

NORME  
INTERNATIONALE

**ISO**  
**10815**

Première édition  
1996-11-01

---

---

**Vibrations mécaniques — Mesurage des  
vibrations produites à l'intérieur des  
tunnels ferroviaires**

**par le passage des trains**  
**(standards.iteh.ai)**

*Mechanical vibration — Measurement of vibration generated internally  
in railway tunnels by the passage of trains*  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/672307d7-2b51-4e71-b32a-e2c792bf5833/iso-10815-1996>



Numéro de référence  
ISO 10815:1996(F)

## Sommaire

	Page
1	1
2	1
3	1
4	2
4.1	2
4.2	2
5	3
6	3
6.1	3
6.2	4
6.3	5
7	5
8	5
8.1	5
8.2	6
9	6
9.1	6
9.2	6
10	7
11	7

© ISO 1996

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation  
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

**Annexes**

<b>A</b>	Vibration du tunnel résultant du passage des trains .....	<b>9</b>
<b>B</b>	Exemples de tunnels ferroviaires .....	<b>10</b>
<b>C</b>	Bibliographie .....	<b>24</b>

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

ISO 10815:1996

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/872307d7-2f51-4e71-b32a-e2c792bf5833/iso-10815-1996>

## Avant-propos

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

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 10815 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*, sous-comité SC 2, *Mesure et évaluation des vibrations et chocs mécaniques intéressant les machines, les véhicules et les structures*.

[ISO 10815:1996](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/872307d7-2f51-4e71-b32a->

Les annexes A à C de la présente Norme internationale sont données uniquement à titre d'information.

## Introduction

Les tunnels ferroviaires sont régulièrement soumis à des vibrations, dont les sources sont de nature interne (trains et voitures de service, travaux de maintenance, etc.).

Seules les vibrations résultant du passage des trains sont prises en considération dans la présente Norme internationale.

Les différentes raisons justifiant le mesurage des vibrations dans les tunnels sont présentées comme suit.

Lorsqu'on sait qu'un tunnel est exposé à des vibrations susceptibles de mettre en doute son intégrité, il convient d'effectuer les mesurages appropriés (voir 9.1) afin de vérifier si les niveaux atteints sont acceptables.

Les mesurages des vibrations peuvent être effectués lorsque

- le niveau de vibration maximal acceptable a été déterminé et qu'une vérification régulière est requise (voir 9.2);
- les performances dynamiques d'un tunnel construit récemment ont été prévues et qu'il faut les vérifier par rapport aux données de conception (voir 9.1);
- le tunnel subit des phénomènes externes à caractère exceptionnel (par exemple en raison d'incendies, de tremblements de terre, d'explosions, d'engins de battage ou de démolition de bâtiments à proximité), et l'intégrité de la structure devant être vérifiée (voir 9.1);
- une modification quelconque de la voie et/ou des sources de vibration interne (par exemple charge sur l'essieu des véhicules) a été effectuée.

Page blanche

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

ISO 10815:1996

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/872307d7-2f51-4e71-b32a-e2c792bf5833/iso-10815-1996>

# Vibrations mécaniques — Mesurage des vibrations produites à l'intérieur des tunnels ferroviaires par le passage des trains

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale établit les principes fondamentaux de mesurage, de traitement et d'évaluation des vibrations produites au niveau interne dans les tunnels ferroviaires par le passage des trains.

L'établissement de modes opératoires normalisés peut permettre d'obtenir des données comparatives sur la réponse des différents éléments d'un tunnel, par intervalles, à condition que la source d'excitation soit la même. Il est également possible de comparer les données obtenues dans différents tunnels.

Les mesurages considérés dans le cadre de la présente Norme internationale concernent la réponse des éléments de structures et des éléments secondaires fixés dans le tunnel. Ils ne concernent pas la réponse des personnes se trouvant dans le tunnel ou à proximité, ni celle des passagers de trains circulant sous le tunnel.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/872307d7-2f51-4e71-b32a-e2c792bf5833/iso-10815-1996>

## 2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 1683:1983, *Acoustique — Grandeurs normales de référence pour les niveaux acoustiques*.

ISO 4866:1990, *Vibrations et chocs mécaniques — Vibrations des bâtiments — Lignes directrices pour le mesurage des vibrations et évaluation de leurs effets sur les bâtiments*.

ISO 5348:1987, *Vibrations et chocs mécaniques — Fixation mécanique des accéléromètres*.

## 3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

**3.1 tunnel:** Structure souterraine dans laquelle circulent des trains de voyageurs, des trains de marchandises ou des trains de service.

**3.2 bruit de fond:** Somme de tous les signaux à l'exception de celui en cours de recherche.

## 4 Facteurs influençant les vibrations

### 4.1 Facteurs liés aux tunnels

Les caractéristiques dynamiques d'un tunnel dépendent, dans une large mesure, de sa géométrie, des éléments secondaires, de la profondeur ainsi que de la qualité des sols.

Un tunnel recouvert est généralement un système composé d'éléments discrets (tels que béton, conduits de ventilation, etc.), chacun étant relié au sol. Ils peuvent présenter différentes caractéristiques de réponse et différents modes de couplage au sol environnant, qu'il s'agisse de terre ou de rocher.

#### 4.1.1 Type et état des tunnels

Il existe différents types de tunnels, chacun répondant aux vibrations de façon différente. L'annexe B en donne des exemples.

#### 4.1.2 Fréquences propres et amortissement

Dans le cadre de la présente Norme internationale, les fréquences concernées sont probablement liées à la réponse des éléments du tunnel et non à une fréquence fondamentale de la cavité du tunnel dans le milieu environnant. Les fréquences propres de ces éléments peuvent être déterminées comme suit:

- le mesurage de la réponse des éléments du tunnel lorsqu'ils sont affectés par un phénomène extérieur transitoire important, tel que le battage des pilotis ou une explosion;
- l'utilisation d'un vibreur comme source mono-fréquentielle avec le mesurage de l'amplitude de réponse;
- le mesurage de la réponse utilisant l'excitation ambiante et l'analyse de spectre.

Il est difficile de déterminer l'amortissement avec précision, notamment pour les tunnels comportant à la fois des éléments légèrement amortis, tels que des faisceaux et des éléments en contact étroit avec les surfaces du tunnel, par conséquent fortement amortis en raison du rayonnement d'ondes.

#### 4.1.3 Sol

La qualité du sol aux abords du tunnel joue un rôle important quant à sa raideur et sa réponse aux vibrations; par conséquent, il en va de même lors des prévisions de réponse. Ses caractéristiques dépendent de la taille des particules du sol, de leur compacité, saturation, niveau d'eau souterraine et stratification, ainsi que de l'amplitude, la fréquence et la durée de l'excitation.

### 4.2 Facteurs liés à la source

Les vibrations produites par le passage des trains peuvent être classées en fonction du type de signal, de leur durée et de la plage de fréquences (voir ISO 4866).

Le signal dépend des propriétés mécaniques du train, de la voie, du contact entre le rail et les roues, et du chargement et de la vitesse du train.

La plage de fréquences à analyser dépend de la répartition spectrale des forces d'excitation et de la fonction de transfert, de la source vers les parois du tunnel ou leur couverture.

La plage de fréquences de 1 Hz à 100 Hz concerne la réponse de différents éléments du tunnel. Sur le rail, la plage de fréquences considérée va généralement jusqu'à 2 kHz, mais des fréquences plus élevées se manifestent souvent.



### 5 Grandeurs à mesurer

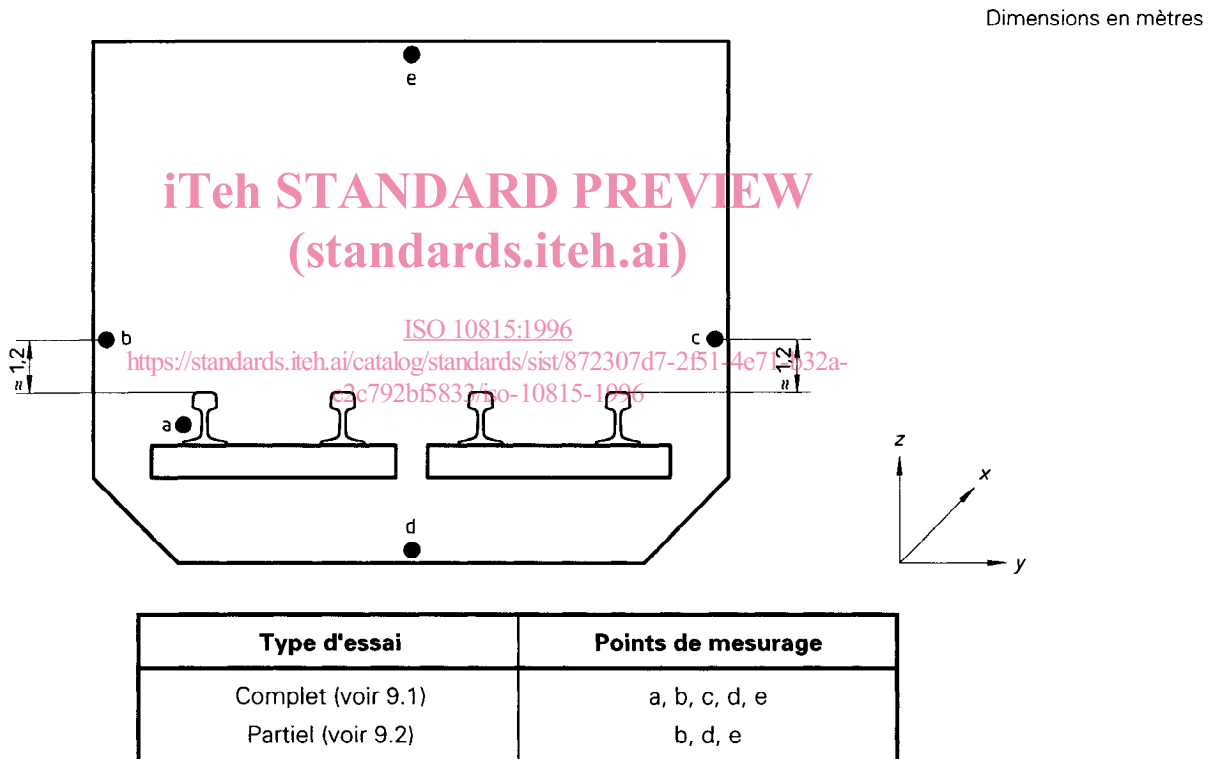
Dans la plage de fréquences considérée, au niveau des vibrations d'un tunnel, on mesure généralement une valeur cinématique telle que la vitesse ou l'accélération.

Dans la plage de fréquences plus basses, il est préférable de mesurer la vitesse, alors que, pour une plage de fréquences plus élevées, les facteurs instrumentaux indiquent de mesurer l'accélération.

### 6 Méthodes de mesurage

#### 6.1 Positionnement des capteurs en fonction du passage des trains

Pour effectuer les relevés, il convient, idéalement, de disposer d'un tunnel s'étendant de façon rectiligne, d'une longueur minimale de 200 m. Il convient de placer les capteurs à l'écart de toute anomalie apparente (fissure majeure, infiltration d'eau, points d'aiguille et croisements), à moins que leur effet ne fasse, par ailleurs, l'objet de l'étude. Pour étudier la réponse du tunnel, il convient, de préférence, d'aligner les capteurs selon les trois axes principaux du tunnel (un verticalement et deux horizontalement; voir figure 1).



**Figure 1 — Points de mesurage à un croisement, fonction du type d'essai**

Dans l'affectation suivante des points de mesurage, on suppose que le train roule sur la voie de gauche (voir figure 1).

Qu'il s'agisse d'essais complets ou partiels (voir 9.1 ou 9.2), il convient de disposer les capteurs ainsi:

- au niveau du plancher et au centre par rapport à la verticale (point d sur la figure 1): entre deux traverses dans le cas où les rails sont posés sur le ballast, ou entre deux attaches successives ou pointes de fer pour les autres types de voies;
- sur la voûte (point e sur la figure 1), directement au-dessus du point d;
- sur la paroi du tunnel la plus proche de la voie de passage du train, à 1,20 m au-dessus du niveau des rails (point b sur la figure 1).

Pour approfondir la connaissance du lien qui unit les trains en tant que sources d'excitation et les vibrations transmises au tunnel, il convient de procéder aux mesurages à la semelle du rail, perpendiculairement au plan des rails (point a sur la figure 1).

La position a étant sujette à des effets locaux, il convient de déterminer ses caractéristiques et son niveau de stabilité avant de la sélectionner en tant que point de contrôle, dans le cas d'essais partiels.

Il convient de prendre en compte la pente formant la semelle du rail (voir figure 2).

Si le plancher n'est pas accessible, il convient de placer le capteur au point accessible le plus proche et d'indiquer tout élément se trouvant entre le capteur et le plancher.

Pour les essais complets (voir 9.1), les relevés doivent également être effectués sur deux autres sections, éloignées de la section médiane (en général 20 m) afin de limiter toute influence locale. Cependant, en cas d'équivalence des signaux provenant de deux points correspondants situés dans deux sections différentes, éloignés de 20 m l'un de l'autre, il suffit d'effectuer les mesurages sur une seule section.

Par contre, si ces relevés diffèrent systématiquement dans une proportion supérieure à 25 % (2 dB), il convient de les rejeter et de considérer une troisième section.

S'il y a divergence entre les relevés des trois sections, il convient d'étudier les conditions locales et de sélectionner une autre section pour mesurage.

## 6.2 Fixation des capteurs

Il convient d'installer les capteurs conformément à l'ISO 5348 afin de reproduire le mouvement des éléments vibrants, tout en minimisant la réponse due au système de fixation.

La fixation doit être rigide et aussi légère que possible.

Lors de la fixation des capteurs sur la semelle du rail, il convient de fixer solidement, entre les capteurs et le rail, une plaque en acier moulé (de préférence soudée au rail); sinon, les capteurs ne pourront pas être fixés perpendiculairement à la semelle du rail (voir figure 2).

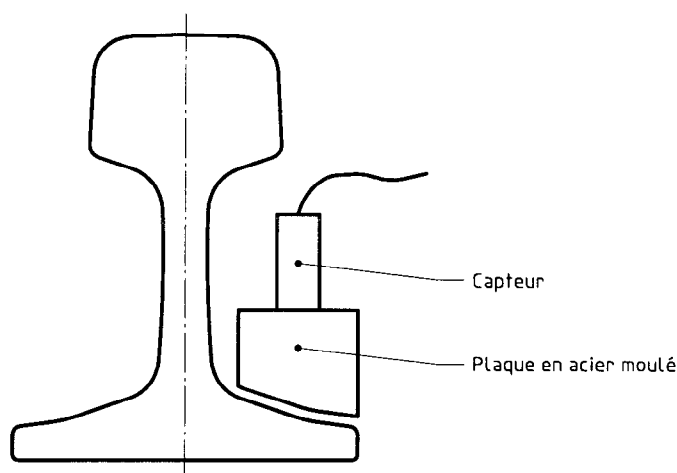


Figure 2 — Point de mesurage au niveau de la semelle du rail

Il est très important que le système de capteurs, support de fixation et écrou possède une fréquence de résonance de fixation nettement supérieure à la fréquence la plus élevée de la plage considérée (voir ISO 5348).

On peut remarquer que les accéléromètres peuvent être très sensibles à la réponse couplée avec l'air lors du passage d'un train. Il est ainsi nécessaire de les protéger des sons aériens.

### 6.3 Rapport signal-bruit

Il est recommandé de mesurer le bruit de fond (voir 3.2) dans la mesure du possible, en désactivant les sources de vibration devant être mesurées. Par exemple, si les vibrations provoquées par le passage d'un train sont enregistrées, il convient de noter l'apparition du signal en l'absence de train et de le traiter de façon identique, puis de comparer les résultats des deux; le rapport entre les deux correspond alors au rapport signal-bruit S/N.

Lorsque le signal est plus de trois fois supérieur à celui du bruit ( $S/N > 10$  dB), les relevés peuvent être acceptés sans y apporter de correction. Lorsque le signal est de deux à trois fois supérieur à celui du bruit ( $6 \text{ dB} \leq S/N \leq 10 \text{ dB}$ ), il convient de corriger les relevés et de le mentionner dans le rapport d'essai.

Lorsque le signal est moins de deux fois supérieur au bruit ( $S/N < 6$  dB), les relevés sont non fiables et ont seulement une valeur indicative.

## 7 Instruments de mesure

Le choix des capteurs est important pour obtenir une évaluation correcte des mouvements vibratoires (voir ISO 4866). Il convient d'effectuer ceci selon la grandeur à mesurer, en tenant compte de sa fréquence (voir 4.2), des plages d'amplitudes et de l'environnement dans lequel elle doit fonctionner.

La résonance et la réponse en phase des capteurs sont particulièrement importantes, ainsi que la fonction complexe de transfert des intégrateurs, susceptible de donner lieu à des résultats différents pour une même entrée mécanique.

La plupart des mesurages sur rail sont effectués à l'aide d'un accéléromètre; au niveau des autres points, il est conseillé d'utiliser des géophones ayant une fréquence propre inférieure à la fréquence minimale recherchée.

Il convient d'étalonner la chaîne de mesurage avant et après toute séance de mesurage et les composantes de la chaîne de mesurage au moins tous les 2 ans par un laboratoire agréé qui délivre un certificat.

Mis à part au niveau d'un rail, il est recommandé d'utiliser un capteur de vitesse et d'exprimer les valeurs en millimètres par seconde. Il convient de relever toutes les composantes de vitesse mesurée avec leur fréquence d'oscillation. Si une échelle en décibels est utilisée, la vitesse de référence est de  $10^{-6}$  mm/s conformément à l'ISO 1683 (voir la note).

S'il faut comparer les résultats d'un accéléromètre aux résultats de vitesse d'autres capteurs, il convient de procéder à une intégration (de préférence numérique) tout en ayant relevé la variation de l'accélération dans le temps et le spectre de Fourier. L'intégration électronique, par exemple au moyen d'un filtre passe-bas, peut mener à des résultats différents selon les composantes d'amplitude et de phase du signal d'origine et la fonction complexe des intégrateurs.

En ce qui concerne l'échelle en décibels, l'accélération de référence est de  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup> conformément à l'ISO 1683.

NOTE — L'échelle en décibels couramment utilisée en acoustique peut donner lieu à une certaine confusion si elle est adoptée pour une vibration structurelle, sachant que la grandeur cinématique sur laquelle elle repose, c'est-à-dire la vitesse (mm/s) ou l'accélération (m/s<sup>2</sup>), n'est pas indiquée avec la valeur de référence appropriée (voir ISO 1683). Le cas se produit notamment lors de comparaisons de vibrations.

## 8 Mesurage pour les sources internes

### 8.1 État de la voie

Pour les essais décrits en 9.1 et 9.2, il convient d'avoir une voie en bon état, sans défaut apparent ni ondulation.

## 8.2 État des trains

Pour les essais décrits en 9.1 et 9.2, il convient d'avoir un véhicule bien entretenu. Il convient, en particulier que les roues soient exemptes de plat et tout autre défaut visible. Il convient que le véhicule voyage à vide avec, à bord, uniquement le conducteur et le personnel chargé de l'inspection et de la signalisation. Il convient d'avoir une composition de train similaire à un service normal. Il convient que la vitesse des véhicules à voyageurs se présente comme suit:

- 11 m/s (40 km/h) pour les tramways;
- 17 m/s (60 km/h) pour le métro;
- 22 m/s (80 km/h) pour des véhicules rapides;
- vitesse maximale autorisée au niveau de la section de mesurage.

Pendant l'enregistrement des vibrations, il convient que le véhicule marche sur son erre, sauf dans le dernier cas (vitesse maximale).

## 9 Types d'essais

Les essais peuvent être de deux types, à savoir essais complets ou essais partiels.

Quel que soit l'essai et pour tout enregistrement de niveau par des instruments analogues, il convient d'adopter un temps d'intégration de 1 s.

### 9.1 Essais complets

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

Ces essais ont pour but de déterminer le bon fonctionnement du système de tunnel dans le cadre des spécifications requises. Ils sont également effectués afin de vérifier les effets de toute modification structurelle significative. Il convient que ces essais donnent des informations utilisables pour une analyse dynamique complète.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/872307d7-2f51-4e71-b32a-e2c792b5833/iso-10815-1996>

Dans ce cas

- il existe trois sections de mesurage distantes de 20 m, comme indiqué en 6.1;
- il convient de placer trois capteurs indépendants à chaque point de mesurage, un sur chaque axe cartésien orthogonal ou de placer une unité triaxiale (voir 6.1);
- il convient d'enregistrer au minimum trois passages de train dans les sections de mesurage dans un seul sens de circulation;
- avec des instruments analogues, il convient de relever la valeur efficace la plus élevée dans le temps; le temps d'intégration est de 1 s;
- il convient de considérer comme des valeurs vraies les trois valeurs qui ne s'écartent pas de plus de 11 % (1 dB) de la valeur globale et de 40 % (3 dB) pour chaque bande de fréquences; il convient alors de calculer les moyennes arithmétiques pour obtenir la valeur de chacune des composantes de la vitesse  $v_x$ ,  $v_y$  et  $v_z$ ;
- il convient d'avoir un rapport S/N (voir 6.3) supérieur à 10 dB au niveau des valeurs globales et supérieur ou égal à 6 dB dans chaque bande de fréquences;
- il convient de relever trois composantes orthogonales.

### 9.2 Essais partiels

Les essais partiels sont destinés à surveiller certaines caractéristiques et ils sont exécutés à intervalles réguliers.

Dans ce cas

- une seule section de mesurage est requise;
- un seul capteur par point suffit, perpendiculairement au plan considéré (voir 6.1);