IEC 63230

Edition 1.0 2026-05

NORME INTERNATIONALE

Évaluation de la fatigue des roues de turbines hydrauliques: de la conception à l'assurance qualité

ICS 27.140

ISBN 978-2-8327-1164-4

IEC 63230:2026-05(fr)



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2026 IEC, Geneva, Switzerland

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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

A propos de l'IEC
La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC
Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform
La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, …). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc
Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch
Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org
Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 4
1 Domaine d'application 6
2 Références normatives 6
3 Termes, définitions, symboles et unités 7
3.1 Généralités 7
3.2 Termes généraux et définitions 7
3.3 Unités 12
3.4 Abréviations 12
3.5 Termes subjectifs 12
4 Historique de contraintes pour les événements-charge attendus 13
4.1 Objet et domaine d'application 13
4.2 Événements-charge 13
4.3 Historique de contraintes et spectre de contrainte 15
4.4 Contraintes déterminées par calcul 16
4.4.1 Contraintes pendant les régimes stationnaires 16
4.4.2 Contraintes pendant les régimes transitoires 21
4.5 Contraintes déterminées par mesures de déformations sur site 21
4.5.1 Généralités 21
4.5.2 Procédure d'essai 22
4.5.3 Instrumentation, acquisition et traitement des signaux 22
4.5.4 Détermination de l'historique de contraintes aux points chauds 23
5 Évaluation de la durée de vie en fatigue 25
5.1 Objet et domaine d'application 25
5.2 Évaluation basée sur les courbes S-N 25
5.2.1 Courbe S-N de conception 25
5.2.2 Effet de la contrainte moyenne 26
5.2.3 Contrainte résiduelle 27
5.2.4 Calcul des dommages cumulés 28
5.3 Évaluation par mécanique de la rupture 28
5.3.1 Généralités 28
5.3.2 Conditions de chargement 29
5.3.3 Loi de propagation des fissures de fatigue 30
5.3.4 Seuil de propagation des fissures de fatigue 31
5.3.5 Définition des défauts 32
5.3.6 Limite recommandée de propagation des fissures à utiliser pour les calculs 33
5.3.7 Calcul des facteurs d'intensité de contrainte 33
6 Fabrication et assurance qualité 34
6.1 Objet 34
6.2 Instructions techniques pour la fabrication 34
6.2.1 Responsabilités du concepteur 34
6.2.2 Définition des zones de points chauds 35
6.3 Gestion de la qualité 36
6.4 Exigences de fabrication 36
6.4.1 Propriétés des matériaux 36
6.4.2 Soudage 37
6.4.3 Élimination des défauts 38

6.4.4 Traitement thermique après soudage 38
6.4.5 Essais non destructifs (END)..... 39
6.4.6 Protection contre la corrosion..... 41
6.4.7 Tolérances de fabrication..... 42
Annexe A (informative) Meilleures pratiques pour les analyses par éléments finis 43
Annexe B (informative) Recommandations sur la nécessité de réaliser une évaluation de fatigue 45
B.1 Généralités 45
B.2 Suggestion de caractéristiques de roues ne nécessitant pas d'évaluation de la fatigue 45
B.3 Recommandation de prescriptions et de niveau de contraintes admissibles lorsqu'une évaluation de la fatigue n'est pas exigée 46
Bibliographie..... 47

Figure 1 – Représentation d'un chargement d'amplitude constante causé par les principaux paramètres de contrainte de fatigue..... 11
Figure 2 – Exemples d'événements- charge inclus dans une séquence démarrage-arrêt..... 15
Figure 3 – Exemple d'un historique de déformations mesurées sur une roue Francis au cours d'une séquence démarrage-arrêt avec plusieurs puissances de sortie [1] 15
Figure 4 – Historique de contraintes stochastiques pour un régime stationnaire donné 18
Figure 5 – Courbe du spectre de contrainte stochastique normalisé type et spectres de contrainte à partir desquels il a été calculé (spectres déterminés à partir des mesures de jauges réelles)..... 20
Figure 6 – Méthode de combinaison des spectres de contrainte pour les contraintes stochastiques et périodiques induites par (a) les IRS et par (b) les torches à charge partielle 21
Figure 7 – Représentation schématique de (a) la position des jauges extensométriques, (b) la prédiction d'un profil de déformation et (c) la superposition des jauges extensométriques pour la prédiction d'un profil de déformation [9]..... 23
Figure 8 – Exemple de représentation de la qualité de l'ajustement entre les résultats de mesure et de simulation..... 25
Figure 9 – Courbe S-N de conception pour l'acier inoxydable contenant 13 % de chrome et 4 % de nickel immergé en eau douce à R = -1 (voir 4.3 pour le calcul de l'amplitude de contrainte) 26
Figure 10 – Représentation de l'effet du modèle Goodman modifié sur la courbe S-N de conception pour différentes valeurs de contrainte moyenne..... 27
Figure 11 – Création de l'historique de chargement pendant la durée de vie en fatigue de conception, fondé sur les historiques de chargement types sur un an à partir des séquences de chargement compilées pour les évaluations par mécanique de la rupture 30
Figure 12 – Courbes normalisées de propagation des fissures pour l'acier inoxydable contenant 13 % de chrome et 4 % de nickel selon l'Équation (5) 31
Figure 13 – Définition des formes recommandées pour les défauts initiaux – a) défauts de surface et b) défauts internes 32
Figure 14 – Emplacement et définition des zones de points chauds sur une roue Francis..... 35
Figure 15 – Emplacement et définition des zones de points chauds sur une pale Kaplan 36

Tableau 1 – Exemples de régimes stationnaires attendus spécifiés 14
Tableau 2 – Exemples de régimes transitoires attendus spécifiés..... 14

Tableau 3 – Principales sources d'excitation des roues 17
Tableau 4 – Coefficients de la courbe S-N de conception pour les aciers inoxydables contenant 13 % de chrome et 4 % de nickel immergés en eau douce..... 26
Tableau 5 – Paramètres de la loi de propagation des fissures de fatigue pour les aciers inoxydables contenant 13 % de chrome et 4 % de nickel..... 31
Tableau 6 – Paramètres recommandés pour le TTAS des roues..... 39
Tableau 7 – Critères d'acceptation des essais non destructifs sur les surfaces excavées, les réparations par soudage dans les zones de points chauds et dans les zones de points chauds à l'état final de fabrication..... 41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

Évaluation de la fatigue des roues de turbines hydrauliques: de la conception à l'assurance qualité

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 63230 a été établie par le comité d'études 4 de l'IEC: Turbines hydrauliques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
4/544/FDIS	4/552/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

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

– reconduit,
– supprimé, ou
– révisé.

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux roues de turbines à réaction, quelles que soient leur taille et leur capacité. Elle peut couvrir les turbines radiales comme les turbines Francis, les turbines axiales comme les turbines Kaplan et les turbines hélices, ainsi que les turbines diagonales, dans toutes les configurations géométriques possibles. Dans le cas des turbines à pales orientables, les composants mécaniques internes du mécanisme de commande des pales sont exclus du présent document. Les turbines Pelton, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines ne sont pas couvertes dans cette première édition, même si plusieurs aspects s'appliquent à ces types de machines hydrauliques. Les spécificités et les aspects relatifs aux turbines Pelton et aux pompes-turbines seront traités dans une révision ultérieure de la norme.

Le présent document décrit les méthodologies pour effectuer une évaluation de la fatigue des roues de turbines. Il couvre plusieurs aspects clés, notamment la définition des événements-charge à prendre en compte, la détermination des contraintes pour chacun de ces événements-charge, ainsi que les approches détaillées pour effectuer cette évaluation à la fatigue de roues neuves et existantes. En outre, il définit les exigences de fabrication et d'assurance qualité à respecter pour obtenir les propriétés de fatigue souhaitées sur les matériaux considérés de sorte à se conformer efficacement aux méthodologies d'évaluation en fatigue proposées. Le présent document fournit également les meilleures pratiques pour effectuer et analyser des mesures de jauges extensométriques sur des roues existantes afin d'évaluer leur durée de vie en fatigue.

Le présent document a pour objet de fournir des lignes directrices pour effectuer une évaluation de la fatigue des roues neuves et existantes. Il ne spécifie pas s'il convient d'effectuer une évaluation en fatigue ou non pour une roue donnée. Cependant, l'Annexe B propose des recommandations pour évaluer la nécessité ou non de procéder à une évaluation en fatigue d'une roue neuve donnée. Les méthodes décrites dans le présent document peuvent également être utilisées pour les évaluations de durée de vie résiduelles de roues en service. Dans ce cas, il est important de considérer que les propriétés en fatigue et le niveau de qualité des matériaux des roues alors évaluées peuvent différer des prescriptions définies à l'article "Fabrication et assurance qualité" du présent document, déterminées pour des roues neuves. Il est également important de préciser qu'une évaluation en fatigue seule ne suffit pas pour une validation complète de l'intégrité mécanique d'une nouvelle conception de roue. D'autres validations mécaniques non couvertes dans le présent document sont généralement effectuées.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60193:2019, *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Essais de réception sur modèle*

BS 7910:2019, *Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures*

CCH 70-4, *Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines*

3 Termes, définitions, symboles et unités

3.1 Généralités

Pour les besoins du présent document, les termes, définitions, symboles et unités suivants s'appliquent.

NOTE Les termes particuliers sont définis là où ils apparaissent. Lorsque les termes ne sont pas explicitement définis dans le présent document, les termes et définitions de l'IEC TR 61364[1][1], ainsi que ceux de la norme ASTM E1823-21[2] peuvent être pris en compte, le cas échéant.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

– IEC Electropedia: disponible à l'adresse https://www.electropedia.org/
– ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse https://www.iso.org/obp

3.2 Termes généraux et définitions

Les termes suivants sont définis spécifiquement dans le cadre du présent document. Ces définitions peuvent ne pas être complètes ou cohérentes avec les définitions fournies dans d'autres normes et codes.

3.2.1
domaine de fonctionnement normal continu
domaine de fonctionnement de la turbine pour une opération sans restriction, généralement délimité par des valeurs minimales et maximales de la chute nette, des valeurs minimales de l'énergie nette à l'aspiration, ainsi que des valeurs minimales et maximales du débit, de la puissance de la turbine et de l'ouverture des directrices, ou d'une combinaison de ces paramètres

3.2.2
méthode de comptage des cycles
méthode de comptage du nombre de cycles de contraintes (déformations) discrets de différentes amplitudes et moyennes à partir d'un historique de contraintes variables

3.2.3
durée de vie en fatigue de conception
durée minimale pendant laquelle il est prévu que la roue soit exploitée, par rapport à son historique de contraintes correspondant

3.2.4
courbe S-N de conception
courbe S-N établie pour les besoins de conception de composants spécifiques

Note 1 à l'article: Elle inclut des coefficients de réduction suffisants pour produire des résultats conservatifs et reflète le niveau de fiabilité qui est jugé suffisant pour les composants spécifiques associés. Comme cette courbe est établie à partir du retour d'expérience de roues existantes, cette courbe ne peut pas être associée à des niveaux spécifiques de probabilité de survie.

3.2.5
concepteur
entité chargée d'analyser et de transposer les spécifications techniques en solutions de conception qui présentent les niveaux exigés de fiabilité, de sécurité, d'intégrité et de performance

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.