
Norme internationale



3945

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

Vibrations mécaniques des grandes machines tournantes dans la gamme des vitesses comprises entre 10 et 200 tr/s — Mesurage et évaluation de l'intensité vibratoire *in situ*

Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 r/s — Measurement and evaluation of vibration severity in situ

iTeh STANDARD PREVIEW

Deuxième édition — 1985-12-15 (standards.iteh.ai)

[ISO 3945:1985](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/482a051b-b084-4264-9b20-acccefd1f38d/iso-3945-1985)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/482a051b-b084-4264-9b20-acccefd1f38d/iso-3945-1985>

CDU 621-752 : 534.1

Réf. n° : ISO 3945-1985 (F)

Descripteurs : machine tournante, essai, détermination, vibration, intensité vibratoire.

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 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.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 3945 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*.

La Norme internationale ISO 3945 a été pour la première fois publiée en 1977. Cette deuxième édition annule et remplace la première édition qui a fait l'objet d'une révision technique comme suit:

- le facteur 1/2 dans l'équation (3) a été changé en 1/4;
- un nouvel alinéa a été ajouté à 7.2.

L'attention des utilisateurs est attirée sur le fait que toutes les Normes internationales sont de temps en temps soumises à révision et que toute référence faite à une autre Norme internationale dans le présent document implique qu'il s'agit, sauf indication contraire, de la dernière édition.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.itih.ai)

Vibrations mécaniques des grandes machines tournantes dans la gamme des vitesses comprises entre 10 et 200 tr/s — Mesurage et évaluation de l'intensité vibratoire *in situ*

0 Introduction

L'augmentation continue de la puissance et de la vitesse des machines tournantes actuelles a porté au premier plan de la technologie mécanique et électromécanique les problèmes de surveillance du bruit et des vibrations, et, par voie de conséquence, a imposé des exigences plus rigoureuses quant à la qualité de fonctionnement de ces machines.

La présente Norme internationale ne traite que de l'intensité des vibrations mécaniques des systèmes mécaniques globaux et non de l'énergie acoustique rayonnée par chaque pièce vibrante. En outre, les seules vibrations considérées sont celles qui se produisent sur les surfaces de la machine voisines des paliers, ou sur les paliers eux-mêmes, dans la gamme des fréquences comprises entre 10 et 1 000 Hz. L'évaluation est opérée sur la base des considérations générales suivantes :

- forces engendrées dans les machines par les vibrations (par exemple dans les paliers, les pièces de raccordement, les socles, le plancher) ;
- nécessité de garantir le bon fonctionnement d'une machine qui pourrait être mis en péril par un vice de fonctionnement ou une détérioration des pièces (par exemple déflexion excessive d'un rotor due à une vitesse critique ou relâchement des joints de friction par suite de secousses, etc.) ;
- caractéristiques de la machine et des instruments de mesurage ;
- effort physique et mental imposé à l'homme ;
- effets des vibrations de la machine sur l'environnement, par exemple instruments voisins, machines proches, etc.

Il est évident que des vibrations mesurées en surface ne donnent qu'une indication qualitative de l'état des contraintes ou mouvements vibratoires à l'intérieur d'une machine. Elles ne rendent pas nécessairement compte de la grandeur réelle des contraintes ou mouvements vibratoires des pièces critiques, ni des forces vibratoires transmises aux structures avoisinantes, ni encore des contraintes vibratoires locales excessives qui peuvent être engendrées dans la machine elle-même (par suite de résonance interne par exemple). En particulier, aucune vibration mesurable en surface ne rend compte des vibrations en torsion des pièces tournantes.

Bien que les problèmes mentionnés ci-dessus puissent dans certains cas être résolus du point de vue théorique, les spécifications relatives à l'évaluation de ces vibrations sont généralement très compliquées et impropres pour ce qui nous intéresse.

Il est pratique, et il peut même être décisif pour l'utilité d'un essai, d'employer une valeur unique pour définir l'état vibratoire d'une machine. C'est pourquoi il est préférable, dans les applications industrielles, de choisir une grandeur de mesure qui puisse servir de référence, et qui se représente sur une échelle simple. Les valeurs mesurées et l'échelle choisie doivent permettre une évaluation satisfaisante s'appliquant à la majorité des cas pratiques rencontrés. L'évaluation recommandée ne doit pas donner des résultats contradictoires à ceux qu'on obtient par les essais.

1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale, fondée sur l'ISO 2372, définit les règles de spécification des caractéristiques de vibration des gros générateurs et autres grandes machines à masses tournantes, développant une puissance supérieure à 300 kW et des vitesses comprises entre 10 et 200 tr/s. Parmi ces machines, on peut citer les moteurs et génératrices électriques, les turbines à vapeur et à gaz, les turbocompresseurs, les pompes et les ventilateurs. Certaines de ces machines peuvent avoir des accouplements rigides ou flexibles, d'autres des engrenages. L'axe de rotation peut être horizontal, vertical ou incliné suivant un angle quelconque par rapport à ces directions.

La présente Norme internationale ne s'applique pas aux générateurs et dispositifs entraînés dont les parties actives principales sont animées d'un mouvement alternatif.

Les valeurs d'intensité vibratoire recommandées comme limites dans la présente Norme internationale sont considérées comme des valeurs normalisées pour toutes les machines de type similaire, lorsque le mesurage s'effectue de la manière spécifiée dans la présente Norme internationale, et l'évaluation dans des conditions équivalentes. Ces valeurs d'intensité vibratoire sont utiles à des fins de comparaison ou de réception générale des machines mais elles n'impliquent aucun critère spécifique de calcul ou de spécification d'une machine donnée. On peut donc, dans certains cas, exiger des caractéristiques plus rigoureuses ou moins rigoureuses que les valeurs limites recommandées dans la présente Norme internationale, ou des caractéristiques supplémentaires.

L'intensité vibratoire d'une machine étant censée représenter la somme des forces vibratoires engendrées par cette machine, il convient d'en exclure les effets vibratoires provenant d'autres sources que de l'élément essayé. C'est la raison pour laquelle la présente Norme internationale ne s'applique pas aux installations marines ou similaires dans lesquelles peut exister un milieu vibratoire actif (voir 7.3) qui affecte improprement les mesurages de vibration.

2 Références

ISO 2372, *Vibrations mécaniques des machines ayant une vitesse de fonctionnement comprise entre 10 et 200 tr/s — Base pour l'élaboration des normes d'évaluation.*

ISO 2954, *Vibrations des machines tournantes ou alternatives — Spécifications des appareils de mesure de l'intensité vibratoire.*

3 Grandeur de mesure (intensité vibratoire)

Le terme «intensité vibratoire», au sens auquel ce mot est employé dans la présente Norme internationale, se définit comme une grandeur caractérisant, de façon simple et complète, l'état vibratoire d'une machine. Cette grandeur se définit comme la moyenne quadratique (valeur efficace) de la vitesse de vibration dans la gamme des fréquences comprises entre 10 et 1 000 Hz. La valeur maximale mesurée, déterminée en des points prescrits et dans des directions prescrites, caractérise l'état vibratoire de la machine considérée.

En général, l'intensité vibratoire devrait permettre une évaluation relativement sûre n'exigeant que des mesurages simples. Dans les cas critiques et dans certaines conditions spéciales, il peut cependant arriver que l'évaluation du comportement d'une machine à partir de son intensité vibratoire ne puisse pas remplacer le mesurage plus précis de paramètres significatifs, par exemple contraintes dans les paliers et les joints.

Dans le cas de vibrations harmoniques à vitesse instantanée $v_i = \hat{v}_i \cos \omega_i t$, ou de vibrations complexes composées d'un certain nombre de vibrations harmoniques superposées de fréquences différentes, l'intensité vibratoire se définit et se mesure comme la valeur quadratique moyenne (valeur efficace) de la vitesse d'oscillation. Elle peut être obtenue et affichée directement par des instruments électriques à caractéristique de réponse quadratique.

D'après les courbes enregistrées de la vitesse de vibration en fonction du temps, on peut calculer la valeur quadratique moyenne (efficace) de la vitesse d'oscillation de la manière suivante:

$$v_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad \dots (1)$$

Les amplitudes de l'accélération, de la vitesse ou du déplacement ($\hat{a}_j, \hat{v}_j, \hat{s}_j$, où $j = 1, 2, \dots, n$) se déterminent en fonction des fréquences circulaires ($\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$) d'après les analyses des spectres enregistrés.

Lorsqu'on connaît les amplitudes de déplacement des vibrations $\hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_n$ ou les amplitudes des vitesses d'oscillation des vibrations $\hat{v}_1, \hat{v}_2, \dots, \hat{v}_n$ ou encore les amplitudes d'accélération $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_n$, les vitesses quadratiques moyennes

(efficaces) correspondantes, caractérisant le mouvement, sont données par l'équation suivante:

$$\begin{aligned} v_{\text{eff}} &= \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right) \left[\left(\frac{\hat{a}_1}{\omega_1}\right)^2 + \left(\frac{\hat{a}_2}{\omega_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\hat{a}_n}{\omega_n}\right)^2 \right]} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\hat{s}_1^2 \omega_1^2 + \hat{s}_2^2 \omega_2^2 + \dots + \hat{s}_n^2 \omega_n^2 \right)} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\hat{v}_1^2 + \hat{v}_2^2 + \dots + \hat{v}_n^2 \right)} \quad \dots (2) \end{aligned}$$

Dans le cas où la vibration ne comporte que deux composantes de fréquence voisine donnant des battements, v_{eff} peut être déterminée à partir des courbes enregistrées de la vitesse de vibration en fonction du temps par l'équation (exacte)

$$v_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{4} (\hat{v}_{\text{max}}^2 + \hat{v}_{\text{min}}^2)} \quad \dots (3)$$

où

\hat{v}_{max} est la valeur de crête au maximum de l'enveloppe;

\hat{v}_{min} est la valeur de crête au minimum de l'enveloppe.

En cas d'utilisation d'un instrument indicateur donnant des valeurs efficaces vraies (voir la note à la fin de 4.1), la valeur effective de la vibration de battement peut être déterminée approximativement par l'équation

$$v_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{2} (R_{\text{max}}^2 + R_{\text{min}}^2)} \quad \dots (4)$$

où

R_{max} est la valeur maximale lue sur l'instrument;

R_{min} est la valeur minimale lue sur l'instrument.

NOTE — L'inertie propre de l'indicateur provoquera une pondération des valeurs lues des battements à une fréquence modérée. L'équation (4) indique clairement que la moyenne des valeurs de crête efficaces n'est pas exacte. Les valeurs maximales et minimales ne peuvent être obtenues de façon sûre que pour des très basses fréquences de battement.

4 Matériel de mesure

Les vibrations de la machine doivent être mesurées et affichées ou enregistrées par des instruments et dispositifs électriques, mécaniques ou électromécaniques ayant une bande passante de 10 à 1 000 Hz, conformes aux Normes internationales existantes.¹⁾ On doit tenir compte, pour le mesurage des vibrations et le traitement des informations enregistrées, des normes donnant les règles ou directives correspondantes.

1) Voir ISO 2954.

4.1 Caractéristiques de fonctionnement

Les caractéristiques du système de mesurage doivent être connues dans les conditions suivantes :

- variations de température ;
- champs magnétiques ;
- champs acoustiques ;
- variations de la source d'énergie ;
- longueur de câble du capteur ;
- orientation du capteur.

En outre, on devrait indiquer, comme autres limites de fonctionnement, la linéarité de l'amplitude, la sensibilité transversale, etc.

NOTE — Les instruments de conversion du signal devraient donner un signal efficace traité ou converti (valeur efficace vraie) pouvant être indiqué par un appareil électrique. Les appareils dont l'échelle de mesure donne la moyenne quadratique (valeur efficace) des signaux sinusoïdaux d'entrée redressés sont à proscrire, sauf dans la mesure où l'on peut démontrer que la réponse en vibration est une sinusoïde pure. Le système de mesurage devrait avoir des caractéristiques de fréquence conformes aux indications de la figure 1.

4.2 Étalonnage

Avant de faire usage des instruments de mesurage, il convient d'étudier les points mentionnés en 4.1, ainsi que l'emplacement de la machine, qui peuvent influencer sur les instruments de mesurage. Les appareils doivent être étalonnés aussi souvent que cela s'avère nécessaire pour garantir la sûreté des résultats. Le matériel de mesurage doit comprendre un capteur, un convertisseur de signal et un indicateur.

Lors de l'étalonnage, le capteur doit être excité par un mouvement harmonique rectiligne, dont la direction de propagation ne s'écarte pas de plus de $\pm 5^\circ$ de l'axe sensible du capteur. Le facteur de distorsion¹⁾ de la vitesse de vibration ne doit pas excéder 5 %. L'amplitude de la vitesse de vibration d'excitation doit être connue, avec une incertitude inférieure à ± 3 % sur la totalité de la gamme des fréquences de mesurage.

4.3 Montage

Un soin particulier doit être apporté au montage du capteur de vibration pour qu'il n'affecte pas les caractéristiques de réponse vibratoire de la machine.

5 Points de mesurage

Un mesurage doit être fait au niveau ou au voisinage de chaque palier principal sur le logement de celui-ci, dans les directions transversale et axiale par rapport à l'axe de l'arbre comme le montre la figure 2. Dans le cas de machines verticales ou inclinées, on doit prendre les emplacements qui donnent les valeurs

maximales de mesure, ces endroits devant être indiqués dans le procès-verbal de mesurage. Les mesurages sont généralement effectués sur les parties découvertes et normalement accessibles de la machine. On doit veiller à ce que ces mesures représentent de façon satisfaisante les vibrations des logements des paliers et n'incluent pas les résonances purement locales.

6 Conditions de fonctionnement

Les mesurages doivent être effectués lorsque le rotor et les paliers principaux ont atteint leur régime stabilisé normal de température, et lorsque la machine tourne dans les conditions nominales, par exemple tension, débit, pression, charge. Sur les machines à vitesse et charge fixes, les caractéristiques de charge et de vitesse nominales doivent être conformes à celles qui sont indiquées sur la plaque d'identification.

Sur les machines à vitesse ou charge variable, les mesurages doivent être faits aux conditions nominales extrêmes pour toutes les caractéristiques, ainsi que dans des conditions choisies entre les limites extrêmes. La valeur maximale mesurée doit être considérée comme représentative de l'intensité vibratoire. (Le matériel peut, au cours de sa durée de vie, avoir à travailler dans n'importe quelles conditions à l'intérieur des limites nominales.)

7 Ensemble de la machine et de ses supports

Deux conditions d'appui passif servent à la classification des ensembles mécaniques au point de vue de l'intensité vibratoire. Ces conditions d'appui sont déterminées en fonction du rapport des souplesses respectives de la machine et de son socle dans le sens du mesurage. Avec des supports souples, la fréquence fondamentale propre de l'ensemble machine/supports est inférieure à la fréquence principale d'excitation. Avec des supports rigides, la fréquence fondamentale propre de l'ensemble machine/supports est supérieure à la fréquence principale d'excitation.

7.1 Détermination de la classe

Si la classe de l'ensemble machine/supports n'est pas facile à déterminer d'après les schémas et le calcul, elle peut être définie par des essais de vibration soit libre, soit forcée. L'essai de vibration libre consiste à observer la réponse transitoire en fréquence de l'ensemble à un choc. L'essai de vibration forcée consiste à observer la réponse stabilisée de l'ensemble à des forces de fréquences variables.

7.2 Classification des supports

Les gammes d'intensité vibratoire utilisées dans la présente Norme internationale dépendent de la souplesse du socle de la machine. Deux cas se présentent, à savoir :

- supports rigides ;
- supports souples.

1) facteur de distorsion: Rapport entre la valeur efficace due aux harmoniques et la valeur efficace totale de l'onde sinusoïdale déformée.

Dans certains cas, les supports pourront être rigides en un point de mesurage et selon une direction, et souples dans l'autre. Dans ce cas, l'intensité vibratoire doit être évaluée en fonction des classifications et mesures adéquates.

Comme exemples types, les moteurs électriques et les pompes de grandes dimensions ainsi que les petits turbogénérateurs pourraient normalement être considérés comme ayant des supports rigides, tandis que les turbines à gaz et les turbogénérateurs de puissance, par exemple supérieure à 10 MW pourraient être considérés comme ayant des supports souples.

7.3 Détermination d'un milieu dit « actif »

Les systèmes d'appui envisagés en 7.2 sont considérés comme passifs lorsqu'ils n'ont pas d'effet perturbateur notable sur le comportement de la machine. Lorsque l'intensité vibratoire augmente lors du fonctionnement de la machine d'une valeur inférieure à trois fois la valeur mesurée de la machine au repos, alors le milieu externe perturbant la mesure est considéré comme un milieu « actif ». La classification des intensités vibratoires en milieu actif n'est pas étudiée dans la présente Norme internationale.

7.4 Vibrations axiales

L'évaluation des vibrations axiales des paliers dépend de la fonction et de la construction de ceux-ci.

Dans le cas de butées, les vibrations axiales correspondent aux oscillations des butées qui peuvent endommager les chemises métalliques des paliers coulissants ou des pièces de paliers antifriction. Les vibrations axiales de ces butées sont alors considérées comme des vibrations transversales.

Lorsque les paliers n'ont pas de butées, il est possible d'être moins rigoureux dans les exigences.

8 Limites recommandées

Le tableau donne une estimation qualitative de l'intensité vibratoire des grandes machines, de vitesse de rotation comprise entre 10 et 200 tr/s.

Tableau — Estimation qualitative de l'intensité vibratoire

Intensité vibratoire		Classification des supports	
V_{eff} mm/s	V_{eff} in/s	Supports rigides	Supports souples
0,46	0,018	bon	bon
0,71	0,028		
1,12	0,044		
1,8	0,071	satisfaisant	satisfaisant
2,8	0,11		
4,6	0,18	médiocre	médiocre
7,1	0,28		
11,2	0,44	inadmissible	inadmissible
18,0	0,71		
28,0	1,10		
71,0	2,80		

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/482a0516-b084-4264-9b20-acccefd138d/iso-3945-1985>

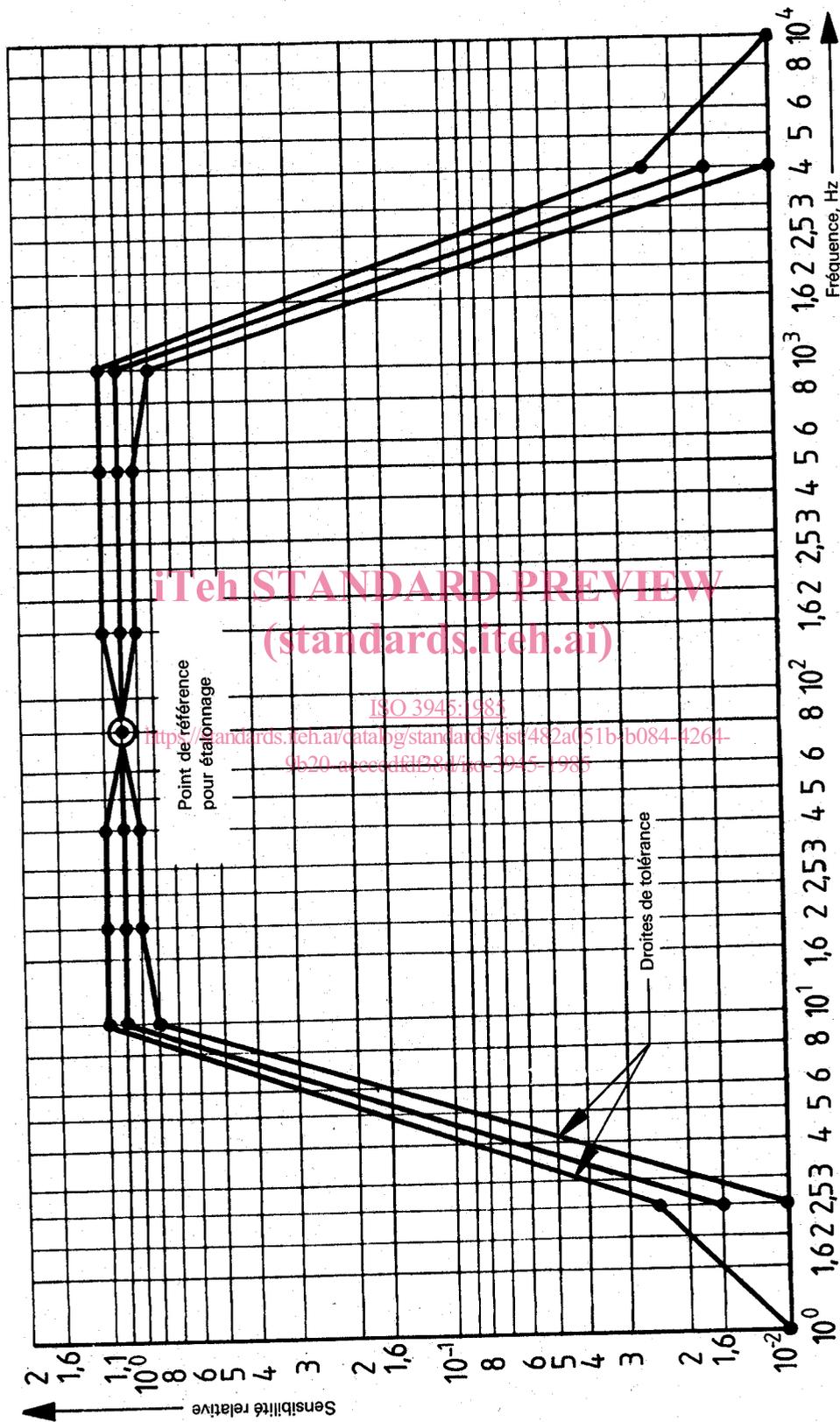
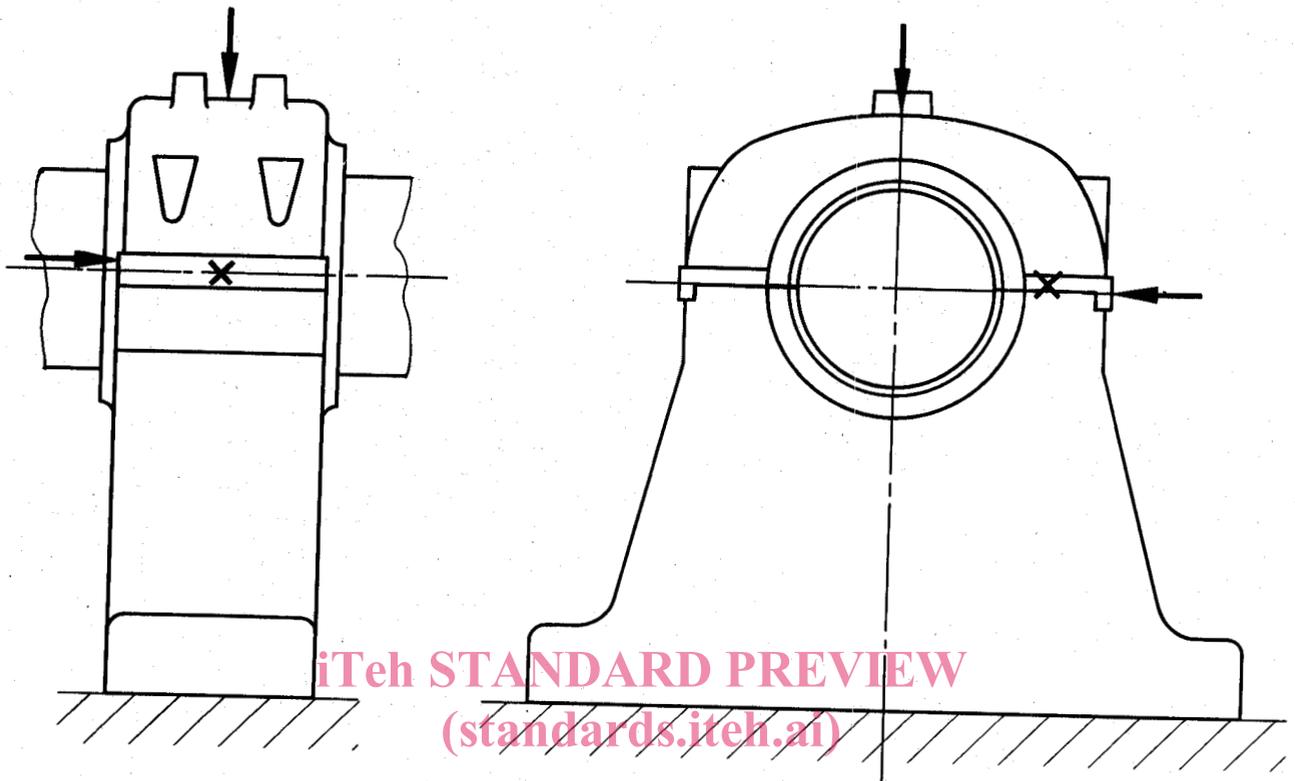


Figure 1 — Courbe de la sensibilité des systèmes de mesurage des vibrations en fonction de la fréquence



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 3945:1985

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/482a051b-b084-4264-9b20-acccefd1f38d/iso-3945-1985>

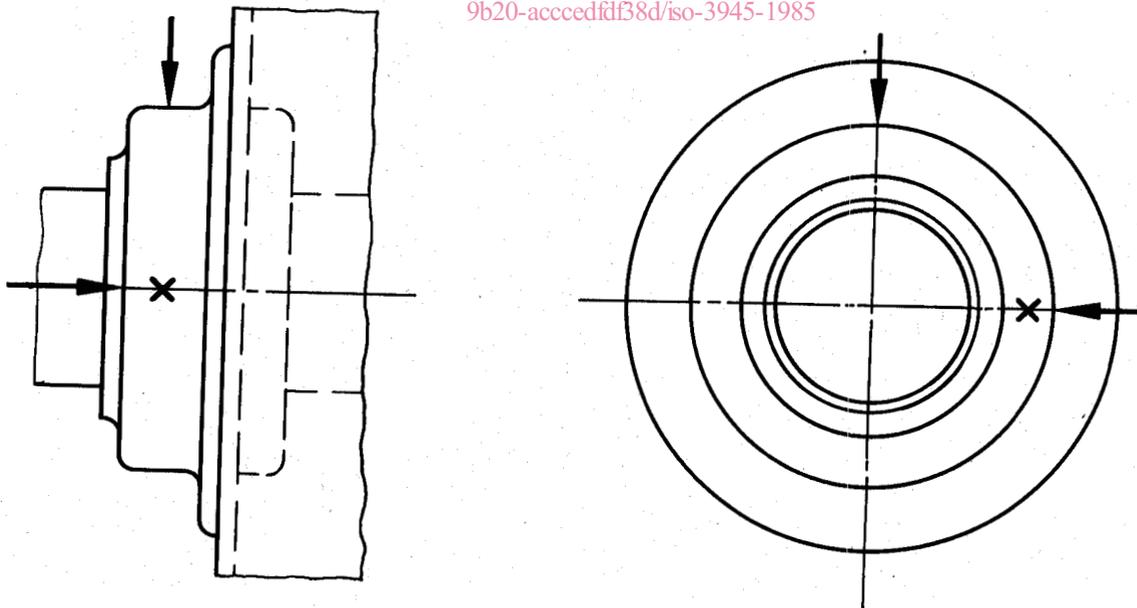


Figure 2 — Points de mesurage sur les paliers principaux