

NORME INTERNATIONALE

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

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



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 Varembe
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

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

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.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

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.

3.2.6

contrainte dynamique

variation de la contrainte dans le temps par rapport à une contrainte moyenne

3.2.7

amorçage d'une fissure de fatigue

phase de fatigue au cours de laquelle une fissure se forme par l'accumulation de contraintes à l'intérieur d'une roue sous l'action de cycles de contraintes

Note 1 à l'article: Pour une évaluation de l'amorçage des fissures de fatigue dans le cadre du présent document, il est considéré que le matériau de la roue est homogène et les contraintes sont déterminées par la mécanique des milieux continus.

3.2.8

propagation d'une fissure de fatigue

phase de fatigue au cours de laquelle une fissure se propage à l'intérieur d'une roue sous l'action de cycles de contraintes

Note 1 à l'article: Pour une évaluation de la propagation des fissures de fatigue dans le cadre du présent document, il est considéré que le matériau de la roue contient des discontinuités et les contraintes sont déterminées par mécanique de la rupture.

3.2.9

point chaud

emplacement sur la roue qui présente les sommes les plus élevées de dommages en fatigue pour un historique de contraintes donné

Note 1 à l'article: Les points chauds correspondent normalement aux emplacements qui présentent la contrainte dynamique la plus élevée pendant les régimes stationnaires ou l'étendue de contrainte la plus élevée au cours de la séquence démarrage-arrêt.

3.2.10

événement-charge

effort appliqué sur la roue pendant un régime stationnaire ou transitoire spécifique (démarrage, marche à vide, par exemple)

3.2.11

rejet de charge

régime transitoire caractérisé par une séquence automatique d'urgence, où une perte du couplage au réseau soudaine suivie d'une fermeture des directrices entraînent un passage temporaire de la turbine-alternateur du mode production au mode survitesse avant le retour en marche à vide ou l'arrêt (standstill) du groupe

3.2.12

séquence de chargement

succession d'événements-charge qui peuvent inclure une combinaison de régimes stationnaires et transitoires, fréquemment répétés (par exemple, séquence démarrage-arrêt: arrêt – démarrage – marche à vide – prise de charge – marche en pleine charge –arrêt –arrêt (standstill))

3.2.13

fabricant

entité chargée d'exécuter l'ensemble du processus de fabrication jusqu'à l'achèvement du composant de la machine hydraulique

3.2.14

puissance maximale

puissance la plus élevée produite par la turbine ou le groupe dans le domaine de fonctionnement normal continu sous une chute nette donnée

3.2.15

contrainte moyenne

contrainte moyenne constante d'un régime stationnaire ou à la contrainte moyenne mobile d'un historique de contraintes transitoires

Note 1 à l'article: Ce terme peut également se référer à la contrainte moyenne d'un seul cycle de fatigue par rapport à un spectre de contrainte calculé à partir d'un algorithme de comptage de cycles.

3.2.16

propriétaire

entité qui est soit l'acquéreur soit l'exploitant, ou les deux, du composant de la machine hydraulique, ou son représentant

3.2.17

contrainte périodique

contrainte dynamique d'amplitude et de fréquence constantes

3.2.18

algorithme Rainflow

méthode spécifique de comptage des cycles utilisée dans le présent document

Note 1 à l'article: Dans le présent document, le comptage Rainflow se réfère à la méthode "Simplified Rainflow Counting for Repeating Histories" décrite dans la norme ASTM E1049-85.

3.2.19

contrainte résiduelle

contrainte interne en équilibre statique qui persiste même en l'absence de charges externes

Note 1 à l'article: Dans les roues, ces contraintes résiduelles sont le plus souvent induites par les travaux de soudage, de fonderie, d'usinage et de formage.

3.2.20

réparation

processus de correction de défauts, d'anomalies ou de non-conformités observés sur un prototype de roue après inspection

Note 1 à l'article: Dans le cadre du présent document, ce processus peut inclure les travaux de réparation par soudage, ainsi que les travaux d'usinage, de meulage et de polissage.

3.2.21

emballement

régime stationnaire de marche à vide et sans sollicitations, dans lequel une turbine-alternateur fonctionne à sa vitesse d'emballement maximale obtenue par l'ouverture complète des directrices, sous la chute nette maximale du domaine de fonctionnement continu, si ce régime donne la vitesse de rotation la plus élevée

3.2.22

arrêt

régime transitoire caractérisé par une séquence automatique normale, où la turbine-alternateur passe du mode production à l'arrêt (standstill)

3.2.23

marche à vide

régime stationnaire de marche à vide, dans lequel une turbine-alternateur fonctionne à la vitesse synchrone et est prête à être synchronisée au réseau avec un sens de rotation positif et une puissance de sortie nulle

Note 1 à l'article: L'enroulement de champ de l'alternateur peut être excité ou non.

3.2.24**démarrage**

régime transitoire caractérisé par une séquence automatique normale, où la turbine-alternateur passe du mode arrêt (standstill), avec les directrices fermées, en marche à vide

3.2.25**contrainte statique**

contrainte moyenne constante, linéarisée ou non, calculée selon une analyse structurelle statique par éléments finis pour un régime stationnaire donné

3.2.26**régime stationnaire**

régime de fonctionnement de la turbine, caractérisé par des valeurs constantes (ou quasi constantes) de la chute nette, de la puissance de sortie de la turbine, de la hauteur de chute nette à l'aspiration et de la vitesse de rotation de la turbine

Note 1 à l'article: La contrainte moyenne induite dans la roue et les caractéristiques des contraintes dynamiques de la roue (amplitude, étendue, spectre de fréquence, écart-type, etc.) restent constantes pendant un régime stationnaire donné.

3.2.27**contrainte stochastique**

contrainte dynamique qui présente des amplitudes variables aléatoires et des composantes de fréquence à large bande

3.2.28**amplitude de contrainte**

moitié de l'étendue de contrainte d'un cycle (voir la Figure 1)

3.2.29**cycle de contrainte**

variation d'une contrainte en un point particulier de la roue, déterminée par une méthode de comptage des cycles et qui consiste en une variation sinusoïdale de la contrainte entre des valeurs minimale (creux) et maximale (crête)

3.2.30**historique de contraintes**

enregistrement ou calcul des contraintes dans le temps en un point particulier de la roue au cours d'un événement-charge ou pendant une ou plusieurs séquences de chargement successives

3.2.31**historique de déformations**

enregistrement ou calcul des déformations dans le temps en un point particulier de la roue au cours d'un événement-charge ou pendant une ou plusieurs séquences de chargement successives

3.2.32**étendue de contrainte**

différence algébrique entre les valeurs de crête à creux successives d'une contrainte (voir la Figure 1)

Note 1 à l'article: Pour une charge d'amplitude constante (voir la Figure 1), l'étendue est calculée comme suit:

$$\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$$

3.2.33**rapport de contrainte**

rapport de la valeur algébrique la plus basse d'un cycle de contrainte appliqué (S_{\min}) sur la valeur algébrique la plus élevée d'une charge de contrainte appliquée dans un cycle (S_{\max}) (voir la Figure 1)

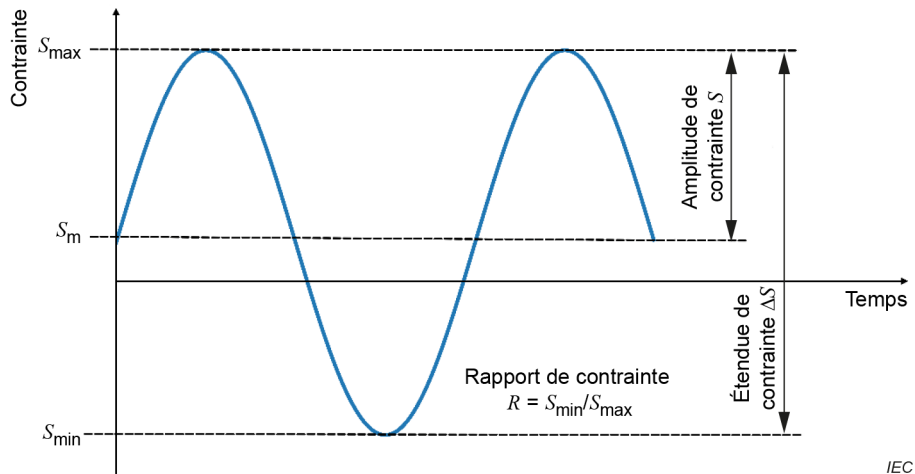


Figure 1 – Représentation d'un chargement d'amplitude constante causé par les principaux paramètres de contrainte de fatigue

3.2.34**spectre de contrainte**

représentation tabulaire du nombre de tous les cycles de contraintes discrets d'une amplitude donnée et du niveau de contrainte moyen, calculés par l'algorithme Rainflow appliqué à un historique de contraintes

3.2.35**fournisseur**

entité chargée de remettre au propriétaire l'équipement conformément aux spécifications contractuelles définies

3.2.36**domaine de fonctionnement temporaire**

domaine de fonctionnement de la turbine, hors domaine de fonctionnement normal continu, soumis à un nombre maximal admis d'heures de fonctionnement annuelles

3.2.37**régime transitoire**

passage rapide ou lent d'un régime stationnaire à un autre (y compris l'arrêt standstill)

Note 1 à l'article: La contrainte moyenne induite dans la roue et les caractéristiques des contraintes dynamiques de la roue (amplitude, étendue, spectre de fréquence, écart-type, etc.) varient pendant un régime transitoire donné.

3.3 Unités

Le Système International d'unités (SI, voir l'ISO 80000-4[3]) a été utilisé dans l'ensemble du présent document.

Tous les termes sont exprimés en unités de base SI ou en unités cohérentes dérivées. Les équations de base qui utilisent ces unités sont valides. Cet aspect est pris en compte si certaines données sont exprimées dans d'autres unités que les unités SI cohérentes (par exemple, le kilowatt au lieu du watt pour la puissance, le kilopascal ou le bar au lieu du pascal pour la pression, l'unité min^{-1} au lieu de s^{-1} pour la vitesse de rotation, etc.). Les températures peuvent être exprimées en degrés Celsius, car les températures absolues (en kelvins) sont rarement nécessaires.

Il est permis d'utiliser un autre système d'unités sous réserve d'un accord écrit entre les parties contractantes.

3.4 Abréviations

Les abréviations suivantes sont utilisées dans le présent document.

BHN (Brinell Hardness Number)	Échelle de dureté Brinell
MFN	Mécanique des fluides numérique
AEF	Analyse par éléments finis
MEF	Méthode par éléments finis
END	Essais non destructifs
TTAS	Traitement thermique après soudage
IRS	Interaction rotor-stator
SNL (Speed-No-Load)	Marche à vide

3.5 Termes subjectifs

L'interprétation de certains termes utilisés dans le présent document, par exemple "adapté", "adéquat", "suffisant", et "significatif", peut être subjective. Ces termes peuvent faire l'objet de discussions entre les propriétaires et les fournisseurs. Pour fournir un certain degré d'objectivité à ces termes, le niveau d'exactitude de l'évaluation associée doit être pris en compte. Toute méthode, mesure, analyse, simulation, etc. peut être considérée comme adaptée, appropriée, adéquate, suffisante, significative, etc., sous réserve qu'elle assure la précision de l'évaluation globale et qu'elle n'augmente pas le niveau d'incertitude.

Cela s'applique également si le fournisseur suggère des méthodes alternatives, auquel cas le fournisseur doit démontrer au propriétaire que l'exactitude procurée par la méthode alternative suggérée est identique ou meilleure par rapport aux méthodes décrites dans le présent document. Le fournisseur doit fournir la documentation à l'appui de la méthode alternative suggérée, par exemple la documentation interne ou publique examinée par des pairs indépendants, en comparant les méthodes alternatives suggérées aux méthodes de référence pertinentes. Le propriétaire doit évaluer les informations fournies et décider s'il doit accepter la méthode suggérée ou non, auquel cas la méthode d'origine devra être utilisée.

4 Historique de contraintes pour les événements-charge attendus

4.1 Objet et domaine d'application

L'Article 4 fournit des informations générales sur les événements-charge et les contraintes associées à prendre en compte pour l'évaluation de la fatigue d'une roue. Ses principaux objectifs sont les suivants:

- fournir des recommandations sur les régimes de fonctionnement à prendre en compte et la définition des événements-charge associés à prendre en compte pour l'évaluation de la fatigue d'une roue;
- définir les caractéristiques des chargements et contraintes de fatigue auxquels peuvent être soumises les roues;
- engager une discussion générale sur la façon dont les contraintes liées à des événements et des séquences de chargement spécifiques peuvent être prédites ou calculées.

4.2 Événements-charge

Les événements-charge à prendre en compte pour l'évaluation de la fatigue d'une roue doivent être définis au cas par cas, en fonction du régime de fonctionnement attendu de la turbine. Le type, l'étendue, la fréquence et le nombre d'événements-charge attendus, ainsi que la durée de vie en fatigue de conception exigée, doivent être spécifiés par le propriétaire.

Pour la conception de nouvelles roues, ou l'évaluation de la durée de vie restante de roues existantes, le propriétaire doit spécifier les régimes stationnaires dans lesquels la turbine est présumée fonctionner.

Il convient généralement de spécifier ces régimes stationnaires en nombre d'heures de fonctionnement annuelles, d'une manière similaire à celle indiquée dans le Tableau 1. Il convient de spécifier les heures de fonctionnement dans chacun des régimes stationnaires spécifiés pour la chute nette nominale, ainsi que pour les chutes nettes minimales, maximales et les autres chutes nettes pertinentes dans le cas d'une installation comportant une large gamme de chutes nettes. Les plages de puissance ou de débit indiquées dans le Tableau 1 sont fournies à titre d'exemples et peuvent être modifiées par le propriétaire en fonction du fonctionnement attendu de la roue spécifiée.

Le nombre spécifié d'heures de fonctionnement annuelles dans les différentes plages de puissance ou de débit, hors domaines de fonctionnement normaux (par exemple, au-dessous de 60 % à 70 % de la puissance maximale dans le cas d'une turbine Francis), doit être défini de la manière la plus réaliste possible afin de ne pas induire de contraintes inutiles sur la conception, qui pourraient compromettre le rendement et le comportement en cavitation.