

---

---

**Vibrations mécaniques — Mesurage  
des vibrations à bord des navires —**

Partie 4:

**Mesurage et évaluation des vibrations  
des machines de propulsion des  
navires**

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)  
*Mechanical vibration — Measurement of vibration on ships —  
Part 4: Measurement and evaluation of vibration of the ship  
propulsion machinery*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/118983ea-9d3c-4850-a1a6-81c1ec6ee6bb/iso-20283-4-2012>



## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 20283-4:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/118983ea-9d3c-4850-a1a6-81c1ec6ee6bb/iso-20283-4-2012>



### DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2012

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](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Version française parue en 2014

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Essais de vibrations</b> .....	<b>3</b>
4.1   Instrumentation.....	3
4.2   Conditions d'essai.....	4
4.3   Mode opératoire d'essai.....	5
4.4   Traitement des données.....	5
4.5   Mesurages.....	6
<b>5</b> <b>Critères d'évaluation</b> .....	<b>18</b>
<b>6</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>18</b>
<b>Annexe A (informative) Manœuvres, mesurages des transitoires</b> .....	<b>20</b>
<b>Annexe B (informative) Évaluation des vibrations au niveau des propulseurs orientables mécaniques (par exemple, propulseurs orientables Schottel) et des lignes d'arbres par mesurages sur les parties non tournantes</b> .....	<b>21</b>
<b>Annexe C (informative) Évaluation des vibrations d'un propulseur Voith–Schneider par mesurages sur des parties non tournantes</b> .....	<b>22</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>24</b>

ISO 20283-4:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/118983ea-9d3c-4850-a1a6-81c1ec6ee6bb/iso-20283-4-2012>

## 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](http://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](http://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. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sis/118983ea-9d3c-4830-a1a0-81c1ec6ee6bb/iso-20283-4-2012>

L'ISO 20283-4 a été élaborée par le comité technique 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 20283 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Vibrations mécaniques — Mesurage des vibrations à bord des navires*:

- *Partie 2: Mesurage des vibrations structurelles*
- *Partie 3: Mesurage des vibrations des équipements de bord avant leur installation*
- *Partie 4: Mesurage et évaluation des vibrations des machines de propulsion des navires*

La partie suivante est prévue:

- *Partie 1: Lignes directrices générales*

## Introduction

En général, les sociétés de classification demandent une étude numérique sur le comportement vibratoire torsionnel du système de propulsion des navires de haute mer lors de la phase de conception pour l'utiliser comme base d'approbation de la conception. Selon les résultats de cette étude et le type d'installation à prendre en considération, d'autres études spécifiques sur les vibrations de torsion peuvent être nécessaires à des fins de vérification. Des critères explicites pour l'évaluation des chargements de torsion sont donnés dans les règlements des sociétés de classification internationales ainsi que sous la forme d'exigences unifiées (UR, Unified Requirements) de l'Association internationale des sociétés de classification, en particulier l'IACS UR M68,<sup>[10]</sup> l'accent étant mis sur les pièces de transmission de couple, telles que les arbres, les engrenages, les accouplements et les raccords. Des études sur le comportement vibratoire en flexion de l'arbre ainsi que sur les vibrations axiales du système de propulsion ou du vilebrequin peuvent être exigées par les sociétés de classification dans le cas exceptionnel où la conception particulière du système les rend nécessaires.

Les systèmes de propulsion peuvent être exposés à des vibrations de grande amplitude dont la source d'excitation est, en général, le moteur et/ou l'hélice. En plus des critères numériques pour l'évaluation des vibrations de torsion, d'autres exigences particulières peuvent être dictées, comme celles visant à éviter une inversion de charge dans la chaîne cinématique. En général, des composants mécaniques peuvent être parfaitement conçus pour l'utilisation en inversion de charge; toutefois, certaines exigences spécifiques en ce sens sont également basées sur une utilisation souple du système et sont par conséquent mises en avant par les armateurs ou exploitants de navires spéciaux tels que les bâtiments militaires ou les yachts.

Il convient que l'utilisateur de la présente partie de l'ISO 20283 garde à l'esprit que, pour l'évaluation des données mesurées sur les systèmes de propulsion des navires, il convient de prendre en compte les règles de la société de classification responsable du navire dans leur dernière édition ou l'IACS UR en vigueur.

Si des problèmes concernant la présente partie de l'ISO 20283 sont directement ou indirectement soulevés par les règles de la société de classification retenue ou par d'autres règlements internationaux contraignants, tels que ceux de l'Organisation Maritime Internationale (OMI), la Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) et le UK Maritime and Coastguard Agency, il convient que le choix de la méthode de mesurage appliquée, qu'elle soit ou non spécifiée dans la présente partie de l'ISO 20283, respecte l'esprit de ces règles ou règlements.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 20283-4:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/118983ea-9d3c-4850-a1a6-81c1ec6ee6bb/iso-20283-4-2012>

# Vibrations mécaniques — Mesurage des vibrations à bord des navires —

## Partie 4: Mesurage et évaluation des vibrations des machines de propulsion des navires

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 20283 donne des lignes directrices pour les modes opératoires d'instrumentation, de mesurage et de traitement des données nécessaires à l'obtention de données de vibrations fiables sur les systèmes de propulsion des navires. Elle donne également des lignes directrices pour l'application de techniques de mesurage spécifiques, qui sont usuelles et adéquates pour mesurer les vibrations mécaniques sur les systèmes de propulsion des navires de haute mer et fluviaux. Il est possible d'appliquer les techniques de mesurage à un moteur diesel et à des systèmes de propulsion à turbine ou électriques en prenant toujours en considération les limites d'application spécifiques de chaque mode opératoire décrit individuellement.

Les modes opératoires spécifiés dans la présente partie de l'ISO 20283 se concentrent sur les vibrations mécaniques répétitives (régime établi ou quasi-établi, comme un balayage) et peuvent par conséquent ne pas être adaptés au mesurage et à l'évaluation de signaux transitoires, de signaux variant très rapidement et de signaux de chocs.

La présente partie de l'ISO 20283 spécifie essentiellement des techniques pour mesurer les vibrations mécaniques du système de propulsion principal au cours des essais en mer. Des principes de mesurage identiques ou similaires peuvent également être utilisés à d'autres fins, telles la surveillance des performances, l'étude de vibrations anormales en service et l'évaluation de l'état des éléments réparés. Cependant, dans de tels cas, il est nécessaire d'adapter le mode opératoire de mesurage aux besoins spécifiques.

### 2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application 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).

ISO 2041:2009, *Vibrations et chocs mécaniques, et leur surveillance — Vocabulaire*.

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 2041 et ci-après s'appliquent.

#### 3.1 route libre

état atteint lorsque le navire se déplace à vitesse constante en ligne droite avec une variation de cap maximale de  $\pm 2^\circ$  et sans variation du régime moteur

[SOURCE: ISO 20283-2:2008, 3.3]

**3.2**  
**sévérité vibratoire**

valeur, ou ensemble de valeurs, comme une valeur maximale, une valeur moyenne ou une valeur efficace, ou d'autres paramètres décrivant les vibrations, ayant trait à des valeurs instantanées ou à des valeurs moyennes

[SOURCE: ISO 2041:2009, 2.51]

Note 1 à l'article: la sévérité vibratoire est un terme générique qui a été utilisé dans le passé en relation avec la vitesse de vibration. Toutefois, il est désormais plus généralement utilisé pour décrire d'autres unités de mesurage, telles que le déplacement et l'accélération.

**3.3**  
**valeur de crête**

valeur maximale d'une vibration pendant un intervalle de temps spécifié

[SOURCE: ISO 2041:2009, 2.44]

Note 1 à l'article: une valeur de crête est habituellement considérée comme l'écart maximal de cette vibration avec la valeur moyenne. Une valeur de crête positive est l'écart maximal positif et une valeur de crête négative est l'écart maximal négatif, voir [Figure 1](#).

Note 2 à l'article: en matière de vibrations, la valeur de crête est habituellement comprise comme la moitié de la valeur crête à crête (d'une vibration) puisque les valeurs de crête positive et négative peuvent être différentes; voir également [3.4](#).

**3.4**  
**valeur crête à crête**

différence (de vibration) entre la valeur positive maximale et la valeur négative maximale d'une vibration dans un intervalle spécifié

[SOURCE: ISO 2041:2009, 2.45]

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/118983ea-9d3c-4850-a1a6-81c1ec6ee6bb/iso-20283-4-2012>

Note 1 à l'article: voir [Figure 1](#).

**3.5**  
**valeur efficace**

valeur quadratique moyenne (de vibration) (calculée par la racine carrée de la somme des carrés de l'amplitude) d'un spectre de transformée de Fourier rapide avec une largeur de bande définie ou d'un signal temporel pendant un intervalle de temps spécifié (par exemple, une période de la fréquence fondamentale)

EXEMPLE 1 Une valeur efficace dans un intervalle de temps  $t_1$  à  $t_2$

$$\sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u^2(t) dt}$$

EXEMPLE 2 Une valeur efficace d'un spectre d'une transformée de Fourier rapide (FFT) avec  $N$  raies spectrales

$$\sqrt{\frac{1}{2} \sum_{n=1}^N X_n^2}$$

Voir [Figure 1](#).

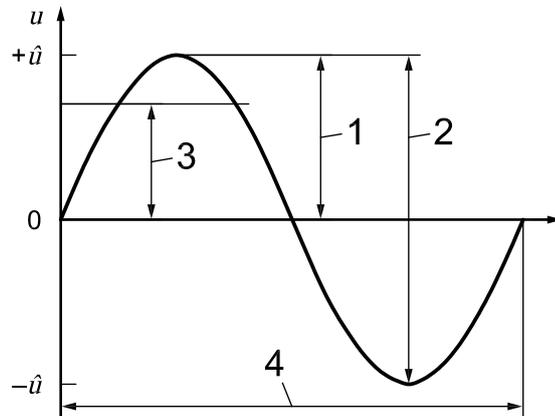
Note 1 à l'article: la présente définition de la valeur efficace d'un spectre est obtenue à partir de la définition plus générale du spectre efficace donnée par l'ISO 2041:2009, 5.11, adaptée à une utilisation courante en matière de vibrations.

Note 2 à l'article: pour les ondes sinusoïdales, la valeur efficace est la valeur de crête divisée par  $\sqrt{2}$ .

Note 3 à l'article: en cas de source d'excitation mixte, il convient d'appliquer un fenêtrage. D'autres facteurs doivent être inclus pour donner une valeur efficace de la forme:

$$\sqrt{\frac{1}{2B} \sum_{n=1}^N X_n^2}$$

où



$B$  est le coefficient de largeur de bande de bruit de la fenêtre en fonction de la fenêtre de pondération temporelle:

$B = 1,5$  pour une fenêtre de Hanning,

$B = 3,77$  pour une fenêtre flat top,

$B = 1$  sans fenêtre de pondération temporelle,

$X_n$  est l'amplitude de la bande étroite obtenue par FFT.

ISO 20283-4:2012  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/118983ea-9d3c-4850-a1a6-81c1ec6ee6bb/iso-20283-4-2012>

#### Légende

- 1 valeur de crête,  $\hat{u}$
- 2 valeur crête à crête, de  $-\hat{u}$  à  $+\hat{u}$
- 3 valeur efficace
- 4 durée de la période

Figure 1 — Valeurs d'une vibration  $u(t)$  (simplifiées pour une onde sinusoïdale)

## 4 Essais de vibrations

### 4.1 Instrumentation

Les capteurs, le conditionnement du signal et l'équipement de stockage de données doivent être capables d'effectuer des mesurages précis dans la plage de fréquences, laquelle doit être adéquate pour les quantités de vibrations à mesurer. Il convient que les techniques de mesurage utilisées soient capables de maintenir une exactitude de  $\pm 10\%$ . Il convient que les parties concernées, à savoir le chantier ou le constructeur, le propriétaire, la société de classification et le fournisseur, définissent une plage de fréquences convenable pour les mesurages en fonction des quantités mécaniques à mesurer. À titre de ligne directrice générale, une limite supérieure de fréquence de 1 000 Hz est normalement utilisée et suffisante pour les mesurages de vibrations linéaires. Pour les mesurages par extensométrie de forces ou de couples ou d'autres mesurages sur les parties tournantes du système de propulsion, une limite de fréquence supérieure de 100 Hz pour les moteurs lents deux temps et de 400 Hz pour les moteurs quatre temps est suffisante (pour les moteurs quatre temps, la fréquence supérieure doit être égale ou

supérieure au produit de la vitesse de rotation maximale par le nombre de cylindres). Pour les mesurages d'accélération sur les réducteurs, des fréquences plus élevées peuvent être appropriées selon les forces d'excitation (fréquences d'engrènement).

Les données brutes ou traitées doivent être stockées de façon permanente par un moyen électronique. Les sorties sur papier peuvent être acceptables dans certains cas, mais à des fins de reproduction, un système de stockage de données électronique (analogique ou numérique) est préférable. La fonction de transfert complète de la chaîne de mesurage, du capteur à l'équipement de stockage et de relecture, ou ses données numériques de relecture, doivent être connues de l'opérateur et doivent être validées sur site ou en laboratoire.

Il est recommandé d'enregistrer la phase des vibrations mesurées en faisant référence à la source de l'excitation. En d'autres termes, il convient de fournir un marqueur indiquant la position absolue de la source d'excitation principale. Il s'agit communément d'un marqueur indiquant la phase du moteur (par exemple, PMH 1= point mort haut, cylindre N °1), mais la phase de l'hélice peut avoir son importance dans certains cas exceptionnels.

## 4.2 Conditions d'essai

Certaines séries de mesurages concernant le système de propulsion exigent des conditions de régime établi et se réfèrent aux états de chargement spécifiés pour le navire afin de répondre aux attentes de répétabilité telles que celles énoncées ci-après.

- a) Il convient que l'état de chargement du navire soit aussi proche que possible de l'état de fonctionnement nominal contractuel. Cet état correspond au moins à l'état ballasté du navire, courant pendant les essais en mer, avec une hélice entièrement immergée.
- b) Il convient que la profondeur de l'eau ne soit pas inférieure à cinq fois le tirant d'eau du navire. Les écarts doivent être approuvés par les parties contractantes et mentionnés dans le rapport.
- c) Il convient de dévier aussi peu que possible du cap choisi au cours de l'essai de route libre. Il convient de limiter l'angle de barre à 2° environ sur bâbord et sur tribord.
- d) Il convient que l'état de mer maximum soit comme indiqué ci-après et ne provoque pas de tossage ou d'impacts de lames importants, en particulier:
  - embarcations: état de mer 1;
  - petits navires (< 100 m): état de mer 2;
  - grands navires (≥ 100 m): état de mer 3.
- e) Il convient que le moteur tourne dans des conditions normales de fonctionnement. Pour certains types de mesurages et de systèmes de propulsion, il peut être convenu d'effectuer des mesurages supplémentaires avec des écarts spécifiés par rapport à l'état de fonctionnement normal (il s'agit généralement de l'état de raté ou de coupure de cylindre pour les vibrations de torsion).
- f) Pour les systèmes plus complexes intégrant plusieurs moteurs, lignes d'arbres et embrayages, les types de modes de fonctionnement à étudier doivent être convenus entre les parties concernées avant la réalisation des mesurages. À cet égard, il peut être obligatoire de répondre aux exigences des sociétés de classification (par exemple, vibrations de torsion pour fonctionnement avec un et deux moteurs si deux moteurs fonctionnent via des embrayages sur un arbre, ou fonctionnement normal et d'urgence pour les navires ayant une annotation de classe avec propulsion redondante).

## 4.3 Mode opératoire d'essai

### 4.3.1 Généralités

Le fonctionnement fiable, reproductible et précis de chaque voie de mesurage doit être vérifié de façon adéquate. Des jauges de contrainte doivent normalement être étalonnées électriquement après installation sur site.

S'il est convenu d'évaluer les types de vibrations mécaniques mesurées (de torsion, de flexion, axiales, transversales) les unes par rapport aux autres (au lieu d'estimer uniquement l'amplitude de chaque type), il est recommandé d'utiliser des techniques de stockage multivoie simultané ou d'enregistrer en plus la phase de chacune des voies individuelles.

### 4.3.2 Mesurage en régime établi

L'acquisition de «données de vibration en régime établi» dans les conditions spécifiées en 4.2 peut être effectuée par l'un des modes opératoires suivants.

- a) Enregistrement de valeurs en régime établi pendant des paliers de vitesse constante uniformément répartis sur toute la plage de vitesses disponible entre la vitesse minimale et la vitesse nominale (maximale). Le nombre de paliers doit être tel que le comportement vibratoire sur la plage de vitesse puisse être enregistré avec exactitude conformément aux besoins décrits [à titre de guide: l'intervalle de vitesse entre les paliers est égal à 5 % environ de la vitesse nominale; au voisinage des résonances, il est recommandé d'effectuer une montée (ou une descente) en vitesse lente et continue comme spécifié en b) ou de rapprocher les paliers].
- b) Accélération lente et régulière de la vitesse minimale à la vitesse nominale (maximale). La montée en vitesse doit être suffisamment lente pour permettre le plein établissement des vibrations à mesurer. Dans des cas exceptionnels, la décélération (descente en vitesse) du système peut également être envisagée; toutefois, l'excitation maximale est attendue pendant l'accélération [à titre de guide: appliquer une accélération de 2 % de la valeur nominale de la vitesse par minute se traduisant par une montée (ou une descente) en vitesse de 30 minutes environ pour un moteur deux temps en propulsion directe. Pour les moteurs quatre temps semi-rapides et rapides, il faut appliquer une accélération de 15 % de la valeur nominale de la vitesse par minute se traduisant par une montée (ou une descente) en vitesse de 10 minutes].

Il est recommandé que l'accélération du moteur et du navire soit telle que la courbe d'absorption de puissance suive la courbe puissance-vitesse nominale.

Dans des cas exceptionnels, des manœuvres ou des mesurages transitoires conformément à l'[Annexe A](#) peuvent être appliqués.

## 4.4 Traitement des données

### 4.4.1 Généralités

Des spectres d'amplitude en fonction de la fréquence ou des ordres d'harmoniques sont recommandés. Une résolution d'au moins 400 lignes spectrales et une fenêtre de Hanning sont souvent utilisées, mais différents paramètres peuvent être plus appropriés pour une meilleure résolution d'amplitude ou de fréquence (par exemple, résolution de 1 600 lignes spectrales, fenêtre flat top, plage de fréquence de 1 kHz). Il convient de prendre en compte la moyenne des spectres sur la durée de l'enregistrement de données. Il convient d'utiliser les spectres pour générer les tracés des amplitudes de tous les ordres principaux de rotation de l'arbre (ordres principaux d'harmoniques excités par le moteur, fréquence de rotation de l'arbre, fréquence de rotation des pales), plus les valeurs obtenues (voir 4.4.2) en fonction de la vitesse de rotation de l'arbre.

Alternativement, le suivi d'ordres peut être appliqué si l'excitation est principalement périodique sous l'effet du nombre de tours de l'arbre ou du moteur. Le suivi d'ordres est un mode opératoire comprenant une période de mesurage par base de temps qui est ajustée continuellement sur un cycle d'excitation

de base, c'est-à-dire un tour pour des moteurs alternatifs deux temps ou deux tours pour des moteurs alternatifs quatre temps). Dans ce cas, les spectres d'ordres ou les tracés d'ordres en fonction de la vitesse de l'arbre correspondants ne nécessitent généralement pas de fenêtrage ou une haute résolution spectrale.

#### 4.4.2 Sévérité vibratoire

Les valeurs de sévérité vibratoires des vibrations (souvent appelées aussi valeurs résultantes) doivent être obtenues en tant que valeurs de crête ou valeurs efficaces selon le paramètre mesuré (voir 4.4.3).

Il est couramment fait usage de FFT moyennées pour des mesurages à vitesse constante et de FFT uniques pour des mesurages à vitesse variable.

La plage de fréquences ou d'ordres pour cette évaluation peut être limitée à une plage appropriée pour chaque paramètre de mesurage. Si un post-traitement tel qu'un filtrage est appliqué, par exemple, à cause du bruit excessif du signal ou d'autres perturbations à haute ou basse fréquence du signal, il doit être indiqué. Dans ce cas, il est possible d'évaluer directement la sévérité vibratoire à partir du signal filtré ou de la calculer à partir du nombre réduit de valeurs de fréquence ou d'ordres, avec leurs phases dans le cas de valeurs de crête.

#### 4.4.3 Quantités pertinentes

Pour les mesurages sur les parties tournantes de la machine (par exemple le couple ou la poussée alternées et les contraintes de torsion ou de flexion alternées), les valeurs de crête par cycle présentent un intérêt et doivent être affichées dans les graphiques. Les valeurs peuvent être mises à l'échelle en valeur absolue ou en pourcentage de la valeur nominale (ou théorique) de la poussée et du couple. La courbe représentant la valeur moyenne mesurée (ou théorique) du couple ou de la poussée peut être ajoutée au schéma afin de visualiser d'éventuelles inversions de couple ou de poussée.

NOTE Si la poussée alternative est supérieure à la poussée moyenne, la poussée change de sens d'avant en arrière avec la fréquence de la poussée dynamique superposée. De même, si le couple alternatif des systèmes à réducteur dépasse le couple moyen, un martelage des dents du réducteur est audible. Ces conditions sont calculées ou évaluées lors de l'approbation de la conception. L'inversion de charge peut être une opération admissible, en particulier dans la plage de vitesse la plus basse.

Pour les mesurages de vibrations linéaires, la valeur efficace de la FFT est considérée comme étant la valeur de sévérité vibratoire correspondante. Cela s'applique à l'accélération ou à la vitesse linéaire des parties non tournantes des composants de la chaîne de propulsion énumérés en 4.5.5. Par ailleurs, la plus grande amplitude spectrale est aussi un indicateur important.

En outre, il est possible d'inclure les amplitudes simples des ordres de rotation de l'arbre correspondants (principaux ordres d'harmoniques excités par le moteur, fréquence de rotation de l'arbre, fréquence de rotation des pales) en les représentant graphiquement en fonction de la vitesse de rotation de l'arbre pour visualiser les résonances du système de propulsion.

### 4.5 Mesurages

#### 4.5.1 Généralités

L'étendue des mesurages est soumise à un accord spécifique entre les parties intéressées.

Certaines des méthodes de mesurage fournissent des valeurs qui ne peuvent pas être utilisées pour une évaluation directe; par conséquent, il est nécessaire de recalculer ces valeurs à l'aide d'un modèle mathématique qui doit être soumis à l'accord des parties intéressées et consigné dans un rapport.