
9.7 Environmental testing	109
9.8 Electrical	109

10	Système électrique	108
10.1	Généralités	108
10.2	Dispositifs de protection	108
10.3	Dispositif de déconnexion	108
10.4	Systèmes de mise à la terre	110
10.5	Protection parafoudre	110
10.6	Conducteurs et câbles électriques	110
10.7	Charges électriques	110
11	Structure de support	114
11.1	Généralités	114
11.2	Exigences dynamiques	114
11.3	Facteurs environnementaux	114
11.4	Mise à la terre	114
11.5	Fondations	114
11.6	Charges de calcul au niveau de l'accès à la turbine	114
12	Exigences en matière de documentation	114
12.1	Généralités	114
12.2	Installation	116
12.3	Fonctionnement	116
12.4	Maintenance et contrôles de routine	118
13	Marquage des éoliennes	120
	Annexe A (informative) Certification de type des petits aérogénérateurs	122
	Annexe B (normative) Paramètres de conception destinés à décrire la classe S de PAG ...	128
	Annexe C (informative) Modèles stochastiques de turbulence	130
	Annexe D (informative) Description déterministe de la turbulence	134
	Annexe E (informative) Facteurs de sécurité partielle des matériaux	138
	Annexe F (informative) Elaboration des équations de conception simples	158
	Bibliographie	178
	Figure 1 – Définition des systèmes d'axes pour EAH	36
	Figure 2 – Arbre décisionnel de la CEI 61400-2	40
	Figure 3 – Turbulence caractéristique du vent	48
	Figure 4 – Exemple de rafale extrême en fonctionnement ($N = 1$, $V_{hub} = 25$ m/s)	50
	Figure 5 – Exemple d'amplitude de changement de direction extrême ($N = 50$, $D = 5$ m, $z_{hub} = 20$ m)	52
	Figure 6 – Exemple de changement de direction extrême ($N = 50$, $V_{hub} = 25$ m/s)	52
	Figure 7 – Rafale extrême cohérente ($V_{hub} = 25$ m/s) (ECG)	54
	Figure 8 – Changement de direction pour ECD	56
	Figure 9 – Déroulement temporel de la modification de direction pour $V_{hub} = 25$ m/s	56
	Figure A.1 – Modules de la certification de type (selon CEI WT01 et CEI 61400-2)	122
	Figure A.2 – Eléments de l'évaluation de la conception (recommandé par la CEI 61400-2)	124
	Figure A.3 – Eléments de l'essai de type (selon CEI WT01 et CEI 61400-2)	126

10	Electrical system	109
10.1	General	109
10.2	Protective devices	109
10.3	Disconnect device	109
10.4	Earthing systems	111
10.5	Lightning protection	111
10.6	Electrical conductors and cables	111
10.7	Electrical loads	111
11	Support structure	115
11.1	General	115
11.2	Dynamic requirements	115
11.3	Environmental factors	115
11.4	Earthing	115
11.5	Foundation	115
11.6	Turbine access design loads	115
12	Documentation requirements	115
12.1	General	115
12.2	Installation	117
12.3	Operation	117
12.4	Maintenance and routine inspection	119
13	Wind turbine markings	121
	Annex A (informative) Type certification of small wind turbines	123
	Annex B (normative) Design parameters for describing SWT class S	129
	Annex C (informative) Stochastic turbulence models	131
	Annex D (informative) Deterministic turbulence description	135
	Annex E (informative) Partial safety factors for materials	139
	Annex F (informative) Development of the simple design equations	159
	Bibliography	179
	Figure 1 – Definition of the system of axes for HAWT	37
	Figure 2 – IEC 61400-2 decision path	41
	Figure 3 – Characteristic wind turbulence	49
	Figure 4 – example of extreme operating gust ($N = 1$, $V_{hub} = 25$ m/s)	51
	Figure 5 – Example of extreme direction change magnitude ($N = 50$, $D = 5$ m, $z_{hub} = 20$ m) ..	53
	Figure 6 – Example of extreme direction change ($N = 50$, $V_{hub} = 25$ m/s)	53
	Figure 7 – Extreme coherent gust ($V_{hub} = 25$ m/s) (ECG)	55
	Figure 8 – The direction change for ECD	57
	Figure 9 – Time development of direction change for $V_{hub} = 25$ m/s	57
	Figure A.1 – Modules of type certification (per IEC WT01 and IEC 61400-2)	123
	Figure A.2 – Elements of design evaluation (recommended per IEC 61400-2)	125
	Figure A.3 – Elements of type testing (per IEC WT01 and IEC 61400-2)	127

Figure E.1 – Distribution normale et distribution de Weibull	140
Figure E.2 – Diagramme S-N classique de la fatigue des composites en fibres de verre	144
Figure E.3 – Effets classiques de l'environnement sur des composites en fibres de verre	144
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	146
Figure E.5 – Courbes S-N relatives à la fatigue des métaux habituels	146
Figure E.6 – Données de durée de résistance à la fatigue pour bois tendres	148
Figure E.7 – Courbe S-N classique pour le bois	150
Figure E.8 – Effet de l'hygrométrie sur la résistance à la compression de pièces de bois parallèlement au grain	150
Figure E.9 – Effet de l'hygrométrie sur les propriétés de résistance du bois	152
Figure E.10 – Effet de l'angle du grain sur la propriété mécanique du bois clair selon une formule de type Hankinson	152
Tableau 1 – Paramètres de base pour classes de PAG	44
Tableau 2 – Hypothèses de charges de calcul pour la méthode simplifiée de calcul des charges	68
Tableau 3 – Coefficients de force, C_f	78
Tableau 4 – Ensemble minimum des hypothèses de charge de calcul pour les modèles aéroélastiques	80
Tableau 5 – Contraintes équivalentes	86
Tableau 6 – Facteurs de sécurité partielle pour les matériaux	88
Tableau 7 – Facteurs de sécurité partielle des charges	90
Tableau C.1 – Paramètres du spectre de la turbulence pour le modèle de Kaimal	130
Tableau E.1 – Facteurs des différentes probabilités de survie et variabilités	140
Tableau E.2 – Discontinuités géométriques	154

Figure E.1 – Normal and Weibull distribution	141
Figure E.2 – Typical S-N diagram for fatigue of glass fibre composites	145
Figure E.3 – Typical environmental effects on glass fibre composites	145
Figure E.4 – Fatigue strain diagram for large tow unidirectional 0° carbon fibre/vinyl ester composites, $R = 0,1$ and 10	147
Figure E.5 – S-N curves for fatigue of typical metals	147
Figure E.6 – Fatigue life data for jointed softwood	149
Figure E.7 – Typical S-N curve for wood	151
Figure E.8 – Effect of moisture content on compressive strength of lumber parallel to grain	151
Figure E.9 – Effect of moisture content on wood strength properties	153
Figure E.10 – Effect of grain angle on mechanical property of clear wood according to Hankinson-type formula	153
Table 1 – Basic parameters for SWT classes	45
Table 2 – Design load cases for the simplified load calculation method	69
Table 3 – Force coefficients, C_f	79
Table 4 – Minimum set of design load cases for aeroelastic models	81
Table 5 – Equivalent stresses	87
Table 6 – Partial safety factors for materials	89
Table 7 – Partial safety factors for loads	91
Table C.1 – Turbulence spectral parameters for Kaimal model	131
Table E.1 – Factors for different survival probabilities and variabilities	141
Table E.2 – Geometric discontinuities	155

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-2 ed. 2.0.2006

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AÉROGÉNÉRATEURS –

Partie 2: Exigences en matière de conception des 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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

Cette seconde édition annule et remplace la première édition publiée en 1996. Cette édition constitue une révision technique. De nombreux changements substantiels ont été réalisés. Les changements les plus importants sont:

- des équations simplifiées et révisées en fonction des derniers résultats d'essai et de recherche;
- plusieurs paramètres dans les équations simplifiées doivent reposer sur des résultats d'essai;
- ajout d'option pour l'utilisation de modèles aéroélastiques au lieu d'équations simplifiées;
- augmentation des exigences d'essai.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WIND TURBINES –**Part 2: Design requirements for 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 second edition cancels and replaces the first edition published in 1996. This edition constitutes a technical revision. Numerous substantive changes have been made. The most significant of these are:

- revised simplified equations based upon recent test and research results;
- several parameters in the simplified equations shall now be based upon test results;
- added option for use of aeroelastic models instead of simplified equations;
- expanded testing requirements.

Le texte de la présente norme repose sur les documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
88/254/FDIS	88/259/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.

La présente publication a été rédigée en fonction des Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 61400 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Aérogénérateurs*:

- Partie 1: Design requirements (disponible en anglais seulement)
- Partie 2: Exigences en matière de conception des petits aérogénérateurs
- Partie 3: Design requirements for offshore wind turbines (disponible en anglais seulement)¹
- Partie 11: Techniques de mesure du bruit acoustique
- Partie 12: Wind turbine power performance testing (disponible en anglais seulement)
- Partie 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines (disponible en anglais seulement)
- Partie 13: Mesure des charges mécaniques
- Partie 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values (disponible en anglais seulement)
- Partie 21: Mesurage et évaluation des caractéristiques de qualité de puissance des éoliennes connectées au réseau
- Partie 23: Essais en vraie grandeur des structures des pales
- Partie 24: Lightning protection (disponible en anglais seulement)
- Partie 25-1: Communications for monitoring and control of wind power plants – Overall description of principles and models (disponible en anglais seulement)¹
- Partie 25-2: Communications for monitoring and control of wind power plants – Information models (disponible en anglais seulement)¹
- Partie 25-3: Communications for monitoring and control of wind power plants – Information exchange models (disponible en anglais seulement)¹
- Partie 25-4: Communications for monitoring and control of wind power plants – Mapping to XML based communication profile (disponible en anglais seulement)¹
- Partie 25-5: Communications for monitoring and control of wind power plants – Conformance testing (disponible en anglais seulement)¹

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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.

¹ A l'étude.

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

FDIS	Report on voting
88/254/FDIS	88/259/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.

IEC 61400 consists of the following parts, under the general title *Wind turbines*:

- Part 1: Design requirements
- Part 2: Design requirements for small wind turbines
- Part 3: Design requirements for offshore wind turbines¹
- Part 11: Acoustic noise measurement techniques
- Part 12: Wind turbine power performance testing
- Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines
- Part 13: Measurement of mechanical loads
- Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values
- Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines
- Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades
- Part 24: Lightning protection
- Part 25-1: Communications for monitoring and control of wind power plants – Overall description of principles and models¹
- Part 25-2: Communications for monitoring and control of wind power plants – Information models¹
- Part 25-3: Communications for monitoring and control of wind power plants – Information exchange models¹
- Part 25-4: Communications for monitoring and control of wind power plants – Mapping to XML based communication profile¹
- Part 25-5: Communications for monitoring and control of wind power plants – Conformance testing¹

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

¹ Under consideration.

AÉROGÉNÉRATEURS –

Partie 2: Exigences en matière de conception des 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 spécifiques. Le but de cette norme est de fixer un niveau approprié de protection contre les risques et dommages que ces systèmes pourraient causer pendant leur durée de vie.

La présente partie de la CEI 61400 se préoccupe de tous les sous-systèmes des PAG tels que les mécanismes de contrôle et de protection, les systèmes électriques internes, les systèmes mécaniques, les structures de support, les fondations et l'interconnexion électrique avec la charge.

Bien que la présente partie de la CEI 61400 soit similaire à la CEI 61400-1, elle simplifie et apporte des changements significatifs afin d'être applicable aux petites turbines.

La présente partie de la CEI 61400 s'applique aux éoliennes ayant une surface balayée inférieure à 200 m² et fonctionnant à une tension en dessous de 1 000 V c.a. ou 1 500 V c.c.

Il convient d'utiliser cette partie de la CEI 61400 avec les normes CEI et ISO appropriées (voir Article 2).

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. 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 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-2, *Machines électriques tournantes – Deuxième partie: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)*

CEI 60034-5, *Machines électriques tournantes – Partie 5: Degrés de protection procurés par la conception intégrale des machines électriques tournantes (code IP) – Classification*

CEI 60034-8, *Machines électriques tournantes – Partie 8: Marques d'extrémité et sens de rotation*

CEI 60038:1983, *Tensions normales de la CEI*
Amendement 1 (1994)
Amendement 2 (1997)