



IEC 61400-3-1

Edition 1.0 2019-04

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**Wind energy generation systems –  
Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines**

**Systèmes de génération d'énergie éolienne –  
Partie 3-1: Exigences de conception des éoliennes en mer fixes**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-7609-9

**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.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	10
2 Normative references .....	10
3 Terms and definitions .....	11
4 Symbols and abbreviated terms.....	19
4.1 Symbols and units.....	19
4.2 Abbreviations.....	20
5 Principal elements.....	21
5.1 General.....	21
5.2 Design methods .....	21
5.3 Safety classes .....	22
5.4 Quality assurance .....	22
5.5 Rotor–nacelle assembly markings.....	23
6 External conditions – definition and assessment.....	23
6.1 General.....	23
6.2 Wind turbine classes.....	24
6.3 Definition of external conditions at an offshore wind turbine site .....	24
6.3.1 General .....	24
6.3.2 Wind conditions .....	25
6.3.3 Marine conditions .....	25
6.3.4 Electrical power network conditions .....	32
6.3.5 Other environmental conditions .....	32
6.4 Assessment of external conditions at an offshore wind turbine site .....	33
6.4.1 General .....	33
6.4.2 The metocean database .....	33
6.4.3 Assessment of wind conditions .....	34
6.4.4 Assessment of marine conditions.....	36
6.4.5 Assessment of other environmental conditions .....	40
6.4.6 Assessment of electrical network conditions .....	41
6.4.7 Assessment of soil conditions.....	41
7 Structural design .....	42
7.1 General.....	42
7.2 Design methodology .....	42
7.3 Loads.....	42
7.3.1 General .....	42
7.3.2 Gravitational and inertial loads .....	42
7.3.3 Aerodynamic loads .....	43
7.3.4 Actuation loads.....	43
7.3.5 Hydrodynamic loads .....	43
7.3.6 Sea/lake ice loads .....	43
7.3.7 Other loads.....	44
7.4 Design situations and load cases.....	44
7.4.1 General .....	44
7.4.2 Power production (DLC 1.1 to 1.6).....	50

7.4.3	Power production plus occurrence of fault or loss of electrical network connection (DLC 2.1 – 2.5).....	51
7.4.4	Start up (DLC 3.1 to 3.3).....	53
7.4.5	Normal shutdown (DLC 4.1 to 4.2).....	54
7.4.6	Emergency stop (DLC 5.1).....	54
7.4.7	Parked (standstill or idling) (DLC 6.1 to 6.4).....	55
7.4.8	Parked plus fault conditions (DLC 7.1 to 7.2).....	56
7.4.9	Transport, assembly, maintenance and repair (DLC 8.1 to 8.4).....	57
7.4.10	Sea/lake ice design load cases.....	60
7.5	Load and load effect calculations.....	61
7.5.1	General.....	61
7.5.2	Relevance of hydrodynamic loads.....	61
7.5.3	Calculation of hydrodynamic loads.....	62
7.5.4	Calculation of sea/lake ice loads.....	62
7.5.5	Overall damping assessment for support structure response evaluations.....	62
7.5.6	Simulation requirements.....	64
7.5.7	Other requirements.....	65
7.6	Ultimate limit state analysis.....	66
7.6.1	Method.....	66
7.6.2	Ultimate strength analysis.....	68
7.6.3	Fatigue failure.....	68
7.6.4	Special partial safety factors.....	69
7.6.5	Assessment of cyclic loading for foundation assessment.....	69
8	Control system.....	69
9	Mechanical systems.....	70
10	Electrical system.....	70
11	Foundation and substructure design.....	70
12	Assembly, installation and erection.....	71
12.1	General.....	71
12.2	Planning.....	72
12.3	Installation conditions.....	72
12.4	Site access.....	72
12.5	Environmental conditions.....	73
12.6	Documentation.....	73
12.7	Receiving, handling and storage.....	73
12.8	Support structure systems.....	73
12.9	Assembly of offshore wind turbine.....	73
12.10	Erection of offshore wind turbine.....	74
12.11	Fasteners and attachments.....	74
12.12	Cranes, hoists and lifting equipment.....	74
13	Commissioning, operation and maintenance.....	74
13.1	General.....	74
13.2	Design requirements for safe operation, inspection and maintenance.....	75
13.3	Instructions concerning commissioning.....	76
13.3.1	General.....	76
13.3.2	Energization.....	76
13.3.3	Commissioning tests.....	76
13.3.4	Records.....	76

13.3.5	Post commissioning activities .....	76
13.4	Operator's instruction manual .....	76
13.4.1	General .....	76
13.4.2	Instructions for operations and maintenance record .....	77
13.4.3	Instructions for unscheduled automatic shutdown .....	77
13.4.4	Instructions for diminished reliability .....	77
13.4.5	Work procedures plan .....	77
13.4.6	Emergency procedures plan .....	78
13.5	Maintenance manual .....	78
Annex A (informative)	Key design parameters for an offshore wind turbine .....	80
A.1	Offshore wind turbine identifiers .....	80
A.1.1	General .....	80
A.1.2	Rotor-nacelle assembly (machine) parameters .....	80
A.1.3	Support structure parameters .....	80
A.1.4	Wind conditions (based on a 10-min reference period and including wind farm wake effects where relevant) .....	80
A.1.5	Marine conditions (based on a 3-hour reference period where relevant) .....	81
A.1.6	Electrical network conditions at turbine .....	81
A.2	Other environmental conditions .....	82
A.3	Limiting conditions for transport, erection and maintenance .....	82
Annex B (informative)	Shallow water hydrodynamics and breaking waves .....	83
B.1	Selection of suitable wave theories .....	83
B.2	Modelling of irregular wave trains .....	84
B.3	Wave height distributions .....	84
B.3.1	General .....	84
B.3.2	The Goda model for maximum wave height .....	84
B.3.3	The Battjes and Groenendijk wave height distribution .....	87
B.3.4	The Forristall wave and crest height distributions .....	90
B.4	Breaking waves .....	92
B.5	Reference documents .....	95
Annex C (informative)	Guidance on calculation of hydrodynamic loads .....	96
C.1	General .....	96
C.2	Morison's equation .....	97
C.3	Diffraction .....	98
C.4	Slap and slam loading .....	99
C.5	Vortex-induced vibrations .....	102
C.5.1	General .....	102
C.5.2	Critical velocities for cross-flow motion .....	103
C.5.3	Critical velocities for in-line motion .....	104
C.6	Appurtenances .....	105
C.6.1	General .....	105
C.6.2	Alternative method for estimating hydrodynamic coefficients accounting for appurtenances and marine growth .....	105
C.7	Calculation methods .....	112
C.7.1	General .....	112
C.7.2	Explicit approach .....	113
C.7.3	Constrained wave approach .....	113
C.8	Reference documents .....	113

Annex D (informative) Recommendations for design of offshore wind turbine support structures with respect to ice loads .....	115
D.1 Introductory remarks .....	115
D.2 General.....	115
D.3 Choice of ice thickness .....	116
D.4 Load cases .....	117
D.4.1 General .....	117
D.4.2 Horizontal load from fast ice cover originating from temperature fluctuations (DLC D1) .....	117
D.4.3 Horizontal load from fast ice cover originating from water level fluctuations and arch effect (DLC D2) .....	118
D.4.4 Horizontal load from moving ice (DLC D3, D4, D7 and D8) .....	118
D.4.5 Vertical load from fast ice cover (DLC D5) .....	122
D.4.6 Pressure from ice ridges (DLC D6) .....	123
D.4.7 Dynamic loading (DLC D3, D4, D7, and D8).....	123
D.5 Requirements on stochastic simulation .....	126
D.6 Requirements on model testing .....	126
D.7 Reference documents .....	127
D.8 Databases for ice conditions .....	129
Annex E (informative) Offshore wind turbine foundation and substructure design.....	130
Annex F (informative) Statistical extrapolation of operational metocean parameters for ultimate strength analysis .....	131
F.1 General.....	131
F.2 Use of IFORM to determine 50-yr significant wave height conditional on mean wind speed.....	131
F.3 Examples of joint distributions of $V$ and $H_S$ and approximations to the environmental contour .....	133
F.4 Choice of sea state duration .....	135
F.5 Determination of the extreme individual wave height to be embedded in SSS .....	135
F.6 Reference documents .....	136
Annex G (informative) Corrosion protection .....	137
G.1 General.....	137
G.2 The marine environment .....	137
G.3 Corrosion protection considerations .....	138
G.4 Corrosion protection systems – Support structures .....	138
G.5 Corrosion protection in the rotor–nacelle assembly .....	139
G.6 Reference documents .....	140
Annex H (informative) Prediction of extreme wave heights during tropical cyclones .....	141
H.1 General.....	141
H.2 Wind field estimation for tropical cyclones.....	141
H.3 Wave estimation for tropical cyclones .....	142
H.4 Reference documents .....	142
H.5 Databases for tropical storms conditions.....	143
Annex I (informative) Recommendations for alignment of safety levels in tropical cyclone regions.....	144
I.1 General.....	144
I.2 Global robustness level criteria .....	144
I.3 Design load cases.....	145
Bibliography.....	147

Figure 1 – Parts of a fixed offshore wind turbine .....	13
Figure 2 – Design process for an offshore wind turbine .....	22
Figure 3 – Definition of water levels .....	30
Figure 4 – The two approaches to calculate the design load effect.....	67
Figure B.1 – Regular wave theory selection diagram.....	83
Figure B.2 – Comparison of wave height distribution results .....	92
Figure C.1 – Breaking wave and cylinder parameters.....	100
Figure C.2 – Oblique inflow parameters .....	101
Figure C.3 – Distribution over height of the maximum impact line force ( $\gamma = 0^\circ$ ) .....	102
Figure C.4 – Response of model and full-scale cylinder in-line and cross-flow .....	104
Figure C.5 – Geometrical definition of blocking and shielding .....	109
Figure C.6 – Influence of a fixed boundary on the drag coefficient on a circular cylinder in oscillatory supercritical flow $KC > 20$ , $Re = 10^5 - 2 \times 10^6$ .....	110
Figure C.7 – Shielding factors.....	111
Figure C.8 – Recommended value for the added mass coefficient $C_m$ of a circular cylinder; influence of a fixed boundary .....	112
Figure D.1 – Ice force coefficients for plastic limit analysis .....	121
Figure D.2 – Ice load history for frequency lock-in conditions.....	125
Figure D.3 – Time history of horizontal force component of ice load acting on a conical structure .....	125
Figure F.1 – Example of the construction of the 50-year environmental contour for a 3- hour sea state duration. ....	132
Table 1 – Conversion between extreme wind speeds of different averaging periods.....	34
Table 2 – Design load cases .....	46
Table 3 – Design load cases for sea/lake ice .....	61
Table B.1 – Constants $h_1$ and $h_2$ and normalised wave heights $h_x$ % as a function of $H_{tr}$ .....	88
Table B.2 – Breaking wave type.....	94
Table I.1 – Additional load cases for tropical cyclone affected regions .....	146

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –****Part 3-1: Design requirements for fixed offshore 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 61400-3-1 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind energy generation systems.

This bilingual version (2019-11) corresponds to the monolingual English version, published in 2019-04.

This edition cancels and replaces the first edition of IEC 61400-3 published in 2009. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the first edition of IEC 61400-3:

- a) Clause 12 has been merged with Clause 6 in order to acknowledge that the design of the wind turbine support structure is generally site specific for offshore projects;

- b) The design load table has been revised to simplify the approach to waves, both for several gust cases with the Normal Sea State, and for a number of cases with the Extreme Sea State. The guidance for load calculations has been altered accordingly;
- c) For load safety factors reference is now made directly to IEC 61400-1;
- d) Clause 8 on the control system has been aligned with the latest updates in IEC 61400-1;
- e) Annex B to edition one on wave spectra has been replaced by a reference to ISO 19901-1;
- f) The annex on ice loading has been revised and updated (now Annex D);
- g) Two informative annexes concerning tropical cyclones have been introduced: Annex H on wave height assessment and Annex I on safety level;
- h) Other parts of the text have been aligned with IEC 61400-1.

This part is to be read in conjunction with IEC 61400-1, *Wind turbines – Part 1: Design requirements*<sup>1</sup>.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
88/708/FDIS	88/712/RVD

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

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

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

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

Future standards in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing standards in this series will be updated at the time of the next edition.

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

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

<sup>1</sup> Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/RFDIS 61400-1:2018.



## INTRODUCTION

This part of IEC 61400 outlines the minimum design requirements for fixed offshore wind turbines and is not intended for use as a complete design specification or instruction manual.

Several different parties may be responsible for undertaking the various elements of the design, manufacture, assembly, installation, erection, commissioning, operation and maintenance of an offshore wind turbine and for ensuring that the requirements of this document are met. The division of responsibility between these parties is a contractual matter and is outside the scope of this document.

Any of the requirements of this document may be altered if it can be suitably demonstrated that the safety of the system is not compromised. Compliance with this document does not relieve any person, organization, or corporation from the responsibility of observing other applicable regulations.

The document is not intended to give requirements for floating offshore wind turbines. For floating installations, reference is made to IEC 61400-3-2.

## WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

### Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines

#### 1 Scope

This part of IEC 61400 specifies additional requirements for assessment of the external conditions at an offshore wind turbine site and specifies essential design requirements to ensure the engineering integrity of fixed offshore wind turbines. Its purpose is to provide an appropriate level of protection against damage from all hazards during the planned lifetime.

This document focuses on the engineering integrity of the structural components of an offshore wind turbine but is also concerned with subsystems such as control and protection mechanisms, internal electrical systems and mechanical systems.

A wind turbine shall be considered as a fixed offshore wind turbine if the support structure is subject to hydrodynamic loading and it is founded on the seabed. The design requirements specified in this document are not sufficient to ensure the engineering integrity of floating offshore wind turbines. For floating installations, reference is made to IEC 61400-3-2. In the remainder of this document, the term “offshore wind turbine” is assumed to refer to those that are fixed to the seabed.

This document should be used together with the appropriate IEC and ISO standards mentioned in Clause 2. In particular, this document is fully consistent with the requirements of IEC 61400-1. The safety level of the offshore wind turbine designed according to this document shall be at or exceed the level inherent in IEC 61400-1. In some clauses, where a comprehensive statement of requirements aids clarity, replication of text from IEC 61400-1 is included.

#### 2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60721 (all parts), *Classification of environmental conditions*

IEC 61400-1:2018, *Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements*<sup>2</sup>

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

ISO 2533:1975, *Standard Atmosphere*

ISO 19900:2002, *Petroleum and natural gas industries – General requirements for offshore structures*

ISO 19901-1:2015, *Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 1: Metocean design and operating conditions*

---

<sup>2</sup> Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/RFDIS 61400-1:2018.

ISO 19901-4:2003, *Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 4: Geotechnical and foundation design considerations*

ISO 19902:2007, *Petroleum and natural gas industries – Fixed steel offshore structures*

ISO 19903:2006, *Petroleum and natural gas industries – Fixed concrete offshore structures*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	155
INTRODUCTION.....	158
1 Domaine d'application .....	159
2 Références normatives.....	159
3 Termes et définitions .....	160
4 Symboles et termes abrégés .....	168
4.1 Symboles et unités .....	168
4.2 Termes abrégés.....	169
5 Éléments principaux .....	170
5.1 Généralités .....	170
5.2 Méthodes de conception .....	170
5.3 Classes de sécurité .....	172
5.4 Assurance qualité .....	172
5.5 Marquages de l'ensemble rotor–nacelle .....	173
6 Conditions externes – Définition et évaluation .....	173
6.1 Généralités .....	173
6.2 Classes d'éoliennes.....	174
6.3 Définition des conditions externes sur un site d'éolienne en mer.....	174
6.3.1 Généralités.....	174
6.3.2 Conditions de vent.....	175
6.3.3 Conditions maritimes .....	175
6.3.4 Conditions relatives au réseau d'alimentation électrique.....	183
6.3.5 Autres conditions d'environnement .....	183
6.4 Évaluation des conditions externes sur un site d'éoliennes en mer .....	184
6.4.1 Généralités.....	184
6.4.2 Base de données océano-météorologiques.....	184
6.4.3 Évaluation des conditions de vent.....	185
6.4.4 Évaluation des conditions maritimes .....	188
6.4.5 Évaluation d'autres conditions d'environnement.....	192
6.4.6 Évaluation des conditions du réseau électrique .....	193
6.4.7 Évaluation des conditions du sol.....	193
7 Conception structurelle.....	194
7.1 Généralités .....	194
7.2 Méthodologie conceptuelle.....	195
7.3 Charges.....	195
7.3.1 Généralités.....	195
7.3.2 Charges d'inertie et gravitationnelles .....	195
7.3.3 Charges aérodynamiques .....	195
7.3.4 Charges de manœuvre .....	196
7.3.5 Charges hydrodynamiques .....	196
7.3.6 Surcharges de glace de mer/lac .....	196
7.3.7 Autres charges .....	196
7.4 Situations de conception et cas de charge associés.....	197
7.4.1 Généralités.....	197
7.4.2 Production d'électricité (DLC 1.1 à 1.6).....	204

7.4.3	Production d'électricité et survenance de panne ou perte du raccordement au réseau électrique (DLC 2.1 – 2.5) .....	205
7.4.4	Démarrage (DLC 3.1 à 3.3).....	208
7.4.5	Arrêt normal (DLC 4.1 à 4.2).....	208
7.4.6	Arrêt d'urgence (DLC 5.1).....	209
7.4.7	Immobilisation (arrêt ou ralenti) (DLC 6.1 à 6.4) .....	209
7.4.8	Immobilisation et conditions de panne (DLC 7.1 à 7.2) .....	211
7.4.9	Transport, assemblage, maintenance et réparation (DLC 8.1 à 8.4).....	212
7.4.10	Cas de charge de calcul pour la glace de mer/lac .....	216
7.5	Calculs de charge et d'effet de charge .....	217
7.5.1	Généralités .....	217
7.5.2	Pertinence des charges hydrodynamiques .....	217
7.5.3	Calcul des charges hydrodynamiques .....	218
7.5.4	Calcul des surcharges de glace de mer/lac.....	218
7.5.5	Évaluation d'amortissement globale pour les évaluations de la réponse de la structure de support .....	218
7.5.6	Exigences de simulation .....	220
7.5.7	Autres exigences .....	221
7.6	Analyse de l'état limite ultime .....	222
7.6.1	Méthode .....	222
7.6.2	Analyse de la résistance à la rupture .....	225
7.6.3	Rupture par fatigue.....	226
7.6.4	Facteurs spéciaux de sécurité partielle .....	226
7.6.5	Évaluation des charges cycliques pour l'évaluation de la fondation.....	226
8	Système de commande .....	227
9	Systèmes mécaniques.....	227
10	Système électrique .....	228
11	Conception de la fondation et de la sous-structure .....	228
12	Assemblage, installation et montage.....	229
12.1	Généralités .....	229
12.2	Planification .....	230
12.3	Conditions d'installation .....	230
12.4	Accès au site .....	230
12.5	Conditions d'environnement.....	230
12.6	Documentation.....	231
12.7	Réception, manutention et stockage .....	231
12.8	Systèmes de la structure de support .....	231
12.9	Assemblage de l'éolienne en mer.....	231
12.10	Montage de l'éolienne en mer .....	231
12.11	Dispositifs de fixation et attaches.....	232
12.12	Grues, treuils et équipements de levage .....	232
13	Mise en service, fonctionnement et maintenance .....	232
13.1	Généralités .....	232
13.2	Exigences de conception pour le fonctionnement, le contrôle et la maintenance en toute sécurité .....	233
13.3	Instructions concernant la mise en service.....	234
13.3.1	Généralités .....	234
13.3.2	Alimentation .....	234
13.3.3	Essais de mise en service .....	234

13.3.4	Enregistrements .....	234
13.3.5	Activités postérieures à la mise en service .....	234
13.4	Manuel d'utilisation de l'opérateur .....	235
13.4.1	Généralités .....	235
13.4.2	Renseignements concernant les enregistrements de fonctionnement et de maintenance .....	235
13.4.3	Instructions pour l'arrêt automatique non programmé.....	235
13.4.4	Instructions pour une fiabilité réduite .....	236
13.4.5	Plan de procédures de travail .....	236
13.4.6	Plan de procédures d'urgence .....	236
13.5	Manuel de maintenance .....	237
Annexe A (informative) Principaux paramètres de conception d'une éolienne en mer.....		238
A.1	Identifiants de l'éolienne en mer .....	238
A.1.1	Généralités .....	238
A.1.2	Paramètres de l'ensemble rotor-nacelle (machine).....	238
A.1.3	Paramètres de la structure de support .....	238
A.1.4	Conditions de vent (fondées sur une période de référence de 10 min et incluant les effets de sillage dans le parc éolien, le cas échéant) .....	238
A.1.5	Conditions maritimes (fondées sur une période de référence de 3 h, le cas échéant).....	239
A.1.6	Conditions du réseau électrique sur le site de l'éolienne .....	239
A.2	Autres conditions d'environnement.....	240
A.3	Conditions aux limites pour le transport, le montage et la maintenance.....	240
Annexe B (informative) Hydrodynamique en eau peu profonde et vagues déferlantes .....		241
B.1	Choix des théories de vagues appropriées.....	241
B.2	Modélisation des trains de vagues irrégulières.....	242
B.3	Distributions des hauteurs de vagues.....	242
B.3.1	Généralités .....	242
B.3.2	Modèle de Goda pour la hauteur de vague maximale.....	242
B.3.3	Distributions des hauteurs de vagues selon Battjes et Groenendijk.....	245
B.3.4	Distributions de Forristall pour les hauteurs de vagues et de crêtes.....	249
B.4	Vagues déferlantes .....	250
B.5	Documents de référence .....	253
Annexe C (informative) Recommandations relatives au calcul des charges hydrodynamiques .....		254
C.1	Généralités .....	254
C.2	Équation de Morison .....	255
C.3	Diffraction .....	256
C.4	Charges dues au cognement et au claquement des vagues .....	257
C.5	Vibrations induites par les tourbillons.....	261
C.5.1	Généralités .....	261
C.5.2	Vitesses critiques relatives à un mouvement transversal à l'écoulement .....	261
C.5.3	Vitesses critiques dans le cas d'un mouvement dans le sens de l'écoulement (écoulement en ligne).....	263
C.6	Équipements accessoires .....	264
C.6.1	Généralités .....	264
C.6.2	Autre méthode d'estimation des coefficients hydrodynamiques représentant des équipements accessoires et les concrétions marines.....	264
C.7	Méthodes de calcul .....	273
C.7.1	Généralités .....	273

C.7.2	Approche explicite .....	273
C.7.3	Approche par les vagues forcées .....	273
C.8	Documents de référence .....	273
Annexe D (informative)	Recommandations relatives à la conception des structures de support des éoliennes en mer par rapport aux surcharges de glace .....	275
D.1	Remarques introductives .....	275
D.2	Généralités .....	275
D.3	Choix de l'épaisseur de glace .....	276
D.4	Cas de charge .....	277
D.4.1	Généralités .....	277
D.4.2	Charge horizontale d'un couvert de glace provenant des fluctuations de température (DLC D1) .....	278
D.4.3	Charge horizontale d'un couvert de glace provenant des fluctuations du niveau de l'eau et de l'effet de voûte (DLC D2) .....	278
D.4.4	Charge horizontale provenant de la glace en mouvement (DLC D3, D4, D7 et D8) .....	278
D.4.5	Charge verticale provenant du couvert de glace (DLC D5) .....	282
D.4.6	Pression provenant des ondins de glace (DLC D6) .....	283
D.4.7	Charges dynamiques (DLC D3, D4, D7 et D8) .....	284
D.5	Exigences relatives à la simulation stochastique .....	287
D.6	Exigences relatives aux essais sur modèles .....	287
D.7	Documents de référence .....	288
D.8	Bases de données concernant les conditions de glace .....	289
Annexe E (informative)	Conception de la fondation et de la sous-structure d'une éolienne en mer .....	290
Annexe F (informative)	Extrapolation statistique des paramètres océano-météorologiques opérationnels pour l'analyse de résistance ultime .....	291
F.1	Généralités .....	291
F.2	Utilisation de l'IFORM pour déterminer la hauteur des vagues significatives au cours d'une période de 50 ans dépendant de la vitesse moyenne du vent .....	291
F.3	Exemples de distributions conjointes de $V$ et $H_S$ et approximations du contour environnemental .....	293
F.4	Choix de la durée de l'état de mer .....	295
F.5	Détermination de la hauteur extrême de vague individuelle à intégrer à l'état de mer SSS .....	296
F.6	Documents de référence .....	296
Annexe G (informative)	Protection contre la corrosion .....	297
G.1	Généralités .....	297
G.2	L'environnement marin .....	297
G.3	Considérations relatives à la protection contre la corrosion .....	298
G.4	Systèmes de protection contre la corrosion – Structures de support .....	298
G.5	Protection contre la corrosion de l'ensemble rotor-nacelle .....	299
G.6	Documents de référence .....	301
Annexe H (informative)	Prévision des hauteurs de vagues extrêmes lors de cyclones tropicaux .....	302
H.1	Généralités .....	302
H.2	Estimation du champ éolien pour les cyclones tropicaux .....	302
H.3	Estimation des vagues pour les cyclones tropicaux .....	303
H.4	Documents de référence .....	303
H.5	Bases de données pour les conditions de tempêtes tropicales .....	304

Annexe I (informative) Recommandations pour l'alignement des niveaux de sécurité dans les régions de cyclones tropicaux.....	305
I.1 Généralités .....	305
I.2 Critères de niveau de solidité global .....	305
I.3 Cas de charge de calcul.....	306
Bibliographie.....	308
Figure 1 – Parties d'une éolienne en mer fixe .....	162
Figure 2 – Processus de conception d'une éolienne en mer .....	172
Figure 3 – Définition des niveaux d'eau .....	181
Figure 4 – Deux approches pour calculer l'effet de charge de calcul .....	224
Figure B.1 – Diagramme de choix des théories de vagues régulières.....	242
Figure B.2 – Comparaison des résultats des distributions des hauteurs de vagues .....	250
Figure C.1 – Vague déferlante et paramètres du cylindre.....	259
Figure C.2 – Paramètres de l'écoulement entrant oblique .....	259
Figure C.3 – Distribution sur la hauteur de la ligne de force d'impact maximal ( $\gamma = 0^\circ$ ) .....	260
Figure C.4 – Réponse d'un modèle réduit et d'un cylindre en vraie grandeur à un écoulement en ligne et transversal.....	263
Figure C.5 – Définition géométrique du blocage et de la protection.....	268
Figure C.6 – Influence d'une limite fixe sur le coefficient de traînée dans le cas d'un cylindre circulaire soumis à un écoulement supercritique oscillatoire $KC > 20, R_e = 10^5 - 2 \times 10^6$ .....	269
Figure C.7 – Facteurs de protection .....	271
Figure C.8 – Valeur recommandée pour le coefficient de masse ajouté $C_m$ d'un cylindre circulaire; influence d'une limite fixe .....	272
Figure D.1 – Coefficients des forces de glace pour l'analyse de limite de plasticité .....	281
Figure D.2 – Historique des surcharges de glace pour des conditions de blocage de fréquences.....	285
Figure D.3 – Historique de la composante de force horizontale de la surcharge de glace agissant sur une structure conique .....	286
Figure F.1 – Exemple de construction du contour environnemental au cours d'une période de 50 ans pour une durée de l'état de mer de 3 h.....	292
Tableau 1 – Conversion entre les vitesses de vent extrême de différentes périodes d'intégration.....	186
Tableau 2 – Cas de charge de calcul .....	199
Tableau 3 – Cas de charge de calcul pour la glace de mer/lac.....	216
Tableau B.1 – Constantes $h_1$ et $h_2$ et hauteurs de vagues normalisées $h_x\%$ en fonction de $H_{Tr}$ .....	246
Tableau B.2 – Type de vagues déferlantes .....	252
Tableau I.1 – Cas de charge supplémentaires pour les régions affectées par des cyclones tropicaux .....	307



## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

### SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

#### Partie 3-1: Exigences de conception des éoliennes en mer fixes

##### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC 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 IEC 61400-3-1 a été établie par le comité d'études 88 de l'IEC: Systèmes de génération d'énergie éolienne.

Cette édition annule et remplace la première édition de l'IEC 61400-3 parue en 2009. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à la première édition de l'IEC 61400-3:

- a) L'Article 12 a été fusionné avec l'Article 6 afin de reconnaître que la conception de la structure de support d'une éolienne est généralement spécifique au site pour les projets en mer;

- b) Le tableau des charges de conception a été révisé afin de simplifier l'approche par vagues, à la fois pour plusieurs cas de rafales avec l'état de mer normale et pour de nombreux cas avec l'état de mer extrême. Les recommandations concernant les calculs de charge ont été modifiées en conséquence;
- c) Pour les facteurs de sécurité de charge, il est désormais fait directement référence à l'IEC 61400-1;
- d) L'Article 8 portant sur le système de commande a été aligné sur les dernières mises à jour de l'IEC 61400-1;
- e) L'Annexe B de la première édition consacrée aux spectres d'ondes a été remplacée par une référence à l'ISO 19901-1;
- f) L'annexe consacrée aux surcharges de glace a été révisée et mise à jour (désormais l'Annexe D);
- g) Deux annexes informatives concernant les cyclones tropicaux ont été introduites: L'Annexe H consacrée à l'évaluation de la hauteur de vague et l'Annexe I consacrée au niveau de sécurité;
- h) Les autres parties du texte ont été alignées sur l'IEC 61400-1.

La présente partie doit être lue conjointement à l'IEC 61400-1, *Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements*.

La présente version bilingue (2019-11) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2019-04.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 88/708/FDIS et 88/712/RVD.

Le rapport de vote 88/712/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61400, publiées sous le titre général *Systèmes de génération d'énergie éolienne*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Les futures normes de cette série porteront le nouveau titre général cité ci-dessus. Les titres des normes existantes de cette série feront l'objet d'une mise à jour lors de la prochaine édition.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

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

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

**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.**

## INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 61400 expose les exigences minimales de conception des éoliennes en mer fixes et n'est pas conçue pour servir de spécification intégrale de conception ou de manuel d'utilisation.

Plusieurs différentes parties peuvent être responsables de la prise en charge des différents éléments de la conception, de la fabrication, de l'assemblage, de l'installation, du montage, de la mise en service, de l'exploitation et de la maintenance d'une éolienne en mer, ainsi que de l'assurance que les exigences du présent document sont satisfaites. La division de responsabilité entre ces parties relève de questions contractuelles, et ne relève pas du domaine d'application du présent document.

Toute exigence du présent document peut être modifiée s'il peut être démontré de manière adéquate que la sécurité du système n'est pas compromise. La conformité au présent document ne dégage pas toute personne, organisation ou personne morale de sa responsabilité d'observer d'autres réglementations applicables.

Le document n'est pas destiné à fournir des exigences concernant les éoliennes en mer flottantes. Pour les installations flottantes, il est fait référence à l'IEC 61400-3-2.

## SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

### Partie 3-1: Exigences de conception des éoliennes en mer fixes

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61400 spécifie des exigences complémentaires d'évaluation des conditions externes sur un site d'éoliennes en mer, ainsi que les exigences essentielles de conception, afin d'assurer l'intégrité technique des éoliennes en mer fixes. Elle a pour objet de fournir un niveau de protection approprié contre les dommages causés par tous les dangers pendant la durée de vie prévue.

Le présent document se concentre sur l'intégrité technique des éléments de structure d'une éolienne en mer, mais concerne également les sous-systèmes, tels que les mécanismes de commande et de protection, les systèmes électriques internes et les systèmes mécaniques.

Une éolienne doit être considérée comme une éolienne en mer fixe, si la structure de support est soumise à des charges hydrodynamiques, et si elle repose sur le plancher océanique. Les exigences de conception spécifiées dans le présent document ne sont pas suffisantes pour assurer l'intégrité technique des éoliennes en mer flottantes. Pour les installations flottantes, il est fait référence à l'IEC 61400-3-2. Dans le reste du présent document, le terme "éolienne en mer" fait référence, par hypothèse, aux éoliennes fixées sur le plancher océanique.

Il convient d'utiliser le présent document avec les normes IEC et ISO appropriées mentionnées à l'Article 2. En particulier, le présent document est totalement cohérent avec les exigences de l'IEC 61400-1. Le niveau de sécurité de l'éolienne en mer, conçue selon le présent document, doit être égal ou supérieur au niveau inhérent de l'IEC 61400-1. Certains articles, dans lesquels un énoncé complet des exigences facilite la compréhension, intègrent la duplication du texte de l'IEC 61400-1.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60721 (toutes les parties), *Classification des conditions d'environnement*

IEC 61400-1:2018, *Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements* (disponible en anglais seulement)<sup>1</sup>

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

ISO 2533:1975, *Atmosphère type*

ISO 19900:2002, *Industries du pétrole et du gaz naturel – Exigences générales pour les structures en mer*

---

<sup>1</sup> En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC/RFDIS 61400-1:2018.

ISO 19901-1:2015, *Industries du pétrole et du gaz naturel – Exigences spécifiques relatives aux structures en mer – Partie 1: Dispositions océano-météorologiques pour la conception et l'exploitation*

ISO 19901-4:2003, *Industries du pétrole et du gaz naturel – Exigences spécifiques relatives aux structures en mer – Partie 4: Bases conceptuelles des fondations*

ISO 19902:2007, *Industries du pétrole et du gaz naturel – Structures en mer fixes en acier*

ISO 19903:2006, *Industries du pétrole et du gaz naturel – Structures en mer fixes en béton*