

# NORME INTERNATIONALE **ISO** 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 rev/s — Measurement and evaluation of vibration severity in situ*

Première édition — 1977-03-15

CDU 621-752 : 534.1 : 621-13

Réf. no : ISO 3945-1977 (F)

Descripteurs : machine tournante, essai, mesurage, vibration, intensité vibratoire, matériel d'essai, vibromètre, essai en place.

Prix basé sur 6 pages

## 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 correspondant. 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.

La Norme internationale ISO 3945 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*, et a été soumise aux comités membres en octobre 1975.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée :

Afrique du Sud, Rép. d'	France	Suède
Allemagne	Hongrie	Tchécoslovaquie
Australie	Japon	Turquie
Autriche	Mexique	U.R.S.S.
Brésil	Nouvelle-Zélande	U.S.A.
Corée, Rép. de	Pays-Bas	
Espagne	Roumanie	

Le comité membre du pays suivant l'a désapprouvée pour des raisons techniques :

Belgique

72 108

NORME INTERNATIONALE ISO 3945-1977 (F)/ERRATUM



Publié 1977-06-15

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***

**ERRATUM**

*Page 3 :*

Chapitre 6, 4<sup>e</sup> ligne, lire :

... «conditions nominales, par exemple tension, débit, etc.» au lieu de : «conditions nominales, de tension, par exemple débit, etc.»

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

ISO 3945:1977

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/88eefe98-ddcd-4548-a7fc-369d98e1b08a/iso-3945-1977>

# 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. De même, 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 à un 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 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 turbo-compresseurs, les turbo-pompes et les ventilateurs. Certaines de ces machines peuvent avoir des accouplements rigides ou flexibles, d'autres des engrenages. L'axe de l'arbre 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 « normales » pour toutes les machines de type similaire, lorsque le mesurage s'effectue de la manière spécifiée ici, 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 ici, 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 – Spécification des appareils de mesurage de l'intensité vibratoire.*

3 GRANDEUR DE MESURE

Le terme «intensité vibratoire», au sens auquel ce mot est employé ici, 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 permet 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 de paramètres significatifs plus précis, par exemple les 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  $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_n$ , on peut calculer les vitesses quadratiques moyennes (efficaces) correspon-

dantes, caractérisant le mouvement, grâce à l'équation suivante :

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

Dans le cas où la vibration ne comporte que deux composantes de fréquence voisine donnant des battements,  $v_{\text{eff}}$  peut être déterminé à partir des courbes enregistrées de la vitesse de vibration en fonction du temps par le rapport (exact)

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

où

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

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

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

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

où

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

$R_{\text{min}}$  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 MESURAGE

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.<sup>1)</sup>

On tiendra 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 indiquera, comme autres limites de fonctionnement, la linéarité de l'amplitude, la sensibilité transversale, etc.

NOTE — Les instruments de conversion du signal doivent 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 doit 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 distorsion<sup>1)</sup> 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  $\pm 3\%$  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 montrent les figures 2 et 3. Dans le cas de machines verticales ou inclinées, on prendra 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 veillera 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, de tension, par exemple 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 du 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/soutiens est inférieure à la fréquence principale d'excitation. Avec des supports rigides, la fréquence fondamentale propre de l'ensemble machine/soutiens est supérieure à la fréquence principale d'excitation.

##### 7.1 Détermination de la classe

Si la classe de l'ensemble machine/soutiens 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.

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

**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.

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.

**7.3 Détermination d'un milieu dit «actif»**

Les systèmes d'appui envisagés ci-dessus 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 environnement «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

chemisages métalliques des paliers coulissants ou des pièces de paliers antifricition. 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 grosses 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		
18,0	0,71	inadmissible	inadmissible
28,0	1,10		
71,0	2,80		



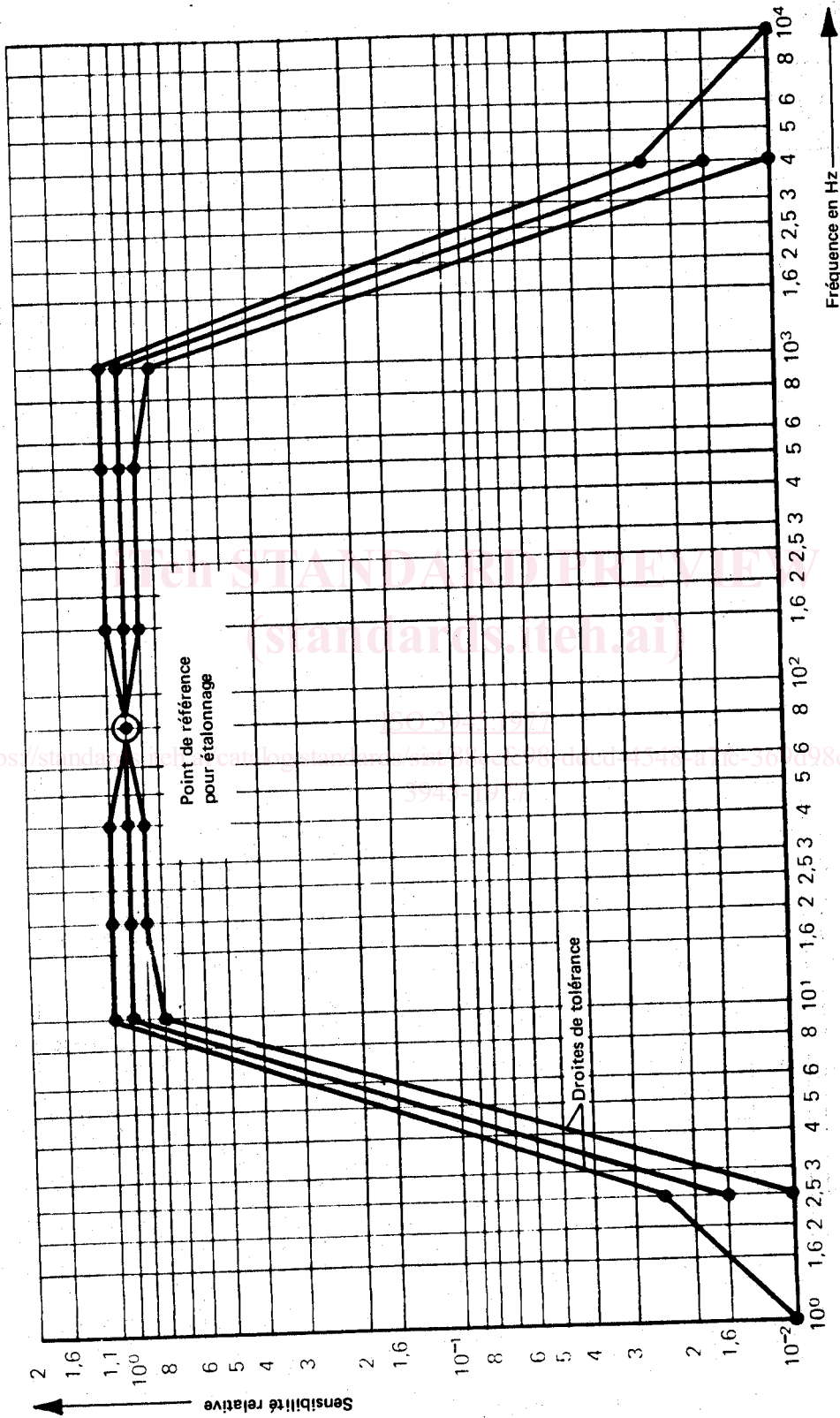


FIGURE 1 — Courbe de la sensibilité des systèmes de mesurage des vibrations en fonction de la fréquence

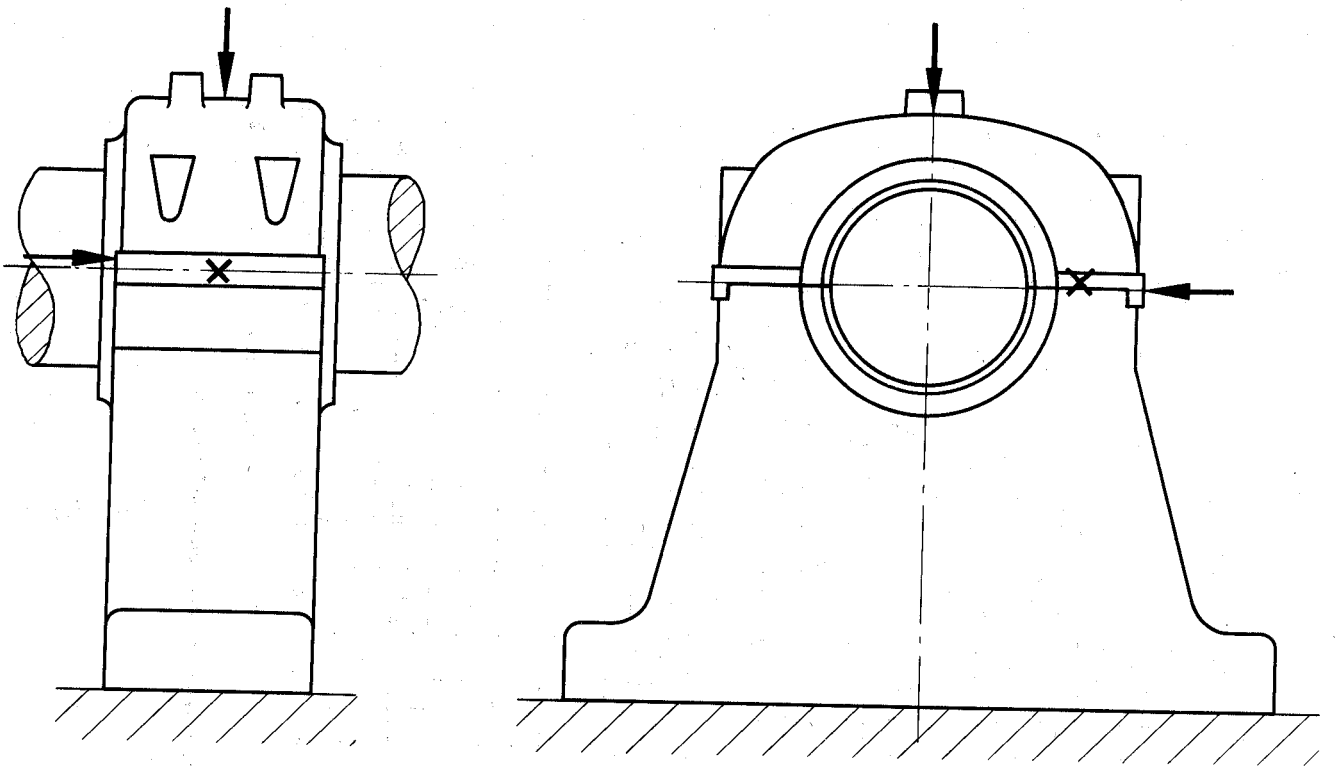
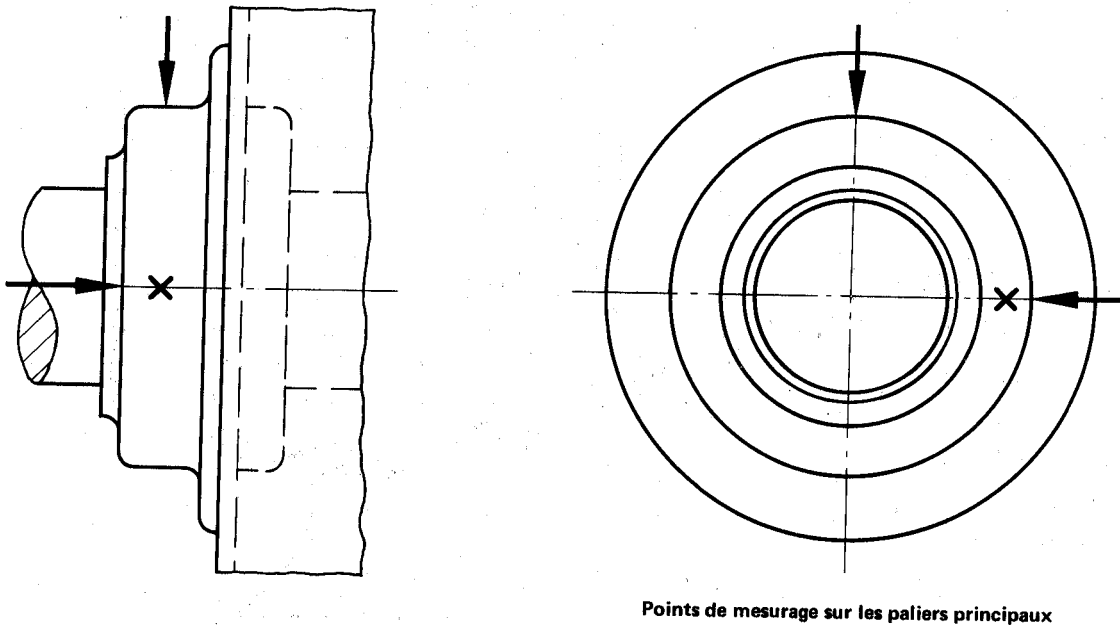


FIGURE 2



Points de mesurage sur les paliers principaux

FIGURE 3