
Norme internationale



7919/1

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

**Vibrations mécaniques des machines non alternatives —
Mesurages sur les arbres tournants et évaluation —
Partie 1 : Directives générales**

Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurements on rotating shafts and evaluation — Part 1 : General guidelines

Première édition — 1986-03-15

CDU 534.1.08 : 621.824

Réf. n° : ISO 7919/1-1986 (F)

Descripteurs : machine tournante, arbre mécanique, essai, essai de vibration, mesurage, estimation, vibration.

Prix basé sur 16 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 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 7919/1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*.

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.

Vibrations mécaniques des machines non alternatives — Mesurages sur les arbres tournants et évaluation — Partie 1 : Directives générales

0 Introduction

Les machines sont utilisées actuellement à des vitesses de plus en plus élevées et pour des charges de plus en plus fortes, et sont soumises à des conditions de fonctionnement de plus en plus sévères. Une partie importante de ces progrès est une conséquence de l'utilisation plus efficace des matériaux, bien que celle-ci se soit quelquefois traduite par une marge plus faible autorisée pour les erreurs de conception et d'application.

Il est actuellement de pratique courante de prévoir et d'exiger un fonctionnement continu de deux ou trois ans avant les interruptions de maintenance. Il en résulte des spécifications beaucoup plus restrictives pour les niveaux de vibration des machines tournantes en cours de fonctionnement, de façon à assurer une exploitation continue, sûre et fiable.

L'ISO 2372 établit une base pour l'évaluation des vibrations mécaniques des machines, en mesurant la réponse de vibration uniquement sur des organes fixes. Cependant, il existe de nombreux types de machines pour lesquelles des mesurages effectués sur ces organes, comme par exemple les chapeaux de palier, peuvent certes s'avérer utiles, mais risquent de ne pas caractériser d'une manière satisfaisante les conditions de fonctionnement de la machine. En général, ces machines contiennent des systèmes d'arbre à rotor flexible, et l'on pourra obtenir des mesures plus précises et plus sensibles des variations de l'environnement vibratoire si les mesurages sont effectués sur les éléments tournants. On peut citer à titre d'exemples représentatifs des catégories de machines utilisant fréquemment le mesurage des vibrations du rotor, comme des machines ayant des carters relativement raides et/ou lourds par rapport à la masse du rotor.

Dans le cas de certaines machines, telles que turbines à vapeur industrielles, turbines à gaz et turbocompresseurs qui, toutes, peuvent présenter plusieurs modes de vibrations dans la gamme des vitesses de service, c'est surtout grâce à des mesurages effectués sur les rotors que l'on peut mieux observer leurs réponses aux vibrations dues à un balourd, aux déformations thermiques, aux frottements et à une mise hors charge des roulements.

Par conséquent, la présente Norme internationale a été préparée dans le but de compléter les spécifications établies dans l'ISO 2372.

Ainsi, tandis que l'ISO 2372 concerne le mesurage des vibrations sur les surfaces des machines, par exemple les chapeaux de palier des carters de roulement, la présente Norme internationale fournit une autre méthode de mesurage et d'évaluation pour les catégories de machines dont les caractéristiques des vibrations peuvent être plus nettement indiquées par des mesurages des vibrations sur les arbres tournants.

Les mesurages des vibrations sur les arbres sont utilisés dans un grand nombre de cas, qui vont des opérations de routine (surveillance en cours d'utilisation, essais de réception) aux essais expérimentaux à la pointe du progrès, à quoi il faut ajouter les recherches du point de vue diagnostic et analyse. Ces différents objectifs de mesurage conduisent à de nombreuses différences au niveau des méthodes d'interprétation et d'évaluation. Pour limiter le nombre de ces différences, la présente Norme internationale est conçue de façon à fournir un guide, essentiellement pour la surveillance en cours de fonctionnement et pour les essais de réception.

Lors de la préparation de la présente Norme internationale il a été reconnu la nécessité d'établir des critères quantitatifs pour l'évaluation des vibrations des arbres des machines. Cependant, faute de données disponibles sur ce sujet actuellement, la présente Norme internationale a été structurée de façon à permettre d'y inclure de telles données au fur et à mesure de leur disponibilité.

NOTES

1 Le terme « vibrations de l'arbre » est utilisé tout au long de la présente Norme internationale car, dans la plupart des cas, les mesurages seront effectués sur l'arbre des machines; cependant, la présente Norme internationale s'applique aussi aux mesurages effectués sur d'autres organes tournants lorsqu'il s'avère que ces organes conviennent mieux au mesurage, à condition que les lignes directrices soient respectées.

2 Dans le cadre de la présente Norme internationale, la surveillance en cours de fonctionnement est considérée comme étant les mesurages des vibrations effectués pendant l'utilisation normale de la machine. La présente Norme internationale permet d'utiliser diverses grandeurs et méthodes de mesurage, à condition qu'elles soient parfaitement définies et que leurs limites soient fixées, de façon à bien comprendre l'interprétation des mesurages.

1 Objet et domaine d'application

La présente partie de l'ISO 7919 établit des directives générales pour le mesurage et l'évaluation des vibrations des machines, par l'intermédiaire de l'utilisation de mesurages effectués directement sur des arbres tournants, l'objectif étant de déterminer les vibrations de l'arbre pour ce qui est

- a) des variations des amplitudes de vibrations;
- b) d'une force tournante excessive;
- c) de la surveillance des jeux radiaux.

Elle s'applique aux mesurages des vibrations radiales des arbres, tant en valeur absolue qu'en valeur relative, mais ne prend pas en compte les vibrations axiales et en torsion des arbres. Les procédures sont applicables à la fois à la surveillance en cours de fonctionnement, et aux essais de réception sur banc d'essai et après l'installation.

NOTE — Les critères d'évaluation pour les différentes classes de machines seront inclus dans les parties additionnelles de la présente Norme internationale lorsqu'ils seront disponibles. En attendant, des directives sont données à titre d'information en annexe C.

La présente Norme internationale ne s'applique pas aux machines alternatives.

2 Références

ISO 2041, *Vibrations et chocs — Vocabulaire.*

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 3945, *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.*

ISO 5348, *Vibrations et chocs mécaniques — Fixation mécanique des accéléromètres.*¹⁾

3 Mesurages

3.1 Grandeurs de mesurage

3.1.1 Déplacement

La grandeur de mesurage préférée, pour le mesurage des vibrations des arbres, est le déplacement. L'unité de mesure est le micromètre ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$).

NOTE — Le déplacement est une grandeur vectorielle et, quand on compare deux déplacements, il peut donc s'avérer nécessaire de considérer l'angle de phase entre eux (voir aussi annexe C).

Comme la présente Norme internationale s'applique au mesurage des vibrations des arbres tant en valeur relative qu'en valeur absolue, il faut en outre distinguer les deux types de déplacement suivants :

- a) déplacement relatif, qui est le déplacement vibratoire entre l'arbre et la structure appropriée, par exemple un carter de palier ou le carter de la machine;
- b) déplacement absolu, qui est le déplacement vibratoire de l'arbre par rapport à un trièdre de référence fixe.

NOTE — Il convient d'indiquer clairement si les valeurs de déplacement sont relatives ou absolues.

Le déplacement absolu et le déplacement relatif sont en outre définis par plusieurs grandeurs de déplacement différentes, dont chacune est maintenant largement utilisée. On peut citer :

S_{p-p} : valeur du déplacement vibratoire, crête à crête, dans la direction de mesurage;

S_{max} : déplacement vibratoire maximal dans le plan de mesurage.

On peut utiliser pour mesurer les vibrations des arbres chacune de ces grandeurs de déplacements; cependant, les grandeurs doivent être clairement désignées de façon à assurer une interprétation correcte des mesurages selon les critères du chapitre 5. On trouvera sur les figures de l'annexe A les relations qui existent entre ces différentes grandeurs.

NOTE — Actuellement, la plus grande des deux valeurs de déplacement crête à crête telle qu'elle est mesurée dans deux directions orthogonales est utilisée pour des critères d'évaluation. À l'avenir et avec l'expérience acquise, la grandeur $S_{p-p_{\text{max}}}$, définie dans la figure 2 de l'annexe A, peut être préférée.

3.1.2 Gamme de fréquences

Le mesurage des vibrations relatives et des vibrations absolues des arbres doit être effectué en bande large de façon à couvrir convenablement le spectre de fréquences de la machine.

3.2 Types de mesurage

3.2.1 Mesurages des vibrations relatives

Généralement, les mesurages des vibrations relatives sont effectués avec des transducteurs sans contact qui captent le déplacement vibratoire entre l'arbre et un organe fixe (par exemple le carter de palier) de la machine.

3.2.2 Mesurages des vibrations absolues

Les mesurages des vibrations absolues sont effectués selon l'une des méthodes suivantes :

- a) par une sonde montée en contact avec l'arbre, sur laquelle est monté un transducteur sismique (du type vitesse ou accéléromètre), de façon à mesurer directement les vibrations absolues de l'arbre; ou

1) Actuellement au stade de projet.

b) par un transducteur sans contact, combiné avec un transducteur sismique (du type vitesse ou accéléromètre), montés l'un près de l'autre, de façon que le support des deux transducteurs subisse le même déplacement absolu dans la direction de mesurage. Leurs sorties, après conditionnement, subissent une sommation vectorielle pour donner un mesurage du mouvement absolu de l'arbre.

3.3 Procédures de mesurage

3.3.1 Généralités

Il est souhaitable de placer les transducteurs en des points tels que l'on puisse évaluer le mouvement latéral de l'arbre en certains points particuliers. Il est recommandé, pour ce qui est des mesurages relatifs ou absolus, de placer deux transducteurs au niveau de chaque palier de machine, ou en son voisinage immédiat. Ils doivent être montés radialement dans le même plan transversal perpendiculaire à l'axe de l'arbre, ou aussi près que possible de ce plan, leurs axes faisant un angle au plus égal à $\pm 5^\circ$ par rapport à un axe radial. De préférence, les deux transducteurs doivent être montés à $90 \pm 5^\circ$ l'un de l'autre, sur le même demi-palier, et les positions choisies devraient être les mêmes au niveau de chaque palier.

On peut utiliser un transducteur unique si l'on a pu montrer qu'il donne des renseignements suffisants sur les caractéristiques des vibrations de l'arbre.

Il est recommandé d'effectuer des mesurages spéciaux pour déterminer les défauts de forme provoqués par des non-homogénéités de surface de l'arbre, des défauts triboélectriques et par des défauts mécaniques de l'arbre. Il convient de noter que dans le cas des rotors asymétriques, l'effet de la gravité peut provoquer un faux signal de défaut.

Les recommandations en matière d'appareillage figurent en annexe B.

3.3.2 Procédures pour les mesurages des vibrations relatives

Normalement, les transducteurs de vibrations relatives, du type sans contact, sont montés dans des trous taraudés aménagés dans le carter du palier, ou à l'aide de supports rigides contigus du carter du palier. Quand les transducteurs sont montés dans le palier, ils doivent être placés de façon à ne pas gêner le film d'huile lubrifiant. Cependant, on peut prendre des dispositions spéciales pour monter les transducteurs à d'autres emplacements axiaux, mais il faudra alors utiliser, pour l'évaluation, des critères différents de vibrations. Quand les transducteurs sont montés sur supports, ces derniers doivent être exempts de fréquences propres susceptibles d'affecter d'une manière indésirable l'aptitude du transducteur à mesurer les vibrations relatives des arbres.

La surface de l'arbre, au point où le capteur prend en compte le déplacement axial total de l'arbre dû aux dilatations thermiques, doit être lisse et exempte de toutes discontinuités géométriques, par exemple des rainures de clavette, des conduits de lubrification et des filetages, ainsi que de défauts d'homogénéité métallique et de défauts triboélectriques susceptibles de

provoquer de faux signaux. Dans certains cas, on peut accepter une surface d'arbre possédant un dépôt électrolytique ou métallisé, mais il convient de noter que l'étalonnage peut être différent. Il est recommandé que les défauts globaux résultant des défauts triboélectriques et mécaniques, tels que mesurés par le transducteur, ne doivent pas dépasser 25 % du déplacement vibratoire admissible spécifié selon l'annexe C, ou $6 \mu\text{m}$, en prenant la valeur la plus élevée. Pour des mesurages effectués sur des machines déjà en service où rien n'avait été initialement prévu pour mesurer les vibrations de l'arbre, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser d'autres critères.

3.3.3 Procédures pour les mesurages des vibrations absolues à l'aide d'un transducteur combiné, constitué d'un transducteur sismique et d'un transducteur de vibrations relatives sans contact

Lorsqu'on utilise une combinaison de transducteurs sismiques et de vibrations relatives sans contact, les vibrations absolues sont obtenues par la sommation vectorielle des sorties des deux transducteurs. La fixation et les autres spécifications relatives au transducteur sans contact sont celles indiquées en 3.3.2. De plus, le transducteur sismique doit être fixé d'une manière rigide à la structure de la machine (par exemple au carter de palier), au voisinage immédiat du transducteur sans contact, de façon que les deux transducteurs soient soumis aux mêmes vibrations absolues du support dans la direction du mesurage. Les axes sensibles des transducteurs (sans contact et sismique) doivent être parallèles de façon que leurs signaux, après conditionnement et sommation vectorielle, donnent une mesure précise des vibrations absolues de l'arbre.

3.3.4 Procédures pour les mesurages des vibrations absolues à l'aide d'une tige et d'un frotteur sur l'arbre, avec un transducteur sismique

Le transducteur sismique (du type vitesse ou accéléromètre) doit être monté radialement sur une tige en contact avec l'arbre par un frotteur. Le système ne doit ni brouter, ni se gripper, et donc ne doit modifier en aucune manière les vibrations indiquées de l'arbre. Le mécanisme doit être fixé comme il est décrit pour les transducteurs en 3.3.1.

La surface de l'arbre contre laquelle est en contact la tige avec le frotteur, en prenant en compte le déplacement axial total de l'arbre dû aux dilatations thermiques, doit être lisse et exempte de discontinuités telles que les rainures de clavette et de filetage. Il est recommandé que les défauts mécaniques de l'arbre, tels que mesurés à l'aide d'un indicateur à cadran présentant une résolution appropriée, ne dépassent pas 25 % du déplacement maximal admissible dû aux vibrations et spécifié selon l'annexe C, ou $6 \mu\text{m}$, en prenant la valeur la plus élevée.

Il peut y avoir des limitations relatives à la vitesse surfacique et/ou à d'autres paramètres pour le frotteur, par exemple la formation de films hydrodynamiques d'huile en dessous de la sonde, qui serait susceptible de donner des lectures erronées, et il convient donc de se mettre en rapport avec les constructeurs pour en avoir connaissance.

3.4 Conditions de fonctionnement de la machine

Le mesurage des vibrations de l'arbre doit être effectué dans des conditions convenues, sur toute la gamme de fonctionnement de la machine. Ces mesurages doivent être effectués

après avoir atteint les conditions de fonctionnement et thermiques convenues. En outre, on peut aussi effectuer des mesurages dans certaines conditions, par exemple de roulement lent, de vitesses de montée en température, de vitesses critiques, etc.; cependant, les résultats de ces mesurages peuvent ne pas être appropriés dans le cadre d'une évaluation selon chapitre 5.

3.5 Fondations et structures de la machine

Le type de fondation et de structure de la machine (par exemple les tuyauteries) peut affecter fortement les vibrations mesurées. En général, ce n'est que si les fondations et les structures possèdent des caractéristiques dynamiques analogues que l'on pourra effectuer une comparaison valable des niveaux de vibrations de machines du même type.

3.6 Bruit de fond et évaluation du système de mesurage

Avant de mesurer les vibrations d'une machine en fonctionnement, il convient d'effectuer un contrôle avec le même système et les mêmes instruments de mesurage, mais la machine étant à l'arrêt. Quand ces mesurages donnent des résultats dépassant un tiers des valeurs spécifiées pour la vitesse de fonctionnement, il convient de prendre des dispositions permettant d'éliminer les effets du bruit de fond.

4 Instrumentation

L'instrumentation utilisée dans le but de conformité avec la présente partie de l'ISO 7919 doit être conçue de façon à prendre en compte la température, l'humidité, la présence d'une atmosphère corrosive, la vitesse superficielle de l'arbre, le matériau de l'arbre et le fini de surface, le fluide de travail (par exemple eau, huile, air ou vapeur) en contact avec le transducteur, les vibrations et les chocs (sur les trois axes principaux), les bruits aériens, les champs magnétiques, les masses métalliques au voisinage de l'extrémité du transducteur, et les fluctuations et phénomènes transitoires de la tension du réseau d'alimentation.

La conception du système de mesurage et de ses différents éléments doit être telle que, pour une application donnée supérieure à la gamme maximale des conditions ambiantes, l'erreur de mesurage du système n'excède pas 10 % de la valeur mesurée, ou 10 % des deux tiers de la valeur de l'instrument de lecture, en prenant la valeur la plus élevée.

L'instrumentation doit prévoir un dispositif pour l'étalonnage de l'instrumentation de lecture en service. Il est souhaitable d'avoir des points de sortie isolés et convenables permettant une éventuelle analyse supplémentaire. L'annexe B donne des exemples d'instrumentation utilisée pour les mesurages des vibrations relatives et absolues de l'arbre.

5 Critères d'évaluation

5.1 Il existe deux facteurs principaux permettant d'évaluer les vibrations des arbres :

- a) la vibration absolue de l'arbre;
- b) la vibration de l'arbre relative aux éléments fixes.

5.2 Si le critère d'évaluation est la variation de la vibration de l'arbre,

- a) quand la vibration du support du transducteur due au mouvement relatif est faible (c'est-à-dire inférieure à 20 % de la vibration relative de l'arbre), on pourra utiliser en tant que mesure de la vibration de l'arbre soit la vibration absolue de l'arbre soit sa vibration relative;
- b) quand la vibration du support du transducteur due au mouvement relatif est de 20 % ou plus de la vibration relative de l'arbre, la vibration absolue de l'arbre doit être mesurée, et, si l'on constate qu'elle est supérieure à la vibration relative de l'arbre, elle doit être utilisée en tant que mesure de la vibration de l'arbre.

5.3 Si le critère d'évaluation est la force tournante sur les paliers, la vibration relative de l'arbre doit être utilisée en tant que mesure de la vibration de l'arbre.

5.4 Si le critère d'évaluation est le jeu au niveau du stator/rotor,

- a) quand la vibration du support du transducteur due au mouvement relatif est faible (c'est-à-dire inférieure à 20 % de la vibration relative de l'arbre), la vibration relative de l'arbre doit être utilisée en tant que mesure de l'absorption au niveau du jeu;
- b) quand la vibration du support du transducteur due au mouvement relatif est de 20 %, ou plus, de la vibration relative de l'arbre, on pourra encore utiliser la mesure de la vibration relative de l'arbre en tant que mesure de l'absorption au niveau du jeu, à moins que la vibration du support du transducteur due au mouvement relatif ne soit pas représentative de la vibration totale du stator. Dans ce dernier cas, il sera nécessaire d'effectuer des mesurages spéciaux.

5.5 La vibration de l'arbre associée à une classification particulière de gammes dépend des dimensions et de la masse du corps vibrant, des caractéristiques du système de fixation, ainsi que du rendement et de l'utilisation de la machine. Il est donc nécessaire de prendre en compte les différentes applications et circonstances chaque fois que l'on spécifie différentes gammes des vibrations de l'arbre pour une classe donnée de machine. Le cas échéant, il conviendra de se reporter aux spécifications du produit.

Annexe A

Obtention des grandeurs de mesure

(Cette annexe ne fait pas partie intégrante de la norme.)

A.1 Mécanique de la vibration de l'arbre

La vibration d'un arbre tournant est caractérisée, en un point axial quelconque, par une orbite (trajectoire), qui décrit la manière dont la position du centre de l'arbre varie avec le temps. La figure 1 présente un exemple d'orbite. La forme de l'orbite dépend des caractéristiques dynamiques de l'arbre, des paliers et des supports/fondations des paliers, de la position axiale sur le rotor et de la forme de l'excitation des vibrations. Par exemple, si l'excitation prend la forme d'une force sinusoïdale à fréquence unique, l'orbite sera une ellipse, qui pourra dans certaines situations se résoudre en un cercle ou une droite, et le temps nécessaire au centre de l'arbre pour effectuer un tour complet de l'ellipse est égal à la période de la force d'excitation. L'une des forces d'excitation les plus importantes est le balourd du rotor, auquel cas la fréquence d'excitation est égale à la fréquence de rotation de l'arbre. Cependant, il existe d'autres formes d'excitation, comme une asymétrie de la section transversale du rotor, auquel cas la fréquence est égale à des multiples de la fréquence de rotation de l'arbre. Quand la vibration est due par exemple à une instabilité, l'orbite n'aura normalement pas une forme simple mais elle changera de forme sur un intervalle de temps donné, et il n'y aura pas nécessairement une relation harmonique. En général, les vibrations de l'arbre peuvent être dues à un certain nombre de différentes sources, ce qui donnera une orbite complexe, qui est la somme vectorielle des effets des différentes forces d'excitation individuelles.

A.2 Mesurage de la vibration de l'arbre

En un point axial quelconque, on peut obtenir l'orbite de l'arbre en effectuant des mesurages avec deux transducteurs de vibrations fixés dans des plans radiaux différents, faisant entre eux un angle de 90° (c'est l'angle préféré, mais on pourra s'écarter légèrement de cette valeur sans risque d'erreurs importantes). Si l'angle entre les deux plans des transducteurs est très différent de 90°, il sera nécessaire d'effectuer une décomposition vectorielle dans les directions orthogonales. Si les transducteurs mesurent la vibration absolue, l'orbite sera l'orbite absolue de l'arbre, indépendamment du mouvement vibratoire des organes non tournants. Si les transducteurs mesurent la vibration relative, l'orbite mesurée sera une orbite relative et liée à la partie de la structure sur laquelle sont montés les transducteurs.

A.3 Grandeurs de mesurage

A.3.1 Position moyenne intégrée par rapport au temps

Les valeurs moyennes du déplacement de l'arbre (\bar{x} , \bar{y}), dans deux directions orthogonales spécifiées quelconques, et par rapport à une position de référence, comme indiqué dans la figure 1, sont définies par des intégrales par rapport au temps, selon les équations suivantes :

$$\bar{x} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} x(t) dt \quad \dots (1)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} y(t) dt \quad \dots (2)$$

où $x(t)$ et $y(t)$ sont les valeurs, dépendant du temps, du déplacement par rapport à la position de référence, et $(t_2 - t_1)$ est supérieur par rapport à la période de la composante la plus basse de la fréquence de vibration. Dans le cas de mesurages de vibrations absolues, la position de référence est fixe dans l'espace. Dans le cas de mesurage de vibrations relatives, ces valeurs donnent une indication de la position moyenne de l'arbre par rapport aux organes fixes, au point axial où sont effectués les mesurages. Des variations de ces valeurs peuvent être la conséquence d'un certain nombre de facteurs, tels que les mouvements du palier/des fondations, des modifications des caractéristiques du film d'huile, etc., qui, normalement, apparaissent à une faible fréquence par rapport à la fréquence des composantes des vibrations.

Il convient de noter que la position moyenne intégrée par rapport au temps, dans une direction quelconque, est différente de la position définie quand on prend la moitié de la sommation des valeurs de déplacement maximales et minimales (voir figure 2). Cependant, quand la vibration de l'arbre est sinusoïdale avec une fréquence unique, le lieu géométrique du centre de l'arbre sera une ellipse. Dans ces cas, la position moyenne, intégrée par rapport au temps, dans une direction de mesurage quelconque, sera la même que la position définie en prenant la moitié de la sommation des valeurs de déplacement maximales et minimales.

A.3.2 Déplacement de crête à crête des vibrations

Les grandeurs particulièrement importantes lors du mesurage de l'arbre concernent les vibrations qui constituent la forme de l'orbite. Considérons l'orbite de l'arbre, présentée sur la figure 2, et supposons qu'il y ait deux transducteurs A et B, montés à 90° l'un de l'autre, utilisés pour mesurer les vibrations de l'arbre. À un instant donné, le centre de l'arbre coïncidera avec le point K de l'orbite, et la valeur instantanée correspondante du déplacement de l'arbre par rapport à sa position moyenne sera S_1 . Cependant, dans le plan des transducteurs A et B, les valeurs instantanées du déplacement de l'arbre par rapport à la position moyenne seront respectivement S_{A1} et S_{B1} , où

$$S_1^2 = S_{A1}^2 + S_{B1}^2 \quad \dots (3)$$

Les valeurs de S_1 , S_{A1} et S_{B1} varient avec le temps car le centre de l'arbre se déplace autour de l'orbite; les formes d'ondes correspondantes, mesurées par chaque transducteur, sont présentées sur la figure 2.

NOTE — Si l'orbite est elliptique, ces formes seront des sinusoïdes pures ayant la même fréquence.

La valeur de crête du déplacement dans le plan du transducteur A (S_A crête à crête) est définie comme la différence entre le déplacement maximal et le déplacement minimal du transducteur A, avec une définition identique pour S_B du transducteur B. Il est manifeste que les valeurs de S_A crête à crête et de S_B crête à crête ne sont pas égales et, en général, ces valeurs seront différentes de celles obtenues par des mesurages analogues effectués dans des directions radiales différentes. Ainsi, la valeur du déplacement de crête à crête dépend de la direction du mesurage.

Comme ces grandeurs de mesurage sont indépendantes de la valeur absolue de la position moyenne, il n'est pas nécessaire d'utiliser des systèmes capables de mesurer tant les valeurs moyennes que les valeurs oscillantes.

Le déplacement de crête à crête est la grandeur de référence qui a été le plus fréquemment utilisée pour surveiller en continu les vibrations des machines tournantes.

Bien que le mesurage du déplacement de crête à crête, dans l'une quelconque des deux directions orthogonales données, soit une opération simple, la valeur et la position angulaire du déplacement maximal de crête à crête, présenté sur la figure 2, sont difficiles à déterminer. Cependant, dans la pratique, il s'est avéré acceptable d'utiliser des grandeurs de mesurage oscillatoires permettant une approximation convenable de la valeur du déplacement maximal de crête à crête que l'on veut obtenir. Pour avoir des déterminations plus précises, il est nécessaire d'examiner plus en détail l'orbite de l'arbre, par exemple à l'aide d'un oscilloscope. Les trois méthodes plus courantes pour obtenir une approximation satisfaisante sont décrites de A.3.2.1 à A.3.2.3.

A.3.2.1 Méthode A : Résultante des valeurs des déplacements de crête à crête mesurés dans deux directions orthogonales

La valeur de $S_{p-p_{max}}$ peut être approchée à partir de l'équation suivante :

$$S_{p-p_{max}} = \sqrt{(S_{A_{p-p}})^2 + (S_{B_{p-p}})^2} \quad \dots (4)$$

Si l'on utilise l'équation (4) en tant qu'approximation quand la vibration s'effectue essentiellement à une fréquence synchrone, on obtiendra une surestimation de la valeur de $S_{p-p_{max}}$ avec une erreur maximale d'environ 40 %.

L'erreur maximale se produit pour une orbite circulaire et diminue progressivement au fur et à mesure que l'orbite s'aplatit avec une erreur nulle dans le cas dégénéré d'une orbite rectiligne.

A.3.2.2 Méthode B : Utilisation de la valeur maximale des valeurs des déplacements de crête à crête mesurés dans deux directions orthogonales

La valeur de $S_{p-p_{max}}$ peut être approchée à partir de l'équation suivante :

$$S_{p-p_{max}} = S_{A_{p-p}} \text{ ou } S_{B_{p-p}}, \text{ en prenant la valeur la plus grande.} \quad \dots (5)$$

Si l'on utilise l'équation (5) en tant qu'approximation quand la vibration s'effectue essentiellement à une fréquence synchrone, on obtiendra une sous-estimation de la valeur de $S_{p-p_{max}}$ avec une erreur maximale d'environ 30 %.

L'erreur maximale se produit pour une orbite aplatie et diminue progressivement au fur et à mesure que l'orbite devient circulaire, l'erreur étant nulle quand l'orbite est circulaire.

A.3.2.3 Méthode C : Mesurage de S_{\max}

On peut définir par S_1 la valeur instantanée du déplacement de l'arbre, comme on le voit sur la figure 2, en partant des mesures S_{A1} et S_{B1} du transducteur et en utilisant l'équation (3). Il existe sur l'orbite un point, défini par le point P sur la figure 3, où le déplacement par rapport à la position moyenne atteint un maximum. La valeur de S_1 correspondant à cette position sera appelée S_{\max} , définie comme étant la valeur maximale du déplacement.

$$S_{\max} = [S_1(t)]_{\max} = \left[\sqrt{[S_A(t)]^2 + [S_B(t)]^2} \right]_{\max} \quad \dots (6)$$

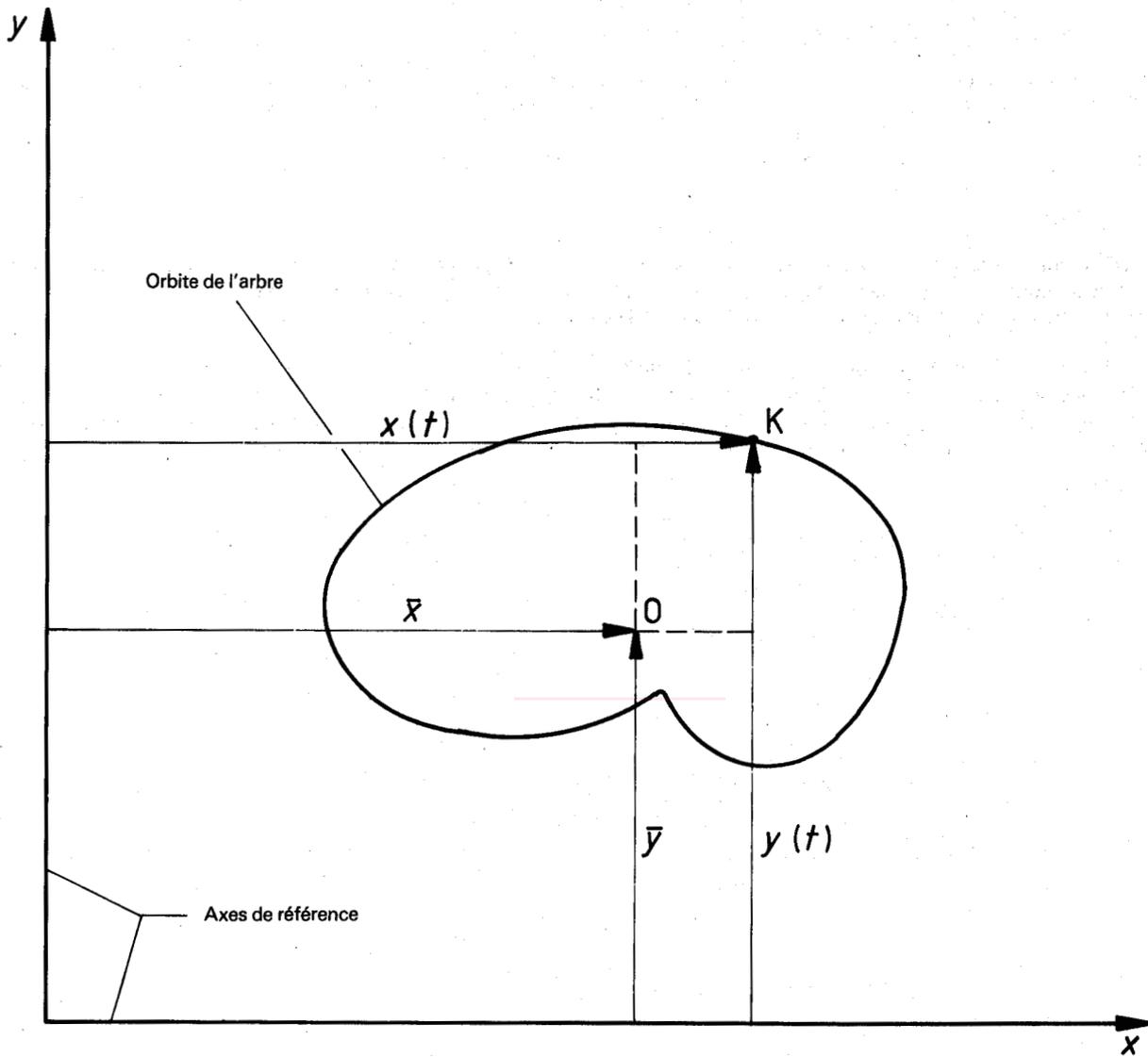
Le point de l'orbite où se produit S_{\max} ne coïncide pas nécessairement avec les points où S_A et S_B ont leur valeur maximale. Pour une orbite particulière, il existe donc une valeur donnée de S_{\max} , qui est indépendante de la position des transducteurs de mesurage.

La valeur de $S_{p-p_{\max}}$ peut être approchée à partir de l'équation suivante :

$$S_{p-p_{\max}} = 2 S_{\max} \quad \dots (7)$$

L'équation (7) donne des résultats rigoureux quand les deux mesurages orthogonaux à partir desquels on calcule S_{\max} ont la forme d'une sinusoïde à fréquence unique. Dans la plupart des autres cas, cette équation va donner une surestimation de la valeur de $S_{p-p_{\max}}$ qui dépend de la nature des composantes harmoniques en présence.

Il convient de noter que la définition de S_{\max} suppose implicitement que l'on connaît la valeur moyenne, intégrée par rapport au temps, du déplacement de l'arbre. Par conséquent, le mesurage de S_{\max} est limité aux systèmes de mesurage pouvant mesurer à la fois les valeurs moyennes et les valeurs oscillantes. En outre, l'évaluation de S_{\max} à partir des signaux produits par deux transducteurs de vibrations, est une technique de calcul relativement complexe exigeant une instrumentation spéciale.



- 0 Position moyenne de l'orbite
- K Position instantanée du centre de l'arbre
- $\left. \begin{matrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{matrix} \right\}$ Valeurs moyennes du déplacement de l'arbre
- $\left. \begin{matrix} x(t) \\ y(t) \end{matrix} \right\}$ Valeurs oscillantes, dépendant du temps, du déplacement de l'arbre

Figure 1 — Orbite de l'arbre