

---

---

**Vibrations mécaniques — Évaluation des  
vibrations des machines par mesurages  
sur les arbres tournants —**

Partie 5:  
**Machines équipant les centrales  
hydroélectriques et les stations de  
pompage**

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration  
by measurements on rotating shafts —  
Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8f76fb8a-5b04-41ce-a207-cc668c597d07/iso-7919-5-2005>

**PDF – Exonération de responsabilité**

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

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

[ISO 7919-5:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8f76fb8a-3b04-41ce-a207-cefe6608e536/iso-7919-5-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8f76fb8a-3b04-41ce-a207-cefe6608e536/iso-7919-5-2005>

© ISO 2005

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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'ISO à l'adresse ci-après ou du 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)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b> <b>Méthodes de mesure</b> .....	<b>2</b>
<b>3.1</b> <b>Généralités</b> .....	<b>2</b>
<b>3.2</b> <b>Types de mesurage</b> .....	<b>2</b>
<b>3.3</b> <b>Plans de mesurage</b> .....	<b>3</b>
<b>3.4</b> <b>Équipement de mesure</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b> <b>Critères d'évaluation</b> .....	<b>4</b>
<b>4.1</b> <b>Conditions de fonctionnement des turbines</b> .....	<b>4</b>
<b>4.2</b> <b>Conditions de fonctionnement des pompes</b> .....	<b>4</b>
<b>4.3</b> <b>Conditions de fonctionnement particulières</b> .....	<b>4</b>
<b>Annexe A</b> (normative) <b>Critères d'évaluation des vibrations relatives de l'arbre des groupes de turbines hydrauliques dans les conditions de fonctionnement spécifiées</b> .....	<b>6</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Particularités des vibrations de l'arbre des groupes générateurs hydrauliques</b> .....	<b>11</b>
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Mode opératoire d'analyse et technique de régression appliquée</b> .....	<b>13</b>
<b>Annexe D</b> (informative) <b>Objectifs et détails de la présente édition de l'ISO 7919-5</b> .....	<b>15</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>17</b>

ISO 7919-5:2005  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8f76fb8a-3b04-41ce-a207-cefe6608e536/iso-7919-5-2005>

## 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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

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.

L'ISO 7919-5 a été élaborée conjointement par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*, sous-comité SC 2, *Mesure et évaluation des vibrations et chocs mécaniques intéressant les machines, les véhicules et les structures*, et le comité technique CEI/TC 4, *Turbines hydrauliques*. Le projet a été diffusé pour le vote aux comités nationaux de l'ISO et de la CEI séparément.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 7919-5:1997), dont elle constitue une révision technique. Les critères d'évaluation ont été modifiés en remplaçant les quatre zones d'évaluation précédentes par une division plus globale de la totalité de la zone d'évaluation, en deux grandes zones dont les définitions ont été changées, et délimitées par l'ancienne ligne de séparation B/C. Au sein des deux zones majeures A-B et C-D, les anciennes limites A/B et C/D ont été conservées pour indiquer les différents degrés de gravité en fonction des données statistiques. Pour davantage d'informations sur les objectifs de cette révision, se reporter à l'Annexe D.

L'ISO 7919 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les arbres tournants*:

- *Partie 1: Directives générales*
- *Partie 2: Turbines à vapeur et alternateurs installés sur fondation radier, 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 couplées*
- *Partie 4: Turbines à gaz*
- *Partie 5: Machines équipant les centrales hydroélectriques et les stations de pompage*

# Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les arbres tournants —

## Partie 5: Machines équipant les centrales hydroélectriques et les stations de pompage

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 7919 donne des lignes directrices relatives aux critères d'évaluation des vibrations des arbres qui sont mesurées au droit ou au voisinage des paliers des machines ou des groupes générateurs de puissance équipant les centrales hydroélectriques et installations de pompage, dans les conditions normales de fonctionnement. Ces lignes directrices concernent les vibrations dans les conditions de fonctionnement stables ainsi que les variations d'amplitude susceptibles d'affecter ces valeurs de vibration dans ces conditions.

NOTE 1 Les valeurs numériques spécifiées ne sont pas destinées à être utilisées comme base unique pour l'évaluation des vibrations étant donné que, généralement, les critères qui concernent les vibrations d'une machine sont évalués en prenant en compte les vibrations à la fois de l'arbre et des structures qui lui sont associées (voir ISO 7919-1 et ISO 10816-1).

La présente partie de l'ISO 7919 est applicable aux machines ou aux groupes générateurs de puissance équipant les centrales hydroélectriques et installations de pompage dont les vitesses sont comprises entre 60 tr/min et 1 800 tr/min, ayant des paliers à demi-coussinets ou à coussinets, et dont la puissance utile est au moins égale à 1 MW. La position de l'axe de l'arbre peut être verticale, horizontale, ou faire un angle arbitraire entre ces deux directions.

Les groupes générateurs traités dans la présente partie de l'ISO 7919 comprennent

- turbines et générateurs hydrauliques,
- pompes et machines électriques fonctionnant comme des moteurs,
- turbopompes et groupes convertisseurs, et
- turbines, pompes et groupes convertisseurs (groupe de machines classiques de pompage et de stockage),

y compris le matériel auxiliaire (par exemple les turbines de démarrage ou les excitatrices se situant sur l'axe de l'arbre).

La présente partie de l'ISO 7919 est applicable également aux turbines ou aux pompes reliées à des générateurs ou à des moteurs électriques par l'intermédiaire de transmissions et/ou d'accouplements à articulation radiale.

NOTE 2 Les machines électriques dont les vitesses se situent entre 1 000 tr/min et 1 800 tr/min sont évaluées conformément aux critères spécifiés dans l'ISO 7919-3.

La présente partie de l'ISO 7919 n'est pas applicable

- aux pompes des centrales thermiques ou des installations industrielles (pour ces machines, voir l'ISO 7919-3),
- aux machines ou groupes générateurs hydrauliques comportant des roulements, ou
- aux machines hydrauliques comportant des paliers à lubrification à eau.

Conformément à l'ISO 7919-1, les vibrations des arbres des machines ou groupes générateurs de puissance équipant les centrales hydroélectriques ou installations de pompage peuvent être déterminées par rapport aux missions suivantes:

- mission A: variations du comportement vibratoire;
- mission B: force tournante excessive;
- mission C: surveillance du jeu radial.

## **2 Références normatives**

Les documents de référence suivants sont indispensables pour 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 7919-1, *Vibrations mécaniques des machines non alternatives — Mesurages sur les arbres tournants et critères d'évaluation — Partie 1: Directives générales*

ISO 10817-1, *Systèmes de mesure des vibrations des arbres tournants — Partie 1: Captage relatif et captage absolu des vibrations radiales*

CEI 60994, *Guide pour la mesure in situ des vibrations et fluctuations sur machines hydrauliques (turbines, pompes d'accumulation et pompes-turbines)*

## **3 Méthodes de mesure**

### **3.1 Généralités**

Les méthodes de mesure à suivre et les instruments à utiliser doivent être ceux décrits dans l'ISO 7919-1 et dans la CEI 60994.

### **3.2 Types de mesurage**

Les mesurages des vibrations relatives et absolues des arbres sont effectués sur les groupes générateurs hydrauliques en utilisant des capteurs sans contact. La gamme de fréquences de l'équipement de mesurage nécessaire pour les machines hydrauliques lentes étant très basse, on ne peut pas généralement utiliser des capteurs à patins en contact avec l'arbre sur lesquels sont montés des capteurs sismiques.

Pour les mesurages relatifs, il convient de monter les capteurs directement sur le demi-coussinet ou sur le coussinet du palier. Si les capteurs sont placés sur la structure supportant les paliers ou dans le carter du palier, comme c'est l'habitude pour les machines verticales, on doit veiller à ce que le mouvement relatif entre le demi-coussinet ou les patins du palier et le capteur lui-même soit faible par rapport au mouvement de l'arbre. Sinon, le signal mesuré ne peut pas être considéré comme représentatif du mouvement relatif entre l'arbre et le demi-coussinet ou le coussinet du palier. Cette exigence peut être évaluée par une analyse statique de la structure ou un mesurage supplémentaire, ce dernier étant en général difficile et coûteux.

En ce qui concerne les supports du capteur, il est recommandé que la fréquence propre inférieure des modes de vibrations créant des mouvements importants dans la direction de fonctionnement des capteurs de déplacement de l'arbre soit supérieure à sept fois la fréquence de rotation synchrone et ne soit pas un multiple direct de la fréquence de rotation synchrone.

Il convient de toujours mesurer les vibrations absolues du support en utilisant des capteurs sismiques placés sur le support, aussi près que possible du capteur des mouvements de l'arbre et dans la même direction d'action. Après conversion en déplacements, les relevés des capteurs sismiques peuvent être utilisés pour évaluer le déplacement absolu de l'arbre.

NOTE Outre les vibrations de l'arbre, les vibrations du support des paliers sont également souvent surveillées. Le mesurage des vibrations au niveau des paliers guides inférieurs des machines verticales peut toutefois être mal interprété. Le niveau de vibrations mesuré sur les paliers et leurs supports scellés de manière rigide dans les bâtiments est parfois produit par des forces hydrauliques directement transmises de la machine hydraulique par l'intermédiaire des fondations et non par les vibrations radiales de l'arbre.

### 3.3 Plans de mesurage

Les missions A et B (voir Article 1) nécessitent des mesurages au niveau de tous les paliers principaux du groupe hydraulique. Il convient, si possible, de placer les capteurs en ligne au niveau des différents paliers. Pour les machines verticales, les directions de mesurage préférées sont, dans la plupart des cas, vers l'amont et à 90° dans le sens de rotation. Pour les machines horizontales, les directions de mesurage sont souvent choisies à  $\pm 45^\circ$  de la verticale, pour des raisons pratiques.

À des fins de surveillance uniquement (mission A), les plans de mesurage peuvent, dans certains cas, être limités aux plus importants, principalement sur les groupes hydrauliques comportant quatre paliers ou plus. Il convient de faire reposer la sélection sur les analyses des performances des vibrations, en simulant tous les types de défauts et de perturbations. Il convient de préférer les plans de mesurage où les perturbations éventuelles produisent des amplitudes importantes de l'arbre.

La mission de mesurage C nécessite le montage de capteurs près des joints ou des labyrinthes de la machine hydraulique ou à l'intérieur, ou encore en des points où il est possible de reconstituer la déflexion de l'axe de l'arbre dans la machine, pour tous les modes de vibration concernés. Dans des cas particuliers, des mesurages appropriés font partie de la mise en service d'un groupe hydraulique. Ils peuvent entraîner des fonctions de transfert pour les différents plans de mesurage permanents.

NOTE Lors de l'appréciation du comportement de l'ensemble de la machine, il importe d'effectuer également des mesurages à une certaine distance des paliers (dans la zone d'accouplement par exemple) afin d'obtenir des informations sur la distribution de l'amplitude le long de l'axe de l'arbre. Si le plan d'un palier se trouve près d'un nœud de vibration, les amplitudes de vibrations et la déflexion effective de l'axe de l'arbre peuvent être sous-estimées.

### 3.4 Équipement de mesure

Les performances de l'équipement de mesure doivent être conformes aux prescriptions de l'ISO 10817-1 et de la CEI 60994.

La plage de fréquences de l'équipement de mesure doit correspondre au spectre large d'excitation de vibrations de l'arbre sur les machines hydrauliques. Il convient qu'elle aille d'un quart de la fréquence nominale de rotation de la machine à deux fois la fréquence de passage de l'auget ou des pales.

Il convient que la plage d'amplitude du système de mesure soit au moins égale à quatre fois les valeurs de la limite entre les zones A-B et C-D (voir A.2), de manière à pouvoir surveiller exactement les conditions de fonctionnement transitoires.

## 4 Critères d'évaluation

### 4.1 Conditions de fonctionnement des turbines

L'Annexe A présente les critères d'évaluation de l'amplitude des vibrations et de ses variations pour les groupes hydrauliques dans les conditions de fonctionnement des turbines.

Compte tenu du caractère particulier des orbites des vibrations des machines hydrauliques à arbre vertical, il convient que la grandeur de mesurage soit le déplacement relatif maximal  $S_{max}$ . La plupart des systèmes de surveillance affichant des amplitudes de déplacement sous forme de valeurs  $S_{p-p}$  (déplacement vibratoire crête à crête dans la direction du mesurage; voir ISO 7919-1), les critères d'évaluation sont spécifiés pour les deux grandeurs de mesurage. Ces critères s'appliquent aux groupes hydrauliques dont les vitesses nominales se situent entre 60 tr/min et 1 800 tr/min et qui fonctionnent dans la plage de puissance stationnaire admissible de façon contractuelle.

Les valeurs limites s'appliquent à toutes les catégories de groupes hydrauliques à turbines, indépendamment du type, de la hauteur de charge et de la puissance, sauf restrictions figurant à l'Article 1.

On doit considérer que, du fait de forces radiales provenant d'un écoulement rotationnel en aval de la roue, des amplitudes de vibrations de l'arbre plus élevées peuvent se produire lors d'un fonctionnement hors du point de tracé optimal, pour les turbines axiales à pales fixes, les turbines Francis et les turbines-pompes. La zone affectée est normalement définie par le débit de la turbine inférieur à 80 % du débit respectif à plein rendement à chaque hauteur.

Dans le cas de turbines-pompes, les amplitudes des vibrations de l'arbre peuvent être plus importantes que ce que l'on escompte normalement du fait des critères de conception de la roue qui sont un compromis entre les conceptions optimales pour une turbine et pour une pompe. Pour les types de turbines à fonctionnement hydromécanique plus doux (par exemple les turbines Pelton ou les turbines Kaplan à double réglage), on peut normalement s'attendre à des amplitudes vibratoires plus faibles de l'arbre.

ISO 7919-5:2005

### 4.2 Conditions de fonctionnement des pompes

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8f76fb8a-3b04-41ce-a207-c6e6608e5336/iso-7919-5-2005>

À l'heure actuelle, on ne dispose pas de données suffisantes pour élaborer des critères concernant les groupes hydrauliques fonctionnant en condition de pompage. Ils figureront dans une future édition de la présente partie de l'ISO 7919.

### 4.3 Conditions de fonctionnement particulières

Il convient de faire tout particulièrement attention aux conditions de fonctionnement suivantes:

- a) en régime stationnaire avec charge partielle faible, en surcharge, et dans les conditions de fonctionnement transitoires fréquentes au démarrage et à l'arrêt;
- b) en régime transitoire rare tel qu'arrêt d'urgence, fonctionnement en absence de refoulement, fonctionnement dans le quadrant pompe-frein pour les pompes et les turbines-pompes.

L'évaluation de ces processus est beaucoup plus difficile que celle d'un fonctionnement dans la plage de puissance spécifiée. L'expérience ne permet pas actuellement de disposer de suffisamment de valeurs pour établir des courbes limites dans ces conditions de fonctionnement. Moins les conditions de fonctionnement correspondent aux conditions nominales, plus l'écoulement est perturbé dans la machine hydraulique; des perturbations telles que séparations et tourbillons provoquent une violente excitation stochastique. Du fait de la densité de l'eau, les forces induites par l'excitation stochastique sont plus fortes que sur les turbomachines thermiques.

C'est pourquoi, lors de fonctionnements en dehors de la plage de puissance spécifiée, les vibrations de l'arbre provoquées par les balourds sont, en règle générale, totalement couvertes par les composantes stochastiques. Ces composantes stochastiques importantes dans des conditions de fonctionnement



exceptionnelles font qu'il convient de se fier moins à la valeur instantanée maximale  $S_{\max}$  ou à la valeur  $S_{p-p}$ , et plus à la valeur moyenne sur au moins dix rotations de l'arbre.

Il convient de noter qu'en général un jugement global sur l'état vibratoire de la machine repose à la fois sur les vibrations relatives de l'arbre définies ci-dessus et sur les mesurages effectués sur les éléments non tournants (voir ISO 10816-5).

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

[ISO 7919-5:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8f76fb8a-3b04-41ce-a207-cefe6608e536/iso-7919-5-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8f76fb8a-3b04-41ce-a207-cefe6608e536/iso-7919-5-2005>

## Annexe A (normative)

### Critères d'évaluation des vibrations relatives de l'arbre des groupes de turbines hydrauliques dans les conditions de fonctionnement spécifiées

#### A.1 Généralités

Il convient d'évaluer les vibrations relatives de l'arbre des groupes hydrauliques au niveau ou à proximité des paliers sur la base des deux critères suivants.

**Critère I:** La marche sûre et fiable d'une machine dans les conditions normales de fonctionnement nécessite de maintenir l'amplitude des vibrations en dessous de certaines limites compatibles, par exemple avec des forces cinétiques acceptables et des déplacements radiaux convenables. Ce critère servira en général de base pour l'évaluation des machines en l'absence d'autres connaissances établies en matière de caractéristiques de fonctionnement satisfaisant pour les machines de ce type (par exemple de nouveaux modèles de machine).

**Critère II:** Il convient de ne pas laisser les variations par rapport à une valeur de référence dépasser certaines limites. Même si les limites spécifiées ne sont pas dépassées, les variations de l'amplitude des vibrations peuvent signaler l'amorce d'une détérioration ou tout autre incident.

iTeh STANDARD PREVIEW

#### A.2 Critère I: Amplitude des vibrations à la vitesse nominale dans des conditions de fonctionnement stationnaires

ISO 7919-5:2005

##### A.2.1 Généralités

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8f76fb8a-3b04-41ce-a207-cefe6608e536/iso-7919-5-2005>

Les valeurs recommandées sont données à la Figure A.1 pour le déplacement vibratoire maximal dans le plan de mesurage,  $S_{max}$ , et à la Figure A.2 pour le déplacement vibratoire crête à crête dans la direction de mesurage,  $S_{p-p}$ , en fonction de la vitesse maximale de service. Les deux grandeurs sont mesurées en direction radiale, au niveau ou à proximité des principaux paliers porteurs de charge, à vitesse(s) nominale(s), dans les conditions de fonctionnement stationnaires définies en 4.1. Des valeurs de vibration supérieures peuvent être admises en d'autres points de mesurage et dans les conditions décrites à l'Annexe B.

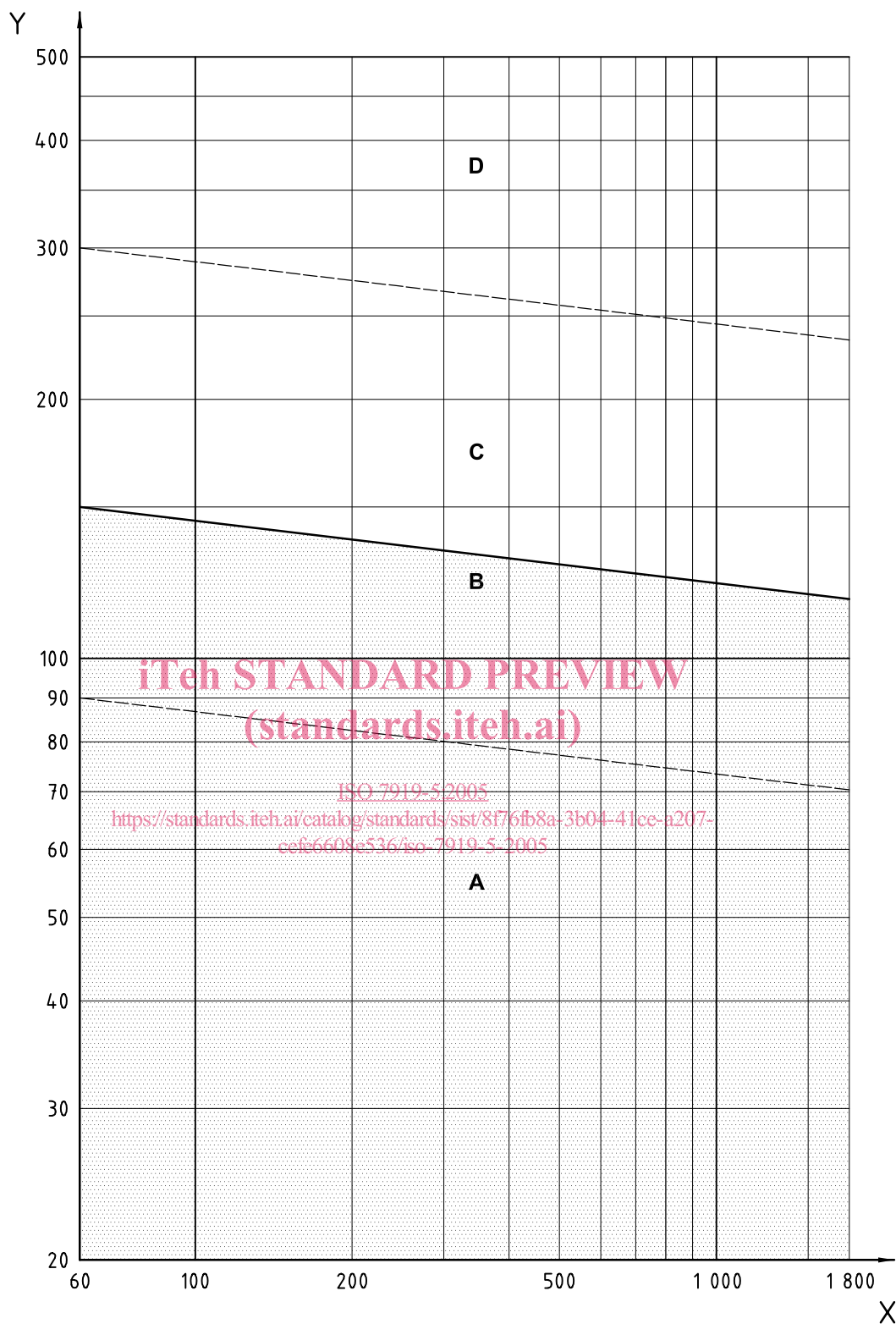
L'étendue totale des amplitudes des vibrations, donnée aux Figures A.1 et A.2, est divisée en deux zones majeures définies ci-après.

**Zone majeure A-B:** Les machines dont les amplitudes des vibrations appartiennent à cette zone majeure sont normalement jugées acceptables pour un fonctionnement à long terme sans restriction.

**Zone majeure C-D:** Les machines situées dans cette zone majeure ont des vibrations d'importance élevée. Il est nécessaire, dans chaque cas, de vérifier si les valeurs mesurées sont possibles pour un fonctionnement continu à long terme en fonction de la conception et des conditions de fonctionnement de la machine. Dans tous les cas, il convient de comparer la vibration relative de l'arbre par rapport au jeu diamétral du palier et à l'épaisseur du film d'huile.

Les valeurs indiquées aux Figures A.1 et A.2 sont fondées sur des analyses statistiques portant sur plus de 900 séries de données recueillies de par le monde sur des machines de tous types, vitesses et puissances. Les mesurages ont été effectués sur des machines fonctionnant dans des conditions normales d'utilisation, sans difficultés et pendant une longue période. L'analyse a donc été utilisée afin d'établir la limite séparant les zones A-B et C-D. Pour le mode opératoire d'analyse, voir l'Annexe C.

NOTE 1 Le trait plein de séparation entre les zones majeures A-B et C-D représente 92,5 % de répartition cumulative de probabilité dans la base de données sous-jacente. Cela signifie que 92,5 % de toutes les machines analysées avaient des vibrations situées en dessous du trait plein.



**Légende**

X Vitesse maximale de service, tr/min

Y Déplacement vibratoire maximal relatif de l'arbre,  $S_{max}$ , μm

**Figure A.1 — Zones d'évaluation recommandées pour le déplacement vibratoire maximal de l'arbre,  $S_{max}$ , des machines ou groupes hydrauliques, valables pour l'exploitation des turbines dans la gamme de débit stabilisé admissible contractuelle (voir 4.1)**