



Acoustique — Estimation du bruit aérien émis par les machines par mesurage des vibrations

Acoustics — Estimation of airborne noise emitted by machinery using vibration measurement

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 normalement 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.

La tâche principale des comités techniques de l'ISO est d'élaborer les Normes internationales. Exceptionnellement, un comité technique peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1: lorsque, en dépit de maints efforts au sein d'un comité technique, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2: lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique et requiert une plus grande expérience;
- type 3: lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique, par exemple).

La publication des rapports techniques dépend directement de l'acceptation du Conseil de l'ISO. Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'ISO/TR 7849 a été préparé par le comité technique ISO/TC 43, *Acoustique*.

Les raisons justifiant la décision de publier le présent document sous forme de rapport technique du type 2 sont exposées dans l'introduction.

0 Introduction

0.1 Raisons pour la publication sous forme de Rapport technique du type 2

La proposition en vue de l'élaboration d'une Norme internationale sur le mesurage et la caractéristique du bruit émis par la structure des éléments d'un ensemble de machines a été présentée à la réunion de l'ISO/TC 43 SC/1 en 1979. Un avant-projet a été présenté en vue de discussion. Toutefois, en 1982 il a été décidé que le texte de cet avant-projet devrait être modifié par suite des commentaires des comités membres et que le texte modifié devrait être soumis pour acceptation en tant que Rapport technique, étant donné que le sujet n'a pas été suffisamment approfondi pour pouvoir être publié en tant que Norme internationale. Cette proposition de publier le présent Rapport technique a été soutenue par la majorité des membres du TC 43, participant à la réunion.

Le présent document est publié sous la forme d'un Rapport technique du type 2 car le sujet abordé ne peut pas encore être traité par une Norme internationale du fait des lacunes dans la connaissance de certaines caractéristiques de mesurage; par exemple, l'exactitude de la méthode reste incertaine lorsqu'on l'applique à des ensembles particuliers de machines qui posent les problèmes les

CDU 534.647 : 621

Réf. n° ISO/TR 7849 : 1987 (F)

Descripteurs: acoustique, vibration, machine, essai, essai acoustique, bruit acoustique, bruit aérien.

© Organisation internationale de normalisation, 1987 ●

Imprimé en Suisse

Prix basé sur 20 pages

plus aigus quant au rayonnement acoustique. Le sujet reste à l'étude et le présent Rapport technique peut encourager une étude approfondie dans ce domaine dont les résultats permettront ultérieurement de donner au présent Rapport technique le statut de Norme internationale.

0.2 Généralités

La détermination du bruit aérien, rayonné par une machine, par le mesurage des vibrations des surfaces extérieures de cette machine, présente un intérêt dans les cas suivants :

- lorsque le bruit de fond indésirable (par exemple, le bruit produit par d'autres machines ou les sons réfléchis par les parois d'un local) est important comparé au bruit émis directement par la machine soumise à l'essai;
- lorsqu'on doit distinguer le bruit émis par une vibration structurale du bruit d'origine aérodynamique (y compris dans le cas où l'on ne peut recourir aisément aux nouvelles techniques de mesurage d'intensité acoustique);
- lorsque le bruit émis par la structure d'une partie seulement de la machine ou par un élément d'un ensemble de machines doit être déterminé en présence de bruit émis par d'autres parties de la source considérée dans son ensemble.

Le présent Rapport technique indique une méthode d'estimation de la puissance acoustique du bruit aérien émis par les machines à partir du mesurage des vibrations. Dans certaines conditions, cette méthode de mesurage est applicable sans grande difficulté :

- si la forme de la surface extérieure de la machine est relativement simple;
- si les vibrations relevées en différents points de mesurage ne sont pas corrélées de façon significative et si la bande de fréquences comporte un nombre important de modes vibratoires.

Certaines sources bien corrélées de forme simple peuvent également être traitées (vibration d'une source d'ordre zéro, vibration alternative). Si ces conditions ne sont pas remplies, certains problèmes se posent, comme décrit en 0.3. Dans ces cas, il n'est pas encore possible de poser des principes exacts concernant les méthodes de mesurage, mais le présent Rapport technique en propose malgré tout un certain nombre.

0.3 Hypothèses et problèmes relatifs à la détermination de la puissance acoustique à partir de la valeur quadratique moyenne de la vitesse vibratoire surfacique des machines

0.3.1 La puissance acoustique aérienne, P_S , émise par une machine ou un équipement et due à des vibrations structurales de sa seule surface extérieure, peut être estimée à l'aide de l'équation suivante :

$$P_S = \rho c \bar{v}^2 S_S \sigma$$

où

ρc est l'impédance caractéristique du fluide,

où

ρ est la masse volumique moyenne du fluide (c'est-à-dire de l'air),

c est la célérité du son dans le fluide (c'est-à-dire dans l'air);

\bar{v}^2 est la valeur quadratique moyenne de la vitesse vibratoire normale, moyennée sur l'aire de la surface S_S ;

S_S est l'aire de la surface extérieure définie de la machine;

σ est le facteur de rayonnement.

Comme l'impédance caractéristique, ρc , est une constante, dans des conditions météorologiques connues, la formule ci-dessus requiert la détermination des trois facteurs \bar{v}^2 , S_S et σ .

0.3.2 La valeur de \bar{v}^2 est calculée à partir des mesurages de la valeur efficace de la composante de la vitesse vibratoire, perpendiculaire à la surface extérieure de la machine, en un nombre suffisant de points de mesurage, répartis sur la surface extérieure représentative de la machine. Le dispositif et le nombre de points de mesurage peuvent être considérés comme suffisants si la valeur de \bar{v}^2 demeure stable, dans les limites de précision de la méthode, en augmentant le nombre et en modifiant la disposition des emplacements de mesurage. Une répartition aléatoire des capteurs de vibration s'avère souhaitable. Des conseils pratiques sont donnés en 7.2 et 7.3.

Il peut être souhaitable de fractionner la surface extérieure de la machine pour évaluer la puissance acoustique rayonnée par différents éléments. Cette subdivision implique que chaque zone rayonne de façon indépendante.

La variation spatiale de la vitesse vibratoire dépend :

- du nombre de modes de résonance excités simultanément dans la bande de fréquences;
- du degré de non-uniformité de la structure (par exemple présence de rigidité, d'orifices et de variations d'épaisseur du matériau);
- de la répartition spatiale des forces d'excitation.

La difficulté principale survient quand très peu de modes de résonance sont excités dans une bande de fréquences.

0.3.3 L'aire de la surface extérieure définie de la machine, S_S , peut être calculée aisément si la forme de la surface extérieure de la machine est simple (par exemple cylindrique, sphérique, ensemble de surfaces planes, etc.).

Le rayonnement des structures raccordées telles que les tuyauteries, les châssis, les supports, etc., pose un certain problème de même que le rayonnement des éléments grillagés, des surfaces nervurées ou ajourées et des structures de soutien.

Il est recommandé de définir S_S pour des types définis de machines en relation avec le facteur de rayonnement applicable (voir la « Bibliographie »).

0.3.4 Le facteur de rayonnement, σ , est fonction des facteurs suivants :

- Les dimensions de la surface de rayonnement comparée à la longueur d'onde du bruit dans l'air, aux fréquences considérées.
- La forme de la surface de rayonnement.
- La distribution des modes dans la bande de fréquences.

La valeur de σ est déterminée non seulement par la structure mais également par la répartition et le type d'excitation ainsi que par le facteur de perte interne. Ainsi, pour certains types de machines, σ peut varier si le champ des forces d'excitation change (par exemple entre le fonctionnement à vide et le fonctionnement en charge).

Le facteur de rayonnement des modes individuels de certaines structures uniformes idéalisées, telles que les sphères, les surfaces planes et les cylindres de révolution, est connu. Le facteur de rayonnement modal moyen de telles structures est également connu sur la base d'une équirépartition de l'énergie par mode. Certains types d'excitation peuvent aboutir à une énergie modale non uniforme, par exemple l'excitation aérienne, l'excitation en un point unique, l'excitation impulsienne.

- Les caractéristiques temporelles du processus (stationnaire ou non stationnaire).

Le facteur de rayonnement peut être déterminé comme suit :

- De façon théorique, comme décrit ci-dessus (voir la « Bibliographie »).
- Expérimentalement, à partir des mesurages d'une ou de plusieurs structures représentatives d'une famille donnée de machines ou d'équipement.

Cette méthode repose sur l'équation donnée en 0.3.1, écrite comme suit :

$$\sigma = \frac{P_S}{\rho c S_S v^2}$$

où

P_S est la puissance acoustique du bruit aérien déterminé soit selon l'ISO 3741, l'ISO 3742, l'ISO 3743, l'ISO 3744, l'ISO 3745 ou l'ISO 3746, soit en recourant au mesurage par l'intensité acoustique;

ρc , S_S et v^2 sont déterminés comme indiqué ci-dessus.

- À partir de valeurs estimées de σ en fonction de la fréquence.

De telles valeurs peuvent être déduites pour des machines présentant un comportement acoustique comparable à celui de sources de bruit étudiées selon les méthodes a) et b).

Selon certaines études, le facteur de rayonnement $\sigma(f)$ d'une source sphérique d'ordre zéro (voir 8.3.2) se rapproche, par exemple, du facteur de rayonnement d'un grand nombre de sources de bruit (machines, équipements).

Une estimation très grossière de σ est donnée par la valeur $\sigma = 1$. En général, cette hypothèse permet d'estimer une valeur de la puissance acoustique rayonnée, P_S .

1 Objet et domaine d'application

Le présent Rapport technique définit les exigences fondamentales pour des méthodes reproductibles, permettant d'estimer la puissance acoustique émise par les machines ou les équipements, à l'aide de mesurages des vibrations de surface. La méthode s'applique particulièrement lorsque des mesurages précis et directs du bruit aérien, tels que les spécifient l'ISO 3741, l'ISO 3742, l'ISO 3743, l'ISO 3744 et l'ISO 3745, ne sont pas possibles du fait du niveau important de bruit de fond ou d'autres effets parasites de l'environnement. Les méthodes ne s'appliquent qu'au bruit émis par les surfaces vibrantes de structures solides et non au bruit d'origine aérodynamique. La méthode décrite dans le présent Rapport technique s'applique principalement aux processus stationnaires dans le temps. Des études visant à étendre ces techniques à des processus non stationnaires sont toutefois encouragées.

L'annexe D contient des indications quant à l'estimation de la variation du facteur de rayonnement en fonction de la fréquence. L'annexe E comporte des recommandations à propos du choix des bandes de fréquences.

Le présent Rapport technique spécifie des méthodes permettant d'estimer la puissance acoustique, émise par des éléments distincts de l'ensemble de la surface vibrante de machines importantes, par des mesurages de vibrations.

2 Références

ISO 1683, *Acoustique — Grandeurs normales de référence pour les niveaux acoustique.*

ISO 3741, *Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit — Méthodes de laboratoire en salles réverbérantes pour les sources à large bande.*

ISO 3742, *Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit — Méthodes de laboratoire en salles réverbérantes pour les sources émettant des fréquences discrètes et des bruits à bandes étroites.*

ISO 3743, *Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit — Méthodes d'expertise pour les salles d'essai réverbérantes spéciales.*

ISO 3744, *Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit — Méthodes d'expertise pour les conditions de champ libre au-dessus d'un plan réfléchissant.*

ISO 3745, *Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit — Méthodes de laboratoire pour les salles anéchoïque et semi-anéchoïque.*

ISO 3748, *Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit — Méthode d'expertise pour de petites sources, presque omnidirectionnelles dans des conditions de champ libre au-dessus d'un plan réfléchissant.*¹⁾

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

Publication CEI 225, *Filtres de bandes d'octave, de demi-octave et de tiers d'octave destinés à l'analyse des bruits et des vibrations.*

Publication CEI 651, *Sonomètres.*

3 Définitions

Dans le cadre du présent Rapport technique, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 bruit structural : Vibrations transmises par les structures solides d'une machine, dans le domaine de fréquences des sons audibles. Il est déterminé à partir soit de la vitesse vibratoire soit de l'accélération vibratoire, à la surface de la structure solide.

3.2 machine :

- (1) Partie d'un équipement constituant une source unique de bruit.
- (2) Ensemble d'éléments d'un équipement constituant plusieurs sources de bruit.

3.3 vitesse vibratoire : Composante de la vitesse de la surface vibrante qui est perpendiculaire à la surface. La valeur moyenne quadratique (efficace) de la vitesse vibratoire est désignée par le symbole v .

NOTE — Le déplacement vibratoire est l'intégrale dans le temps de la vitesse vibratoire. La valeur efficace du déplacement, s , d'une vibration sinusoïdale de fréquence f est donnée par l'équation suivante :

$$s = \frac{v}{2\pi f} \quad \dots (1)$$

L'accélération vibratoire est la dérivée dans le temps de la vitesse vibratoire. La valeur efficace de l'accélération, a , d'une vibration sinusoïdale de fréquence f est donnée par l'équation suivante :

$$a = 2\pi f v \quad \dots (2)$$

1) Actuellement au stade de projet.

3.4 niveau de vitesse vibratoire, L_v : Niveau de vitesse, en décibels, donné par l'équation suivante :

$$L_v = 10 \lg \frac{v^2}{v_0^2} \quad \dots (3)$$

où

v est la valeur efficace de la vitesse vibratoire dans le domaine de fréquences représentatif;

v_0 est la vitesse de référence¹⁾; $v_0 = 5 \times 10^{-8}$ m/s (= 50 nm/s).

NOTES

1 En ce qui concerne le bruit aérien et le bruit structural, la valeur de la vitesse de référence, v_0 , conduit, pour une onde plane progressive dans l'air, à des valeurs quasiment équivalentes des niveaux d'intensité, de pression acoustique et de vitesse vibratoire (voir ISO 1683).

2 La détermination du niveau de vitesse vibratoire, L_v , à partir du niveau d'accélération vibratoire, L_a , est décrite à l'annexe F.

3.5 facteur de rayonnement, σ : Facteur exprimant l'efficacité du rayonnement acoustique et donné par l'équation suivante :

$$\sigma = \frac{P_S}{\rho c S_S \overline{v^2}} \quad \dots (4)$$

où

P_S est la puissance acoustique du bruit aérien émis par la surface vibrante de la machine;

ρc est l'impédance caractéristique de l'air,

où

ρ est la masse volumique moyenne de l'air, [ISO/TR 7849:1987](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1a5eeda-babb-4da4-8cee-68e66fc3e6c8/iso-tr-7849-1987)

c est la célérité du son dans l'air, <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1a5eeda-babb-4da4-8cee-68e66fc3e6c8/iso-tr-7849-1987>

S_S est l'aire de la surface vibrante (surface de mesure vibratoire; voir 3.8);

$\overline{v^2}$ est la valeur moyenne du carré de la valeur efficace de la vitesse vibratoire sur l'aire S_S .

Les trois grandeurs, σ , P_S et $\overline{v^2}$ se rapportent au même intervalle de temps.

3.6 indice de rayonnement: Indice défini par l'expression $10 \lg \sigma$.

3.7 niveau de puissance acoustique du bruit aérien, L_W : Dix fois le logarithme décimal du rapport d'une puissance acoustique donnée à la puissance acoustique de référence. La largeur de la bande de fréquences d'analyse est indiquée, par exemple niveau de puissance acoustique par bande d'octave, niveau de puissance acoustique par bande de tiers d'octave, etc. Le niveau de puissance acoustique du bruit aérien est exprimé en décibels (puissance acoustique de référence : 1 pW). Le niveau de puissance acoustique du bruit aérien pour une partie de la surface de la machine, L_{WS} , est donné par l'équation suivante :

$$L_{WS} = 10 \lg \frac{P_S}{P_0} \quad \dots (5)$$

où

P_S est la puissance acoustique émise par la partie étudiée de la surface de la machine;

$P_0 = 10^{-12}$ W = 1 pW est la puissance acoustique de référence.

3.8 surface de mesure vibratoire: Surface totale ou partielle de la machine où se trouvent les points de mesure; son aire est désignée par le symbole S_S .

1) Prendre $v_0 = 10^{-9}$ m/s (comme spécifié dans l'ISO 1683) conduirait à des niveaux de vitesse vibratoire supérieurs de 34 dB aux niveaux utilisés dans le présent Rapport technique. Dans les équations (6), (10), (11) et (17), il faudrait, en conséquence, soustraire 34 dB aux termes de droite.

3.9 niveau de vitesse vibratoire structurale parasite : Niveau de vitesse vibratoire déterminé lorsque la machine est à l'arrêt ou qui est engendré par d'autres sources indésirables. Le bruit structural parasite provient de structures autres que la machine étudiée, par exemple d'ensembles couplés.

3.10 source sphérique d'ordre zéro : Sphère vibrant avec une phase uniforme et une même amplitude sur toute la surface.

4 Principe

4.1 Généralités

La méthode décrite dans le présent Rapport technique repose sur l'hypothèse selon laquelle le niveau de puissance acoustique du bruit aérien émis par une surface vibrante est directement proportionnel à la vitesse vibratoire quadratique moyenne sur la surface vibrante et est directement proportionnel à l'aire de cette même surface.

4.2 Méthode

On détermine les niveaux de vitesse vibratoire par bande de fréquences en un nombre spécifié de points de mesurage de la surface de la structure en vibration (la source de bruit) à l'aide d'un dispositif de mesurage des vibrations. Le niveau de puissance acoustique aérien par bande de fréquences est donné par la somme du niveau de vitesse vibratoire moyenne par bande de fréquences, d'un terme pour l'aire de la surface de mesurage et d'un terme pour l'efficacité du rayonnement acoustique de la structure.

Trois façons d'estimer le facteur de rayonnement σ et donc le niveau de puissance acoustique du bruit aérien sont décrites, comme suit :

- Si l'on suppose que le facteur de rayonnement $\sigma = 1$, on obtient une limite supérieure approximative de la puissance acoustique du bruit aérien rayonné. On peut alors estimer une limite supérieure du niveau de puissance acoustique pondéré A aérien à partir du niveau de vitesse vibratoire pondéré A.
- Si, pour une structure donnée, le modèle de rayonnement acoustique d'une source sphérique d'ordre zéro peut être justifié (par exemple pour des machines compactes), le facteur de rayonnement σ , en fonction de la fréquence, peut être obtenu à partir d'une courbe théorique. En utilisant les niveaux de vitesse vibratoire déterminés par bande de fréquences, on peut déterminer les niveaux de puissance acoustique du bruit aérien par bande de fréquences; à partir de ces niveaux, on peut calculer les niveaux de puissance acoustique du bruit aérien pondérés A.
- Pour obtenir une évaluation plus précise, on détermine la variation en fréquence du facteur de rayonnement σ pour la structure ou la famille de machines considérée. Ceci suppose également la détermination des niveaux de vitesse vibratoire par bande de fréquences et donne les niveaux de puissance acoustique par bande et, si nécessaire, le niveau de puissance acoustique pondéré A du bruit aérien.

5 Appareillage de mesurage

5.1 Généralités

Le présent chapitre décrit l'appareillage de mesurage faisant appel à des capteurs de vibrations. Dans la plupart des cas, il sera pratique d'employer des accéléromètres légers; toutefois, dans des cas particuliers, on peut avoir besoin d'autres types d'appareils et de techniques de mesurage (par exemple dispositifs sans contact, méthodes laser-doppler).

5.2 Capteur de vibrations

Le capteur de vibrations peut alourdir la surface de mesurage.

Lorsqu'il s'agit de mesurer des vibrations dans une bande de fréquences large, il est préférable de recourir à des accéléromètres piézo-électriques. Le choix d'un accéléromètre, pour une application donnée, doit tenir compte des paramètres du transducteur et des conditions d'environnement dans lesquelles il doit être utilisé.

Les mesurages sont généralement restreints à la partie linéaire de la courbe de réponse de l'accéléromètre qui, aux fréquences élevées, est limitée par la résonance du transducteur. On considère empiriquement que la limite supérieure en fréquence, pour les mesurages, peut être établie au tiers de la fréquence de résonance de l'accéléromètre, de telle sorte que les composantes vibratoires, mesurées jusqu'à cette limite, soient mesurées avec une incertitude inférieure à 1 dB.

De petits accéléromètres de faible masse peuvent présenter des fréquences de résonance élevées mais, en général, leur sensibilité (dynamique) est faible. Il faut donc trouver un compromis, du fait qu'une sensibilité élevée implique généralement un dispositif piézo-électrique important et par conséquent une unité relativement importante et lourde, présentant une fréquence de résonance basse.

L'influence de la masse de l'accéléromètre devient importante lors du mesurage d'objets légers. Pour éviter des erreurs dues aux variations de masse, la masse dynamique du transducteur devrait être bien inférieure à la masse dynamique de la structure au point de fixation $[0,2 \rho_S c_L h^2/f]$, dans le cas d'une surface plane, voir équation (13)].

5.3 Amplificateur et filtre

Les signaux de sortie du capteur de vibrations doivent être amplifiés, filtrés et affichés sous la forme de valeurs efficaces. Le bruit structural doit être mesuré à l'aide d'un sonomètre ou d'un appareillage équivalent conforme aux spécifications de la classe 0 ou 1 selon la Publication CEI 651, le microphone étant remplacé par le capteur de vibrations. Les filtres doivent être conformes à la Publication CEI 225.

5.4 Intégrateur

Si l'on utilise un intégrateur pour transformer les signaux d'accélération en signaux de vitesse, ses caractéristiques doivent correspondre à la dynamique du système de mesurage. Si cette condition n'est pas remplie et si le signal à mesurer est trop faible, on doit calculer les niveaux de vitesse vibratoire directement à partir des niveaux d'accélération vibratoire (voir annexe F).

5.5 Étalonnage

L'ensemble du système de mesurage doit être étalonné à une ou plusieurs fréquences avant le début de chaque série de mesurages. La valeur de crête d'un signal d'accélération, correspondant à une accélération de $9,81 \text{ m/s}^2$, peut servir de signal d'étalonnage. Il convient, en outre, de contrôler électriquement au moins tous les deux ans le capteur et les appareils électriques de mesurage, en tant qu'ensemble, sur tout le domaine de fréquences représentatif.

Exemple :

Si le capteur de vibrations est étalonné à partir d'un signal d'accélération sinusoïdal, le niveau résultant de la vitesse vibratoire (vitesse de référence¹⁾, v_0 : $5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$, L_v , en décibels, est donné par l'équation suivante :

$$L_v = 20 \lg \frac{\hat{a}}{2\pi f v_0 \sqrt{2}} \quad \dots (6)$$

Pour un étalonnage sur la base d'une valeur de crête d'accélération $\hat{a} = 9,81 \text{ m/s}^2$ et pour la fréquence, f , de 100 Hz, le niveau de vitesse vibratoire¹⁾ est égal à 106,9 dB.

6 Description, installation et conditions de fonctionnement

6.1 Généralités

Dans la plupart des cas, la puissance acoustique émise dépend à la fois de l'installation et des conditions de fonctionnement. Des recommandations d'ordre général à ce propos sont données en 6.2 à 6.4. Si, toutefois, des codes d'essai de mesurage du bruit aérien existent pour la famille de machines étudiée, on doit appliquer les conditions d'installation et de fonctionnement qui y sont spécifiées.

6.2 Description de la machine

Si la machine comporte des équipements auxiliaires ou des composants qui émettent du bruit, il convient de les identifier. On doit spécifier les appareils auxiliaires qui doivent fonctionner au cours des essais.

Les sources de bruit structural parasite devraient également être identifiées.

NOTE — Les méthodes spécifiées dans le présent Rapport technique n'autorisent pas le mesurage direct du bruit structural parasite. Il peut s'avérer nécessaire de recourir à des mesurages de corrélation ou à la comparaison des spectres vibratoires d'ensembles couplés.

6.3 Installation

L'installation et le montage de la machine doivent autant que possible être représentatifs de l'usage normal. Si les surfaces structurales de la machine sont recouvertes de matériaux non structuraux (par exemple matériaux isolants), le capteur de vibrations doit être placé sur la surface non structurale (voir également l'annexe B).

1) Voir note de bas de page en 3.4.

6.4 Conditions de fonctionnement

La machine doit fonctionner d'une façon représentative de son utilisation normale. Une ou plusieurs des conditions de fonctionnement suivantes peuvent être appropriées (voir également 6.1) :

- a) machine sous conditions nominales de charge et de fonctionnement;
- b) machine sous pleine charge, si celle-ci diffère de a);
- c) fonctionnement sous aucune charge («à vide»);
- d) machine fonctionnant dans des conditions correspondant à un rayonnement acoustique maximal représentatif de l'usage réel;
- e) machine sous conditions simulées de charge et de fonctionnement, définies avec précision.

7 Détermination de la vitesse vibratoire sur la surface de mesurage

7.1 Généralités

Les spécifications données en 7.2 à 7.8 sont de portée générale, mais s'il existe des codes d'essai applicables à la famille de machines étudiées, leurs exigences spécifiques doivent être respectées.

NOTE — La précision des résultats du mesurage dépend largement du nombre et de la répartition des emplacements de mesurage ainsi que de la distribution des vitesses vibratoires sur la surface de mesurage.

Lorsqu'une bande de fréquences contient une seule composante tonale de niveau élevé, il se peut que l'incertitude de l'estimation faite selon cette méthode soit importante.

7.2 Surface de mesurage vibratoire

7.2.1 Généralités

On doit choisir des surfaces de mesurage adaptées conformément aux critères indiqués en 7.2.2 à 7.2.4.

NOTE — Il y a lieu de considérer les résultats de toute étude préalable (voir 7.2.4) ainsi que les structures des surfaces rayonnantes (par exemple, présence de raidisseurs) avant de choisir la surface de mesurage.

7.2.2 Structures à éléments uniformément répétés

Si la machine possède des structures constituées d'éléments uniformément répétés et si les formes géométriques et les forces d'excitation présentent des symétries, les mesurages peuvent être effectués sur une structure unique, dès lors que des études préalables ont démontré l'équivalence de tous les éléments quant au niveau de vitesse vibratoire moyenne dans toute bande de fréquences.

7.2.3 Emplacements de mesurage uniformément répartis

La surface de mesurage vibratoire doit être divisée en N parties de même aire, égale à S_S/N . Chaque emplacement de mesurage doit être situé au centre de chaque surface partielle.

7.2.4 Emplacements de mesurage répartis de façon non uniforme

Si des études préalables ont montré que des parties de la surface de mesurage vibrent plus intensément que d'autres, les emplacements de mesurage peuvent y être répartis de façon plus dense.

Dans ce cas, chaque emplacement de mesurage i représente une surface partielle S_{S_i} (voir 8.2).

7.3 Nombre d'emplacements de mesurage

Le nombre initial d'emplacements de mesurage sur la surface de mesurage vibratoire peut être choisi d'après le tableau 1.

Tableau 1 — Nombre initial d'emplacements de mesurage

Aire de la surface de mesurage vibratoire, S_S m ²	Nombre d'emplacements de mesurage
$S_S \leq 1$	10
$1 < S_S \leq 10$	20
$S_S > 10$	$2 \frac{S_S}{S_o}$
	où $S_o = 1 \text{ m}^2$

Le nombre d'emplacements de mesure doit être augmenté si la différence, en décibels, entre les niveaux de vitesse vibratoire maximal et minimal, dans une bande de fréquences quelconque, est supérieure au nombre d'emplacements indiqué au tableau 1. Une telle augmentation du nombre d'emplacements de mesure peut notamment s'avérer nécessaire si la bande de fréquences étudiée comporte une composante tonale prédominante.

Le nombre d'emplacements de mesure doit être doublé progressivement jusqu'à ce que le niveau de vitesse vibratoire moyenne, \bar{L}_v (voir 8.2) demeure constant à 1 dB près.

7.4 Conditions d'environnement

On doit choisir l'appareillage de mesure en fonction des conditions d'environnement (voir 5.2), en tenant compte des spécifications du fabricant. Il est possible de réduire l'influence des câbles (voir chapitre A.2), en utilisant des capteurs à transducteurs d'impédance intégrés.

7.5 Mode opératoire de mesure

Dans les conditions de fonctionnement spécifiées, le niveau de vitesse vibratoire, L'_v , doit être déterminé à chaque emplacement de mesure, dans toutes les bandes de fréquences du domaine de fréquences représentatif. Le niveau de vitesse vibratoire, L'_v , peut être déterminé à partir du niveau d'accélération vibratoire, L'_a , conformément à l'annexe F ou à partir du signal d'accélération, par intégration directe (voir 5.4), ce qui évite les calculs¹⁾. On doit effectuer le mesure en utilisant la caractéristique temporelle S (« lente ») du sonomètre ou en utilisant un sonomètre intégrateur.

La durée du mesure devrait être choisie de façon adéquate, compte tenu du type de bruit émis par la structure et des techniques de traitement du signal.

Ainsi, en présence d'un bruit stable, la durée du mesure devrait être d'au moins 10 s, pour les bandes de fréquence médiane égale ou supérieure à 200 Hz. En présence de bruit fluctuant, on doit choisir la durée du mesure de sorte que le bruit de la machine soit mesuré sans équivoque, pour le mode de fonctionnement spécifié.

Si des études préalables ont révélé qu'en certains emplacements de mesure, les niveaux de vitesse vibratoire (ou les niveaux d'accélération, voir annexe E) du bruit structural parasite sont inférieurs de moins de 10 dB aux niveaux émis par la machine en fonctionnement, ces niveaux de bruit parasite doivent également être déterminés, selon une méthode adaptée (voir la note en 6.2) et une correction doit être apportée (voir 8.1).

NOTE — S'il n'est pas possible de déterminer séparément les niveaux du bruit structural parasite (par exemple du fait du couplage obligatoire de la machine à d'autres ensembles), les résultats, calculés selon chapitre 8, seront trop élevés.

7.6 Montage du capteur de vibrations

Le capteur de vibrations doit être monté de façon à indiquer, le plus exactement possible, la vitesse réelle de la surface vibrante à l'emplacement de mesure, dans le domaine de fréquences représentatif. Il doit être monté conformément à l'ISO 5348, son axe de vibration étant perpendiculaire à la surface vibrante. L'annexe A contient des recommandations quant aux méthodes de montage.

7.7 Effet de la masse du capteur de vibrations

Il est fortement recommandé d'employer un capteur léger (voir 5.2 pour des explications). Si un tel capteur n'est pas disponible, on peut appliquer la correction prévue à l'annexe B, pour des structures uniformes (plaques, cylindres). Pour d'autres structures, la précision de cette correction est inconnue.

7.8 Détermination du facteur de rayonnement

Le facteur de rayonnement de la machine doit être soit mesuré selon les recommandations données à l'annexe D, soit estimé conformément à 8.3.2.

1) Si l'on doit déterminer uniquement les niveaux de vitesse vibratoire pondérés A, l'intégration est impérative.

8 Calculs

8.1 Correction en fonction du bruit structural parasite

Les niveaux mesurés doivent être corrigés, pour tenir compte du bruit structural parasite, conformément au tableau 2.

Tableau 2 — Facteur de correction en fonction du bruit structural parasite

Valeurs en décibels

Différence entre les niveaux de vitesse vibratoire (ou les niveaux d'accélération) de la machine en fonctionnement et les niveaux du bruit structural parasite	Facteur de correction, K_{1i} , à soustraire des niveaux de vitesse vibratoire (ou des niveaux d'accélération) pour obtenir le niveau produit par la machine seule
3	3
4	2
5	2
6	1
7	1
8	1
9	1
10	0

8.2 Détermination du niveau de vitesse vibratoire moyenne sur la surface de mesure vibratoire

Les niveaux de vitesse vibratoire, déterminés selon 7.5 et corrigés, si nécessaire, selon 8.1 et l'annexe B, en chaque emplacement de mesure, $i = 1 \dots N$, et dans chaque bande de fréquences, sont donnés par l'équation suivante :

$$L_{vi} = L'_{vi} - K_{1i} + K_{Mi} \quad \dots (7)$$

où

L'_{vi} est le niveau de vitesse vibratoire mesuré non corrigé¹⁾ (TR 7849:1987)

K_{1i} est le facteur de correction du bruit structural parasite (voir 8.1);

K_{Mi} est le facteur de correction en fonction de la masse du capteur (voir annexe B).

La valeur moyenne, \bar{L}_v , en décibels, sur la surface de mesure vibratoire, S_S , est calculée à l'aide de l'une des deux équations suivantes, selon le cas :

a) Emplacements de mesure uniformément répartis, conformément à 7.2.3

$$\bar{L}_v = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 L_{vi}} \right) \quad \dots (8)$$

b) Emplacements de mesure répartis de façon non uniforme, conformément à 6.2.4

$$\bar{L}_v = 10 \lg \left(\frac{1}{S_S} \sum_{i=1}^N S_{Si} 10^{0,1 L_{vi}} \right) \quad \dots (9)$$

8.3 Calcul du niveau de puissance acoustique du bruit aérien dû au rayonnement du bruit structural

8.3.1 Généralités

À partir des valeurs de \bar{L}_v , calculées conformément à 8.2, le niveau de puissance acoustique, L_{WS} , en décibels, est calculé à partir de l'équation suivante [résultant des équations (4) et (5)] :

$$L_{WS} = \bar{L}_v + \left[10 \lg \frac{S_S}{S_0} + 10 \lg \sigma + 10 \lg \frac{\rho c}{(\rho c)_0} \right] \quad \dots (10)$$

1) Voir la note de bas de page en 3.4.

où

\overline{L}_v est le niveau de vitesse vibratoire moyenne¹⁾ (vitesse de référence : 50 nm/s) sur la surface de mesurage vibratoire, calculé conformément à 8.2;

S_S est l'aire de la surface de mesurage vibratoire étudiée;

$S_o = 1 \text{ m}^2$;

σ est le facteur de rayonnement;

ρc est l'impédance caractéristique de l'air;

$(\rho c)_o = 400 \text{ N} \cdot \text{s/m}^3$ [c'est-à-dire l'impédance de l'air à 20 °C et à une pression atmosphérique de 1000 mbar (10⁵ Pa)].

Si il est nécessaire, le niveau de puissance acoustique pondéré A du bruit aérien doit être calculé à partir des niveaux de puissance acoustique par bande de fréquences, selon l'annexe C.

8.3.2 Cas dans lequel l'indice de rayonnement, $10 \lg \sigma$, est mesuré

Si l'indice de rayonnement est mesuré, selon l'annexe D, dans la bande de fréquences étudiée, on doit déterminer le niveau de puissance acoustique du bruit aérien, dans cette bande de fréquences, selon l'équation (10).

8.3.3 Cas dans lequel l'indice de rayonnement, $10 \lg \sigma$, est estimé

Si le modèle de rayonnement acoustique, pour une source sphérique d'ordre zéro, peut être adopté pour la machine soumise à essai (par exemple, pour des sources compactes), l'indice de rayonnement doit être estimé à partir de la figure 1 ou de l'équation suivante :

$$10 \lg \sigma = - 10 \lg \left[1 + 0,1 \frac{c^2}{(fd)^2} \right]$$

(standards.iteh.ai)

ISO/TR 7849:1987

où <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1a5eeda-babb-4da4-8cee-68e66fc3e6c8/iso-tr-7849-1987>

f est la fréquence;

d est la dimension caractéristique de la source (diamètre d'une source sphérique d'ordre zéro), par exemple $d \approx \sqrt{S/\pi}$ ou $d \approx \sqrt[3]{2V}$, où S est la surface approximative de rayonnement de la source et V est le volume approximatif de la source;

c est la célérité du son dans l'air.

On doit alors calculer le niveau de puissance acoustique aérien d'après l'équation (10).

NOTES

- 1 Le résultat représente une estimation supérieure du niveau de puissance acoustique.
- 2 En ce qui concerne les indices de rayonnement d'autres sources de bruit, voir « Bibliographie ».

8.3.4 Cas dans lequel l'indice de rayonnement, $10 \lg \sigma$, est inconnu

Si l'indice de rayonnement ne peut être mesuré (voir 8.3.2) ni estimé (voir 8.3.3), une limite supérieure du niveau de puissance acoustique du bruit aérien, dû au rayonnement du bruit structural, peut être obtenue. Pour établir cette limite, il peut suffire de calculer le niveau de puissance acoustique pondéré A du bruit aérien à partir des niveaux de vitesse vibratoire moyens pondérés A¹⁾.

L'estimation supérieure du niveau de puissance acoustique du bruit aérien, L_{WS} , en décibels, doit être faite en supposant que $\sigma = 1$, c'est-à-dire que $10 \lg \sigma = 0$, et elle est donnée par l'équation suivante :

$$L_{WS} = \overline{L}_v + 10 \lg \frac{S_S}{S_o} \quad \dots (11)$$

1) Voir la note de bas de page en 3.4.