

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

1400-1

Première édition
First edition
1994-12

Aérogénérateurs –

**Partie 1:
Spécifications de sécurité**

Wind turbine generator systems –

**Part 1:
Safety requirements**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1400-1: 1994

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

NORME INTERNATIONALE

**CEI
IEC**

INTERNATIONAL STANDARD

1400-1

Première édition
First edition
1994-12

Aérogénérateurs –

Partie 1: Spécifications de sécurité

Wind turbine generator systems –

Part 1: Safety requirements

© IEC 1994 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembeé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XA

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Généralités	10
1.1 Domaine d'application et objet	10
1.2 Références normatives	10
1.3 Définitions	12
1.4 Symboles et unités	24
1.5 Abréviations	26
2 Eléments principaux	28
2.1 Généralités	28
2.2 Méthodes de conception	28
2.3 Catégories de sécurité	28
2.4 Assurance de la qualité	28
3 Conditions externes	30
3.1 Généralités	30
3.2 Catégories d'aérogénérateurs	32
3.3 Conditions de vent	34
3.4 Autres conditions d'environnement	42
3.5 Conditions du réseau électrique	44
3.6 Conditions du sol	46
4 Conception de la structure	48
4.1 Généralités	48
4.2 Méthodologie de conception	48
4.3 Charges	48
4.4 Situations de projet et cas de charge	50
4.5 Calculs de charges	56
4.6 Facteurs partiels de sécurité	58
5 Systèmes de contrôle et de protection	64
5.1 Généralités	64
5.2 Contrôle de l'aérogénérateur	64
5.3 Protection de l'aérogénérateur	64
5.4 Exigences de fonctionnement du système de contrôle et de protection	66
6 Système électrique	68
6.1 Généralités	68
6.2 Stipulations générales pour le système électrique	68
6.3 Sous-système électrique de l'AG	74
6.4 Système de collecte de puissance	76

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	9
Clause	
1 General	11
1.1 Scope and object	11
1.2 Normative references	11
1.3 Definitions	13
1.4 Symbols and units	25
1.5 Abbreviations	27
2 Principal elements	29
2.1 General	29
2.2 Design methods	29
2.3 Safety classes	29
2.4 Quality assurance	29
3 External conditions	31
3.1 General	31
3.2 WTGS classes	33
3.3 Wind conditions	35
3.4 Other environmental conditions	43
3.5 Electrical network conditions	45
3.6 Soil properties	47
4 Structural design	49
4.1 General	49
4.2 Design methodology	49
4.3 Loads	49
4.4 Design situations and load cases	51
4.5 Load calculations	57
4.6 Partial safety factors	59
5 Control and protection systems	65
5.1 General	65
5.2 Wind turbine control	65
5.3 Wind turbine protection	65
5.4 Functional requirements of the control and protection system	67
6 Electrical system	69
6.1 General	69
6.2 General requirements for the electrical system	69
6.3 WTGS electrical sub-system	75
6.4 Power collection system	77

Articles	Pages
7 Installation, assemblage et montage	78
7.1 Généralités	78
7.2 Plan de travail	78
7.3 Conditions d'installation	80
7.4 Accès au site	80
7.5 Conditions d'environnement	80
7.6 Documentation	80
7.7 Réception, manutention et stockage	80
7.8 Fondations et systèmes d'ancrage	82
7.9 Assemblage des aérogénérateurs	82
7.10 Montage des aérogénérateurs	82
7.11 Attaches et fixations	82
7.12 Grues, palans et équipement de levage	82
7.13 Montage aéroporté	84
7.14 Montage en site marin	84
8 Mise en service, fonctionnement et maintenance	86
8.1 Généralités	86
8.2 Mise en service	86
8.3 Fonctionnement	86
8.4 Inspection et maintenance	90
Tableaux	
1 Paramètres de base par catégorie d'aérogénérateur	32
2 Liste des cas de charge	52
3 Facteurs partiels de sécurité des charges	60
B.1 Paramètres spectraux de turbulence pour le modèle de Kaimal	94
Annexes	
A Paramètres de conception décrivant l'AG de la catégorie S	94
B Modèles stochastiques de turbulence	96
C Description déterministe de la turbulence	100
D Bibliographie	104

Clause	Page
7 Installation, assembly and erection	79
7.1 General	79
7.2 Work plan	79
7.3 Installation conditions	81
7.4 Site access	81
7.5 Environmental conditions	81
7.6 Documentation	81
7.7 Receiving, handling and storage	81
7.8 Foundation/anchor systems	83
7.9 Assembly of WTGS	83
7.10 Erection of WTGS	83
7.11 Fasteners and attachments	83
7.12 Cranes, hoists and lifting equipment	83
7.13 Aircraft erection	85
7.14 Offshore erection	85
8 Commissioning, operation and maintenance	87
8.1 General	87
8.2 Commissioning	87
8.3 Operations	87
8.4 Inspection and maintenance	91
Tables	
1 Basic parameters for wind turbine classes	33
2 List of load cases	53
3 Partial safety factors for loads	61
B.1 Turbulence spectral parameters for the Kaimal model	95
Annexes	
A Design parameters for describing class S WTGS	95
B Stochastic turbulence models	97
C Deterministic turbulence description	101
D Bibliography	105

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AÉROGÉNÉRATEURS -

Partie 1: Spécifications de sécurité

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.

La Norme internationale CEI 1400-1 a été établie par le comité d'études 88 de la CEI: Systèmes à turbo-générateurs éoliens.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
88(BC)5	88(BC)7

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

Les annexes A, B et C font partie intégrante de cette norme.

L'annexe D est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WIND TURBINE GENERATOR SYSTEMS –

Part 1: Safety requirements

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.

International Standard IEC 1400-1 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind turbine generator systems.

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

DIS	Report on voting
88(CO)5	88(CO)7

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

Annexes A, B and C form an integral part of this standard.

Annex D is for information only.

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 1400 définit les prescriptions minimales de sécurité pour les aérogénérateurs et ne prétend pas être un manuel exhaustif d'instructions ou de spécifications de conception.

Les dérogations aux prescriptions de la présente norme sont autorisées à condition d'apporter la preuve que la sécurité du système n'est pas compromise suite à de telles dérogations. Toutefois aucune dérogation aux prescriptions de l'article 3 n'est admise.

La conformité à cette norme ne décharge aucune personne, organisation ou société de la responsabilité de satisfaire à tout autre règlement applicable.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61400-1:1994

INTRODUCTION

This part of IEC 1400 outlines minimum safety requirements for wind turbine generator systems and is not intended for use as a complete design specification or instruction manual.

Any of the requirements of this standard may be waived if it can be suitably demonstrated that the safety of the system is not compromised. Nevertheless, this waiver does not apply to clause 3.

Compliance with this standard does not relieve any person, organization, or corporation of the responsibility of observing other applicable regulations.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61400-1:1994

AÉROGÉNÉRATEURS –

Partie 1: Spécifications de sécurité

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 1400 traite de la philosophie relative à la sécurité, à l'assurance de la qualité et à l'intégrité de l'ingénierie, et elle spécifie les prescriptions relatives à la sécurité des aérogénérateurs (AG), comprenant leur conception, leur installation et leur maintenance, ainsi que leur exploitation dans des conditions spécifiques d'environnement. 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.

Cette norme s'applique aux AG ayant une surface balayée égale ou supérieure à 40 m². Elle s'applique également à tous les sous-systèmes des AG tels que les mécanismes de contrôle et protection, les circuits électriques internes, les systèmes mécaniques, les structures de support, les fondations et les équipements d'interconnexion électrique.

Il convient d'utiliser cette norme en relation avec les normes CEI/ISO appropriées.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 1400. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 1400 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 38: 1983, *Tensions normales de la CEI*

CEI 227: *Conducteurs et câbles isolés au polychlorure de vinyle, de tension nominale au plus égale à 450/750 V*

CEI 245: *Conducteurs et câbles isolés au caoutchouc, de tension nominale au plus égale à 450/750 V*

CEI 287: 1982, *Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100 %)*

CEI 364: *Installations électriques des bâtiments*

CEI 364-5-54: 1980, *Installations électriques des bâtiments – Cinquième partie: Choix et mise en oeuvre des matériels électriques – Chapitre 54: Mises à la terre et conducteurs de protection*

CEI 529: 1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

WIND TURBINE GENERATOR SYSTEMS –

Part 1: Safety requirements

1 General

1.1 Scope and object

This part of IEC 1400 deals with safety philosophy, quality assurance and engineering integrity, and specifies requirements for the safety of wind turbine generator systems (WTGS), including design, installation, maintenance, and operation under specified environmental conditions. Its purpose is to provide the appropriate level of protection against damage from all hazards from these systems during their planned lifetime.

This standard applies to WTGS with swept area equal to or larger than 40 m². This standard is also concerned with all sub-systems of WTGS such as control and protection mechanisms, internal electrical systems, mechanical systems, support structures, foundations and the electrical interconnection equipment.

This standard should be used together with the appropriate IEC/ISO standards.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 1400. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 1400 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 38: 1983, *IEC standard voltages*

IEC 227: *Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V*

IEC 245: *Rubber insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V*

IEC 287: 1982, *Calculation of the continuous current rating of cables (100 % load factor)*

IEC 364: *Electrical installations of buildings*

IEC 364-5-54: 1980, *Electrical installations of buildings – Part 5: Selection and erection of electrical equipment – Chapter 54: Earthing arrangements and protective conductors*

IEC 529: 1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

CEI 721-2-1: 1982, *Classification des conditions d'environnement – Deuxième partie: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Température et humidité*

CEI 1000: *Compatibilité électromagnétique (CEM)*

CEI 1024-1: 1990, *Protection des structures contre la foudre – Première partie: Principes généraux*

ISO 2394: 1986, *Principes généraux de la fiabilité des constructions*

ISO 9001: 1987, *Systèmes qualité – Modèle pour l'assurance de la qualité en conception / développement, production, installation et soutien après la vente*

ISO 9002: 1987, *Systèmes qualité – Modèle pour l'assurance de la qualité en production et installation*

ISO 9003: 1987, *Systèmes qualité – Modèle pour l'assurance de la qualité en contrôle et essais finals*

1.3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 1400, les définitions suivantes s'appliquent.

1.3.1 moyenne annuelle: Valeur moyenne d'un ensemble de données mesurées de taille et durée suffisantes pour servir d'estimation de la valeur attendue d'une quantité.

NOTE – Il convient que la durée soit d'une ou de plusieurs années entières afin d'éliminer les effets non stationnaires tels que les saisons.

1.3.2 moyenne annuelle de la vitesse du vent: Vitesse moyenne du vent en conformité avec la définition de la moyenne annuelle.

1.3.3 blocage (aérogénérateurs): Utilisation d'un goujon, broche ou autre mécanisme pour empêcher le mouvement, par exemple, de l'arbre du rotor ou du dispositif d'orientation.

1.3.4 frein (aérogénérateurs): Mécanisme capable de réduire la vitesse du rotor ou d'arrêter la rotation.

1.3.5 panne catastrophique (aérogénérateurs): Bris ou effondrement d'un composant ou structure, qui entraîne une perte de fonction vitale, avec des conséquences pour la sécurité.

1.3.6 système de contrôle (aérogénérateurs): Sous-système qui reçoit des informations afférentes à l'état de la turbine et/ou son environnement et qui régule la turbine afin de la maintenir dans ses paramètres de fonctionnement.

1.3.7 vitesse de démarrage (V_{in}): Vitesse du vent la plus basse à la hauteur du moyeu à partir de laquelle la turbine éolienne commence à fournir une puissance utile à l'arbre (voir hauteur du moyeu).

1.3.8 vitesse de coupure (V_{out}): Vitesse maximale du vent à la hauteur du moyeu acceptée par une turbine spécifique pour la fourniture de puissance utilisable (voir hauteur du moyeu).

IEC 721-2-1 1982, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity*

IEC 1000: *Electromagnetic compatibility (EMC)*

IEC 1024-1: 1990, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles*

ISO 2394: 1986, *General principles on reliability for structures*

ISO 9001: 1987, *Quality systems – Model for quality assurance in design/development, production, installation and servicing*

ISO 9002: 1987, *Quality systems – Model for quality assurance in production and installation*

ISO 9003: 1987, *Quality systems – Model for quality assurance in final inspection and test*

1.3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 1400, the following definitions apply.

1.3.1 annual average: Mean value of a set of measured data of sufficient size and duration to serve as an estimate of the expected value of the quantity.

NOTE – The time period should be a whole number of years to average out non-stationary effects such as seasonality.

1.3.2 annual average wind speed: Wind speed averaged according to the definition of annual average.

1.3.3 blocking (wind turbines): Use of a mechanical pin or other device to prevent movement, for instance, of the rotor shaft or yaw mechanism.

1.3.4 brake (wind turbines): Device capable of reducing the rotor speed or stopping rotation.

1.3.5 catastrophic failure (wind turbines): Disintegration or collapse of a component or structure that results in loss of vital function which impairs safety.

1.3.6 control system (wind turbines): Sub-system that receives information about the condition of the wind turbine and/or its environment and adjusts the turbine in order to maintain it within its operating limits.

1.3.7 cut-in wind speed (V_{in}): Lowest wind speed at hub height at which the wind turbine starts to produce useable power (see hub height).

1.3.8 cut-out wind speed (V_{out}): Maximum wind speed at hub height at which the wind turbine is designed to produce useable power (see hub height).

1.3.9 limites de conception: Paramètres maximaux ou minimaux utilisés lors de la conception.

1.3.10 panne latente: Panne d'un composant ou autre élément qui n'est pas décelable pendant les conditions normales de fonctionnement.

1.3.11 sous le vent: Dans la direction principale du vent.

1.3.12 réseau électrique: Installations, sous-stations, lignes ou câbles pour la transmission et la distribution de l'électricité.

NOTE – Les limites des parties différentes de ce réseau sont données par des critères appropriés telles que situation géographique, propriété, tension, etc.

1.3.13 arrêt d'urgence (aérogénérateurs): Arrêt automatique de la turbine provoqué par le dispositif de protection ou par intervention manuelle.

1.3.14 conditions de l'environnement: Caractéristiques de l'environnement (altitude, température, humidité, etc.) qui peuvent influencer la performance.

1.3.15 conditions externes (aérogénérateurs): Facteurs ayant une influence sur le fonctionnement d'une turbine, y compris les régimes de vent et d'autres facteurs climatiques, par exemple neige, glace, etc.

1.3.16 vitesse de vent extrême: Vitesse moyenne du vent la plus élevée, calculée sur t s, susceptible d'être rencontrée dans une période de T ans (temps de répétition: T ans).

NOTE – Dans cette norme des temps de répétition de $T = 50$ ans et de $T = 1$ an et des temps moyens de $t = 3$ s et $t = 10$ min sont utilisés. En langage courant, on utilise souvent le terme moins précis «vitesse de survie». Toutefois, dans cette norme, l'AG est conçu en utilisant la vitesse extrême du vent pour les hypothèses de charge.

1.3.17 sûreté intégrée: Qualité de conception d'un composant évitant que sa panne présente des conditions dangereuses.

1.3.18 rafale: Variation temporaire de la vitesse du vent, caractérisée par sa durée, son amplitude et son temps de front.

1.3.19 éolienne à axe horizontal: Turbine pourvue d'un rotor dont l'axe est parallèle au vent.

1.3.20 moyeu (de l'aérogénérateur): Élément servant à attacher les pales ou assemblage de pales à l'axe du rotor.

1.3.21 hauteur du moyeu: Hauteur du centre du rotor par rapport au sol. Pour les éoliennes à axe vertical, la hauteur du moyeu est la hauteur du plan équatorial.

1.3.22 au ralenti (aérogénérateurs): Condition d'un aérogénérateur en rotation lente sans production énergétique.

1.3.23 sous-domaine inertiel: Intervalle de fréquence du spectre de la turbulence du vent, où les tourbillons, après avoir atteint l'isotropie, subissent une dispersion avec une dissipation négligeable d'énergie.

NOTE – A une vitesse du vent typique de 10 m/s, le sous-domaine inertiel est environ de 0,02 Hz à 2 kHz.

1.3.9 design limits: Maximum or minimum values used in a design.

1.3.10 dormant failure: Failure of a component or system which remains undetected during normal operation.

1.3.11 downwind: In the main wind direction.

1.3.12 electrical power network: Particular installations, substations, lines or cables for the transmission and distribution of electricity.

NOTE – The boundaries of the different parts of this network are defined by appropriate criteria, such as geographical situation, ownership, voltage, etc.

1.3.13 emergency shutdown (wind turbines): Rapid shutdown of the wind turbine triggered by a protection system or by manual intervention.

1.3.14 environmental conditions: Those characteristics of the environment (altitude, temperature, humidity, etc.) which may affect performance.

1.3.15 external conditions (wind turbines): Factors affecting the operation of wind turbine including the wind regime and other climatic factors, i.e. snow, ice etc.

1.3.16 extreme wind speed: Highest average wind speed, averaged over t s, that is likely to be experienced within a specified time period of T years (recurrence period: T years).

NOTE – In this standard recurrence periods of $T = 50$ years and $T = 1$ year and averaging times of $t = 3$ s and $t = 10$ min are used. In popular language the less precise term "survival wind speed" is often used. In this standard, however, the turbine is designed using the extreme wind speed for design load cases.

1.3.17 fail-safe: Design property of an item which prevents its failures from resulting in critical faults.

1.3.18 gust: Temporary change in the wind speed which may be characterized by its rise-time, its amplitude and its duration.

1.3.19 horizontal axis wind turbine: Wind turbine whose rotor axis is substantially parallel to the wind flow.

1.3.20 hub (wind turbine): Fixture for attaching the blades or blade assembly to the rotor shaft.

1.3.21 hub height: Height of the centre of the wind turbine rotor above the terrain surface. For a vertical axis wind turbine, the hub height is the height of the equator plane.

1.3.22 idling (wind turbines): Condition of a wind turbine generator that is rotating slowly and not producing power.

1.3.23 inertial sub-range: Frequency interval of the wind turbulence spectrum, where eddies, after attaining isotropy, undergo successive break-up with negligible energy dissipation.

NOTE – At a typical 10 m/s wind speed, the inertial sub-range is roughly from 0,02 Hz to 2 kHz.

1.3.24 interconnexion: Liaison simple ou multiple entre réseaux de transport au moyen de lignes et/ou de transformateurs, permettant l'échange d'énergie entre ces réseaux.

NOTE - (aérogénérateurs) La connexion électrique entre l'AG et le réseau permettant le transfert de l'énergie dans les deux sens.

1.3.25 fonctionnement isolé: Exploitation stable et temporaire d'un sous-système de production d'énergie après l'avoir isolé du système principal de production.

1.3.26 état-limite: Etat d'une structure et les charges qui agissent sur elle, au-delà duquel la structure ne satisfait plus aux exigences pour lesquelles elle a été conçue (voir ISO 2394).

NOTE - Le but des calculs de conception (c'est-à-dire l'exigence nominale pour l'état-limite) est de limiter la probabilité qu'un état-limite puisse être atteint au-dessous d'une certaine valeur prescrite pour le type de structure considéré (voir ISO 2394).

1.3.27 loi logarithmique de cisaillement du vent: Voir profil du vent.

1.3.28 puissance maximale (aérogénérateurs): Maximum de la puissance électrique nette produite par un aérogénérateur en conditions normales de fonctionnement.

1.3.29 vitesse moyenne du vent: Valeur moyenne statistique de relevés de la vitesse instantanée du vent, pendant un intervalle de temps déterminé qui peut varier de quelques secondes à plusieurs années.

1.3.30 nacelle: Carter contenant la transmission et d'autres pièces constitutives d'un aérogénérateur, placé au sommet d'un pylône de support d'une éolienne à axe horizontal.

1.3.31 point de connexion au réseau électrique (aérogénérateurs): Accès basse tension au transformateur d'un aérogénérateur, ou point de connexion au circuit électrique commun du site.

1.3.32 frein d'immobilisation (aérogénérateurs): Frein capable d'empêcher le mouvement du rotor.

1.3.33 système de collecte de puissance (aérogénérateurs): Système électrique qui récupère l'énergie produite par un aérogénérateur, et la fournit à un transformateur élévateur de tension du réseau ou à des charges électriques.

1.3.34 loi exponentielle du cisaillement du vent: Voir profil du vent.

1.3.35 puissance de sortie: Puissance fournie par un dispositif sous une forme et dans un but déterminés.

NOTE - (aérogénérateurs) La puissance électrique fournie par un aérogénérateur.

1.3.36 système de protection (aérogénérateurs): Système qui garantit qu'un aérogénérateur en fonctionnement reste à l'intérieur de ses paramètres limites.

1.3.24 Interconnection: Single or multiple transmission link between transmission systems enabling electricity to be exchanged between these systems by means of circuits and/or transformers.

NOTE – (wind turbines) Electrical connection between a wind turbine generator system and a network in which energy can be transferred from the wind turbine to the network and vice versa.

1.3.25 Isolated operation: Stable and temporary operation of a discrete part of a power system after network splitting.

1.3.26 limit state: State of a structure and the loads acting upon it beyond which the structure no longer satisfies the design requirement (see ISO 2394).

NOTE – The purpose of design calculations (i.e. the design requirement for the limit state) is to keep the probability of a limit state being reached below a certain value prescribed for the type of structure in question (see ISO 2394).

1.3.27 logarithmic wind shear law: See wind profile.

1.3.28 maximum power (wind turbines): Highest level of net electrical power delivered by a wind turbine in normal operation.

1.3.29 mean wind speed: Statistical mean of the instantaneous value of the wind speed averaged over a given time period which can vary from a few seconds to many years.

1.3.30 nacelle: Housing which contains the drive-train and other elements on top of a horizontal axis wind turbine tower.

1.3.31 network connection point (wind turbines): Low-voltage tap on the transformer of the wind turbine or the connection point to the electrical bus of the site facilities.

1.3.32 parking brake (wind turbines): Brake capable of preventing rotor movement.

1.3.33 power collection system (wind turbines): Electrical system that collects the power from a wind turbine, and feeds it into a network step-up transformer or into electrical loads.

1.3.34 power law for wind shear: See wind profile.

1.3.35 power output: Power delivered by a device in a specific form and for a specific purpose.

NOTE – (wind turbines) The electric power delivered by a WTGS.

1.3.36 protection system (wind turbines): System which ensures that a WTGS remains within the design limits.

1.3.37 puissance assignée: Quantité de puissance attribuée, en général par un fabricant, à une condition de fonctionnement spécifiée d'un composant, appareil ou dispositif.

NOTE – (aérogénérateurs) Puissance électrique maximale continue fournie par un aérogénérateur selon ses spécifications, et dans des conditions normales de fonctionnement.

1.3.38 vitesse du vent assignée (V_p): Vitesse du vent stipulée à laquelle un aérogénérateur atteint sa puissance assignée.

1.3.39 distribution Rayleigh: Voir 1.3.63.

1.3.40 vitesse du vent de référence (V_{ref}): Paramètre de base de vitesse du vent extrême utilisé pour définir les catégories d'aérogénérateur. D'autres paramètres climatiques de conception sont dérivés de la vitesse du vent de référence et d'autres paramètres de catégorie de base (voir article 3).

NOTE – Un aérogénérateur conçu pour une catégorie d'aérogénérateur, avec une vitesse du vent de référence V_{ref} est dimensionné afin de résister à des climats pour lesquels la valeur moyenne sur 10 min de la vitesse du vent extrême avec un temps de répétition possible de 50 ans à la hauteur du moyeu est inférieure ou égale à V_{ref} .

1.3.41 résonance: Phénomène qui se manifeste dans un système oscillant, dans lequel la période de l'oscillation forcée est très proche de celle de l'oscillation libre.

1.3.42 vitesse du vent échantillonnée en rotation: Vitesse du vent rencontrée dans un point déterminé du rotor tournant.

NOTE – Le spectre de turbulence de la vitesse du vent échantillonnée en rotation est différent du spectre normal de turbulence. Les pales, en tournant, coupent à travers le flux du vent qui varie dans l'espace. Par conséquent, le spectre de turbulence résultant comprendra des quantités significatives de variance prises à la fréquence de rotation et des harmoniques de cette dernière.

1.3.43 vitesse du rotor (aérogénérateurs): Vitesse de rotation du rotor d'un aérogénérateur autour de son axe.

1.3.44 longueur de rugosité: Hauteur extrapolée à laquelle la vitesse moyenne du vent est égale à zéro si le profil vertical du vent varie de manière logarithmique avec sa hauteur.

1.3.45 durée de vie sûre: Durée de vie prescrite avec une probabilité de panne catastrophique déclarée.

1.3.46 maintenance programmée: Maintenance préventive exécutée selon un plan établi.

1.3.47 états limites de service: Conditions par rapport aux limites des exigences d'utilisation normale.

1.3.48 coupure (aérogénérateurs): Etat transitoire d'un aérogénérateur entre la phase de production d'énergie et celle d'un arrêt ou une période au ralenti.

1.3.49 installations électriques du site: Tout l'équipement électrique et sa périphérie nécessaire pour connecter des AG à un réseau de distribution.

1.3.50 arrêt: Etat d'un aérogénérateur immobilisé.

1.3.37 rated power: Quantity of power assigned, generally by a manufacturer, for a specified operating condition of a component, device or equipment.

NOTE – (wind turbines) Maximum continuous electrical power output which a WTGS is designed to achieve under normal operating conditions.

1.3.38 rated wind speed (V_r): Specified wind speed at which a wind turbine's rated power is achieved.

1.3.39 Rayleigh distribution: See 1.3.63.

1.3.40 reference wind speed (V_{ref}): Basic extreme wind speed parameter used for defining wind turbine classes. Other design-related climatic parameters are derived from the reference wind speed and other basic class parameters (see clause 3).

NOTE – A turbine designed for a wind turbine class with a reference wind speed V_{ref} is designed to withstand climates for which the extreme 10 min average wind speed with a recurrence period of 50 years at turbine hub height is lower than or equal to V_{ref} .

1.3.41 resonance: Phenomenon appearing in an oscillating system, in which the period of a forced oscillation is very close to that of free oscillation.

1.3.42 rotationally sampled wind velocity: Wind velocity experienced at a fixed point of the rotating wind turbine rotor.

NOTE – The turbulence spectrum of a rotationally sampled wind velocity is distinctly different from the normal turbulence spectrum. While rotating, the blade cuts through a wind flow that varies in space. Therefore the resulting turbulence spectrum will contain sizeable amounts of variance at the frequency of rotation and harmonics of the same.

1.3.43 rotor speed (wind turbines): Rotational speed of a wind turbine rotor about its axis.

1.3.44 roughness length: Extrapolated height at which the mean wind speed becomes zero if the vertical wind profile is assumed to have a logarithmic variation with height.

1.3.45 safe life: Prescribed service life with a declared probability of catastrophic failure.

1.3.46 scheduled maintenance: Preventive maintenance carried out in accordance with an established time schedule.

1.3.47 serviceability limit states: Conditions relating to the boundaries of normal service criteria.

1.3.48 shutdown (wind turbines): Transitional state of a wind turbine between power production and standstill or idling.

1.3.49 site electrical facilities: All electrical and related equipment required to connect the wind turbines with the network.

1.3.50 standstill: Condition of a WTGS that is stopped.

1.3.51 structure de support (aérogénérateurs): Eléments d'un aérogénérateur composés du pylône de support et des fondations.

1.3.52 vitesse de survie: Appellation courante pour la vitesse maximale du vent qu'une construction peut supporter.

NOTE – Dans cette norme ce terme n'est pas utilisé. A la place, les conditions de conception se reportent à la vitesse du vent extrême (voir 1.3.16).

1.3.53 surface balayée: Surface de la projection du cercle décrit par les extrémités des pales tournantes sur un plan perpendiculaire à la direction du vent.

1.3.54 intensité de turbulence: Ecart type de la vitesse du vent divisée par la vitesse moyenne du vent, quand l'écart type et la vitesse moyenne ont été déterminés à partir d'un même échantillonnage de vitesses de vent mesurées à intervalle spécifié.

1.3.55 paramètre d'échelle de la turbulence: Longueur d'onde où la densité spectrale de puissance adimensionnelle longitudinale $fS_l(f)/\sigma_1^2$, est égale à 0,05.

1.3.56 états limites ultimes: Etat limite correspondant au danger de panne, aux grands déplacements ou déformations comparables à une panne.

1.3.57 maintenance non programmée: Maintenance exécutée, non selon un plan établi, mais après avoir reçu une indication de l'état d'un objet.

1.3.58 au vent: Dans la direction opposée à la direction dominante du vent.

1.3.59 aérogénérateur à axe vertical: Aérogénérateur pourvu d'un rotor dont l'axe est vertical.

1.3.60 distribution Weibull: Voir 1.3.63.

1.3.61 centrale éolienne: Groupe ou groupes d'aérogénérateurs.

1.3.62 profil du vent – loi du cisaillement du vent: Expression mathématique désignant la variation supposée de la vitesse du vent avec la hauteur au-dessus du sol.

NOTE – Les profils usuels sont le profil logarithmique (1) ou le profil de la loi exponentielle (2).

$$V(z) = V(z_r) \cdot \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)} \quad (1)$$

$$V(z) = V(z_r) \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \quad (2)$$

où

V est la vitesse du vent à la hauteur z ;

z est la hauteur au-dessus du sol;

z_r est la hauteur référence au-dessus du sol pour ajuster le profil;

z_0 est la longueur de rugosité;

α est l'exposant de la loi exponentielle.

1.3.51 support structure (wind turbines): Part of a wind turbine comprising the tower and foundation.

1.3.52 survival wind speed: Popular name for the maximum wind speed that a construction is designed to withstand.

NOTE – In this standard, this expression is not used. Design conditions instead refer to extreme wind speed (see 1.3.16).

1.3.53 swept area: Area of the projection, upon a plane perpendicular to the wind velocity vector, of the circle along which the rotor blade tips move during rotation.

1.3.54 turbulence intensity: Ratio of the wind speed standard deviation to the mean wind speed, determined from the same set of measured data samples of wind speed, and taken over a specified period of time.

1.3.55 turbulence scale parameter: Wave length where the non-dimensional, longitudinal power spectral density, $fS_1(f)/\sigma_1^2$, is equal to 0,05.

1.3.56 ultimate limit state: Limit state corresponding to the danger of failure, large displacements or strain which can be compared with failure.

1.3.57 unscheduled maintenance: Maintenance carried out, not in accordance with an established time schedule, but after reception of an indication regarding the state of an item.

1.3.58 upwind: In the direction opposite to the main wind direction.

1.3.59 vertical axis wind turbine: Wind turbine whose rotor axis is vertical.

1.3.60 Weibull distribution: See 1.3.63.

1.3.61 wind power station: Group or groups of wind turbine generators.

1.3.62 wind profile – wind shear law: Mathematical expression for assumed wind speed variation with height above ground.

NOTE – Commonly used profiles are the logarithmic profile (1) or the power law profile (2).

$$V(z) = V(z_r) \cdot \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)} \quad (1)$$

$$V(z) = V(z_r) \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \quad (2)$$

where

V is the wind speed at height z ;

z is the height above ground;

z_r is a reference height above ground used for fitting the profile;

z_0 is the roughness length;

α is the power law exponent.

1.3.63 cisaillement du vent: Variation de la vitesse du vent dans le plan normal sur la direction du vent.

1.3.64 exposant de cisaillement du vent: Voir 1.3.62.

1.3.65 vitesse du vent: Dans un point spécifié de l'espace, est la vitesse de déplacement d'une minuscule quantité d'air autour de ce point spécifié.

1.3.66 distribution des vitesses du vent: Fonction de distribution de probabilité, utilisée pour décrire la distribution des vitesses du vent sur une période étendue.

NOTE – Les fonctions de distribution souvent utilisées sont les fonctions Rayleigh, $P_R(V_0)$, et Weibull, $P_W(V_0)$.

$$\begin{aligned} P_R \{V < V_0\} &= 1 - \exp \left[-\pi \left(V_0 / 2 V_{\text{moy}} \right)^2 \right] \\ P_W \{V < V_0\} &= 1 - \exp \left[- \left(V_0 / C \right)^k \right] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{avec } V_{\text{moy}} = \begin{cases} C \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \\ C \frac{\sqrt{\pi}}{2}, \text{ si } k=2 \end{cases} \quad (4)$$

où

$P(V_0)$ est la fonction cumulative de probabilité;

V_0 est la vitesse du vent (limite);

V_{moy} est la valeur moyenne de V ;

C est le paramètre d'échelle de la fonction Weibull;

k est le paramètre de forme de la fonction Weibull;

Γ est la fonction gamma.

Les paramètres C et k peuvent tous les deux être évalués à partir des données réelles. La fonction de Rayleigh est identique à la fonction Weibull, si $k=2$ est choisi et C et V_{moy} satisfont à la condition stipulée dans l'équation (4) avec $k=2$.

La fonction de distribution exprime la probabilité que la vitesse du vent soit inférieure à V_0 . Ainsi $(P\{V < V_1\} - P\{V < V_2\})$, évalué entre les limites spécifiées V_1 et V_2 , indiquera la fraction de temps où la vitesse du vent est entre ces limites. La différenciation des fonctions de distribution donne les fonctions correspondantes de densité.

1.3.67 aérogénérateur (AG): Système destiné à la conversion de l'énergie cinétique dans le vent en énergie électrique.

1.3.68 vitesse vectorielle du vent: Vecteur pointant dans la direction de déplacement d'une minuscule quantité d'air autour du point considéré.

NOTE – La longueur du vecteur est égale à la vitesse de mouvement de ce paquet d'air (c'est-à-dire la vitesse locale du vent). Or le vecteur à un point quelconque est la dérivée par rapport au temps du vecteur de position de l'air passant par ce point.

1.3.69 régulation d'orientation: Changement de direction de l'axe du rotor autour d'un axe vertical.

1.3.63 wind shear: Variation of wind speed across a plane normal to the wind direction.

1.3.64 wind shear exponent: See 1.3.62.

1.3.65 wind speed: At a specified point in space, the speed of motion of a minute amount of air surrounding the specified point.

1.3.66 wind speed distribution: Probability distribution function, used to describe the distribution of wind speeds over an extended period of time.

NOTE – Often used distribution functions are the Rayleigh, $P_R(V_o)$, and the Weibull, $P_W(V_o)$, functions.

$$\begin{aligned} P_R \{V < V_o\} &= 1 - \exp \left[-\pi (V_o/2 V_{ave})^2 \right] \\ P_W \{V < V_o\} &= 1 - \exp \left[- (V_o/C)^k \right] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{with } V_{ave} = \begin{cases} C \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \\ C \frac{\sqrt{\pi}}{2}, \text{ if } k=2 \end{cases} \quad (4)$$

where

$P(V_o)$ is the cumulative probability function;

V_o is the wind speed (limit);

V_{ave} is the average value of V ;

C is the scale parameter of the Weibull function;

k is the shape parameter of the Weibull function;

Γ is the gamma function.

Both C and k can be evaluated from real data. The Rayleigh function is identical to the Weibull function, if $k=2$ is chosen and C and V_{ave} satisfied the condition stated in equation (4) for $k=2$.

The distribution functions express the cumulative probability that the wind speed is lower than V_o . Thus $(P\{V < V_1\} - P\{V < V_2\})$, if evaluated between the specified limits, V_1 and V_2 will indicate the fraction of time that the wind speed is within these limits. Differentiating the distribution functions yields the corresponding probability density functions.

1.3.67 wind turbine generator system (WTGS): System which converts kinetic energy in the wind into electrical energy.

1.3.68 wind velocity: Vector pointing in the direction of motion of a minute amount of air surrounding the point of consideration.

NOTE – The length of the vector is equal to the speed of motion of this air parcel (i.e. the local wind speed). The vector at any point is thus the time derivative of the position vector of the air parcel moving through the point.

1.3.69 yawing: Rotation of the rotor axis about a vertical axis.

1.4 Symboles et unités

1.4.1	C	paramètre d'échelle de la fonction de distribution de Weibull	[m/s]
1.4.2	D	diamètre du rotor	[m]
1.4.3	f	fréquence	[s ⁻¹]
1.4.4	I_{moy}	moyenne annuelle de l'intensité de turbulence à la hauteur du moyeu	[-]
1.4.5	k	paramètre de forme de la fonction de distribution de Weibull	
1.4.6	$p(V)$	fonction de densité de probabilité	[-]
1.4.7	$P(V)$	distribution de probabilité	[-]
1.4.8	$S_1(f)$	fonction de densité de puissance spectrale	
1.4.9	T	durée des rafales	[s]
1.4.10	t	temps	[s]
1.4.11	V	vitesse du vent	[m/s]
1.4.12	$V(z)$	vitesse du vent à la hauteur z	[m/s]
1.4.13	V_{moy}	vitesse moyenne annuelle du vent à la hauteur du moyeu	[m/s]
1.4.14	V_{rc}	plus importante rafale cohérente sur la surface entière balayée du rotor	[m/s]
1.4.15	V_{e50}	vitesse extrême du vent prévue (sur une durée moyenne de 3 s), avec un temps de répétition possible de 50 ans. Note: Le calcul de la vitesse extrême du vent doit tenir compte de la hauteur au-dessus du sol, du niveau d'exposition attendu, de la rugosité de la surface et du caractère topologique du site prévu	[m/s]
1.4.16	V_{e1}	comme V_{e50} mais avec un temps de répétition possible de 1 an	[m/s]
1.4.17	V_{raf50}	la plus grande amplitude de rafales sur une période de 50 ans qui démarre à moins de 2 m/s de la vitesse du vent préconisée à hauteur du moyeu, et qui a une probabilité de répétition de 50 ans	[m/s]
1.4.18	V_{raf1}	comme V_{raf50} mais avec un temps de répétition possible de 1 an	[m/s]
1.4.19	V_{hub}	vitesse moyenne sur 10 min du vent à hauteur du moyeu	[m/s]
1.4.20	V_{in}	vitesse de démarrage	[m/s]
1.4.21	V_{out}	vitesse de coupure	[m/s]
1.4.22	V_r	vitesse du vent assigné	[m/s]
1.4.23	V_{ref}	vitesse du vent de référence pour la catégorie d'aérogénérateur sélectionnée	[m/s]
1.4.24	$V_1(y,z,t)$	composante longitudinale de la vitesse du vent pour décrire le cisaillement horizontal et vertical du vent	[m/s]
1.4.25	$V_1(z,t)$	composante longitudinale de la vitesse du vent à la hauteur z et pour le temps t	[m/s]
1.4.26	z	hauteur au-dessus du sol	[m]
1.4.27	z_{hub}	hauteur du moyeu de la turbine (mesurée au centre)	[m]

1.4 Symbols and units

1.4.1	C	scale parameter of the Weibull distribution function	[m/s]
1.4.2	D	rotor diameter	[m]
1.4.3	f	frequency	[s ⁻¹]
1.4.4	I_{ave}	annual average turbulence intensity at hub height	[-]
1.4.5	k	shape parameter of the Weibull distribution function	
1.4.6	$p(V)$	probability density function	[-]
1.4.7	$P(V)$	probability distribution	[-]
1.4.8	$S_1(f)$	power spectral density function	
1.4.9	T	gust duration time	[s]
1.4.10	t	time	[s]
1.4.11	V	wind speed	[m/s]
1.4.12	$V(z)$	wind speed at height z	[m/s]
1.4.13	V_{ave}	annual average wind speed at hub height	[m/s]
1.4.14	V_{cg}	maximum coherent gust over the whole rotor swept area	[m/s]
1.4.15	V_{e50}	expected extreme wind speed (averaged over 3 s), with a recurrence time interval of 50 years. Note: The calculation of the extreme wind speed shall consider factors accounting for the height above the terrain, expected level of exposure, terrain roughness, and topographic character at the intended site type	[m/s]
1.4.16	V_{e1}	as V_{e50} , but with a recurrence time interval of 1 year	[m/s]
1.4.17	V_{gust50}	largest 50-year gust magnitude which starts within 2 m/s of a target starting hub-height wind speed and has an expected recurrence time interval equal to 50 years	[m/s]
1.4.18	V_{gust1}	as V_{gust50} , but with a recurrence time interval of 1 year	[m/s]
1.4.19	V_{hub}	10 min average wind speed at hub height	[m/s]
1.4.20	V_{in}	cut-in wind speed	[m/s]
1.4.21	V_{out}	cut-out wind speed	[m/s]
1.4.22	V_r	rated wind speed	[m/s]
1.4.23	V_{ref}	the reference wind speed for the turbine class selected	[m/s]
1.4.24	$V_1(y,z,t)$	longitudinal wind speed component to describe horizontal and vertical wind shear	[m/s]
1.4.25	$V_1(z,t)$	longitudinal wind speed component at height z and time t	[m/s]
1.4.26	z	height above ground	[m]
1.4.27	z_{hub}	hub height (i.e. the height of the centre) of the wind turbine	[m]

1.4.28	z_r	hauteur de référence au-dessus du sol	[m]
1.4.29	z_0	longueur de rugosité pour le calcul du profil logarithmique du vent	[m]
1.4.30	α	exposant de la loi de puissance appliquée au cisaillement du vent	[-]
1.4.31	Γ	fonction gamma	[-]
1.4.32	γ_f	facteur partiel de sécurité des charges	[-]
1.4.33	γ_m	facteur partiel de sécurité des matériaux	[-]
1.4.34	$\theta(t)$	changement temporaire de la direction du vent	[-]
1.4.35	θ_{rc}	l'angle de déviation de la direction de la vitesse moyenne du vent lors des rafales	[°]
1.4.36	θ_{ext}	le plus ample changement de direction du vent au moment où la vitesse moyenne du vent à la hauteur du moyeu est à moins de 2 m/s de la vitesse moyenne préconisée au début du changement transitoire, ayant une probabilité de répétition équivalente à celle utilisée dans des conditions de vitesse de vent extrême	[°]
1.4.37	Λ_l	paramètre d'échelle de turbulence correspondant à la longueur d'onde où la densité d'énergie spectrale longitudinale et adimensionnelle, $fS_l(f)/\sigma_1^2$, est égale à 0,05	[m]
1.4.38	σ_1	écart type de vitesse du vent longitudinale à hauteur du moyeu	[m/s]
1.4.39	σ_2	écart type de vitesse du vent latérale à hauteur du moyeu	[m/s]
1.4.40	σ_3	écart type de vitesse du vent verticale à hauteur du moyeu	[m/s]

1.5 Abréviations

A	Accidentel (pour les facteurs partiels de sécurité)
AG	Aérogénérateur
CA	Courant alternatif
CDC	Cas de charge
CED	Changement extrême de direction
CEV	Cisaillement extrême du vent
CC	Courant continu
EAH	Eolienne à axe horizontal
EAV	Eolienne à axe vertical
F	Fatigue
MVE	Modèle de vitesse du vent extrême
N	Normal et extrême (pour les facteurs partiels de sécurité)
PVN	Modèle de profil du vent normal
R	Fonction résistante de conception
RCE	Rafale cohérente extrême
RCED	Rafale cohérente extrême avec changement de direction
S	Fonction sollicitante de conception
T	Transport et montage (pour les facteurs partiels de sécurité)
TVN	Modèle de turbulence du vent normal
U	Ultime

1.4.28	z_r	reference height above ground	[m]
1.4.29	z_0	roughness length for the logarithmic wind profile	[m]
1.4.30	α	wind shear power law exponent	[-]
1.4.31	Γ	gamma function	[-]
1.4.32	γ_f	partial safety factor for loads	[-]
1.4.33	γ_m	partial safety factor for materials	[-]
1.4.34	$\theta(t)$	wind direction change transient	[-]
1.4.35	θ_{cg}	angle of deviation from the direction of the average wind speed under gust conditions	[°]
1.4.36	θ_{ext}	largest direction change which occurs while the average hub-height wind speed is within 2 m/s of the target hub-height wind speed at the beginning of the transient and has an expected recurrence interval equal to that used for the extreme wind conditions	[°]
1.4.37	Λ_1	turbulence scale parameter defined as the wave length where the non-dimensional, longitudinal power spectral density, $fS_1(f)/\sigma_1^2$, is equal to 0,05	[m]
1.4.38	σ_1	hub-height longitudinal wind speed standard deviation	[m/s]
1.4.39	σ_2	hub-height lateral wind speed standard deviation	[m/s]
1.4.40	σ_3	hub-height vertical wind speed standard deviation	[m/s]

1.5 Abbreviations

A	Accidental (for partial safety factors)
a.c.	Alternating current
d.c.	Direct current
DLC	Design load case
ECD	Extreme coherent gust and direction change
ECG	Extreme coherent gust
EDC	Extreme wind direction change
EOG	Extreme operating gust
EWM	Extreme windspeed model
EWS	Extreme wind shear
F	Fatigue
HAWT	Horizontal axis wind turbine
N	Normal and extreme (for partial safety factors)
NWP	Normal wind profile model
NTM	Normal wind turbulence model
R	Design resistance
S	Design loading
T	Transport and erection (for partial safety factors)
U	Ultimate
VAWT	Vertical axis wind turbine
WTGS	Wind turbine generator system(s)

2 Eléments principaux

2.1 Généralités

L'intégrité de l'ingénierie des systèmes de structure, mécaniques, électriques et de contrôle doit être réalisée en appliquant les prescriptions de cette norme concernant la conception, la fabrication et la gestion de la qualité.

Une combinaison de technologies existantes est utilisée pour l'installation, l'exploitation et la maintenance des aérogénérateurs. Les procédures de sécurité établies pour ces technologies doivent être suivies.

La présente norme s'applique à l'assurance de la qualité pendant la conception et fabrication, et à l'efficacité des procédures d'assemblage, d'installation, de maintenance et d'exploitation.

2.2 Méthodes de conception

La conception d'un aérogénérateur doit être basée sur des valeurs de conception des conditions externes en association avec les situations de projet générant les cas de charge. Tous les cas de charge doivent être analysés pour vérifier l'intégrité de l'ingénierie.

La vérification de l'accomplissement de l'intégrité de l'ingénierie doit être faite par des méthodes de calculs et/ou par des essais. La sélection des conditions d'essai ainsi que les charges d'essai doivent tenir compte du niveau de sécurité approprié.

2.3 Catégories de sécurité

Un aérogénérateur doit être conçu selon une des deux catégories de sécurité suivantes:

- une catégorie de sécurité normale, applicable quand une défaillance risque de mettre en péril des vies humaines, ou d'avoir des conséquences sociales ou économiques;
- une catégorie de sécurité spéciale, applicable quand le niveau de sécurité est imposé par une réglementation locale et/ou déterminé par un accord entre le constructeur et le client.

Les facteurs partiels de sécurité pour les aérogénérateurs de la catégorie de sécurité normale sont précisés en 4.6. Les facteurs partiels de sécurité pour la catégorie de sécurité spéciale doivent être déterminés par un accord entre le constructeur et le client.

2.4 Assurance de la qualité

Les procédures d'assurance de la qualité doivent faire partie intégrante de la conception, de l'approvisionnement, de la fabrication, de l'installation, de l'exploitation et la maintenance des aérogénérateurs et de tous leurs composants.

Il est recommandé que le système d'assurance de la qualité soit conforme aux normes de la série ISO 9000: Normes pour la gestion de la qualité et l'assurance de la qualité.

2 Principal elements

2.1 General

The engineering integrity of the structural, mechanical, electrical and control systems of WTGS shall be achieved by following the requirements of this standard in respect to design, manufacture and quality management.

A combination of existing technologies is used in the installation, operation and maintenance of WTGS. Safety procedures which have been established in those technologies shall be followed.

This standard is concerned with quality assurance during design and manufacture, and with the adequacy of the assembly, installation, maintenance, and operational procedures.

2.2 Design methods

The design of a WTGS shall be based on design values for the external conditions in combination with the relevant design situation for the WTGS, from which the load cases are derived. All relevant load cases shall be analysed with respect to the engineering integrity.

Verification of the achievement of engineering integrity shall be made by calculation and/or by testing. The selection of test conditions, including the test loads, shall take account of the appropriate safety level.

2.3 Safety classes

A WTGS shall be designed according to one of the following two safety classes:

- a normal safety class which applies when a failure results in risk of personal injury or economic and social consequences;
- a special safety class which applies when the safety level is determined by local regulations and/or the safety level is agreed between the manufacturer and the customer.

Partial safety factors, for normal safety class WTGS, are specified in 4.6 of this standard. Partial safety factors for the special safety class have to be agreed upon between the manufacturer and the customer.

2.4 Quality assurance

Quality assurance shall be an integral part of the design, procurement, manufacture, installation, operation and maintenance of WTGS and all its components.

It is recommended that the quality system comply with the requirements of the ISO 9000 series: Quality management and quality assurance standards.

3 Conditions externes

3.1 Généralités

Lors de la conception d'un aérogénérateur il doit être tenu compte des conditions externes décrites dans cet article.

Les AG sont exposés à des conditions d'environnement et des conditions électriques qui peuvent influencer les charges, la durabilité et le fonctionnement. De plus, il faut tenir compte de la qualité du sol du site prévu. Afin de garantir le niveau approprié de sécurité et de fiabilité, la conception doit tenir compte des paramètres d'environnement, électriques et du sol. Les valeurs de conception des conditions externes devront être exposées clairement dans la documentation de conception.

Les conditions externes se divisent en conditions de vent et autres conditions d'environnement. Les conditions électriques sont celles du réseau électrique. Les conditions du sol ont une importance dans la conception des fondations des AG.

Les conditions externes peuvent être subdivisées en conditions normales et conditions extrêmes. Les conditions normales s'appliquent généralement aux conditions à long terme de charges de structure et de fonctionnement, tandis que les conditions extrêmes représentent des conditions de conception externes rares mais potentiellement critiques. Les cas de charge doivent consister en une combinaison des conditions externes précitées et des modes de fonctionnement des AG.

Les conditions externes du site d'installation prévu doivent être déterminées si possible à partir de mesures, de relevés à long terme, ou de normes nationales ou internationales.

Les conditions de vent sont les facteurs principaux affectant l'intégrité des structures. D'autres conditions climatiques peuvent également affecter les critères de conception tels que le fonctionnement du système de contrôle, la solidité, la corrosion, etc.

Les informations suivantes doivent figurer clairement sur la plaque d'identification de l'AG:

- puissance assignée;
- vitesse de référence du vent, V_{ref} ;
- gamme des vitesses du vent de fonctionnement à hauteur du moyeu, de V_{in} à V_{out} ;
- gamme des températures ambiantes de fonctionnement;
- catégorie CEI (selon tableau 1);
- numéro du modèle et de la série.

Les conditions normales et extrêmes nécessaires pour la conception des AG de la catégorie I à IV incluse sont données dans les articles suivants. Les valeurs de conception pour la catégorie spéciale sont choisies par le concepteur et indiquées dans la documentation de conception. Pour de tels cas de conception d'AG, les valeurs choisies doivent être entendues pour indiquer que les AG sont appropriés pour une installation dans les sites où les paramètres avec un temps de répétition de 50 ans sont plus favorables que les conditions de conception.

3 External conditions

3.1 General

The external conditions described in this clause shall be considered in the design of a WTGS.

WTGS are subjected to environmental and electrical conditions which may affect their loading, durability and operation. In addition, account shall be taken of the soil properties of the site where they are located. To ensure the appropriate level of safety and reliability, the environmental, electrical and soil parameters shall be taken into account in the design, and shall be explicitly stated in the design documentation.

The environmental conditions are further divided into wind conditions and other environmental conditions. The electrical conditions refer to the network conditions. Soil properties are relevant to the design of WTGS foundations.

Each type of external condition may be subdivided into a normal and an extreme external condition. The normal external conditions generally concern long-term structural loading and operating conditions, while the extreme external conditions represent the rare but potentially critical external design conditions. The design load cases shall consist of a combination of these external conditions with WTGS operational modes.

The actual external conditions at the intended installation site shall be established where possible through reference to measurements, long-term records or international or national standards.

Wind conditions are the primary external considerations for structural integrity. Other environmental conditions also affect design features such as control system function, durability, corrosion, etc.

The following information shall be prominently displayed on the turbine nameplate:

- rated power;
- reference wind speed, V_{ref} ;
- hub-height operating wind speed range, V_{in} to V_{out} ;
- operating ambient temperature range;
- IEC turbine class (see table 1);
- model and serial number.

The normal and extreme conditions which are required for design in WTGS classes I through IV are prescribed in the following clauses. The design values for the special class are chosen by the designer and specified in the design documentation. For such special WTGS designs, the values chosen shall be understood to indicate that the WTGS is appropriate for installation at sites for which the 50-year recurrence parameters are more benign than the design conditions.

3.2 Catégories d'aérogénérateurs

Les conditions externes à considérer varient selon le site d'installation prévu pour l'aérogénérateur ou le type de site. Quatre classifications de turbine sont établies en fonction des caractéristiques du site généralement rencontrées. Le but de ces catégories est de couvrir la plupart des applications. Les paramètres des quatre catégories d'aérogénérateur représentent les valeurs caractéristiques de plusieurs sites variés et ne sont pas réajustés pour une représentation précise d'un site spécifique. Ceci afin d'établir quatre catégories d'aérogénérateurs bien distinctes, dont la solidité diminue quand le numéro de catégorie d'aérogénérateur augmente. Ainsi certaines évaluations de sites spécifiques recevant des installations d'aérogénérateurs auront des paramètres évalués pour le site supérieurs ou inférieurs aux valeurs d'une catégorie donnée. La responsabilité de vérifier que les conditions d'un site, lors d'une installation réelle, y compris la turbulence augmentée dans des rangées de turbines sont plus sûres que celles décrites pour une catégorie donnée d'aérogénérateur incombe à l'ingénieur en chef du projet ou au propriétaire de l'équipement. Pour les cas où des conditions de conception spéciales sont nécessaires, une cinquième catégorie «S» est prévue, dans laquelle les paramètres spécifiques du site souhaité sont définis par le concepteur. Tous les AG montés en site marin doivent être de catégorie S. Le tableau 1 spécifie les paramètres de base régissant les différentes catégories d'aérogénérateurs.

Tableau 1 – Paramètres de base par catégorie d'aérogénérateur

Paramètres	Catégorie d'aérogénérateur				
	I	II	III	IV	S
Vitesse de référence du vent (V_{ref} (m/s))	50	42,5	37,5	30	Valeurs indiquées par le constructeur
Vitesse moyenne annuelle (V_{moy} (m/s))	10	8,5	7,5	6	
Intensité de turbulence moyenne annuelle (I_{moy})	0,17	0,17	0,17	0,17	

Les valeurs du tableau 1 sont applicables à la hauteur du moyeu.

En complément à ces paramètres de base, plusieurs autres paramètres importants sont nécessaires afin de préciser complètement les conditions externes utilisées dans la conception d'un aérogénérateur. Pour les aérogénérateurs des catégories I à IV incluse, les valeurs de ces paramètres additionnels sont données en 3.3, 3.4 et 3.5.

La durée de vie lors de la conception doit être au moins de 20 ans, à moins qu'elle ne soit autrement spécifiée par le constructeur.

Pour les AG de la catégorie S, le constructeur doit spécifier les valeurs choisies des paramètres essentiels de conception dans la documentation de conception. Les paramètres nécessaires sont spécifiés dans l'annexe A.

Les abréviations entre parenthèses dans les titres des paragraphes de cet article font référence aux conditions externes de vent utilisées dans les cas de charges décrites dans l'article 4.

3.2 WTGS classes

The external conditions to be considered are dependent on the intended site or site type for the WTGS installation. Four turbine classifications are made in terms of commonly found site characteristics. The intention of these classifications is to cover most applications. The parameters for the four WTGS classes are intended to represent the characteristic values of many different sites and are not adjusted to give a precise representation of any specific site. The goal is to achieve four distinctly different WTGS classes with generally decreasing robustness as the turbine class designation increases. Thus, specific site evaluations intended for WTGS installations may have some measured parameters at the site which are higher or lower than the values for a given class. It is the responsibility of the project engineer or the equipment owner to verify that conditions at the actual installation site, including the increased turbulence level within turbine arrays, are more benign than those prescribed for the given turbine class. To cover cases where special design conditions are necessary, a fifth class "S" is defined where the specific parameters for the intended site are defined by the designer. All offshore WTGS shall be S-class turbines. Table 1 gives the specification of the basic parameters which define the wind turbine classes.

Table 1 – Basic parameters for wind turbine classes

Parameters	Wind turbine class				
	I	II	III	IV	S
Reference wind speed (V_{ref} (m/s))	50	42,5	37,5	30	Values to be stated by manufacturer
Annual average wind speed (V_{ave} (m/s))	10	8,5	7,5	6	
Annual average turbulence intensity (I_{ave})	0,17	0,17	0,17	0,17	

The values in table 1 apply at hub height.

In addition to these basic parameters, several important additional parameters are required completely to specify the external conditions used in the WTGS design. In the case of the wind turbine classes I through IV, the values of these additional parameters are specified in 3.3, 3.4 and 3.5.

The design lifetime is to be at least 20 years, unless it is specifically declared otherwise by the manufacturer.

For WTGS of the S class, the manufacturer shall specify the chosen values of the essential design parameters in the design documentation. The parameters needed are specified in annex A.

The abbreviations added in the parenthesis in the subclause headings in the remainder of this clause are used for describing the external wind conditions for the load cases defined in clause 4.

3.3 Conditions de vent

Un AG doit être conçu tel qu'il puisse résister de façon sûre aux conditions de vent prévues sur le site de l'installation.

Les valeurs de conception des conditions de vent doivent être spécifiées clairement dans la documentation de conception.

Le régime des vents pour les considérations de charge et de sécurité est divisé en conditions normales de vent rencontrées fréquemment pendant le fonctionnement normal d'un aérogénérateur et en conditions extrêmes de vent ayant un temps de répétition de 50 ans.

3.3.1 Conditions de vent normales

3.3.1.1 Distribution de la vitesse du vent

La distribution de la vitesse du vent sur le site a une conséquence dans la conception d'un AG parce qu'elle spécifie la fréquence de l'incidence des conditions de charges individuelles. Pour la conception d'AG de la catégorie I à IV incluse, la valeur moyenne de la vitesse du vent sur une durée de 10 min doit être considérée comme distribuée par la probabilité Rayleigh pour les besoins de calcul des cas de charge. Dans ce cas la probabilité de distribution à la hauteur du moyeu est donnée par:

$$P\{V < V_{hub}\} = 1 - \exp[-\pi (V_{hub}/2 V_{moy})^2] \quad (5)$$

Pour les AG de la catégorie spéciale, des distributions mesurées ou théoriques basées sur des mesures telles que la distribution Weibull, peuvent être utilisées. Dans ce cas la distribution utilisée doit être précisée dans la documentation de conception.

3.3.1.2 Le profil du vent normal (PVN)

Le profil du vent $V(z)$ donne la vitesse moyenne du vent en fonction de la hauteur z , au-dessus du sol. Pour la conception d'AG de la catégorie I à IV incluse, l'hypothèse du profil du vent doit être donnée par la loi de puissance:

$$V(z) = V_{hub} (z/z_{hub})^\alpha \quad (6)$$

La direction moyenne du vent doit être supposée horizontale et invariable quelle que soit la hauteur. L'exposant de la loi de puissance α doit être égal à 0,2.

L'hypothèse de profil du vent est utilisée pour définir le cisaillement moyen du vent à travers la surface balayée du rotor.

Pour la conception d'AG de la catégorie spéciale, le profil de la vitesse du vent utilisé doit être basé sur la loi logarithmique ou de puissance, ou sur des données mesurées pour un site ou catégorie de site proposé. Le profil de la vitesse du vent utilisé en conception doit être décrit dans la documentation de conception.

3.3.1.3 Modèle de turbulence du vent normale (MTN)

L'expression «turbulence du vent» signifie la présence de variations stochastiques de la vitesse du vent par rapport à la moyenne sur 10 min. Le modèle de turbulence doit inclure l'incidence de variations de vitesse de vent, variations de direction et échantillons d'effets

3.3 Wind conditions

A WTGS shall be designed to withstand safely the expected wind conditions for the intended site of installation.

The design values of the wind conditions shall be clearly specified in the design documentation.

The wind regime for load and safety considerations is divided into the normal wind conditions which will occur frequently during normal operation of the WTGS, and the extreme wind conditions which are defined as having a 50-year recurrence period.

3.3.1 Normal wind conditions

3.3.1.1 Wind speed distribution

The wind speed distribution at the site is significant for the wind turbine design because it determines the frequency of occurrence of the individual load conditions. For WTGS designs in classes I through IV, the mean value of the wind speed over a time period of 10 min shall be assumed to be Rayleigh distributed for the purposes of design load calculations. In this case, the probability distribution at hub height is given by:

$$P\{V < V_{\text{hub}}\} = 1 - \exp\left[-\pi (V_{\text{hub}}/2 V_{\text{ave}})^2\right] \quad (5)$$

For WTGS in the special class, measured distributions or theoretical distributions such as the Weibull distribution based on measurement may be used. In this case, the distribution used shall be specified in the design documentation.

3.3.1.2 The normal wind profile model (NWP)

The wind profile $V(z)$ denotes the average wind speed as a function of height z above the ground. For WTGS designs in classes I through IV, the normal wind speed profile shall be assumed to be given by the power law:

$$V(z) = V_{\text{hub}} (z/z_{\text{hub}})^{\alpha} \quad (6)$$

The average wind direction shall be assumed to be horizontal and invariant with height. The power law exponent α shall be assumed to be 0,2.

The assumed wind profile is used to define the average wind shear across the rotor swept area.

For wind turbine designs in the special class, the design wind speed profile shall be based on the logarithmic or the power law or on measured data for a proposed site or site class. The wind speed profile used in the design shall be described in the design documentation.

3.3.1.3 Normal turbulence model (NTM)

The expression "wind turbulence" denotes stochastic variations in the wind velocity from the 10 min average. The turbulence model shall include the effects of varying wind speed, varying direction, and rotational sampling. For turbine classes I through IV, the power

de rotation. Pour les AG des catégories I à IV incluses les densités de la puissance spectrale du vecteur vitesse du vent fortuit, utilisées explicitement ou non dans le modèle, devront satisfaire aux exigences suivantes:

a) L'écart type σ_1 de la composante longitudinale doit être donné par:

$$\sigma_1 = 1,2 I_{\text{moy}} (0,75 V_{\text{hub}} + 0,16 V_{\text{moy}}) \quad (7)$$

Il doit être supposé que cet écart type ne varie pas avec la hauteur.

b) Pour les hautes fréquences dans le sous-domaine inertiel, la densité spectrale de puissance de la composante longitudinale doit approcher de manière asymptotique la relation:

$$S_1(f) = 0,05 (\sigma_1)^2 (\Lambda_1/V_{\text{hub}})^{-2/3} f^{-5/3} \quad (8)$$

où $S_1(f)$ est la densité spectrale longitudinale de puissance. Le paramètre d'échelle de la turbulence, Λ_1 , doit être donné par:

$$\Lambda_1 = \begin{cases} 0,678 z_{\text{hub}} & \text{pour } z_{\text{hub}} < 30 \text{ m} \\ 20,3 \text{ m} & \text{pour } z_{\text{hub}} \geq 30 \text{ m} \end{cases} \quad (9)$$

Les spécifications pour des modèles de turbulence stochastiques se conformant à ces stipulations sont données dans l'annexe B. Un modèle déterministe simplifié, basé sur une description plus complète de la turbulence stochastique, est également donné dans l'annexe C. Ce modèle déterministe peut être utilisé quand il peut être démontré que la réponse des pales du rotor aux échantillons de vitesses de vents en tournant est suffisamment amortie. Des conseils pour cette vérification sont également donnés dans l'annexe C.

Les modèles de turbulence utilisés dans la conception d'AG de la catégorie spéciale doivent être détaillés de manière complète dans la documentation de conception.

3.3.2 Conditions de vent extrêmes

Les conditions de vent extrêmes sont utilisées pour calculer les charges extrêmes du vent sur l'AG. Ces conditions comprennent les vitesses de pointe dues aux orages et aux changements rapides de la vitesse et la direction du vent. Ces conditions extrêmes comprenant également les effets potentiels de la turbulence, seuls les effets déterministes sont à considérer dans les calculs de conception.

3.3.2.1 Modèle de vitesse du vent extrême (MVE)

La vitesse extrême du vent sur 50 ans, V_{e50} , et la vitesse extrême sur 1 an, V_{e1} , doivent être basées sur la vitesse de référence de vent extrême, V_{ref} (voir définitions). Pour la conception d'AG des catégories standards I à IV incluses, V_{e50} et V_{e1} doivent être évaluées en fonction de la hauteur z , par les équations suivantes:

$$V_{e50(z)} = 1,4 V_{\text{ref}} (z/z_{\text{hub}})^{0,11} \quad (10)$$

$$V_{e1(z)} = 0,75 \times V_{e50(z)} \quad (11)$$

où

V_{ref} est un paramètre défini dans le tableau des catégories standards d'aérogénérateurs;

z_{hub} est la hauteur du moyeu.

spectral densities of the random wind velocity vector field, whether used explicitly in the model or not, shall satisfy the following requirements:

- a) The standard deviation σ_1 of the longitudinal component shall be given by:

$$\sigma_1 = 1,2 I_{ave} (0,75 V_{hub} + 0,16 V_{ave}) \quad (7)$$

This standard deviation shall be assumed not to change with height.

- b) Towards the high frequency end of the inertial subrange the power spectral density of the longitudinal component of the turbulence shall asymptotically approach the form:

$$S_1(f) = 0,05 (\sigma_1)^2 (\Lambda_1 / V_{hub})^{-2/3} f^{-5/3} \quad (8)$$

where $S_1(f)$ is the longitudinal power spectral density. The turbulence scale parameter Λ_1 shall be given by:

$$\Lambda_1 = \begin{cases} 0,678 z_{hub} & \text{for } z_{hub} < 30 \text{ m} \\ 20,3 \text{ m} & \text{for } z_{hub} \geq 30 \text{ m} \end{cases} \quad (9)$$

Specifications for stochastic turbulence models are given in annex B, which satisfy these requirements. In annex C, a simplified deterministic model which is based on a more complete stochastic description of the turbulence is given. This deterministic model may be used when it can be demonstrated that the turbine blade response to rotationally sampled wind velocity is sufficiently well damped. Guidance for this validation is also given in annex C.

Turbulence models used for the design of turbines in the special class shall be completely described in the design documentation.

3.3.2 Extreme wind conditions

The extreme wind conditions are used to determine extreme wind loads on the WTGS. These conditions include peak wind speeds due to storm and rapid changes in wind speed and direction. These extreme conditions include the potential effects of wind turbulence so that only the deterministic effects need to be considered in the design calculations.

3.3.2.1 Extreme wind speed model (EWM)

The 50-year extreme wind speed, V_{e50} , and the one-year extreme wind speed V_{e1} shall be based on the reference extreme wind speed, V_{ref} (see definitions). For WTGS designs in standard classes I through IV, the V_{e50} and V_{e1} shall be computed as a function of height z using the following equations:

$$V_{e50(z)} = 1,4 V_{ref} (z/z_{hub})^{0,11} \quad (10)$$

$$V_{e1(z)} = 0,75 \times V_{e50}(z) \quad (11)$$

where

V_{ref} is a parameter defined in the table of standard turbine classes;

z_{hub} is the hub height.

Il est admis que les vitesses extrêmes de vent V_{e50} et V_{e1} peuvent dévier de la direction de V_{ref} dans un secteur de $\pm 15^\circ$.

NOTE – Des codes particuliers pour le calcul des structures peuvent imposer des variations de pression en fonction de la hauteur qui sont légèrement différentes de celles résultant des équations ci-dessus.

Les valeurs de V_{e50} et V_{e1} doivent être précisées clairement dans la documentation de conception des AG de la catégorie spéciale.

3.3.2.2 Rafale extrême en fonctionnement (REF)

Pour la conception d'AG des catégories I à IV incluses, la plus grande amplitude de rafales à hauteur du moyeu V_{raf50} , quand l'AG n'est pas arrêté, doit être donnée par la formule suivante:

$$V_{raf50} = 5 \times \sigma_1 \quad (12)$$

où σ_1 est l'écart type donné par l'équation (7) du 3.3.1.3 a).

Une rafale extrême doit être considérée comme ayant un temps de front de 6 s et la composante longitudinale de la vitesse du vent doit être définie par l'équation:

$$V_1(z, t) = \begin{cases} V_{hub} (z/z_{hub})^\alpha + 0,5 V_{raf50} (1 - \cos(2\pi t/T)) & \text{pour } 0 < t < T \\ V_{hub} (z/z_{hub})^\alpha & \text{pour } t \leq 0 \text{ et } t \geq T \end{cases} \quad (13)$$

où $T = 12$ s, deux fois le temps de front.

Pour l'intervalle d'occurrence des rafales sur un an, la rafale est égale à $V_{raf1} = 3,75 \times \sigma_1$, et V_{raf1} remplace V_{raf50} dans la formule ci-dessus pour $V_1(z, t)$.

Pour la catégorie spéciale d'AG, l'amplitude des rafales extrêmes et la forme du front de la vitesse du vent supposée doivent être précisées dans la documentation de conception.

3.3.2.3 Changement extrême de direction (CED)

Pour la conception d'AG des catégories I à IV incluses, l'amplitude de changement de direction, θ_{ext} , doit être calculée avec la formule suivante afin d'obtenir la valeur pour le temps de répétition de 50 ans.

$$\theta_{ext} = \pm \tan^{-1} (V_{raf50}/V_{hub}) \quad (14)$$

où V_{raf50} est la valeur de rafale extrême calculée ci-dessus.

Pour le changement extrême de direction avec un temps de répétition de 1 an la valeur de V_{raf50} doit être remplacée par V_{raf1} .

It shall be assumed that the extreme wind speeds V_{e50} and V_{e1} can differ from the direction of V_{ref} by an angle in the sector of $\pm 15^\circ$.

NOTE – Local structural engineering codes may prescribe a pressure variation with height which is slightly different from that which results from the relation given above.

Values of V_{e50} and V_{e1} shall be clearly stated in the design documentation for special class WTGS.

3.3.2.2 Extreme operating gust (EOG)

For WTGS designs for standard Classes I through IV, the extreme hub-height gust amplitude V_{gust50} , when the wind turbine is not shut down shall be given by the following relationship:

$$V_{gust50} = 5 \times \sigma_1 \quad (12)$$

where σ_1 is the standard deviation given by equation (7) of 3.3.1.3 a).

The extreme gust shall be assumed to have a rise time of 6 s and the longitudinal wind velocity component shall be defined by the equation:

$$V_1(z, t) = \begin{cases} V_{hub} (z/z_{hub})^\alpha + 0,5 V_{gust50} (1 - \cos(2\pi t/T)) & \text{for } 0 < t < T \\ V_{hub} (z/z_{hub})^\alpha & \text{for } t \leq 0 \text{ and } t \geq T \end{cases} \quad (13)$$

where $T = 12$ s is twice the rise time.

For the one-year recurrence interval gust, the gust equals $V_{gust1} = 3,75 \times \sigma_1$, and V_{gust1} replaces V_{gust50} in the above formula for $V_1(z, t)$.

For the special turbine classification, the extreme gust magnitude and the functional form (shape) of the assumed wind velocity transient shall be stated in the design documentation.

3.3.2.3 Extreme direction change (EDC)

For WTGS designs in standard classes I through IV, the extreme direction change magnitude θ_{ext} shall be calculated using the following relationship for the 50-year recurrence period value:

$$\theta_{ext} = \pm \tan^{-1} (V_{gust50}/V_{hub}) \quad (14)$$

where V_{gust50} is the extreme gust value determined above.

For the one-year recurrence period, extreme direction change V_{gust50} is replaced by V_{gust1} .

Le facteur transitoire de changement extrême de direction, $\theta(t)$, doit être ensuite donné par:

$$\theta(t) = \begin{cases} 0 & \text{pour } t \leq 0 \\ 0,5 \times \theta_{\text{ext}} (1 - \cos(\pi t/T)) & \text{pour } 0 < t < T \\ \theta_{\text{ext}} & \text{pour } t \geq 0 \text{ et } t \geq T \end{cases} \quad (15)$$

où $T = 6$ s représente la durée du facteur transitoire.

Le signe doit être choisi pour refléter la charge transitoire la plus élevée. A la fin du changement transitoire de la direction du vent, celui-ci est considéré comme restant stable dans la nouvelle direction. La vitesse correspondante du vent est égale à V_{raf1} .

Le changement extrême de direction doit être précisé dans la documentation de conception des AG de la catégorie spéciale.

3.3.2.4 Rafale cohérente extrême (RCE)

Pour la conception d'AG des catégories I à IV incluses, une rafale cohérente extrême d'une amplitude de:

$$V_{\text{rc}} = 15 \text{ m/s}$$

doit être utilisée. Cette rafale aura un temps de front de 10 s, et la vitesse du vent doit être définie par les formules:

$$V(z, t) = \begin{cases} V(z) & \text{pour } t \leq 0 \\ V(z) + 0,5 V_{\text{rc}} (1 - \cos(\pi t/T)) & \text{pour } 0 < t < T \\ V(z) + V_{\text{rc}} & \text{pour } t \geq T \end{cases} \quad (16)$$

où $T = 10$ s, le temps de front.

3.3.2.5 Rafale cohérente extrême avec changement de direction (RCED)

Dans ce cas, l'augmentation de la vitesse du vent (décrite en 3.3.2.4) doit être considérée comme étant accompagnée par un changement de direction θ_{rc} , où θ_{rc} est de $\pm 180^\circ$ à 5 m/s et moins $\pm 15^\circ$ à V_{ref} , et interpolé de manière linéaire pour toute V_{hub} entre les vitesses précitées, c'est-à-dire:

$$\theta_{\text{rc}}(V_{\text{hub}}) = \pm \begin{cases} 180^\circ & \text{pour } V_{\text{hub}} \leq 5 \text{ m/s} \\ 165^\circ (V_{\text{ref}} - V_{\text{hub}}) (V_{\text{ref}} - 5) + 15^\circ & \text{pour } 5 \text{ m/s} < V_{\text{hub}} < V_{\text{ref}} \\ 15^\circ & \text{pour } V_{\text{hub}} = V_{\text{ref}} \end{cases} \quad (17)$$

Le changement de direction simultané est donné ensuite par:

$$\theta(t) = \pm \begin{cases} 0^\circ & \text{pour } t \leq 0 \\ 0,5 \theta_{\text{rc}} (1 - \cos(\pi t/T)) & \text{pour } 0 < t < T \\ \theta_{\text{rc}} & \text{pour } t \geq T \end{cases} \quad (18)$$

où $T = 10$ s comme pour la vitesse du vent.

The extreme direction change transient $\theta(t)$ shall then be given by:

$$\theta(t) = \begin{cases} 0 & \text{for } t \leq 0 \\ 0,5 \times \theta_{\text{ext}} (1 - \cos(\pi t/T)) & \text{for } 0 < t < T \\ \theta_{\text{ext}} & \text{for } t \geq T \end{cases} \quad (15)$$

where $T = 6$ s is the duration of the direction change transient.

The sign shall be chosen so that the worst transient loading occurs. At the end of the direction change transient the wind direction is assumed to remain in the new direction. The corresponding wind speed is equal to V_{gust1} .

The extreme direction change shall be stated in the design documentation for special class WTGSs.

3.3.2.4 Extreme coherent gust (ECG)

For WTGS designs for classes I through IV, an extreme coherent gust with an amplitude of:

$$V_{\text{cg}} = 15 \text{ m/s}$$

shall be assumed. This gust shall have a rise time of 10 s, and the wind speed shall be defined by the relations:

$$V(z, t) = \begin{cases} V(z) & \text{for } t \leq 0 \\ V(z) + 0,5 V_{\text{rc}} (1 - \cos(\pi t/T)) & \text{for } 0 < t < T \\ V(z) + V_{\text{rc}} & \text{for } t \geq T \end{cases} \quad (16)$$

where $T = 10$ s is the rise time.

3.3.2.5 Extreme coherent gust with direction change (ECD)

In this case, the rise in wind speed (described in 3.3.2.4) shall be assumed simultaneously with a direction change θ_{cg} , where θ_{cg} is $\pm 180^\circ$ at 5 m/s and below, $\pm 15^\circ$ at V_{ref} , and is linearly interpolated for any V_{hub} in between, that is:

$$\theta_{\text{rc}}(V_{\text{hub}}) = \pm \begin{cases} 180^\circ & \text{for } V_{\text{hub}} \leq 5 \text{ m/s} \\ 165^\circ (V_{\text{ref}} - V_{\text{hub}}) (V_{\text{ref}} - 5) + 15^\circ & \text{for } 5 \text{ m/s} < V_{\text{hub}} < V_{\text{ref}} \\ 15^\circ & \text{for } V_{\text{hub}} = V_{\text{ref}} \end{cases} \quad (17)$$

The simultaneous direction change is then given by:

$$\theta(t) = \pm \begin{cases} 0^\circ & \text{for } t \leq 0 \\ 0,5 \theta_{\text{cg}} (1 - \cos(\pi t/T)) & \text{for } 0 < t < T \\ \theta_{\text{cg}} & \text{for } t \geq T \end{cases} \quad (18)$$

where $T = 10$ s as for the wind speed.

3.3.2.6 Cisaillement extrême du vent (CEV)

Pour la conception d'AG des catégories I à IV incluses, le cisaillement extrême du vent doit être estimé avec les deux composantes transitoires de vitesse longitudinale suivantes:

- pour le cisaillement vertical:

$$V_1(y, z, t) = \begin{cases} V_{\text{hub}} (z/z_{\text{hub}})^{\alpha} + 0,5 ((z-z_{\text{hub}})/D) V_{\text{raf50}} (1 - \cos (2\pi t/T)) & \text{pour } 0 < t < T \\ V_{\text{hub}} (z/z_{\text{hub}})^{\alpha} & \text{pour } t \leq 0 \text{ et } t \geq T \end{cases} \quad (19)$$

- pour le cisaillement horizontal:

$$V_1(y, z, t) = \begin{cases} V_{\text{hub}} (z/z_{\text{hub}})^{\alpha} \pm 0,5 (y/D) V_{\text{raf50}} (1 - \cos (2\pi t/T)) & \text{pour } 0 < t < T \\ V_{\text{hub}} (z/z_{\text{hub}})^{\alpha} & \text{pour } t \leq 0 \text{ et } t \geq T \end{cases} \quad (20)$$

où T = durée de 12 s.

Le signe pour le facteur transitoire de cisaillement horizontal doit être choisi pour refléter les conditions de charges les plus élevées. Pour les AG de la catégorie spéciale les conditions de cisaillement extrême du vent doivent être décrites dans la documentation de conception.

3.4 Autres conditions d'environnement

Plusieurs conditions (climatiques) d'environnement autres que le vent peuvent influencer l'intégrité et la sécurité de l'AG, par action thermique, (photo-)chimique, mécanique, électrique ou autre action physique. En plus, les combinaisons des paramètres climatiques peuvent augmenter leur effet.

Les autres conditions d'environnement suivantes sont à considérer:

- température;
- humidité;
- densité de l'air;
- rayonnement solaire;
- pluie, grêle, neige et glace;
- substances avec action chimique;
- particules avec action mécanique;
- foudre;
- séismes;
- salinité.

Un environnement marin exige des considérations spéciales additionnelles.

Les conditions climatiques de conception doivent être définies en termes de valeurs représentatives ou par les limites des conditions variables. La probabilité d'occurrence simultanée des conditions climatiques doit être prise en compte en choisissant les valeurs de calcul.

3.3.2.6 Extreme wind shear (EWS)

For WTGS designs in standard classes I through IV, the extreme wind shear shall be accounted for using the following two longitudinal velocity component transients:

– for vertical shear:

$$V_1(y, z, t) = \begin{cases} V_{\text{hub}} (z/z_{\text{hub}})^{\alpha} + 0,5 ((z-z_{\text{hub}})/D) V_{\text{gust50}} (1 - \cos (2\pi t/T)) & \text{for } 0 < t < T \\ V_{\text{hub}} (z/z_{\text{hub}})^{\alpha} & \text{for } t \leq 0 \text{ and } t \geq T \end{cases} \quad (19)$$

– for horizontal shear:

$$V_1(y, z, t) = \begin{cases} V_{\text{hub}} (z/z_{\text{hub}})^{\alpha} \pm 0,5 (y/D) V_{\text{gust50}} (1 - \cos (2\pi t/T)) & \text{for } 0 < t < T \\ V_{\text{hub}} (z/z_{\text{hub}})^{\alpha} & \text{for } t \leq 0 \text{ and } t \geq T \end{cases} \quad (20)$$

where $T = 12$ s.

The sign for the horizontal wind shear transient shall be chosen so that the worst transient loading occurs. For WTGS in the special class, the extreme wind shear conditions shall be stated in the design documentation.

3.4 Other environmental conditions

Various environmental (climatic) conditions other than wind can affect the integrity and safety of the WTGS, by thermal, (photo-)chemical, mechanical, electrical or other physical action. Moreover, combinations of the climatic parameters given may increase their effect.

The following other environmental conditions shall be taken into account:

- temperature;
- humidity;
- air density;
- solar radiation;
- rain, hail, snow and ice;
- chemically active substances;
- mechanically active particles;
- lightning;
- earthquakes;
- salinity.

An offshore environment requires special additional considerations.

The climatic conditions for the design shall be defined in terms of representative value or by the limits of the variable conditions. The probability of simultaneous occurrence of the climatic conditions shall be taken into account when the design values are selected.

Les variations des conditions climatiques entre les limites normales et qui correspondent à un temps de répétition de 1 an, ne doivent pas perturber le fonctionnement normal prévu de l'AG.

3.4.1 *Autres conditions d'environnement normales*

Les autres valeurs de conditions d'environnement normales à considérer sont:

- une gamme de température de fonctionnement normal du système de -10 °C à $+40\text{ °C}$;
- une humidité relative de 95 %;
- une composition atmosphérique équivalente à celle d'une atmosphère continentale non polluée;
- une intensité de rayonnement solaire de $1\,000\text{ W/m}^2$;
- une densité de l'air au niveau de la mer de $1,225\text{ kg/m}^3$ à 15 °C .

Quand les paramètres de conditions externes sont spécifiés par le concepteur, les paramètres choisis devront être décrits dans la documentation de conception et se conformer aux stipulations de la CEI 721-2-1.

3.4.2 *Autres conditions d'environnement extrêmes*

Les conditions externes extrêmes à considérer dans la conception des AG sont la température, la foudre, la glace et les séismes.

3.4.2.1 *Température*

Les valeurs de conception pour la gamme de températures extrêmes doivent être d'au moins -20 °C à $+50\text{ °C}$ pour les AG des catégories I à IV. Les valeurs de température pour les AG de la catégorie spéciale doivent être choisies conformément à la norme CEI 721-2-1.

3.4.2.2 *Foudre*

Les protections contre la foudre conseillées en 6.2.9 peuvent être considérées comme suffisantes pour les AG des catégories I à IV. Pour les AG de la catégorie spéciale, les conditions de protection contre la foudre doivent être choisies par le concepteur et ce choix spécifié dans la documentation de conception.

3.4.2.3 *Glace*

Aucune spécification minimale contre la glace n'est donnée pour les AG des catégories I à IV.

3.4.2.4 *Séismes*

Aucune spécification minimale contre les séismes n'est donnée pour les AG des catégories I à IV.

3.5 *Conditions du réseau électrique*

Les conditions au point d'interconnexion du réseau électrique avec la ligne de transmission de l'électricité doivent être prises en compte. Les paramètres limites de conception doivent être précisés dans la documentation de conception.

Variations in the climatic conditions within the normal limits which correspond to a one-year return period shall not interfere with the designed normal operation of the WTGS.

3.4.1 *Other normal environmental conditions*

The other normal environmental condition values which shall be taken into account are:

- a normal system operation ambient temperature range of $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- a relative humidity of 95 %;
- an atmospheric content equivalent to that of a non-polluted inland atmosphere;
- a solar radiation intensity of $1\,000\text{ W/m}^2$;
- a sea-level air density of $1,225\text{ kg/m}^3$ at $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

When additional external condition parameters are specified by the designer, these parameters and their values shall be stated in the design documentation and shall conform to the requirements of IEC 721-2-1.

3.4.2 *Other extreme environmental conditions*

Other extreme environmental conditions which shall be considered for WTGS design are temperature, lightning, ice and earthquakes.

3.4.2.1 *Temperature*

The design values for the extreme temperature range shall be at least $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ for WTGS designs in standard classes I through IV. Design values for temperature for turbines in the special class shall be selected in accordance with IEC 721-2-1.

3.4.2.2 *Lightning*

The provisions against lightning made in 6.2.9 may be considered as adequate for wind turbines in classes I through IV. For WTGS in the special class, design conditions for lightning protection shall be selected by the designer and the choice specified in the design documentation.

3.4.2.3 *Ice*

No minimum ice requirements are given for WTGS designs in the standard classes I through IV.

3.4.2.4 *Earthquakes*

No minimum earthquake requirements are given for WTGS designs in the standard classes I through IV.

3.5 *Electrical network conditions*

The electrical conditions at the interconnection with the electrical transmission line shall be considered. The design limits shall be specified in the design documentation.

3.5.1 Conditions normales du réseau électrique

Les conditions normales du réseau électrique s'appliquent lorsque ses paramètres au point d'interconnexion sont dans leurs limites normales de fonctionnement. Des variations lentes de fréquence du réseau de $\pm 2 \%$ et des variations de tension de $\pm 10 \%$ doivent être prises en compte (voir CEI 38).

3.5.2 Conditions extrêmes du réseau électrique

Les conditions extrêmes du réseau électrique s'appliquent quand les paramètres du réseau au point d'interconnexion sont en dehors de leurs limites normales de fonctionnement. Ces conditions sont provoquées par:

- les fluctuations de tension;
- les surtensions;
- les variations de fréquence;
- un déséquilibre de phase;
- la distorsion harmonique;
- les coupures;
- les pannes symétriques et asymétriques;
- les cycles de réenclenchement automatique.

Les coupures du réseau électrique doivent être estimées à 20 fois par an pour les catégories I à IV. La durée maximale de coupure doit être estimée à une semaine. Certains réseaux peuvent nécessiter des considérations particulières.

3.6 Conditions du sol

Le sol du site prévu doit être confirmé comme étant d'une nature satisfaisante. Les caractéristiques suivantes doivent être considérées:

- capacité de résistance aux charges statiques et dynamiques;
- niveaux de saturation d'eau;
- caractéristiques de pénétration de givre;
- caractéristiques d'expansion due à l'absorption d'eau et de givre;
- composition;
- drainage;
- emplacement et stabilité de la nappe phréatique;
- pente et stabilité.

La conception des fondations, pour résister aux charges appliquées à l'AG devra prendre en compte les propriétés du sol et la sismicité de l'emplacement.

3.5.1 *Normal electrical network conditions*

Normal electrical network conditions apply when the network parameters at the interconnection are within their normal operational ranges. Slow network frequency variations of $\pm 2\%$ and voltage variations of $\pm 10\%$ shall be taken into account (see IEC 38).

3.5.2 *Extreme electrical network conditions*

Extreme electrical network conditions apply when the network parameters at the utility interconnection are outside their normal operational ranges. These conditions are:

- voltage excursions;
- overvoltages;
- frequency deviations;
- phase imbalance;
- harmonic distortion;
- outages;
- symmetrical and unsymmetrical faults;
- auto-reclosing cycles.

Electrical network outages shall be assumed to occur 20 times a year for classes I through IV. The maximum outage duration shall be assumed to be one week. Some networks may require special consideration.

3.6 *Soil properties*

Soils at the proposed site should be confirmed to be of a satisfactory type. The following characteristics should be considered:

- load bearing strength for static and dynamic loads;
- water saturation levels;
- frost penetration characteristics;
- frost and water absorption expansion characteristics;
- composition;
- drainage;
- location and stability of ground water level;
- slope and stability.

The design of the foundations to resist the loads on the WTGS shall take account of the soil properties and seismicity of the location.

4 Conception de la structure

4.1 Généralités

La conception de la structure d'un AG doit être basée sur la vérification de l'intégrité de la structure des composants porteurs. La résistance ultime et à la fatigue des éléments de la structure doit être vérifiée par des essais ou calculs démontrant la sécurité structurelle de l'AG en fonction du niveau de sécurité préconisé.

La conception de la structure doit être basée, selon l'applicabilité, sur l'ISO 2394.

Un niveau de sécurité adéquat doit être déterminé et vérifié par des calculs ou essais qui démontrent que les charges de conception ne dépassent pas la résistance de conception.

Les calculs doivent être effectués en utilisant des méthodes de conception appropriées. Le niveau de charge dans tout essai doit refléter les facteurs de sécurité du calcul correspondant.

4.2 Méthodologie de conception

Il doit être vérifié que les états limites ne dépassent pas ceux de conception de l'AG. Des essais de modèle et de prototype peuvent aussi être utilisés au lieu des calculs pour vérifier la conception de la structure comme stipulé dans l'ISO 2394. Les états limites de résistance à prendre en considération sont:

- perte d'équilibre de la structure, ou de toute partie de l'AG considérée comme un corps rigide;
- défaillance suite à une déformation excessive, une rupture (y compris une rupture de fatigue), ou une perte de stabilité de la structure ou tout composant de la structure, y compris les supports et les fondations.

Les états limites de service à considérer comprennent les déformations, déplacements ou vibrations qui endommagent la structure ou limitent le fonctionnement sûr de l'AG.

4.3 Charges

Les charges décrites de 4.3.1 à 4.3.4 doivent être prises en considération pour les calculs de conception.

4.3.1 Charges d'inertie et de gravitation

Les charges d'inertie et de gravitation provoquent une charge statique et une charge dynamique de l'AG, due aux vibrations, rotations, à la gravité et à l'activité sismique.

4.3.2 Charges aérodynamiques

Les charges aérodynamiques sont des charges statiques et dynamiques provoquées par le flux de l'air et son interaction avec les pièces fixes et mobiles de l'AG.

Le flux de l'air dépend de la vitesse de rotation du rotor, la vitesse moyenne du vent à travers le plan du rotor, la turbulence, la densité de l'air, les formes aérodynamiques et leurs effets interactifs, y compris les effets aéroélastiques.

4.3.3 Charges de fonctionnement

Les charges de fonctionnement résultent de l'exploitation et de la régulation de l'AG. Elles sont de plusieurs types, par exemple la régulation de la vitesse du rotor, tel qu'une régulation du couple du rotor par orientation des pales ou d'autres mécanismes aéro-

4 Structural design

4.1 General

The WTGS structural design shall be based on a verification of the structural integrity of the load-carrying components. The ultimate and fatigue strength of the structural members of the WTGS shall be verified by testing or calculation to demonstrate the structural safety of a WTGS with the appropriate safety level.

The structural design should be based on ISO 2394 where applicable.

An acceptable safety level shall be ascertained and verified by calculations or tests to demonstrate that the design loading will not exceed the relevant design resistance.

Calculations shall be performed using appropriate design methods. The load level in any test shall reflect the factors of safety in the corresponding calculation.

4.2 Design methodology

It shall be verified that limit states are not exceeded for the wind turbine design. Model testing and prototype tests may also be used as a substitute for calculation to verify the structural design as specified in ISO 2394. Ultimate limit states which require consideration include:

- loss of equilibrium of the structure, or any part of the WTGS which is considered as a rigid body;
- failure by excessive deformation, fracture (including fracture induced by fatigue), or loss of stability of the structure or any part of it, including support and foundation.

Serviceability limit states which require consideration include deformations, deflections or vibrations which affect the structural integrity or safe operation of the WTGS.

4.3 Loads

Loads described in 4.3.1 through 4.3.4 shall be considered for the design calculations.

4.3.1 Inertial and gravitational loads

Inertial and gravitational loads result in static and dynamic loads acting on the WTGS, due to vibration, rotation, gravity and seismic activity.

4.3.2 Aerodynamic loads

Aerodynamic loads are static and dynamic loads which are caused by the airflow and its interaction with the stationary and moving parts of a WTGS.

The airflow is dependent upon the rotational speed of the rotor, the average wind speed across the rotor plane, the turbulence, the density of the air, and the aerodynamic shapes and their interactive effects, including aeroelastic effects.

4.3.3 Operational loads

Operational loads result from the operation and control of the WTGS. They are identified as being in several categories, for example, the control of rotor speed such as torque control by pitching of blades or other aerodynamic devices. They include drive train

dynamiques. Elles comprennent le freinage mécanique de la transmission et les charges transitoires dues aux arrêts et démarrages du rotor, la connexion et déconnexion du générateur et les charges pendant la régulation de l'orientation.

4.3.4 Autres charges

D'autres charges telles que celles provoquées par les ondes, les impacts, la glace, etc. peuvent apparaître et doivent être considérées selon leur incidence.

4.4 Situations de projet et cas de charge

Ce paragraphe définit la philosophie globale applicable au développement des cas de charge lors de la conception des AG et spécifie le nombre minimum de cas à considérer.

Pour les besoins de conception, la vie d'un AG peut être divisée en groupes de situations de projet représentant les conditions les plus significatives rencontrées par l'AG.

Les cas de charge doivent être déterminés à partir de la combinaison des conditions externes avec les situations de projet/modes de fonctionnement, les situations spécifiques d'assemblage, de montage et de maintenance. Tout cas de charge ayant une probabilité d'occurrence raisonnable dépendant du type d'AG doit être considéré, en combinaison avec le comportement du système de contrôle et protection.

En règle générale les cas de charge utilisés pour valider l'intégrité de la structure d'un AG peuvent être calculés avec les combinaisons suivantes:

- situations de projet normales et conditions externes normales;
- situations de projet normales et conditions externes extrêmes;
- situations de pannes et conditions externes appropriées;
- situations de transport, installation et maintenance, et conditions externes appropriées.

Si une corrélation entre une condition externe extrême et une situation de panne existe, une combinaison réaliste des deux doit être considérée comme un cas de conception.

Pour chaque situation de projet, plusieurs cas de charge doivent être utilisés pour vérifier l'intégrité structurelle des composants de l'AG. Au minimum, les cas de charge du tableau 2 doivent être utilisés. Dans ce tableau, les cas de charge pour chaque situation de projet sont précisés par la description des vitesses du vent et des conditions de la charge électrique.

D'autres cas de charge associés à la sécurité doivent être considérés, s'ils sont nécessaires à la conception de l'AG.

Pour chaque cas de charge, l'analyse appropriée (ultime ou fatigue, représentée dans le tableau 2 respectivement par les lettres U et F) est précisée.

Quand une analyse ultime est nécessaire, les facteurs partiels appropriés de sécurité des charges sont indiqués dans le tableau 2 par les symboles N, A, et T, correspondant respectivement aux charges normales et extrêmes, accidentelles, et transport et montage.

Les facteurs partiels de sécurité des charges sont donnés dans le tableau 3.

Quand une gamme de vitesses de vent est indiquée dans le tableau 2, il doit être tenu compte des vitesses de vent provoquant les conditions les plus sévères pour la conception de l'AG. La gamme peut être divisée en sous-groupes, une fraction appropriée de la vie de l'AG étant allouée à chaque sous-groupe. Dans la définition des cas de charge, l'indication des modèles de vent, décrits dans l'article 3, est donnée.

mechanical braking and transient loads, caused by rotor stopping and starting, generator connection and disconnection and yawing loads.

4.3.4 *Other loads*

Other loads such as wave loads, wake loads, impact loads, ice loads, etc. may occur and should be included where appropriate.

4.4 *Design situations and load cases*

This subclause describes the construction of design load cases of WTGS and specifies a minimum number to be considered.

For design purposes, the life of a WTGS can be classified by a set of design situations representing the most significant conditions which the WTGS may experience.

The load cases shall be determined from the combination of specific assembly, erection, maintenance, and operational modes/design situations with external conditions. All relevant load cases based upon the type of WTGS with a reasonable probability of occurrence shall be considered, together with the behaviour of the control and protection system.

Generally the design load cases used to determine the structural integrity of a WTGS may be calculated from the following combinations:

- normal design situations and normal external conditions;
- normal design situations and extreme external conditions;
- fault design situations and appropriate external conditions;
- transportation, installation and maintenance design situations and the appropriate external conditions.

If any correlation exists between an extreme external condition and a fault situation, a realistic combination of the two shall be considered as a design case.

Within each design situation several design load cases shall be considered to verify the structural integrity of the WTGS components. As a minimum, the design load cases in table 2 shall be considered. In that table, the design load cases are specified for each design situation by the description of the wind and electrical load conditions.

Other design load cases relevant for safety shall be considered, if required by the specific WTGS design.

For each design load case, the appropriate type of analysis (ultimate or fatigue, marked on table 2 by U and F respectively) is stated.

When an ultimate analysis is required, the appropriate partial safety factors for loads are indicated on table 2 by the symbols N, A and T, corresponding respectively with the normal and extreme, accidental and transport and erection loadings.

The partial safety factors for loads are given in table 3.

When a wind speed range is indicated in table 2, wind speeds leading to the most adverse condition for the WTGS design shall be considered. The range may be divided into a number of bins; an appropriate fraction of the WTGS life shall be allocated to each bin. In the definition of the design load cases, reference is made to the wind models described in clause 3.

Tableau 2 – Liste des cas de charge

Situation de projet	CDC	Conditions de vent	Autres conditions	Type d'analyse	Facteur partiel de sécurité
1 Production d'énergie	1.1	MTN $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}		U	N
	1.2	MTN $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	1)
	1.3	RCED $V_{hub} = V_r$		U	N
	1.4	PVN $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}	Panne électrique externe	U	N
	1.5	REF ₁ $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}	Perte de connexion électrique	U	N
	1.6	REF ₅₀ $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}		U	N
	1.7	CEV $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}		U	N
	1.8	CED ₅₀ $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}		U	N
	1.9	RCE $V_{hub} = V_r$		U	N
2 Production d'énergie + incidence de panne	2.1	PVN $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}	Panne du système de contrôle ou de protection	U	A
	2.2	PVN $V_{hub} = V_r$	Panne électrique interne	U	A
	2.3	MTN $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Panne du système de contrôle ou de protection	F	1)
3 Démarrage	3.1	PVN $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	1)
	3.2	REF ₁ $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}		U	N
	3.3	CED ₁ $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}		U	N
4 Coupure normale	4.1	PVN $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	1)
	4.2	REF ₁ $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}		U	N
5 Coupure d'urgence	5.1	PVN $V_{hub} = V_r$ ou V_{out}		U	A
6 Immobilisé (à l'arrêt ou au ralenti)	6.1	MVE $V_{hub} = V_{e50}$	Perte possible de connexion	U	N
	6.2	MTN $V_{hub} < V_{e1}$		F	1)
7 Immobilisé + conditions de panne	7.1	MVE $V_{hub} = V_{e1}$		U	A
8 Transport, assemblage, maintenance et réparation	8.1	Défini par le constructeur		U	T

NOTE – CDC Cas de charge
 CED Changement extrême de direction (voir 3.3.2)
 CVE Cisaillement extrême du vent (voir 3.3.2)
 MTN Modèle de turbulence du vent normale (voir 3.3.1)
 MVE Modèle de vitesse de vent extrême (voir 3.3.2)
 PVN Modèle de profil du vent normal (voir 3.3.1)
 RCE Rafale cohérente extrême (voir 3.3.2)
 RCED Rafale cohérente extrême avec changement de direction (voir 3.3.2)
 REF Rafale extrême en fonctionnement (voir 3.3.2)
 Indice Fréquence d'occurrence en années
 F Fatigue
 U Ultime
 N Normal et extrême
 A Accidentel
 T Transport et montage
 1) Voir 4.6.3

Table 2 – List of load cases

Design situation	DLC	Wind conditions	Other conditions	Type of analysis	Partial safety factors
1 Power production	1.1	NTM $V_{hub} = V_r$ or V_{out}		U	N
	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	1)
	1.3	ECD $V_{hub} = V_r$		U	N
	1.4	NWP $V_{hub} = V_r$ or V_{out}	External electrical fault	U	N
	1.5	EOG ₁ $V_{hub} = V_r$ or V_{out}	Loss of electrical connection	U	N
	1.6	EOG ₅₀ $V_{hub} = V_r$ or V_{out}		U	N
	1.7	EWS $V_{hub} = V_r$ or V_{out}		U	N
	1.8	EDC ₅₀ $V_{hub} = V_r$ or V_{out}		U	N
	1.9	ECG $V_{hub} = V_r$		U	N
2 Power production plus occurrence of fault	2.1	NWP $V_{hub} = V_r$ or V_{out}	Control or protection system fault	U	A
	2.2	NWP $V_{hub} = V_r$	Internal electrical fault	U	A
	2.3	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Control or protection system fault	F	1)
3 Start-up	3.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	1)
	3.2	EOG ₁ $V_{hub} = V_r$ or V_{out}		U	N
	3.3	EDC ₁ $V_{hub} = V_r$ or V_{out}		U	N
4 Normal shutdown	4.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	1)
	4.2	EOG ₁ $V_{hub} = V_r$ or V_{out}		U	N
5 Emergency shutdown	5.1	NWP $V_{hub} = V_r$ or V_{out}		U	A
6 Parked (standing still or idling)	6.1	EWM $V_{hub} = V_{e50}$	Possibly loss of electrical network	U	N
	6.2	NTM $V_{hub} < V_{e1}$		F	1)
7 Parked and fault conditions	7.1	EWM $V_{hub} = V_{e1}$		U	A
8 Transport, assembly, maintenance and repair	8.1	To be stated by the manufacturer		U	T
NOTE – DLC Design load case ECD Extreme coherent gust and direction change (see 3.3.2) ECG Extreme coherent gust (see 3.3.2) EDC Extreme direction change (see 3.3.2) EOG Extreme operating gust (see 3.3.2) EWM Extreme wind speed model (see 3.3.2) EWS Extreme wind shear (see 3.3.2) Subscript Recurrence period in years NTM Normal turbulence model (see 3.3.1) NWP Normal wind profile model (see 3.3.1) F Fatigue U Ultimate N Normal and extreme A Accidental T Transport and erection 1) See 4.6.3					

4.4.1 Production d'énergie (CDC 1.1 - 1.9)

Dans cette situation de conception l'AG est en fonctionnement et connecté à la charge électrique. La configuration supposée de l'AG doit tenir compte également des variations par rapport au mode théorique optimal de fonctionnement. Au minimum les situations suivantes doivent être envisagées.

- Déséquilibre du rotor (masse et aérodynamique)
Le déséquilibre des masses maximales et les variations d'angle de calage maximales spécifiées pour la fabrication des rotors doivent être utilisées dans les calculs de conception.
- Non-alignement de l'orientation (seulement pour EAH)
Les calculs de conception doivent tenir compte de la fréquence, la durée et la valeur moyenne du non-alignement de l'orientation ainsi que de la vitesse de changement d'orientation.
- Sillons des AG voisins
Le niveau de turbulence augmenté dans les installations multiples doit être pris en compte en choisissant la catégorie de l'AG.
- Le terrain montagneux peut causer une augmentation de la vitesse du vent ainsi qu'un changement de turbulence.
Cet effet doit être pris en compte en choisissant la catégorie exacte de l'AG pour de tels environnements.

Quand un AG à axe horizontal change d'orientation, les effets d'inertie et aérodynamiques peuvent provoquer plusieurs charges. Pour réunir tous ces facteurs dans un seul cas de charge, la situation de changement extrême de direction 1.8 doit être considérée. La position du début de changement et la direction de changement d'orientation la plus sévère doit être supposée dans les calculs.

Dans CDC 1.4, une panne électrique externe a lieu. Dans CDC 1.5, il y a une perte de connexion au réseau électrique.

4.4.2 Production d'énergie + incidence de pannes (CDC 2.1 – 2.3)

Toute panne du système de contrôle ou de protection, ou panne interne dans le système électrique, ayant une incidence sur les charges de l'AG (par exemple, un court-circuit du générateur), doit être supposée se produire pendant la production d'énergie. Si la panne ne provoque pas une coupure immédiate et si les modifications de charge peuvent provoquer des dégâts de fatigue considérables, la durée estimée des conditions anormales de fonctionnement doit être évaluée.

4.4.3 Démarrage (CDC 3.1 – 3.3)

Cette situation de conception comprend tous les événements engendrant des charges sur l'AG lors d'une transition d'un état d'arrêt ou ralenti vers un état de production d'énergie.

4.4.4 Coupure normale (CDC 4.1 – 4.2)

Cette situation de conception comprend tous les événements engendrant des charges sur l'AG lors d'une transition normale de la phase de production d'énergie vers l'arrêt ou le ralenti.

4.4.1 Power production (DLC 1.1 – 1.9)

In this design situation, the WTGS is running and connected to the electric load. The assumed WTGS configuration shall also take into account the deviations from the theoretical optimum operating situation. As a minimum, the following assumptions shall be made.

- Rotor (mass and aerodynamic) imbalance
The maximum mass imbalance and the maximum pitch angle deviations specified for rotor manufacturing shall be used in the design calculations.
- Yaw misalignment (only for HAWT)
The design calculations shall take into account the frequency, duration and average value of yaw misalignment, as well as the rate of yaw motions.
- Wakes from neighbouring turbines
The increased turbulence level within turbine arrays (wind power stations) shall be taken into account when selecting wind turbine class.
- Hilly terrain can cause both an increase in wind speed and changes in turbulence.
This shall be taken into account when selecting the correct turbine class for such environments.

When a horizontal axis WTGS is yawing, several loads are a consequence of both inertia and aerodynamic effects. To concentrate these problems into only one design load case, the extreme direction change condition DLC 1.8 shall be considered. The worst yaw directions and yaw starting positions shall be assumed in the calculations.

In DLC 1.4, an external electrical fault occurs. In DLC 1.5, there is a loss of electrical connection to the network.

4.4.2 Power production plus occurrence of fault (DLC 2.1 – 2.3)

Any fault in the control or protection systems, or internal fault in the electrical system, significant for the WTGS loading (such as generator short circuit), shall be assumed to occur during power production. If the fault does not cause an immediate shutdown and the loading can lead to significant fatigue damage, the likely duration of the abnormal operating condition shall be evaluated.

4.4.3 Start-up (DLC 3.1 – 3.3)

This design situation includes all the events resulting in loads on the WTGS during the transients from any standstill or idling situation to power production.

4.4.4 Normal shutdown (DLC 4.1 – 4.2)

This design situation includes all the events producing loads on the WTGS during normal transient situations from a power production situation to a stand-still or idling condition.

4.4.5 *Coupure d'urgence (CDC 5.1)*

Les charges suite à une coupure d'urgence doivent être prises en compte.

4.4.6 *AG immobilisé (à l'arrêt ou au ralenti) (CDC 6.1 – 6.2)*

Les charges sur un AG immobilisé qui peut être dans une situation d'arrêt ou au ralenti doivent être prises en compte avec les conditions de vitesse extrême du vent. Si certains composants peuvent subir des dégâts de fatigue (par exemple par le poids propre des pales au ralenti), le nombre estimé d'heures sans production d'énergie à chaque vitesse appropriée du vent, doit être considéré également. Quand la situation d'immobilisation a été causé par perte de réseau électrique, la possibilité d'état incorrect d'immobilisation doit être considérée.

4.4.7 *AG immobilisé plus conditions de pannes (CDC 7.1)*

Les déviations de comportement normal d'un AG immobilisé, suite à des pannes dans le réseau électrique ou de l'AG, nécessiteront une analyse spéciale. Quand une panne quelconque (dans l'AG ou dans une source de puissance externe) produit des déviations de comportement normale de l'AG immobilisé, les conséquences possibles doivent faire l'objet d'une analyse spéciale. Les conditions de panne doivent être combinées avec le modèle de vent extrême (MVE) et un temps de répétition de 1 an.

4.4.8 *Transport, assemblage, maintenance et réparation (CDC 8.1)*

Le constructeur doit préciser toutes les conditions de vent admises pour le transport, l'assemblage, la maintenance et la réparation de l'AG. Les conditions maximum de vent admises doivent être évaluées dans la conception de l'AG si elles provoquent des charges significatives.

4.5 *Calculs de charges*

Les phénomènes physiques suivants doivent être considérés pour les calculs des cas de charge:

- l'influence de la tour ou d'autres perturbations de la vitesse du vent dues à l'AG lui-même;
- les effets aérodynamiques (perturbations locales, irrégularités aérodynamiques, etc.);
- les forces de gravité ;
- d'autres forces d'inertie (centrifuges, gyroscopiques, de coriolis etc.);
- les excitations dynamiques et le couplage des modes vibratoires;
- les effets aéroélastiques.

Toutes les combinaisons appropriées de ces effets doivent être évaluées en prenant en compte le comportement des systèmes de contrôle et protection de l'AG.

Pour les AG de la catégorie I à IV incluse, les variations normales du réseau électrique doivent être prises en compte lors des calculs de charge.

4.4.5 *Emergency shutdown (DLC 5.1)*

Loads arising from emergency shutdown shall be considered.

4.4.6 *Parked WTGS (standstill or idling) (DLC 6.1 – 6.2)*

The rotor of a parked WTGS which may be either in a standstill or idling condition shall be considered with the extreme wind speed condition. If significant fatigue damage can occur to some components (i.e. deadweight of idling blades), the expected number of hours of non-power-production time at each appropriate wind speed shall also be considered. In case the parking was caused by loss of electrical network, the possibility of the parking status being incorrect shall be considered.

4.4.7 *Parked WTGS plus fault conditions (DLC 7.1)*

Normal behaviour deviations of a parked WTGS, resulting from faults on the electrical network or in the WTGS, shall require a special analysis. If any fault (either in the WTGS or in any external power supply) produces deviations from the normal behaviour of the WTGS in parked situations, the possible consequences shall be the subject of a special analysis. The fault conditions shall be combined with the extreme wind speed model (EWM) and a recurrence period of 1 year.

4.4.8 *Transport, assembly, maintenance and repair (DLC 8.1)*

The manufacturer shall state all the wind conditions allowed for transport, assembly, maintenance and repair of the WTGS. The maximum allowed wind conditions shall be considered for the design if it can produce significant loadings on the WTGS.

4.5 *Load calculations*

The following physical phenomena shall be considered in the calculations for each design load case:

- tower shadow or other perturbations on the wind inflow due to the WTGS itself;
- aerodynamic effects (local downwash, unsteady aerodynamics, etc.);
- gravity forces;
- other inertia forces (centrifugal, gyroscopic, coriolis, etc.);
- dynamic excitations and coupling of modes of vibration;
- aeroelastic effects

All the appropriate combinations of these effects shall be considered taking into account the behaviour of the control and protection system of the WTGS.

In classes I through IV, normal variations of the electrical network shall be considered for load calculations.

4.6 Facteurs partiels de sécurité

4.6.1 Généralités

Un traité étendu des principes de conception selon les états limites est donné dans l'ISO 2394. En voici un bref résumé.

Le but des calculs de conception est de maintenir la probabilité d'atteindre un état limite en dessous d'une certaine valeur prescrite pour le type de structure en question, ici un AG.

La condition de conception d'un état limite qui ne peut pas être dépassé est exprimé normalement par:

$$R(f_k/\gamma_m) \geq S/\gamma_f F_k \quad (21)$$

où

$R(^{\circ})$ est la fonction résistante de conception;

$S(^{\circ})$ est la fonction sollicitante de conception;

f_k est la résistance caractéristique;

F_k est la charge caractéristique ou représentative.

Pour calculer les valeurs des charges de calcul à partir des valeurs représentatives, des facteurs partiels sont appliqués aux charges et aux effets des charges, pour tenir compte, entre autres, de l'incertitude possible des valeurs représentatives spécifiées, de la probabilité réduite que des charges différentes agissant simultanément atteignent leurs valeurs caractéristiques, et de l'incertitude dans la dérivation du comportement d'une structure par rapport au modèle de conception.

De la même façon, des facteurs partiels sont appliqués à la résistance calculée de la structure aux effets de charge, pour tenir compte, entre autres, de l'incertitude de la valeur caractéristique de contrainte du matériau dans la structure, de l'incertitude dans la dérivation de la résistance de la structure à partir de la résistance du matériau et des tolérances dans la fabrication.

D'autres facteurs peuvent être appliqués pour tenir compte de la nature de la structure, tels que sa propension à l'instabilité aux défaillances soudaines ou cassantes, et des conséquences d'une défaillance quelconque.

En pratique, dans cette norme, ces facteurs sont résumés en deux:

γ_f appliqué aux charges;

γ_m appliqué à la résistance des matériaux.

4.6.2 Catégories de composants

Les composants doivent être classifiés par conséquences de défaillance, de la manière suivante:

- composants de structure à «sûreté intégrée» dont la défaillance ne provoque pas la défaillance d'un élément vital de l'AG (catégorie I);
- composants de structure sans «sûreté intégrée» dont la défaillance aboutit rapidement à la défaillance d'un élément vital de l'AG (catégorie II).

Des valeurs différentes pour γ_m doivent être utilisées dans les analyses de fatigue de chaque catégorie de composant, décrites en 4.6.3.2.

4.6 Partial safety factors

4.6.1 General

A comprehensive treatment of the principles of limit state design can be found in ISO 2394. Here only a very short review is given.

The purpose of design calculations is to keep the probability of a limit state being reached below a certain value prescribed for the type of structure in question, here a WTGS.

The design condition for a limit state not to be exceeded is usually expressed by:

$$R (f_k/\gamma_m) \geq S/\gamma_f F_k \quad (21)$$

where

$R(^{\circ})$ is the design resistance function;

$S(^{\circ})$ is the design load function;

f_k is the characteristic strength;

F_k is the characteristic or representative load.

To calculate load design values from the chosen representative values, partial coefficient factors are applied to loads or their effects to account for amongst other factors the possible uncertainty in their specified representative values, for the reduced probability that various loadings acting together will simultaneously reach their characteristic values and for the uncertainty in deriving the behaviour of the structure from that of the design model.

Similarly, partial coefficient factors are applied to the calculated resistance to the loading effects to account for amongst other factors the uncertainty of the characteristic value of the material strength in the structure, for the uncertainty in deriving the strength of the structure from that of the material and for manufacturing tolerances.

Other factors can be applied to take account of the nature of a structure, such as its propensity to sudden or brittle failure or to instability, and of the consequences of any failure.

In this standard, these factors are combined into two:

γ_f applied to loads;

γ_m applied to material strength.

4.6.2 Component classes

Components are to be classified by consequence of failure as follows:

- "fail-safe" structural components whose failure does not result in the failure of a major part of the WTGS (class I);
- non "fail-safe" structural components whose failure leads rapidly to the failure of a major part of the WTGS (class II).

Different values for γ_m shall be used in fatigue analysis of each component class as noted in 4.6.3.2.

4.6.3 Facteurs partiels de sécurité – Code de conception reconnu

Pour déterminer l'intégrité structurelle des éléments d'un AG, des codes de conception nationaux ou internationaux pour les matériaux peuvent être utilisés. Cependant les facteurs partiels de sécurité ne doivent pas être inférieurs à ceux spécifiés dans les paragraphes suivants.

Lorsque les facteurs partiels de sécurité des codes de conception nationaux ou internationaux sont utilisés en combinaison avec les facteurs partiels de sécurité de cette norme, des précautions spéciales doivent être prises afin de garantir que le niveau de sécurité ne soit pas inférieur à celui de cette norme.

4.6.3.1 Facteurs partiels de sécurité des charges

Analyses de charges ultimes

Quand les charges de sources diverses peuvent être évaluées séparément les facteurs suivants doivent être utilisés:

Tableau 3 – Facteurs partiels de sécurité des charges

Source de charge	Charges défavorables			Charges favorables
	Type de charges (voir tableau 2)			Toutes charges
	Normale et extrême	Accidentelle	Transport et montage	
Aérodynamique	1,3	1,0	1,5	0,9
Fonctionnelle	1,4	1,0	1,5	0,9
Gravité	1,1	1,0	1,2	0,9
Autres inerties	1,2	1,0	1,3	0,9

Dans beaucoup de cas, les charges provenant de sources différentes ne peuvent pas être évaluées séparément, c'est-à-dire la méthode des facteurs partiels ne peut être utilisée directement, parce que la présence d'un équilibre des différents composants de charge est nécessaire pour évaluer l'état de l'AG.

Le calcul des tensions et résultantes de tensions doit être effectué avec les combinaisons de charges correspondant aux valeurs représentatives ou caractéristiques. Dans ce cas, une variation systématique des paramètres incertains des équations directrices doit être effectuée d'une manière qui garantit le maintien du niveau de sécurité défini implicitement par les facteurs partiels de sécurité du tableau 3. Comme alternative, le facteur partiel le plus élevé du tableau, applicable au cas de charge étudié, peut être utilisé pour le calcul des tensions ou résultantes de tensions c'est-à-dire 1,4 pour normale ou extrême, 1,0 pour accidentelle et 1,5 pour transport et montage.

Analyse de fatigue

La valeur de γ_f doit être égale à 1,0 pour toutes les charges.

Analyses des états limites de service

La valeur de γ_f doit être égale à 1,0 pour toutes les charges.

4.6.3 Partial safety factors where recognized design codes are available

In determining the structural integrity of the elements of a WTGS, national or international design codes for the relevant material may be employed, but the partial safety factors for normal safety class WTGS shall not be less than those specified in the following subclauses.

Special care shall be taken when partial safety factors from national or international design codes are used together with partial safety factors from this standard. It shall be ensured that the resulting safety level is not less than the intended safety level in this standard.

4.6.3.1 Partial safety factors for loads

Ultimate load analysis

Where the loads from various sources can be evaluated separately, the factors shall have the following values as a minimum.

Table 3 – Partial safety factors for loads

Source of loading	Unfavourable loads			Favourable loads
	Type of loading (see table 2)			All loading
	Normal and extreme	Accidental	Transport and erection	
Aerodynamic	1,3	1,0	1,5	0,9
Operational	1,4	1,0	1,5	0,9
Gravity	1,1	1,0	1,2	0,9
Other inertia	1,2	1,0	1,3	0,9

In many cases, the loads from the various sources cannot be evaluated separately, i.e. the method of partial factors cannot be directly used, because different load components must be in equilibrium to determine the state of the wind turbine.

The computation of stresses and stress resultants shall then be performed with the resulting combined loading corresponding to the representative or characteristic values. In this case, systematic variation of the uncertain parameters of the governing equations shall be performed in such a way that the level of safety implicitly defined by the partial safety factors in table 3 is maintained. Alternatively, the highest of the partial factors given in the table applicable to the particular loading case under consideration may be applied to stresses or stress resultants – i.e. 1,4 for normal and extreme, 1,0 for accidental and 1,5 for transport and erection.

Fatigue analysis

The value of γ_f shall be 1,0 for all loads.

Serviceability analysis

The value of γ_f shall be 1,0 for all loads.

4.6.3.2 Facteurs partiels de sécurité – Résistance des matériaux

Analyses des charges ultimes et états limites de service

Les valeurs de γ_m doivent être celles précisées dans les codes cités en 4.6.3, à condition que la résistance des matériaux préconisée dans les codes soit basée sur une probabilité de survie d'au moins 95 % avec une limite de confiance de 95 %. En général, ils ne doivent pas être inférieurs à 1,15.

Analyse de fatigue

Les valeurs de γ_m pour la catégorie de sécurité normale d'AG doivent être celles indiquées ci-dessous, à condition que la résistance à la fatigue préconisée dans les codes soit basée sur une probabilité de survie d'au moins 95 % avec une limite de confiance de 95 %. La résistance à la fatigue doit être calculée à partir des statistiques d'essais significatives, et la dérive par rapport aux valeurs caractéristiques doit tenir compte des effets d'échelle, des tolérances, des dégradations dues aux actions externes, telles que les rayons ultra-violet, et les défauts non décelés en temps normal.

Composant catégorie 1: à sûreté intégrée 1,0

Composant catégorie 2: sans sûreté intégrée 1,25

4.6.4 Facteurs partiels de sécurité sans code de conception reconnu

Quand les codes de conception reconnus ne sont pas disponibles, les facteurs partiels de sécurité suivants doivent être utilisés.

4.6.4.1 Facteurs partiels de sécurité des charges

Ceux-ci doivent être comme spécifiés en 4.6.3.1.

4.6.4.2 Facteurs partiels de sécurité résistance des matériaux

Ceux-ci doivent être déterminés en fonction de la disponibilité des données relatives aux essais des matériaux. Les valeurs caractéristiques provenant de ces données doivent tenir compte des effets d'échelle, des tolérances, des dégradations dues aux actions externes, par exemple les rayons ultra-violet, l'humidité et les défauts non détectés en temps normal. Les facteurs partiels de sécurité ne doivent pas être inférieurs aux valeurs spécifiées en 4.6.3.2.

4.6.5 Conception de tension sûre

Le facteur de sécurité ne doit pas être inférieur à la combinaison des facteurs partiels de sécurité spécifiés en 4.6.3 quand une procédure de conception de tension sûre relative aux charges ultimes est employée.

4.6.6 Facteurs partiels de sécurité spéciaux

Des facteurs partiels de sécurité des charges inférieurs peuvent être adoptés quand l'amplitude des charges a été établie, par des mesures ou analyses confirmées par des mesures, avec un taux de confiance plus élevé que la normale.

Les valeurs des facteurs partiels de sécurité doivent être précisées dans la documentation de conception.

4.6.3.2 *Partial safety factors for material strength*

Ultimate load and serviceability analysis

The values of γ_m shall be those specified in the codes referred to in 4.6.3 provided that material strengths stated in the codes are based on not less than 95 % survival probabilities with 95 % confidence limits. In general they shall not be less than 1,15.

Fatigue analysis

The values of γ_m for normal safety class WTGS shall be as given below provided that the fatigue strengths stated in the codes are based on not less than 95 % survival probabilities with 95 % confidence limits. The fatigue strengths shall be derived from a statistically significant number of tests and the derivation of characteristic values shall account for scale effects, tolerances, degradation due to external actions, such as ultraviolet radiation, and defects which would not normally be detected.

Class 1 component: fail safe 1,0

Class 2 component: non-fail safe 1,25

4.6.4 *Partial safety factors where recognized design codes are not available*

Where recognized design codes are not available, the following partial safety factors shall be used.

4.6.4.1 *Partial safety factors for loads*

These shall be as specified in 4.6.3.1.

4.6.4.2 *Partial safety factors for material strength*

These shall be determined in relation to the adequacy of the available material properties test data. Characteristic values derived from such data shall account for scale effects, tolerances, degradation due to external actions, i.e. ultraviolet radiation, humidity and defects which would not normally be detected. The partial safety factors shall not be less than those specified in 4.6.3.2.

4.6.5 *Safe stress design*

The factor of safety shall be not less than the combination of the partial safety factors specified in 4.6.3 when a safe stress design procedure related to ultimate load is used.

4.6.6 *Special partial safety factors*

Lower partial safety factors for loads may be used where the magnitudes of loads have been established by measurement or by analysis, confirmed by measurement, to a higher than normal degree of confidence.

The values of the partial safety factors shall be stated in the design documentation.

5 Systèmes de contrôle et de protection

5.1 Généralités

Le fonctionnement et la sécurité des AG doivent être gérés par un système de contrôle et de protection qui satisfasse aux exigences de cet article.

L'intervention manuelle ou automatique ne doit pas compromettre le fonctionnement du système de protection.

Des mesures doivent être prises pour éviter la modification non autorisée des réglages du système de protection.

Une défaillance quelconque dans les composants détectants ou activants du système de contrôle ne doit pas entraîner de dysfonctionnement du système de protection.

5.2 Contrôle de l'aérogénérateur

Le système de contrôle de l'AG doit contrôler le fonctionnement par des moyens actifs ou passifs et maintenir les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de leurs limites normales.

Le système de contrôle doit diriger des fonctions ou paramètres tels que:

- la limitation de la puissance;
- la vitesse de rotation;
- la connexion de la charge électrique;
- les procédures de démarrage et de coupure;
- la coupure en cas de perte de réseau ou charge électrique;
- les limites de vrillage des câbles;
- l'orientation vers le vent.

5.3 Protection de l'aérogénérateur

Le système de protection de l'AG doit être activé lorsque l'AG n'est pas maintenu à l'intérieur de ses limites normales de fonctionnement à cause d'une défaillance du système de contrôle ou par des conséquences d'une défaillance interne ou externe ou d'un événement dangereux. Le système de protection doit maintenir alors l'AG dans une condition sûre. Les niveaux d'activation du système de protection doivent être ajustés de façon que les limites de conception ne soient pas dépassées.

Les cas provoquant le déclenchement du système de protection doivent être:

- une vitesse excessive du rotor;
- une surcharge ou panne du générateur;
- une vibration excessive;
- le défaut d'arrêt suite à une perte du réseau ou déconnexion du réseau, ou perte de charge électrique;
- un vrillage anormal des câbles (dû à la rotation de la nacelle en orientant vers le vent).

5 Control and protection systems

5.1 General

The WTGS operation and safety shall be governed by a control and a protection system which meet the requirements of this clause.

Manual or automatic intervention shall not compromise the function of the protection system.

Settings of the control and protection system shall be protected against unauthorized interference.

Any single failure in the sensing or the activation parts of the control system shall not lead to a malfunction of the protection system.

5.2 Wind turbine control

The control system of the WTGS shall control the operation by active or passive means and keep the operating parameters within their normal limits.

The control system may govern functions or parameters such as:

- power limitation;
- rotor speed;
- connection of the electrical load;
- start-up and shutdown procedures;
- shutdown at loss of electrical network or electrical load;
- cable twist limits;
- alignment to the wind.

5.3 Wind turbine protection

The protection system of WTGS shall be activated when, as a result of control system failure or of the effects of an internal or external failure or of a dangerous event, the WTGS is not kept within its normal operation limits. The protection system shall then maintain the WTGS in a safe condition. The activation levels for the protection system shall be set in such a way that design limits are not exceeded.

The protection system shall be activated in such cases as:

- overspeed;
- generator overload or fault;
- excessive vibration;
- failure to shut down following network loss, disconnection from the network or loss of load;
- abnormal cable twist (due to nacelle rotation by yawing).

Le système de protection doit être conçu pour un fonctionnement à sûreté intégrée. En général, le système de protection doit être capable de protéger l'AG dans tous les cas de défaillance isolés ou de défaut d'une source d'alimentation ou d'un composant à durée de vie limitée du système de protection.

Deux ou davantage de défaillances interdépendantes ou ayant une cause commune doivent être traitées comme une seule défaillance.

Chaque composant non redondant du système de protection doit être conçu pour les charges de fatigue et les charges ultimes et doit subir les exigences de 5.4.

5.4 Exigences de fonctionnement du système de contrôle et de protection

Le système de protection doit comprendre un ou plusieurs systèmes (mécaniques, électriques ou aérodynamiques) capables d'arrêter le rotor ou de l'amener au ralenti depuis toute situation de fonctionnement. Au moins un des systèmes de freinage doit agir sur l'arbre à basse vitesse ou sur le rotor de l'AG.

Des mesures doivent être prises pour réduire les risques suite à des défaillances latentes. Les systèmes et composants à durée de vie limitée doivent conserver une condition sûre en cas de défaillance ou subir un suivi automatique de leur état; dans les deux cas, leur défaillance doit provoquer une coupure de la machine. Les composants à sûreté intégrée doivent être inspectés à des intervalles appropriés.

Une commande d'arrêt d'urgence doit être présente, elle doit avoir priorité sur le système automatique de contrôle pour provoquer un arrêt de la machine.

En cas de conflit, la fonction de protection doit primer sur la fonction de contrôle.

Le redémarrage automatique de l'AG ne doit pas être possible si l'arrêt a été provoqué par une défaillance interne ou un dispositif de déclenchement pour un cas critique au maintien de la sécurité de l'AG.

The protection system shall be designed for fail-safe operation. The protection system shall in general be able to protect the WTGS from any single failure or fault in a power source or in any non-safe-life component within the protection system.

If two or more failures are interdependent or have a common cause, they shall be treated as a single failure.

All non-redundant components of the protection system shall be designed for fatigue and ultimate loads and meet the requirements of 5.4.

5.4 *Functional requirements of the control and protection system*

The protection system shall include one or more systems (mechanical, electrical or aerodynamic) capable of bringing the rotor to rest or to an idling state from any operating condition. At least one of these shall act on the low speed shaft or on the rotor of the WTGS.

Measures shall be taken to reduce the risk from dormant failures. Non-safe-life components and systems shall fail to a safe condition or their condition shall be automatically monitored; in either case their failure shall initiate a machine shutdown. Safe-life designed components shall be inspected at adequate intervals.

Emergency stop button(s) shall be provided which will override the automatic control system and initiate a machine shutdown.

In cases of conflict, the protection function shall overrule the control function.

The automatic restart of the wind turbine shall not be possible where the shutdown was initiated by an internal fault or trip which is critical to the turbine safety.

6 Système électrique

6.1 Généralités

Le système électrique d'une installation (multiple) d'AG comprend:

- tout équipement électrique installé dans chaque AG individuel, le disjoncteur principal inclus; ceci sera appelé ci-après «le sous-système électrique de l'AG»;
- le système électrique qui ramasse la puissance de chaque AG de l'installation du site et la fournit dans le réseau électrique ou la charge électrique; ceci sera appelé en ce qui suit «le système de collecte de puissance». Un transformateur entre le système de collecte de puissance et le réseau n'est pas considéré comme une partie du système de collecte de puissance.

6.2 Stipulations générales pour le système électrique

Le système de collecte de puissance d'un AG doit être conçu pour minimiser les dangers pour les personnes et animaux, ainsi que les dommages pouvant intervenir sur le système électrique connecté pendant l'exploitation, l'immobilisation et la maintenance d'un AG, dans toutes les conditions spécifiques d'environnement du site.

Le système électrique, comprenant tout l'équipement électrique et composants, doit se conformer aux normes CEI correspondantes et doit être apte pour la centrale éolienne.

La conception du système électrique entier doit garantir que l'AG est maintenu dans un état sûr dans les conditions normales et extrêmes du réseau électrique.

6.2.1 Sélection des équipements électriques

Tous les équipements électriques utilisés dans le système électrique d'un AG doivent se conformer aux normes CEI appropriées et doivent résister à toutes les conditions de conception prévues sur le site d'accueil, ainsi qu'au cycle de fonction et aux contraintes mécaniques, chimiques et thermiques affectant l'AG pendant son fonctionnement.

Si, toutefois, un élément de l'équipement électrique ne possède pas, de par sa conception, les attributs correspondant à son emplacement, il pourra être utilisé à condition qu'une protection additionnelle adéquate soit fournie par l'ensemble des constituants du système électrique de l'AG.

Quand des influences externes différentes se produisent simultanément, leurs effets peuvent être indépendants de chacune, ou avoir des interactions mutuelles. Un niveau adéquat de protection de chaque élément d'équipement électrique doit être choisi en conséquence.

La caractéristique nominale de l'équipement électrique doit être de nature à s'accommoder également du courant et de la tension statique et dynamique qu'il pourrait rencontrer pendant les conditions normales de fonctionnement ou de défaillances.

6.2.2 Compatibilité électromagnétique

Chaque composant électrique doit avoir le niveau approprié de protection contre les perturbations électromagnétiques (voir la série de la CEI 1000). Tout équipement électrique doit être sélectionné pour éviter des effets nocifs sur d'autres composants du système électrique.

6 Electrical system

6.1 General

The electrical system of a (multiple) WTGS installation comprises:

- all electrical equipment installed in each individual WTGS up to and including the WTGS main switch; in the following referred to as "WTGS electrical sub-system";
- the electrical system, that collects the power from each and every WTGS of the site installation and feeds it into the electrical network or the electrical load; in the following referred to as "power collection system". A possible step-up transformer between the power collection system and the network is not considered a part of the power collection system.

6.2 General requirements for the electrical system

The design of the electrical system shall ensure minimal hazards to people and livestock as well as minimal potential damage to the connected electrical system during operation, parking and maintenance of the WTGS under all site-specific environmental conditions.

The electrical system including all electrical equipment and components shall comply with the relevant IEC standards and shall be suitable for the wind power station.

The design of the complete electrical system shall ensure that the WTGS is maintained in a safe state under normal and extreme electrical network conditions.

6.2.1 Selection of electrical equipment

Every item of electrical equipment used in the electrical system shall comply with the relevant IEC standards, and shall be able to withstand all the design conditions assumed for the installation site, as well as the duty cycle and the mechanical chemical and thermal stresses to which the system may be subject during operation.

If, however, an item of electrical equipment does not have by design the properties corresponding to its location, it may be used on condition that adequate additional protection is provided as part of the complete electrical system.

When different external influences occur at the same time, their effects may be independent of one another, or have mutual interactions. Therefore, an adequate level of protection of each item of electrical equipment shall be chosen.

The rating of electrical equipment shall be capable of accommodating both the steady-state and transient voltage and current which it may experience during normal operations and fault conditions.

6.2.2 Electromagnetic compatibility

Every electrical component shall have an appropriate level of immunity from electromagnetic disturbances (see the series IEC 1000). All electrical components shall be selected so that they will not cause harmful effects on other components within the complete electrical system.

6.2.3 *Protection contre les contacts directs ou indirects*

6.2.3.1 *Généralités*

La protection des personnes et animaux contre les dangers de contacts directs ou indirects avec des pièces sous tension de l'AG doit être assurée par la conception des équipements électriques (CEI 364 pour les systèmes fonctionnant en dessous de 1 000 V CA ou 1 500 V CC).

6.2.3.2 *Protection contre les contacts directs*

Toutes les pièces sous tension doivent être couvertes par des matériaux isolants.

Comme alternative, les pièces sous tension doivent être protégées par des barrières adéquates.

6.2.3.3 *Protection contre les contacts indirects*

La protection contre les contacts indirects avec des pièces conductrices du système électrique devenues sous tension suite à un défaut d'isolation de pièces normalement sous tension, doit être assurée.

Cette protection doit être réalisée par un des moyens suivants:

- une double isolation, ou équivalente, par rapport aux normes nationales ou internationales appropriées;
- la déconnexion automatique du circuit fautif, en utilisant un équipement de protection par mise à la terre.

6.2.4 *Conditions de fonctionnement*

Le constructeur doit préciser les valeurs pour les paramètres suivants, par rapport au réseau électrique ou le point de connexion de la charge électrique, à l'intérieur desquelles l'AG pourra fonctionner sans dommages:

- le courant nominal;
- la tension nominale et les variations admises;
- la fréquence nominale et les variations admises;
- le courant nominal de court-circuit.

6.2.5 *Dispositifs de protection*

Le sous-système électrique de l'AG doit comprendre des dispositifs appropriés pour fournir une protection contre le mauvais fonctionnement de l'AG et du système électrique connecté. Une protection doit être prévue spécifiquement pour:

- surtension/sous-tension;
- la surintensité due aux surcharges et aux courts-circuits.

En plus une protection appropriée doit être fournie pour:

- perte ou inversion de phases;
- surfréquence/sous-fréquence.

6.2.3 *Protection against direct and indirect contact*

6.2.3.1 *General*

The design of the electrical system shall ensure the protection of people and livestock against dangers that may arise from direct or indirect contact with live parts of the system (IEC 364 for electrical systems operating up to and including 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c.).

6.2.3.2 *Protection against direct contact*

All live parts shall be fully covered by insulating material.

As an alternative, live parts shall be shielded by suitable barriers.

6.2.3.3 *Protection against indirect contact*

Protection against indirect contact with conductive parts of the electrical system that have become live owing to a fault in the insulation of parts that are normally live shall be ensured.

This protection shall be achieved by either:

- double insulation, or similar, to the relevant national or international standard;
- automatic disconnection of the faulty circuit using ground fault protection equipment.

6.2.4 *Operating conditions*

The manufacturer shall state values for the following parameters, with reference to the network or the electrical load connection point, within which the WTGS will operate without damage:

- rated current;
- rated voltage and permissible deviation;
- rated frequency and permissible deviation;
- rated short-circuit current.

6.2.5 *Protective devices*

The WTGS electrical sub-system shall include suitable devices that ensure protection against malfunctioning of both the WTGS and the connected electrical system. Protection shall specifically be provided for:

- under/over voltage;
- over-current due both to overload and short circuits.

In addition, protection shall, as appropriate, be provided for:

- loss of phase and phase reversal;
- under/over frequency.

Un équipement doit être fourni également pour couper l'AG si les conditions du système électrique externe (telles que la tension ou la fréquence) ne permettent pas un fonctionnement continu et sûr. L'AG ne pourra redémarrer qu'après une récupération de conditions stables au niveau du système électrique externe.

Les dispositifs de protection doivent être réglés en ce qui concerne le courant, la tension et la durée, à des valeurs correspondant aux caractéristiques des circuits, du réseau et des dangers possibles. Les réglages de tous les dispositifs de protection doivent être précisés clairement dans la documentation de l'AG.

Les relais et équipements de protection de l'AG et du réseau doivent être coordonnés afin de minimiser les dommages potentiels et d'assurer l'isolation des pannes.

6.2.6 *Dispositifs de contact*

6.2.6.1 *Dispositifs de déconnexion*

Il doit être possible d'isoler le système de collecte de puissance de l'AG ou le sous-système électrique de l'AG, ou les circuits et leurs composants individuels, du réseau ou toute autre source de tension externe ou charge pour les besoins de protection, maintenance, essais, détection de pannes ou réparation.

Cette isolation peut s'effectuer par un interrupteur ou disjoncteur verrouillable ou amovible ou par des disjoncteurs simples. Cette isolation doit être appliquée à tous les conducteurs sous tension ou neutres.

Quand des dispositifs de déconnexion non conçus pour un fonctionnement en charge sont utilisés, des mesures doivent être prises pour permettre leur utilisation seulement dans des conditions de courant zéro.

Les dispositifs semi-conducteurs ne doivent être pas utilisés seuls comme disjoncteurs, pour des raisons de sécurité.

Les circuits auxiliaires, comme pour le chauffage et l'éclairage, doivent être équipés avec leurs propres interrupteurs.

Tous les dispositifs de déconnexion doivent être marqués clairement.

6.2.6.2 *Disjoncteur principal*

Un disjoncteur principal doit interrompre simultanément tous les circuits d'alimentation de l'AG, sauf les circuits auxiliaires, et doit être ouvert, soit manuellement, soit par le sous-système de contrôle de l'AG. Des démarreurs doux avec thyristors antiparallèles peuvent être utilisés au lieu ou en parallèle avec le disjoncteur principal.

6.2.6.3 *Disjoncteurs de protection*

Pour les besoins de la protection, un fusible ou un disjoncteur doit être installé entre le système de collecte de puissance et le système électrique de l'AG. Il doit interrompre simultanément tous les circuits d'alimentation, et doit être situé de manière pratique pour le personnel d'exploitation et de maintenance.

La caractéristique nominale de l'interrupteur, fusible ou disjoncteur principal doit être conforme à la capacité maximale de court-circuit du point de connexion de l'AG.

Equipment shall also be provided to shut down the WTGS safely if conditions on the external electrical system (such as voltage or frequency) will not allow continued safe operation. The WTGS may only be restarted after stable conditions are restored in the external electrical system.

Protection devices shall be set at values of current, voltage and time which are suitably related to the characteristics of the circuits and of the electrical network, and to the possibilities of danger. Settings of all protective devices shall be clearly stated in the wind turbine documentation.

Protective relaying and equipment protecting the WTGS and the electrical network shall be coordinated to minimize potential damage and to ensure proper clearance of faults.

6.2.6 *Switching devices*

6.2.6.1 *Disconnect devices*

It shall be possible to isolate the WTGS power collection system, or each individual WTGS electrical sub-system, or circuits or individual items thereof from the electrical network or any other external voltage source or load as required for protection, maintenance, testing, fault detection or repair.

Such isolation can be obtained by the use of lockable or removable switches or circuit-breakers or of simple disconnectors. The isolation shall include all live and neutral conductors.

When disconnect devices are used that are not designed for operating under load, measures shall be taken to allow them to be operated only under zero current conditions.

Semiconductor devices shall not be used alone as disconnectors for safety purposes.

Auxiliary circuits, such as those for heating and lighting, shall be provided with their own switching devices.

All disconnect devices shall be clearly marked.

6.2.6.2 *Main contactor*

A main contactor shall simultaneously interrupt all WTGS supply circuits, except for auxiliary circuits, and shall be opened either manually or by the operation of the WTGS control sub-system. Anti-parallel thyristor soft starts may be used instead of or in parallel with a main contactor.

6.2.6.3 *Protection switches*

For protection purposes, a switch-fuse or a circuit-breaker, shall be installed between the power collection system and the WTGS electric sub-system. It shall simultaneously interrupt all supply circuits, and shall be conveniently located for operating and maintenance personnel.

The rating of this switch-fuse or circuit-breaker shall be suitable for the maximum short-circuit capacity of the WTGS connection point.

6.2.7 Armoires électriques

Les armoires pour l'équipement électrique contenant des pièces sous tension doivent être construites dans une matière résistante aux chocs.

Les armoires doivent avoir la résistance et la rigidité nécessaires pour résister aux mauvais traitements qu'ils pourront subir, sans réduction de l'espace disponible, ni desserrage ou déplacement des pièces, ou d'autres défauts graves.

Les portes et plaques de fermeture doivent être équipées de moyens appropriés pour les maintenir dans la position fermée de manière sûre.

Les moteurs, contrôleurs, et autres composants électriques doivent être situés dans des armoires protégées convenablement. S'il est nécessaire d'utiliser des boîtiers supplémentaires pour respecter des normes, la température de l'équipement doit être considérée.

Les armoires doivent avoir au moins un degré de protection de IP23 (CEI 529) ou équivalent.

6.2.8 Mise à la terre des pièces métalliques

Chaque AG et son système de collecte de puissance associé doit être équipé d'un moyen de mise à la terre conforme aux recommandations du constructeur de l'AG et aux normes CEI. Toutes les pièces métalliques et accessoires doivent avoir une connexion électrique permettant une mise à la terre avec celle de la tour ou structure de support via un réseau de terre.

Le choix et l'installation de l'équipement de mise à la terre (électrodes, conducteurs, barreaux et borne de terre) doit être conforme à la CEI 364-5-54.

Tout système électrique fonctionnant à plus de 1 000 V CA ou 1 500 V CC doit être pourvu d'un équipement fixe de mise à la terre en fonction de la sécurité pendant la maintenance. L'équipement de mise à la terre doit être conçu pour le courant de panne à cet emplacement, c'est-à-dire qu'il doit être approprié pour la résistivité du sol.

6.2.9 Parafoudres

L'équipement de mise à la terre doit permettre à l'AG de résister aux coups de foudre et de rester dans une condition sûre, même hors de fonctionnement (CEI 1024-1).

Les parafoudres et autres moyens de protection de l'AG et son système de contrôle doivent inclure des dispositifs qui protègent l'AG, les commandes et le système de collecte de puissance, contre les surtensions ayant comme origine le réseau électrique ou une source locale.

6.3 Sous-système électrique de l'AG

6.3.1 Accessibilité

Le sous-système électrique doit être arrangé de manière à faciliter l'accessibilité en fonction des besoins d'exploitation, inspection, maintenance, essais et réparation.

6.3.2 Câblage

Les caractéristiques des câbles entre les composants du système électrique de l'AG doivent correspondre avec les normes existantes (c'est-à-dire CEI 227, CEI 245, CEI 287), en tenant compte de l'emplacement spécifique et des contraintes subies par les conducteurs pendant leur installation et fonctionnement.

6.2.7 Enclosures

Enclosures for electrical equipment shall be of shock-resistant material which shall enclose all live parts.

Enclosures shall have the strength and rigidity to resist the abuses to which they may be subjected, without resulting in a reduction of spacings, loosening or displacement of parts or other serious defects.

Doors and cover plates shall be provided with suitable means for securely fastening them in the closed position.

Motors, controllers, and other electrical components shall have an enclosure with a suitable degree of protection. Where compliance with the requirements is achieved by supplementary housing, the temperature rise of the enclosed equipment shall be considered.

Enclosures shall have at least an IP23 degree of protection (IEC 529) or equivalent.

6.2.8 Earthing of metallic parts

Each WTGS and relevant power collection system shall be provided with an earthing arrangement in accordance with the WTGS manufacturer's recommendations and IEC standards. All exposed metal parts and accessories shall be electrically connected together and grounded through a suitable earthing network together with earthing of the tower or the support structure.

The choice and installation of the equipment of the earthing arrangement (earth electrodes, earthing conductors, main earthing terminals and bars) shall be made in accordance with IEC 364-5-54.

Any electrical system operating above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. shall be provided with fixed equipment for earthing the system for maintenance. The earthing equipment shall be designed for the fault currents possible at that location, i.e. it shall be appropriate for the local ground resistivity.

6.2.9 Lightning protection

The earthing part shall allow the WTGS to withstand lightning strikes and remain in safe, even if non-operable, condition (IEC 1024-1).

Lightning and electrical fault protection for the wind turbine generator and control system should also include surge protection devices which protect the wind turbine, controls and power collection system from overvoltages that may originate on the electrical network or locally.

6.3 WTGS electrical sub-system

6.3.1 Accessibility

The WTGS electrical sub-system shall be arranged so as to afford easy accessibility for operation, testing, inspection, maintenance and repair.

6.3.2 Wiring

The characteristics of wiring between the components of the WTGS electrical system shall comply with the existing standards (i.e. IEC 227, IEC 245, IEC 287), taking into account the specific location and stresses to which conductors may be subjected during installation and operation.

La protection contre les surtensions dues au contact entre des conducteurs de tensions nominales différentes doit être garantie.

Les conducteurs de potentiels différents ne doivent pas être placés dans la même armoire, sauf s'ils sont isolés au niveau le plus élevé de potentiel de l'ensemble des conducteurs groupés.

Les conducteurs à classification de température spécifique ne doivent pas emprunter les mêmes caniveaux que ceux ayant une classification de température différente, sauf si la densité de courant de chaque conducteur est inférieure à celle du conducteur ayant la classification de température la plus basse.

Tous les conducteurs doivent être clairement identifiés, par exemple avec des codes couleurs, des symboles, des formes, etc.

6.4 *Système de collecte de puissance*

6.4.1 *Conducteurs*

Tous les câbles, dispositifs, fixations et assemblages électriques doivent être installés, câblés et connectés en application des normes CEI et autres règles électriques appropriées.

Quand une probabilité raisonnable de sectionnement ou dommages aux câbles souterrains par des rongeurs ou d'autres animaux existe, des câbles renforcés ou des caniveaux doivent être employés. Les câbles souterrains doivent être enterrés à une profondeur suffisante pour éviter leur endommagement par des véhicules de service ou équipement agricole. Quand un caniveau est utilisé, le taux de remplissage approprié ne doit pas être surmonté.

6.4.2 *Auto-excitation*

Si une batterie de condensateurs est connectée en parallèle à un AG couplé au réseau (c'est-à-dire, pour la correction du facteur de puissance), un interrupteur approprié est nécessaire pour déconnecter la batterie de condensateurs chaque fois qu'il y a perte de réseau, afin d'éviter l'auto-excitation du générateur de l'AG. Alternativement, si des condensateurs sont installés, il suffira de démontrer que les condensateurs ne peuvent pas causer une auto-excitation.

6.4.3 *Protection de surtension*

Dans le cas d'un AG qui alimente un transformateur connecté à un câble inférieur de 200 m de longueur ou à un conducteur aérien, les bobines haute tension du transformateur doivent être protégées contre des surtensions dues à la foudre par des arrête-foudre, placés à un emplacement approprié.

La protection décrite ci-dessus doit être conçue pour éviter tout dépassement des limites établies pour le niveau d'isolation du transformateur, en cas de transfert de surtensions aux bobines basse tension du transformateur.

6.4.4 *Harmoniques et conditionnement d'énergie*

Les équipements de conditionnement d'énergie, tels que les onduleurs, les contrôleurs électroniques de puissance et les compensateurs statiques VAR, doivent être conçus pour minimiser la distorsion harmonique de courant et de tension, et ne pas perturber les relais de protection du réseau. De manière spécifique, pour les AG connectés à un réseau, les harmoniques de tension générées par l'AG et son système de puissance associé doivent être tels que la distorsion de la forme ondulatoire de la tension ne dépassera pas les limites acceptables au point de connexion au réseau.

Protection against overvoltages owing to contact between conductors at different rated voltages shall be ensured.

Conductors at different potential shall not be placed in the same enclosure, unless they are insulated for the highest potential of the conductors enclosed together.

Conductors of one temperature classification shall not be run in the same conduit with conductors of another temperature classification, unless the current density in each conductor is not greater than that permitted for the conductor with the lowest temperature classification.

All conductors shall be clearly identified, i.e. through colours, symbols, shapes, etc.

6.4 *Power collection system*

6.4.1 *Conductors*

All electrical cables, devices, fixtures, and assemblies shall be installed, wired and connected in accordance with IEC standards and applicable electrical codes.

Where there is a probability of rodents or other animals damaging cables, armoured cables or conduits shall be used. Underground cables shall be buried at a suitable depth so that they are not damaged by service vehicles or farm equipment. When a conduit is used, the appropriate fill ratio shall not be exceeded.

6.4.2 *Self-excitation*

If a capacitor bank is connected in parallel with a network-connected WTGS (i.e., for power factor correction), a suitable switch is required to disconnect the capacitor bank whenever there is a loss of network power, to avoid self-excitation of the WTGS electric generator. Alternatively, if capacitors are fitted, it shall be sufficient to show that the capacitors cannot cause self-excitation.

6.4.3 *Overvoltage protection*

In the case of a WTGS feeding, a transformer that is connected to a cable shorter than 200 m or to an overhead line, the high-voltage windings of the transformer shall be protected against lightning overvoltages by means of lightning arresters in a suitable location.

The above protection shall be designed so that any overvoltage transferred to the low voltage transformer windings will not exceed the limits established by the transformer insulation levels.

6.4.4 *Harmonics and power conditioning equipment*

The power conditioning equipment, such as inverters, power electronic controllers, and static VAR compensators, shall be designed so that harmonic line currents and voltage waveform distortion are minimized and do not interfere with electrical network protective relaying. Specifically, for network-connected WTGS, the voltage harmonics generated by the WTGS and relevant power collection system shall be such that the overall voltage waveform distortion at the network connecting point will not exceed the acceptable upper limit for the electrical network.

7 Installation, assemblage et montage

7.1 Généralités

Le constructeur d'un AG doit fournir un manuel décrivant clairement les procédures d'installation, exploitation et maintenance des équipements de l'AG. L'installation, l'exploitation et la maintenance des AG doivent être effectuées par du personnel qualifié ou formé à ces activités.

Le site d'accueil d'un AG doit être préparé, maintenu, exploité et géré de telle façon que le travail entrepris puisse se faire de manière sûre et efficace. Ceci doit comprendre les procédures d'empêchement d'accès non autorisé si applicable. L'exploitant doit identifier et éliminer tous les risques existants et potentiels.

Des listes de contrôle des activités planifiées doivent être préparées et des registres de travaux accomplis et les résultats de ces travaux doivent être tenus.

Dans les cas appropriés, le personnel d'installation, exploitation et maintenance doit utiliser des protections approuvées pour les yeux, les pieds, les oreilles et la tête. Tout le personnel escaladant des tours, ou travaillant au-dessus du sol ou de l'eau, doit être qualifié pour ce genre de travail et doit utiliser des ceintures de sécurité, harnais d'escalade ou autres équipements de sécurité. Au besoin, un gilet de flottabilité doit être utilisé à proximité de l'eau.

Tout cet équipement doit être en bon état et convenir pour aux tâches lui incombant. Les grues, palans et autres équipements de levage, y compris les harnais, crochets et autres appareils, doivent convenir pour les charges portées en toute sécurité.

Une attention particulière doit être donnée à l'installation, l'exploitation et la maintenance des AG dans des conditions anormales, telles que la grêle, la foudre, les vents extrêmes, les séismes, la glace, etc.

7.2 Plan de travail

L'assemblage, le montage et l'installation d'un AG et son équipement associé doivent être effectués selon un plan détaillé de travail qui peut comprendre les éléments suivants:

- les règles pour l'exécution en sécurité des travaux d'excavation;
- les schémas et spécifications détaillés des travaux et le plan d'inspection;
- les règles pour l'utilisation correcte des éléments encastrés, tels que le boulonnage des fondations, les ancrages et l'acier de renforcement;
- les règles pour la composition, la livraison, l'échantillonnage, le coulage, la finition et la canalisation du béton, et la mise en place des caniveaux;
- les règles de sécurité pour le dynamitage;
- les procédures d'installation de la tour et autres ancrages;
- les procédures pour l'assurance de la qualité.

7 Installation, assembly and erection

7.1 General

The manufacturer of a WTGS shall provide a manual clearly describing installation, operation and maintenance requirements for the WTGS equipment. The installation, operation and maintenance of a WTGS shall be performed by personnel trained or instructed in these activities.

The site of a WTGS facility shall be prepared, maintained, operated and managed so that work can be performed in a safe and efficient manner. This should include procedures to prevent unauthorized access where appropriate. The operator should identify and eliminate existing and potential hazards.

Check-lists of planned activities shall be prepared and logs of completed work and results of that work should be kept.

When appropriate, the installation, operation and maintenance personnel shall use approved eye, feet, hearing, and head protection. All personnel climbing towers, or working above ground or water level, should be trained in such work and shall use approved safety belts, safety climbing aids or other safety devices. When appropriate, a buoyancy aid should be used around water.

All equipment shall be kept in good repair and be suitable for the task for which it is intended. Cranes, hoists and lifting equipment, including all slings, hooks and other apparatus, shall be adequate for safe lifting.

Particular consideration should be given to installation, operation and maintenance of WTGS under unusual conditions, such as hail, lightning, high winds, earthquake, icing, etc.

7.2 Work plan

The assembly, erection and installation of WTGS and associated equipment should be performed using a detailed work plan which may include the following:

- rules for safe execution of excavation work;
- detailed drawings, specifications of the work and inspection plan;
- rules for the proper handling of embedded items, such as foundation bolts, anchors and reinforcement steel;
- rules for concrete composition, delivery, sampling, pouring, finishing and placement of conduits;
- safety rules for blasting;
- procedures for installation of tower and other anchors;
- procedures for quality assurance.

7.3 Conditions d'installation

Pendant l'installation d'un AG, le site doit être maintenu dans un état qui évite tout danger pour la sécurité.

7.4 Accès au site

L'accès au site ne doit présenter aucun danger et les points suivants doivent être pris en considération:

- barrières et itinéraires;
- circulation;
- revêtement routier;
- largeur de la route;
- dégagements;
- capacités de charge en poids des accès;
- déplacement des équipements sur le site.

7.5 Conditions d'environnement

Pendant l'installation, les limites climatiques spécifiées par le constructeur doivent être respectées. Les points suivants devront être pris en considération:

- vitesse du vent;
- neige et glace;
- température ambiante;
- projections de sable;
- foudre;
- visibilité;
- pluie.

7.6 Documentation

Le constructeur d'un AG doit fournir des schémas, spécifications et instructions pour les procédures d'assemblage, installation et montage de l'AG. Il doit fournir les détails de toutes les charges, poids, points de levage et outils et procédures spéciaux nécessaires à la manipulation et l'installation de l'AG.

7.7 Réception, manutention et stockage

La manutention et le transport des éléments d'un AG pendant son installation doivent être effectués avec un équipement adéquat et en accord avec les recommandations du constructeur.

Les AG sont souvent situés sur des terrains en pente. Par conséquent, l'équipement lourd doit être posé de manière à ne plus bouger. Un espace nivelé et de taille appropriée pour cette pose est préférable pour toutes les opérations de manutention et montage. Si celui-ci ne peut être fourni, l'équipement lourd doit être immobilisé dans une position stable.

7.3 *Installation conditions*

During the installation of a WTGS the site shall be maintained in such a state that it does not present a safety risk.

7.4 *Site access*

Access to the site shall be safe and the following should be taken into account:

- barriers and routes of travel;
- traffic;
- road surface;
- road width;
- clearance;
- access weight bearing capacity;
- movement of equipment at the site.

7.5 *Environmental conditions*

During installation, environmental limits specified by the manufacturer shall be observed. Items such as the following should be considered:

- wind speed;
- snow and ice;
- ambient temperature;
- blowing sand;
- lightning;
- visibility;
- rain.

7.6 *Documentation*

The manufacturer of the WTGS shall provide drawings, specifications and instructions for assembly procedures, installation and erection of the WTGS. The manufacturer shall provide details of all loads, weights, lifting points and special tools and procedures necessary for the handling and installation of the WTGS.

7.7 *Receiving, handling and storage*

Handling and transport of wind turbine generator equipment during installation shall be performed with equipment confirmed to be suitable to the task and in accordance with the manufacturer's recommended practice.

WTGS are often sited on hilly terrain. Therefore, heavy equipment shall be set down in such a manner that it cannot shift. A suitably sized, level lay-down area is preferred for all handling and assembly operations. Where this cannot be provided, all heavy equipment shall be securely blocked in a stable position.

S'il existe un risque de dégâts causés par le vent, les pales, les nacelles, les autres pièces aérodynamiques et les caissons légers doivent être fixés par le biais de cordes et cales, ou par ancrage au sol.

7.8 *Fondations et systèmes d'ancrage*

Quand le constructeur spécifie leur nécessité pour une installation et assemblage sûr, des outils, fixations et autres appareils spéciaux doivent être utilisés.

7.9 *Assemblage des aérogénérateurs*

Les AG doivent être assemblés selon les instructions du constructeur. Une inspection doit être effectuée pour confirmer le graissage et conditionnement avant la mise en service de tous les composants.

7.10 *Montage des aérogénérateurs*

Les AG doivent être montés par du personnel qualifié et formé aux méthodes correctes et sûres de montage.

Toutes les lignes électriques, câbles, équipements d'entretien et connexions vers l'AG doivent être isolées et sécurisées ou masquées, après l'installation du système de collecte de puissance.

La rotation involontaire de tous les éléments tournants doit être rendue impossible pendant la phase de montage.

7.11 *Attaches et fixations*

Les fixations filetées et autres mécanismes d'attache doivent être installés selon les recommandations de couple et/ou autres instructions du constructeur. Les fixations identifiées comme étant critiques doivent être vérifiées, et les procédures de confirmation du couple de serrage et autres stipulations doivent être appliquées.

En particulier, une inspection doit être effectuée pour confirmer les tâches suivantes:

- l'assemblage et la connexion corrects des haubans, câbles, tendeurs de haubans, poteaux et autres appareils et dispositifs;
- la fixation correcte des appareils de levage nécessaires pour un montage en toute sécurité.

7.12 *Grues, palans et équipement de levage*

Les grues, palans et équipements de levage, y compris les harnais, crochets et autres appareils nécessaires pour un montage sûr, doivent être adéquats pour le levage et la mise en place finale des charges en toute sécurité. Les instructions et la documentation du constructeur concernant le montage et la manutention donnent les informations sur les charges admises et les points de levage sûrs des composants et/ou assemblages. Tout l'équipement de levage, les harnais et crochets doivent être testés et certifiés aptes à un chargement sûr.

Where there is risk of movement and damage by the wind, blades and nacelles, other aerodynamic parts and light crates shall be secured with ropes and stakes, or ground anchors.

7.8 *Foundation/anchor systems*

Where specified by the manufacturer for safe installation or assembly, special tools, jigs and fixtures and other apparatus shall be used.

7.9 *Assembly of WTGS*

The WTGS shall be assembled according to the manufacturer's instructions. Inspection shall be carried out to confirm proper lubrication and pre-service conditioning of all components.

7.10 *Erection of WTGS*

Wind turbine generator systems shall be erected by personnel trained and instructed in proper and safe erection practices.

All electrical lines, cables, service equipment and connections to the wind turbine generator shall be confirmed to be de-energized and locked or tagged out after the power collection system has been installed.

All rotating elements shall be secured from unintentional rotation throughout the erection process.

7.11 *Fasteners and attachments*

Threaded fasteners and other attachment devices shall be installed according to the WTGS manufacturer's recommended torque and/or other instructions. Fasteners identified as critical shall be checked and procedures for confirming installation torque and other requirements shall be obtained and used.

In particular, inspection shall be carried out to confirm the following:

- proper assembly and connection of guys, cables, turn buckles, gin poles and other apparatus and devices;
- proper attachment of lifting devices required for safe erection.

7.12 *Cranes, hoists and lifting equipment*

Cranes, hoists and lifting equipment, including all hoisting slings, hooks and other apparatus required for safe erection, shall be adequate for safe lifting and final placement of the loads. Manufacturer's instructions and documentation with respect to erection and handling should provide information on expected loads and safe lifting points for components and/or assemblies. All hoisting equipment, slings and hooks shall be tested and certified for safe load.

7.13 Montage aéroporté

Quand les opérations de montage sont effectuées par des hélicoptères ou autres équipements aéronautiques, la réglementation de sécurité en vol et pour l'aviation doit être prioritaire par rapport aux stipulations de cette norme.

Le montage par hélicoptère doit être effectué par des spécialistes. Quelques considérations spéciales pour le montage héliporté sont données ci-après:

- l'utilisation d'une équipe formée et expérimentée;
- l'obligation de porter des vêtements de protection et de se protéger les yeux et les oreilles pendant le travail au sol;
- la poussière doit être maîtrisée par l'humidification des sols instables et sablonneux. Les débris pouvant être charriés par le vent doivent être attachés ou enlevés du site;
- les communications doivent être faites par radio et la supervision conduite à distance, loin de la poussière et les débris portés par le vent;
- un plan pour lâcher la charge en cas d'urgence doit être établi;
- le temps chaud et humide réduit la capacité d'emport;
- les poids doivent être connus avec précision avant d'être portés;
- les cordes de liaison ne doivent pas être attachées au personnel;
- l'assemblage sous l'hélicoptère doit être réduit au minimum;
- la charge et la longueur de liaison doivent être calculées pour minimiser le balancement de la charge pendant le transport et le placement.

7.14 Montage en site marin

Quand un AG est installé en site marin, une équipe formée et expérimentée dans ces conditions spéciales est nécessaire.

7.13 *Aircraft erection*

Where helicopter or other suitable airborne equipment is used for erection purposes, all flight and aviation safety regulations shall have precedence over the requirements stated in this standard.

Helicopter erection shall be undertaken by specialists. Some special concerns for helicopter erection are:

- a trained and experienced crew is required;
- protective clothing and eye and ear protection is required for work on the ground;
- dust should be controlled by wetting loose and sandy soils. Debris that may be blown about should be secured or removed from the area;
- communications should be handled by radio and supervision conducted from a distance, clear of blowing dust and debris;
- a plan shall be devised for dropping the load in case of an emergency;
- hot and wet weather reduces the lift payload;
- weights should be accurately known before lift;
- tag lines shall not be secured to personnel;
- assembly beneath the aircraft should be kept to a minimum;
- the load and line length should be adjusted to minimize sway of the load in transit and placement.

7.14 *Offshore erection*

Where WTGS are to be installed off shore, a crew trained for and experienced in these special conditions is required.

8 Mise en service, fonctionnement et maintenance

8.1 Généralités

Les procédures de mise en service, fonctionnement, inspection et maintenance doivent être planifiées pour assurer la sécurité du personnel, et détaillées dans le manuel de l'AG.

La conception doit inclure des prévisions pour l'accès sans danger à tous les composants à des fins d'inspection et de maintenance.

8.2 Mise en service

La mise en service doit se faire en application des recommandations du constructeur.

8.2.1 Essais

Les AG doivent être essayés, après installation, pour confirmation du fonctionnement correct et sans danger de tous les mécanismes, contrôles et appareillages, et doivent être testés en appliquant les recommandations du constructeur. Les essais doivent comprendre, mais ne pas être limités:

- au démarrage sans danger;
- à la coupure sans danger;
- à l'arrêt d'urgence sans danger;
- à l'interruption sans danger en cas de surrégime de vitesse ou une simulation représentative de celle-ci;
- aux essais de fonctionnement du système de protection.

8.2.2 Registres

Des registres doivent être tenus, décrivant les essais, la mise en service, les paramètres de contrôle et les résultats.

8.2.3 Activités après mise en service

Après l'installation, et à la fin de la période de rodage recommandée par le constructeur, les actions spécifiques requises par le constructeur peuvent être accomplies.

Celles-ci peuvent comprendre, sans être limitatives: le resserrage des fixations, le changement des liquides de lubrification, le contrôle des autres composants pour leurs réglages et fonctionnement et le réglage juste des paramètres de contrôle.

Le site de l'installation de l'AG doit être réhabilité pour éliminer les risques et prévenir l'érosion.

8.3 Fonctionnement

L'exploitation normale de l'AG par le personnel de fonctionnement doit être possible au ras du sol. Un dispositif d'arrêt prioritaire manuel local et bien repéré du système de contrôle automatique ou à distance doit être fourni. Dans des situations d'accès restreint, d'autres identifications ou systèmes interactifs de sécurité peuvent être utilisés.