
**Surveillance et diagnostic d'état
des machines — Surveillance des
vibrations —**

Partie 7:
**Techniques de diagnostic pour
machines équipant les centrales
hydro-électriques et les stations de
turbine-pompe**

ISO 13373-7:2017
Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration
condition monitoring —
Part 7: Diagnostic techniques for machine sets in hydraulic power
generating and pump-storage plants



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 13373-7:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0ac96587-cb33-4426-98fd-e8f0db4a05ef/iso-13373-7-2017>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017, Publié en Suisse

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
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Vibrations des groupes hydro-électriques	1
5 Mesurages	2
5.1 Mesurage des vibrations en général.....	2
5.2 Instrumentation.....	3
5.3 Mesurage des paramètres de fonctionnement de la machine.....	4
6 Analyse initiale	5
7 Analyses spécifiques aux groupes hydro-électriques	5
8 Diagnostics supplémentaires	6
Annexe A (normative) Tableau des défauts relatifs à l'analyse des vibrations des groupes hydro-électriques	7
Annexe B (informative) Processus de diagnostic vibratoire des défauts des groupes hydro-électriques	12
Annexe C (informative) Exemples de problèmes vibratoires des groupes hydro-électriques	15
Bibliographie	22

ISO 13373-7:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0ac96587-cb33-4426-98fd-e8f0db4a05ef/iso-13373-7-2017>

Avant-propos

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

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

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

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

(standards.iteh.ai)

Pour une explication de la nature volontaire des normes, 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'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques, et leur surveillance*, Sous-comité SC 2, *Mesurage et évaluation des vibrations et chocs mécaniques applicables aux machines, aux véhicules et aux structures*.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 13373 est disponible sur le site Internet de l'ISO.

Introduction

Le présent document donne les lignes directrices concernant les modes opératoires à envisager lors des diagnostics des vibrations des machines équipant les centrales hydro-électriques et les stations de pompage, en abrégé groupes hydro-électriques. Il est destiné à être utilisé par les professionnels, ingénieurs et techniciens, du domaine des vibrations et il leur fournit des outils de diagnostic utiles. Ces outils comprennent l'utilisation de tableaux de processus de diagnostic et de tableaux de défauts. Le contenu du présent document présente les étapes les plus fondamentales, logiques et intelligentes qu'il convient de suivre dans le cadre du diagnostic des problèmes liés à ces types particuliers de machines.

Des valeurs de vibration acceptables pour les groupes hydro-électriques sont indiquées dans l'ISO 10816-5 (vibration des parties non tournantes) et dans l'ISO 7919-5 (vibration des arbres tournants) qui sont actuellement en cours de révision et de fusion en vue d'une publication en tant qu'ISO 20816-5.

L'ISO 13373-1 présente les modes opératoires de base pour l'analyse des signaux de vibration à bande étroite. Elle inclut la description des types de capteurs utilisés, leurs gammes d'utilisation et emplacements recommandés sur les divers types de machines, les systèmes de surveillance vibratoire continue et périodique, ainsi que des problèmes éventuels de l'équipement.

L'ISO 13373-2 conduit au diagnostic des machines. Elle inclut les descriptions de l'équipement de conditionnement des signaux, les techniques dans les domaines fréquentiel et temporel, et les formes d'ondes et signatures qui représentent les phénomènes de fonctionnement les plus courants des machines ou les défauts des machines que l'on rencontre lorsqu'on effectue une analyse des signatures vibratoires.

L'ISO 13373-3 fournit des modes opératoires permettant de déterminer les causes des problèmes vibratoires communs à tous les types de machines tournantes. Elle inclut des méthodes systématiques pour caractériser les effets des vibrations, les outils de diagnostic disponibles, les outils nécessaires à des applications particulières et des recommandations sur la façon d'appliquer les outils à différents types de machines et composants. Cependant, elle n'exclut pas l'utilisation d'autres techniques de diagnostic.

Il convient de noter que l'ISO 17359 précise que le diagnostic peut être

- effectué à l'issue de la détection d'une anomalie par la surveillance, ou
- réalisé de façon synchrone avec la surveillance, dès le début de celle-ci.

Le présent document ne traite que du premier cas, à savoir la réalisation du diagnostic après détection d'une anomalie. En outre, elle se focalise principalement sur l'utilisation de tableaux de processus comme outils de diagnostic, ainsi que sur des tableaux de défauts, puisque l'on considère que ce sont les outils les plus appropriés pour les professionnels, ingénieurs et techniciens du domaine.

Lorsqu'il s'agit d'aborder un problème de machines se manifestant par des niveaux de vibration élevés ou erratiques, il convient de procéder au diagnostic du problème d'une manière systématique et réfléchie. L'ISO 13373-3 et le présent document réalisent cet objectif en fournissant à l'analyste des recommandations sur la sélection des outils de mesure et des outils d'analyse adaptés, ainsi que sur leur utilisation, et les modes opératoires pas-à-pas préconisés pour le diagnostic des problèmes des divers types de machines équipant les centrales hydro-électriques et les stations de pompage.

La méthodologie basée sur l'utilisation de tableaux de processus de diagnostic propose un mode opératoire structuré permettant à un professionnel du domaine concerné de diagnostiquer un défaut et d'en trouver la cause. Il convient que ce mode opératoire pas-à-pas soit à même de guider le professionnel dans le diagnostic vibratoire des anomalies de la machine, afin d'identifier la cause à l'origine de cette anomalie.

Le tableau des défauts présente une liste des défauts les plus répandus sur les machines, ainsi que leurs manifestations dans les mesures vibratoires. Les tableaux aident à identifier les défauts des machines.

Dans certains cas, il est dangereux de redémarrer la machine après qu'une grave anomalie a provoqué un déclenchement. Le type de diagnostic à effectuer peut alors différer des méthodes décrites dans le présent document.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 13373-7:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0ac96587-cb33-4426-98fd-e8f0db4a05ef/iso-13373-7-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0ac96587-cb33-4426-98fd-e8f0db4a05ef/iso-13373-7-2017>

Surveillance et diagnostic d'état des machines — Surveillance des vibrations —

Partie 7:

Techniques de diagnostic pour machines équipant les centrales hydro-électriques et les stations de turbine-pompe

1 Domaine d'application

Le présent document donne des lignes directrices pour les modes opératoires spécifiques à envisager lors des diagnostics des vibrations de divers types de machines équipant les centrales hydro-électriques et les stations de pompage (groupes hydro-électriques). Il est destiné aux professionnels, ingénieurs et techniciens assurant la surveillance d'état des machines et fournit une méthode pratique basée sur les vibrations, détaillée pas-à-pas, de diagnostic des défauts. En outre, elle donne un certain nombre d'exemples pour divers types de machines et de composants, et les symptômes des défauts qui leur sont associés.

2 Références normatives

Les documents suivants sont référencés dans le texte de sorte qu'une partie ou la totalité de leur contenu constitue les 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).

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

ISO 13372, *Surveillance et diagnostic de l'état des machines* — Vocabulaire

ISO 13373-1, *Surveillance et diagnostic d'état des machines* — Surveillance des vibrations — Partie 1: Procédures générales

ISO 13373-2, *Surveillance et diagnostic d'état des machines* — Surveillance des vibrations — Partie 2: Traitement, analyse et présentation des données vibratoires

ISO 21940-2, *Vibrations mécaniques* — Équilibrage des rotors — Partie 2: Vocabulaire

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 2041, l'ISO 13372 et l'ISO 21940-2 s'appliquent.

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 <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform (OBP): disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

4 Vibrations des groupes hydro-électriques

Les mesurages des vibrations consistent principalement à quantifier le déplacement de l'arbre tournant au niveau des paliers guides par rapport au logement du palier (vibrations relatives de l'arbre) et

les vibrations absolues du logement du palier lui-même (vibrations absolues du palier) qui sont représentatives des parties non tournantes.

Contrairement à d'autres machines tournantes lourdes telles que les turbines à gaz, les compresseurs et les pompes, les groupes hydro-électriques sont rigides sans accouplements flexibles entre les composants et fonctionnent normalement en dessous de la première vitesse critique. Un groupe hydroélectrique doit donc être analysé comme un unique ensemble dynamique, ce qui signifie qu'il convient de mesurer simultanément toutes les grandeurs vibratoires au niveau de tous les plans de guidage.

Les groupes hydroélectriques sont influencés par:

- le balourd mécanique,
- les forces d'excitation hydrauliques agissant sur la roue de turbine,
- les forces d'interaction magnétiques entre le stator et le rotor,
- les forces mécaniques dans les paliers (défauts de palier),
- l'instabilité du film fluide, et
- le contact entre les parties tournantes et non tournantes.

N'importe laquelle de ces forces peut produire des vibrations mécaniques et des déformations. L'amplitude et le comportement des vibrations varient selon le type de groupe hydro-électrique, sa disposition générale, la conception des paliers, les fondations, la vitesse de rotation, etc. Étant donné que les forces peuvent rarement être mesurées directement ou qu'il est beaucoup plus complexe de mesurer les forces, les vibrations sont utilisées comme indicateur indirect. Les analyses des vibrations reposent sur la détection et l'estimation des forces mécaniques basées sur l'observation des vibrations résultantes.

[ISO 13373-7:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0ac96587-cb33-4426-98fd-e8f0db4a05ef/iso-13373-7-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0ac96587-cb33-4426-98fd-e8f0db4a05ef/iso-13373-7-2017>

5 Mesurages

5.1 Mesurage des vibrations en général

Les groupes hydro-électriques ont normalement une longue durée de vie ainsi qu'un comportement stable et robuste. Leurs éventuels défauts apparaissent donc généralement lentement. Une surveillance occasionnelle permet de détecter des défauts qui apparaissent lentement. Par conséquent, des systèmes de mesure installés temporairement et destinés à la surveillance périodique, aléatoire ou rare peuvent suffire pour une analyse initiale telle que décrite dans l'ISO 13373-3. Toutefois, ces systèmes peuvent être insuffisants pour le diagnostic détaillé des défauts qui se développent lentement tel que décrit dans l'ISO 13373-2.

Il convient d'effectuer un suivi de tendance régulier des paramètres pour détecter toute modification de l'état vibratoire sur de plus longues périodes de temps. Pour ces analyses des tendances, il est préférable de mettre en place une surveillance continue à long terme avec un système de surveillance permanent. Un système de surveillance permanent assurera également une protection contre les défaillances (par exemple, dégradation de palier). Des mesurages périodiques à l'aide de capteurs supplémentaires donnent des informations fiables pour l'évaluation d'état et pour la planification des travaux de maintenance.

La surveillance d'état peut être envisagée et appliquée tel qu'il est décrit dans l'ISO 17359. Cela peut conduire à des tâches supplémentaires, notamment:

- l'installation de capteurs supplémentaires,
- la surveillance des paramètres de fonctionnement de la machine influençant le comportement vibratoire,

- des analyses plus détaillées, et
- le mesurage en ligne continu à l'aide d'un système de stockage et d'acquisition de données approprié.

D'autres informations relatives au mesurage des vibrations sur les groupes hydro-électriques sont données dans les documents répertoriés dans la Bibliographie.

5.2 Instrumentation

Il existe deux principaux types de mesurage des vibrations qui fournissent des informations complémentaires.

- **Les vibrations relatives de l'arbre** mesurées à l'aide de capteurs de proximité sans contact montés au niveau ou à proximité des paliers, par exemple capteurs inductifs, capacitifs et à courant de Foucault.
- **Les vibrations du logement du palier** mesurées à l'aide de capteurs sismiques, par exemple accéléromètres ou vélocimètres montés dans les parties non tournantes du logement de palier.

En plus du mesurage des vibrations, des capteurs peuvent également être installés pour mesurer la pression dynamique, l'entrefer voire les contraintes, à l'aide de jauges extensométriques. Ces paramètres peuvent être utilisés pour établir la relation de cause à effet d'un événement.

Les grandes installations hydro-électriques comprennent normalement des capteurs de proximité au niveau de chaque palier. Cependant, si tel n'est pas le cas, il est conseillé d'installer deux capteurs de proximité temporaires à chaque palier. L'orientation est dans le plan radial, perpendiculairement l'un à l'autre, voir la [Figure 1](#).

Lors de l'utilisation de capteurs de proximité installés temporairement, il convient de noter les points suivants.

Les capteurs de vibrations relatives peuvent être sensibles à l'excentricité électrique et mécanique qui peut varier selon l'emplacement axial du capteur par rapport à l'arbre. Il convient de choisir les emplacements axiaux de façon à permettre des installations répétées pour la surveillance et à réduire les effets de cette erreur de mesure.

Il convient de documenter l'excentricité électrique et mécanique totale résiduelle et de l'utiliser pour corriger les composantes vibratoires de la vitesse de tournage lorsqu'un signal de référence de phase approprié est disponible.

Il convient que les emplacements radiaux du capteur de vibrations temporaire soient cohérents entre les mesurages.

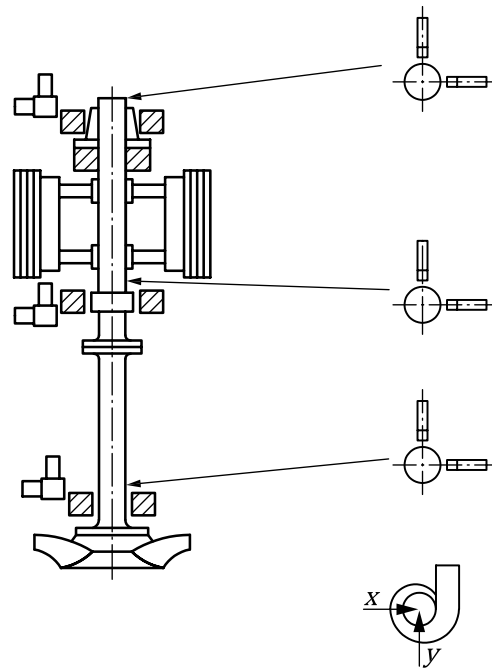


Figure 1 — Exemple d'emplacements et de directions de mesure sur un groupe hydro-électrique vertical

iTeh STANDARD PREVIEW

Pour obtenir des informations complètes sur les vibrations des paliers, il convient d'installer deux capteurs sismiques radiaux perpendiculaires l'un à l'autre sur chaque logement de palier ainsi qu'un capteur sismique dans la direction axiale sur la butée ou un palier fixé sur une structure vibrante telle que le flasque supérieur de la turbine. La grandeur généralement utilisée est la vitesse vibratoire, mesurée directement à l'aide de vélocimètres ou mesurée à l'aide d'accéléromètres et intégration des signaux.

Certains systèmes de mesure de l'accélération et de la vitesse ne peuvent que mesurer les vibrations à des fréquences inférieures à 10 Hz, ce qui n'est pas approprié pour les groupes hydro-électriques dont la vitesse de rotation est souvent inférieure à 600 r/min. La fréquence minimale recommandée est de 0,1 fois la fréquence de rotation pour les turbines à réaction (Francis, Kaplan) et les pompes et de 0,4 fois la fréquence de rotation pour les turbines à impulsion (Pelton).

Il convient de mesurer simultanément tous les signaux pendant une durée suffisante pour caractériser ces basses fréquences.

L'ajout d'un capteur top-tour permettra de synchroniser les mesures et de donner une référence de phase à chaque point de mesure.

Il existe des Normes internationales permettant d'évaluer l'intensité vibratoire pour les types de mesurage décrits, notamment l'ISO 20816-1.

La description des capteurs et des systèmes de mesure ainsi que la spécification de techniques sont fournies par l'ISO 13373-1 et l'ISO 13373-2, qui doivent être prises en compte pour faire un choix approprié des capteurs et du système de mesure.

5.3 Mesurage des paramètres de fonctionnement de la machine

Les paramètres de fonctionnement de la machine hydro-électrique, par exemple la vitesse de rotation, la charge, les cotes amont et aval, l'ouverture du principal dispositif de régulation (par exemple, ouverture des directrices) et la température de l'huile des paliers, peuvent influencer les caractéristiques vibratoires de la machine. Pour effectuer un diagnostic fiable, il est important de mesurer et d'enregistrer ces données simultanément pour corréliser les vibrations aux conditions de fonctionnement en raison de forces hydrauliques et autres très différentes.

Un point de fonctionnement hydraulique doit être défini par au moins deux paramètres de fonctionnement, par exemple la hauteur et le débit d'eau et le mode de fonctionnement (turbinage, pompage, transitoire, etc.). Pour les machines à vitesse variable, la vitesse de rotation instantanée doit être connue.

La direction de rotation est également un paramètre important requis pour interpréter correctement la phase des vibrations synchrones.

6 Analyse initiale

La première étape consiste à obtenir les caractéristiques de conception de la machine et l'historique des anomalies. Cette analyse initiale peut être effectuée en utilisant les lignes directrices données dans l'Annexe A de ISO 13373-3:2015 qui indique qu'il convient que cette analyse identifie les problèmes d'intégrité, la présence de fortes vibrations et de leur sévérité, l'historique, l'effet des paramètres de fonctionnement et les conséquences en l'absence de mesures correctives. L'ensemble est utilisé pour évaluer le risque de fonctionnement de la machine.

Lorsque des changements du comportement dynamique sont détectés, il convient d'effectuer des investigations et essais particuliers pour en trouver la cause.

7 Analyses spécifiques aux groupes hydro-électriques

Les groupes hydro-électriques étant souvent des prototypes individuels, il est difficile de comparer une machine avec une autre. L'évaluation de l'état vibratoire doit donc tenir compte des conditions limites et de la configuration de conception particulière. Le enregistrement des tendances à long terme est très utile.

L'amplitude des vibrations est une réaction aux forces d'excitation. En ce qui concerne l'hydraulique, par exemple les conditions de débit dans la roue ou les fluctuations de pression sur les parties fixes, on observe une forte dépendance vis-à-vis du point de fonctionnement hydraulique qui doit être défini par deux paramètres de fonctionnement, par exemple la hauteur et le débit d'eau ou l'ouverture des directrices (voir en 5.3).

NOTE 1 L'amplitude des vibrations seule n'indique pas nécessairement le niveau de contraintes dans les composants concernés. Un mesurage par jauges extensométriques et/ou un modèle numérique approprié est nécessaire pour en déduire l'impact en fatigue.

La partie génératrice ou motrice étant normalement directement couplée à la partie hydraulique, l'ensemble du système doit être analysé. Le diagnostic séparé des composants hydrauliques et électriques n'est pas conseillé et sera très probablement voué à l'échec. Ne sont pas concernés les groupes équipés d'un multiplicateur entre la turbine et le générateur, ou les groupes avec un embrayage entre la pompe et la turbine ou entre la pompe et le moteur.

NOTE 2 Des groupes hydro-électriques identiques exploités dans des conditions apparentes similaires peuvent avoir des comportements vibratoires différents. S'il est impossible d'établir une relation avec des conditions limites différentes telles que la température, le fonctionnement de machines adjacentes peut donner une indication d'une anomalie d'état de la machine et éventuellement d'un défaut.

Le tableau des défauts présenté dans l'Annexe A donne une liste des défauts les plus répandus sur les machines, ainsi que leurs manifestations dans les signatures vibratoires. Il doit être suivi lors de l'analyse des vibrations des groupes hydro-électriques.

Le tableau de processus de diagnostic de l'Annexe B donne les lignes directrices permettant à un professionnel du domaine concerné de diagnostiquer un défaut et d'en trouver la cause.

L'Annexe C donne des exemples de problèmes vibratoires rencontrés sur les groupes hydro-électriques et fournit des explications physiques à la signature vibratoire correspondante.

8 Diagnostics supplémentaires

Le présent document concerne la surveillance d'état basé sur les vibrations. Bien que les niveaux vibratoires et leurs variations soient très utiles, d'autres paramètres donnent des informations supplémentaires sur l'état du groupe. La surveillance des paramètres de fonctionnement stabilisés tels que le débit, la cote amont et l'ouverture des directrices, associés à la puissance produite par l'alternateur permet d'identifier une perte de rendement, mais des mesurages très précis sont nécessaires pour détecter les défauts courants qui n'apparaissent pas dans le niveau vibratoire.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 13373-7:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0ac96587-cb33-4426-98fd-e8f0db4a05ef/iso-13373-7-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0ac96587-cb33-4426-98fd-e8f0db4a05ef/iso-13373-7-2017>