NORME INTERNATIONALE **ISO 10816-21**

Première édition
2015-05-01

Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les parties non tournantes —

Partie 21: Turbines éoliennes à axe horizontal avec multiplicateur

Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts —

Part 21: Horizontal axis wind turbines with gearbox



Numéro de référence
ISO 10816-21:2015(F)

© ISO 2015



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2015

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos ..... **iv**

Introduction ..... **v**

1 Domaine d'application **1**

2 Références normatives **2**

3 Termes et définitions **2**

4 Principes de base **2**
4.1 Mesurage et grandeurs caractéristiques 2
4.2 Méthodes de moyennage et grandeurs d'évaluation des vibrations d'une turbine éolienne 3
4.3 Période d'évaluation 4

5 Instructions concernant le mesurage et l'interprétation **4**
5.1 Généralités 4
5.2 Nacelle et mât 5
5.3 Palier du rotor 5
5.4 Multiplicateur 6
5.5 Alternateur 6
5.6 Exigences relatives à l'appareillage de mesure 7
5.7 Montage et connexion des capteurs de vibrations 8
5.8 Conditions de fonctionnement pendant les mesurages 8

6 Critères d'évaluation **8**
6.1 Généralités 8
6.2 Zones d'évaluation 9
6.3 Variation d'amplitude des vibrations 10

7 Limites des zones d'évaluation **10**

8 Détermination des limites de fonctionnement **10**
8.1 Généralités 10
8.2 Limites d'ALERTE 10
8.3 Limites d'ALARME 11
8.4 Limites de DÉCLENCHEMENT 11

9 Informations sur la surveillance des vibrations **11**
9.1 Surveillance des vibrations à large bande 11
9.2 Surveillance de l'état 12

Annexe A (informative) **Limites des zones d'évaluation** **13**

Annexe B (informative) **Schémas de deux conceptions typiques de turbine éolienne avec multiplicateur** **14**

Bibliographie **16**

© ISO 2015 – Tous droits réservés

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: Avant-propos — Informations supplémentaires.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques, et leur surveillance*, sous-comité SC 2, *Mesure et évaluation des vibrations et chocs mécaniques intéressant les machines, les véhicules et les structures*.

L'ISO 10816 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les parties non tournantes:*

— *Partie 1: Lignes directrices générales*

— *Partie 2: Turbines à vapeur et alternateurs pour applications terrestres, excédant 50 MW avec des vitesses normales de fonctionnement de 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min et 3 600 r/min*

— *Partie 3: Machines industrielles de puissance nominale supérieure à 15 kW et de vitesse nominale de fonctionnement entre 120 r/min et 15 000 r/min, lorsqu'elles sont mesurées in situ*

— *Partie 4: Turbines à gaz à paliers à film fluide*

— *Partie 5: Groupes générateurs de puissance et installations de pompage hydrauliques*

— *Partie 6: Machines alternatives de puissance nominale supérieure à 100 kW*

— *Partie 7: Pompes rotodynamiques pour applications industrielles, y compris mesurages sur les arbres tournants*

— *Partie 8: Systèmes de compresseurs alternatifs*

— *Partie 21: Turbines éoliennes à axe horizontal avec multiplicateur*

Une partie 22 sur les turbines éoliennes à axe horizontal sans multiplicateur est planifiée.

 © ISO 2015 – Tous droits réservés

Introduction

Les Normes internationales antérieures disponibles pour l'évaluation des vibrations des structures et des machines ne peuvent pas s'appliquer aux turbines éoliennes en raison de la nature particulière de leur construction et de leur fonctionnement. Les vibrations du mât et de la nacelle d'une turbine éolienne, provoquées par l'action du vent, des perturbations de l'écoulement dues au mât (effet de barrage du mât), la vibration naturelle des pales du rotor et de la structure elle-même (mât et fondation) ainsi que, par exemple, de la houle dans le cas de turbines éoliennes offshore, diffèrent de celle des autres structures industrielles en ce qui concerne le comportement dans le temps et les spectres de vibrations.

Il est possible de faire appel à l'ISO 10816-1, traitant du mesurage et de l'évaluation des vibrations des machines, pour les composants des turbines éoliennes (palier de rotor, multiplicateur et alternateur). Elle sert de base à plusieurs autres Normes internationales, y compris l'ISO 10816-3, relatives aux machines industrielles de tous types. Les turbines éoliennes sont, toutefois, expressément exclues du domaine d'application de l'ISO 10816-3.

Les critères spécifiés dans les autres parties de l'ISO 10816 sont, en principe, applicables aux composants des turbines éoliennes. Toutefois, ces critères s'appliquent uniquement aux vibrations générées à l'intérieur de la machine elle-même et affectent donc ses composants directement. Les critères sont également valables pour l'évaluation de l'émission vibratoire (c'est-à-dire l'émission dans l'environnement d'une machine) mais ils ne peuvent pas s'appliquer aux vibrations transmises aux machines par des sources externes (c'est-à-dire l'immission vibratoire, bruit de structure). Pour les turbines éoliennes, il s'agit des effets des vibrations du mât ou de la nacelle, qui sont excités par le vent et, dans le cas de turbines éoliennes offshore, en plus par la houle. En raison de l'extrême flexibilité des pales et du mât et des faibles vitesses de rotation du rotor, il est nécessaire d'inclure les vibrations à basse fréquence dans le mesurage et l'évaluation.

La nécessité de mesurer et d'évaluer les vibrations à basse fréquence des composants en réponse à des sources d'excitation périodique et stochastique requiert des grandeurs d'évaluation modifiées par rapport à l'ISO 10816-3 et cette opération est compliquée par l'action du vent et des vagues sur la structure de la turbine éolienne qui entraîne des vibrations à basse fréquence et grande amplitude.

Étant donné la grande influence de l'amplitude des vibrations d'une turbine éolienne sur la contrainte exercée sur tous les composants et sur leur fiabilité opérationnelle et leur durée de vie en service, il est très intéressant pour les parties prenantes impliquées dans la fabrication, l'exploitation, l'entretien, la maintenance et le financement des turbines éoliennes de disposer d'une norme reconnue fournissant alors des critères et des recommandations concernant le mesurage et l'évaluation des vibrations mécaniques des turbines éoliennes et de leurs composants. Il s'agit de la tâche principale de la présente partie de l'ISO 10816, et de la partie 22, ultérieure, qui est planifiée.

L'objectif de la présente partie de l'ISO 10816 est de normaliser les mesurages, de faciliter leur évaluation et de permettre une évaluation comparative des vibrations mesurées dans les turbines éoliennes et leurs composants. En cas de dépassement des limites des zones d'évaluation, il convient que les résultats de ces mesurages permettent de tirer des conclusions quant aux menaces éventuelles pour les composants correspondants de la turbine éolienne ou pour l'installation dans son ensemble, mais sans identifier de façon détaillée les causes correspondantes. Si les limites des zones d'évaluation ne sont pas dépassées, le comportement en service peut très bien être normal, sans pour autant exclure la possibilité de cas isolés de dommages. Les valeurs des limites des zones d'évaluation ne sont pas destinées à être utilisées comme des valeurs de réception. Ces dernières doivent être convenues entre le fabricant et l'utilisateur.

Le principe de fonctionnement des turbines éoliennes couvertes par la présente partie de l'ISO 10816 est basé sur un rotor ayant un axe de rotation horizontal. Le rotor est constitué d'un moyeu muni de pales qui sont montées de façon inamovible ou que l'on peut faire tourner sur leur axe longitudinal. Le moyeu du rotor est connecté à la chaîne de transmission de la turbine éolienne. L'énergie mécanique est transformée en énergie électrique par un alternateur entraîné directement ou par l'intermédiaire d'un multiplicateur. En règle générale, ces composants de transformation de l'énergie sont logés dans une enveloppe appelée nacelle. La nacelle est montée sur des paliers lui permettant de tourner sur le mât, alors que le mât lui-même repose sur sa propre fondation.

© ISO 2015 – Tous droits réservés

Les pales du rotor, et donc le rotor, sont exposés non seulement à un flux d'air entrant de façon asymétrique, mais aussi aux fluctuations stochastiques de la vitesse du vent. Les flux entrants asymétriques sont, par exemple, le résultat de la turbulence du vent, des rafales, d'un écoulement hors axe dans le rotor ainsi que de différentes vitesses du vent réparties sur la surface du rotor. Outre les charges aérodynamiques, la turbine éolienne est également affectée par des forces d'inertie et par les charges résultant des différentes situations de fonctionnement. La superposition des conditions externes aux conditions d'exploitation, telles que la puissance de sortie et la vitesse de rotation, en tenant compte de la conception de la turbine éolienne ou de ses composants individuels, aboutit à une sollicitation alternée de l'ensemble de la turbine éolienne avec son rotor, sa chaîne de transmission, son mât et sa fondation, et à une excitation vibratoire au niveau des composants individuels.

Les chaînes de transmission (lignes d'arbres) sont constituées d'éléments qui diffèrent par leur type de conception et d'arbres. Par conséquent, elles peuvent engendrer des vibrations qui dépendent ou ne dépendent pas de la vitesse de rotation. Selon le fabricant et la conception, les alternateurs, les multiplicateurs et les embrayages présentent un comportement vibratoire différent, non seulement en tant qu'éléments individuels, mais aussi en interaction avec l'installation de la turbine éolienne et selon le type d'installation. Selon l'excitateur et la plage d'excitation, les vibrations qui apparaissent peuvent, par exemple, être dues à un défaut d'alignement et provoquer des à-coups de couple dans le multiplicateur. Par ailleurs, des vibrations de résonance peuvent apparaître dans la chaîne de transmission. Pour toutes ces raisons, il est impératif dans tous les cas de prendre en compte la turbine éolienne dans son intégralité, c'est-à-dire la chaîne de transmission avec les pales du rotor, la nacelle et le mât.

Compte tenu de la forte influence que le type de chaîne de transmission peuvent avoir sur l'amplitude des vibrations de tous les composants de la turbine éolienne, il est nécessaire de diviser les turbines éoliennes en deux groupes:

— Groupe 1: installations de turbines éoliennes à axe horizontal avec alternateurs couplés au rotor par l'intermédiaire d'un multiplicateur;

— Groupe 2: installations de turbines éoliennes à axe horizontal avec alternateurs couplés au rotor sans multiplicateur (entraînement direct).

La présente partie de l'ISO 10816 s'applique aux turbines éoliennes du groupe 1. Une partie 22, relative aux turbines éoliennes du groupe 2, est planifiée et une quantité limitée de données mesurées est déjà disponible.

 © ISO 2015 – Tous droits réservés

Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les parties non tournantes —

Partie 21:
Turbines éoliennes à axe horizontal avec multiplicateur

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 10816 spécifie le mesurage et l'évaluation des vibrations mécaniques des turbines éoliennes et de leurs composants en réalisant des mesurages sur les parties non tournantes. Elle s'applique aux turbines éoliennes à axe horizontal équipées d'un multiplicateur mécanique et d'un alternateur ayant une puissance nominale de 200 kW, et présentant les caractéristiques de conception et de fonctionnement suivantes:

a) installation sur des systèmes de support (mât et fondation) en acier et/ou béton;

b) rotor à axe horizontal avec plusieurs pales de rotor;

c) palier de rotor séparé ou intégré dans le multiplicateur;

d) alternateurs entraînés par l'intermédiaire d'un multiplicateur;

e) alternateurs de type synchrone ou asynchrone (le plus souvent équipés d'un alternateur quadripolaire);

f) alternateurs ayant seulement un nombre fixe de pôles ou alternateurs à pôles variables pour le réglage de la vitesse;

g) contrôle de la puissance des pales du rotor (turbines éoliennes à pas variable ou à pas fixe);

h) alternateur couplé au réseau électrique directement ou par l'intermédiaire d'un convertisseur.

La présente partie de l'ISO 18016 recommande des zones pour l'évaluation des vibrations dans des conditions de fonctionnement à charge continue. Néanmoins, dans la plupart des cas, ces limites des zones d'évaluation peuvent ne pas être appropriées pour une détection précoce des défauts. La présente partie de l'ISO 10816 ne spécifie pas de valeurs de vibration pour les limites des zones car l'on ne dispose pas de données suffisantes pour la gamme complète des turbines éoliennes utilisées dans le monde entier et couvertes par cette partie de l'ISO 10816. Cependant, uniquement à titre d'information, les limites des zones d'évaluation relatives aux turbines éoliennes terrestres sont présentées dans l'Annexe A. Ces zones d'évaluation sont fondées sur les données de vibration d'environ 1 000 turbines éoliennes ayant une puissance nominale d'alternateur inférieure ou égale à 3 MW. Elles peuvent être utiles pour faciliter la discussion entre utilisateurs et fabricants. Les limites des zones d'évaluation des turbines éoliennes offshore ne sont pas encore disponibles.

Bien que le type et la mise en œuvre d'une surveillance des vibrations à large bande des turbines éoliennes soient traités, la présente partie de l'ISO 10816 ne s'applique pas au diagnostic ou à la détection des défauts par surveillance de l'état des turbines éoliennes.

NOTE 1 Des informations sur la surveillance et le diagnostic des turbines éoliennes seront données dans l'ISO 16079 (toutes les parties)[1)].

L'évaluation de l'équilibrage du rotor d'une turbine éolienne tournant lentement, qui nécessite des mesurages et une analyse particuliers, n'est pas couverte par la présente partie de l'ISO 10816.

1) À publier.

© ISO 2015 – Tous droits réservés

La présente partie de l'ISO 10816 ne s'applique pas à l'évaluation des vibrations de torsion dans la chaîne de transmission. Bien que l'association de vibrations latérales et de vibrations de torsion du mât et de la chaîne de transmission puisse affecter les amplitudes des caractéristiques de vibration définies, le diagnostic de ce type de source de vibrations n'est pas réalisable par les méthodes de mesure décrites dans la présente partie de l'ISO 10816. Pour la vérification générale de la conception et pour le diagnostic de défauts spécifiques, il est nécessaire de procéder à des mesurages spéciaux ne relevant pas du domaine d'application de la présente partie de l'ISO 10816.

NOTE 2 L'IEC/TS 61400-13 décrit le mesurage des charges à l'aide de jauges de contrainte sur la structure de support et les pales. Des techniques facilitant la détection des défauts des paliers à roulement et du multiplicateur sont indiquées dans l'ISO 13373-2. Le mesurage et l'évaluation du bruit solidien avec des paliers à roulement sont indiqués dans la norme VDI 3832.

La présente partie de l'ISO 10816 ne s'applique pas aux mesurages de réception réalisés sur les multiplicateurs et les alternateurs dans l'installation d'essai du fabricant.

NOTE 3 Ceux-ci sont évalués en se fondant sur des normes appropriées, à savoir l'ISO 8579-2 et l'IEC 60034-14.

2 Références normatives

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

ISO 2041, *Vibrations et chocs mécaniques, et leur surveillance — Vocabulaire*

ISO 2954, *Vibrations mécaniques des machines tournantes ou alternatives — Exigences relatives aux appareils de mesure de l'intensité vibratoire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 2041 ainsi que les suivants s'appliquent.

NOTE Les termes spéciaux relatifs aux turbines éoliennes sont définis dans l'IEC 60050-415. Pour des raisons pratiques, dans la présente partie de l'ISO 10816, l'ensemble turbine éolienne/alternateur est simplement appelé turbine éolienne.

3.1
accélération d'évaluation
a_{w0}
valeur efficace à large bande de l'accélération vibratoire dans une bande de fréquences donnée, mesurée sur une période donnée

3.2
vitesse d'évaluation
v_{w0}
valeur efficace à large bande de la vitesse de vibration dans une bande de fréquences donnée, mesurée sur une période donnée

4 Principes de base

4.1 Mesurage et grandeurs caractéristiques

Les grandeurs caractéristiques sont déterminées au moyen de procédures prescrites à partir du signal brut mesuré (grandeur mesurée). Il convient de réaliser les mesurages aux positions de mesure prescrites, dans les directions de mesure spécifiées et dans les conditions de fonctionnement définies.

 © ISO 2015 – Tous droits réservés