

ISO TC 108/SC 2

Date: 2016-09-15

ISO 10815:2016(F)

ISO TC 108/SC 2

Secrétariat: DIN

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

Mechanical vibration — Measurement of vibration generated internally in railway tunnels by the passage of trains

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 10815:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/255b5388-0353-473d-aa75-c4436321ddd3/iso-10815-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/255b5388-0353-473d-aa75-c4436321ddd3/iso-10815-2016>

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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC) voir le lien suivant: www.iso.org/iso/fr/foreword.html.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques, et leur surveillance*, sous-comité SC 2, *Mesure et évaluation des vibrations et chocs mécaniques intéressant les machines, les véhicules et les structures*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 10815:1996), qui a fait l'objet d'une révision technique avec les modifications suivantes:

- les références normatives ont été mises à jour;
- la numérotation des paragraphes a été mise en jour;
- la Bibliographie a été mise à jour;
- le document a fait l'objet d'une révision éditoriale.

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 9.2) 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 9.3);
- les performances dynamiques d'un tunnel construit récemment ont été prévues et qu'il faut les vérifier par rapport aux données de conception (voir 9.2);
- 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 que l'intégrité de la structure doit être vérifiée (voir 9.2);
- une modification quelconque de la voie et/ou des sources de vibration interne (par exemple la charge sur l'essieu des véhicules) a été effectuée.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/255b5388-0353-473d-aa75-c4436321ddd3/iso-10815-2016>

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.

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de façon normative dans le présent document et sont indispensables à son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 1683, *Acoustique — Valeurs de référence recommandées pour les niveaux acoustiques et vibratoires*

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants 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

4.1.1 Généralités

Les caractéristiques dynamiques d'un tunnel dépendent en grande partie de la géométrie, des éléments secondaires et de la profondeur du tunnel ainsi que des propriétés du sol.

En règle générale, un tunnel maçonné est un système d'éléments discrets (par exemple béton, conduits de ventilation, etc.), chacun de ces éléments étant couplé au sol. Ces éléments peuvent avoir des caractéristiques de réponse différentes et un couplage différent avec le sol et/ou la roche environnants.

4.1.2 Type et état des tunnels

Il existe de nombreux types de tunnels répondant tous de manière différente aux vibrations. Des exemples sont donnés dans l'Annexe B.

4.1.3 Fréquences propres et amortissement

Pour la présente Norme internationale, il est probable que les fréquences d'intérêt soient liées à la réponse des éléments du tunnel et non à une fréquence fondamentale de la galerie du tunnel dans le milieu ambiant. Les fréquences naturelles peuvent être déterminées de la manière suivante:

- mesurage de la réponse des éléments du tunnel lorsqu'ils subissent d'importants phénomènes externes à caractère exceptionnel et transitoires tels que, par exemple, engins de battage ou explosions;
- utilisation d'un vibreur comme source monofréquentielle et mesurage de la réponse en amplitude;
- mesurage de la réponse par l'excitation ambiante et l'analyse de spectrale.

La détermination exacte de l'amortissement est une tâche difficile, notamment pour les tunnels comprenant à la fois des éléments légèrement amortis, tels que des poutres, et des éléments en contact étroit avec les surfaces du tunnel et donc fortement amortis en raison du rayonnement d'onde.

4.1.4 Sol

Le sol environnant le tunnel a un effet important sur la rigidité du tunnel et sur la réponse du tunnel aux vibrations; par conséquent, le sol environnant constitue un élément majeur à prendre en compte lors des prévisions relatives à la réponse. Ses caractéristiques dépendent de la taille des particules, du tassement, de la saturation, du niveau de la nappe phréatique et des couches du sol, ainsi que de l'amplitude, de la fréquence et de la durée de l'excitation.

4.2 Facteurs liés à la source

Les vibrations produites par le passage des trains peuvent être classées selon le type de signal, la durée et la gamme de fréquence (voir l'ISO 4866).

Le signal dépend des caractéristiques mécaniques du train, de la voie, du contact roue-rail, ainsi que de la charge et de la vitesse du train.

La gamme de fréquence à analyser dépend de la répartition spectrale des forces d'excitation et de la fonction de transfert depuis la source jusqu'aux parois ou aux revêtements du tunnel.

La gamme de fréquence de 1 Hz à 100 Hz couvre les réponses des différents éléments du tunnel. Sur le rail, la gamme de fréquence d'intérêt s'étend en général jusqu'à 2 kHz, bien que des fréquences plus élevées soient souvent présentes.

5 Grandeurs à mesurer

Dans la gamme de fréquence d'intérêt pour les vibrations du tunnel, une valeur cinématique, telle que la vitesse ou l'accélération, est habituellement mesurée.

Dans la gamme de fréquence inférieure, le mesurage de la vitesse est préférable, alors que, dans la gamme de fréquence supérieure, des facteurs instrumentaux requièrent le mesurage de l'accélération.

6 Méthodes de mesure

6.1 Positionnement des capteurs en fonction du passage des trains

Idéalement, il convient qu'un tronçon droit du tunnel, d'au moins 200 m de long, soit disponible pour les relevés. Il convient de placer les capteurs loin de tout élément singulier visible (fissures importantes, suintements d'eau, aiguilles et appareils de voie), à moins que l'effet d'un tel élément ne soit étudié). Pour déterminer la réponse du tunnel, il convient d'orienter de préférence les capteurs selon les trois axes principaux du tunnel (un axe vertical et deux axes horizontaux; voir Figure 1).

Dimensions en mètres

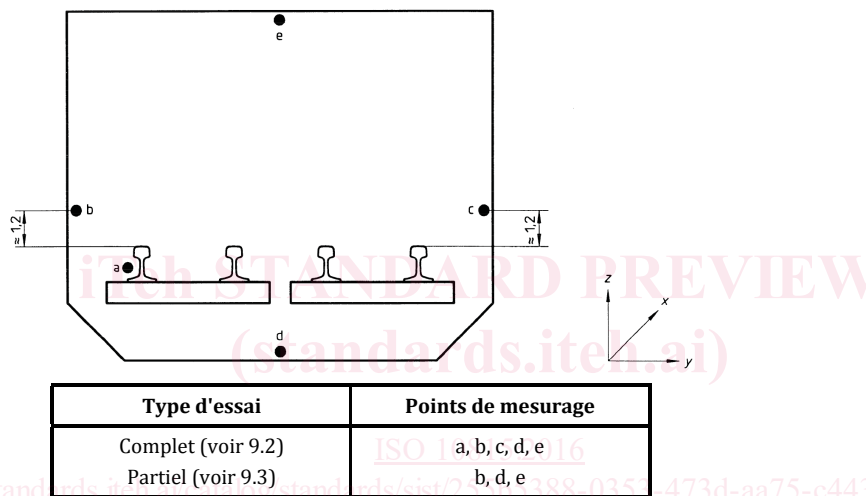


Figure 1 — Points de mesure à un croisement, en fonction du type d'essai

Lors de l'affectation des points de mesure, il est supposé que le train roule sur la voie de gauche (voir Figure 1).

Pour les essais complets et les essais partiels (voir 9.2 et 9.3), il convient de disposer les capteurs de la manière suivante:

- sur le radier, au niveau de l'axe vertical de la section transversale (point d de la Figure 1), entre deux traverses posées sur voies ballastées, ou entre deux fixations successives ou deux tirefonds de rail successifs pour les autres types de voies;
- sur la voûte (point e de la Figure 1), directement au-dessus du point d;
- sur la paroi du tunnel à proximité de la voie sur laquelle le train va circuler, à 1,20 m au-dessus du niveau des rails (point b de la Figure 1).

Afin d'établir la relation entre les trains en tant que sources d'excitation et les vibrations transmises au tunnel, il convient d'effectuer des mesurages sur la semelle du rail, perpendiculairement au plan des rails (point a de la Figure 1).

La position a est davantage sujette aux effets locaux et il convient d'établir la représentativité et la stabilité avant de choisir cette position comme point de contrôle pour un essai partiel.

Il convient de tenir compte de la pente liée à la forme de la semelle du rail (voir Figure 2).

Deleted: effectués

Si le radier est inaccessible, il convient de placer le capteur à l'endroit approprié le plus proche et d'indiquer tout élément situé entre le capteur et le radier.

Pour les essais complets (voir 9.2), des relevés doivent être également effectués en deux autres sections éloignées de la section médiane (en général 20 m) afin de réduire autant que possible les influences locales. Cependant, lorsque les signaux provenant de deux points correspondants sur deux sections situées à 20 m l'une de l'autre sont égaux, il est possible d'effectuer les mesurages sur une seule section.

Si, toutefois, ces signaux diffèrent systématiquement de 25 % (2 dB) ou plus, il convient de ne pas en tenir compte et de choisir une troisième section.

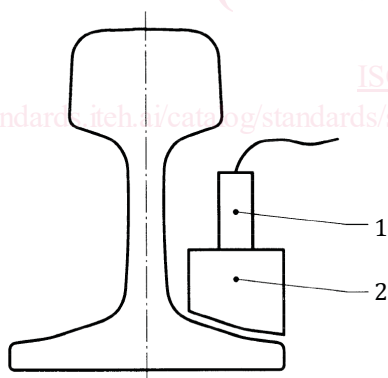
Si les valeurs issues des trois sections ne concordent pas, il convient d'examiner les conditions locales et de choisir une autre section de mesurage.

6.2 Fixation des capteurs

Pour le montage des capteurs, les principes énoncés dans l'ISO 5348 doivent être suivis de façon à reproduire le mouvement des éléments vibrants, tout en réduisant autant que possible la réponse due au système de montage.

Par conséquent, le système de montage doit être rigide et aussi léger que possible.

Lors de la fixation des capteurs à la semelle du rail, il convient de fixer solidement (de préférence par soudure) une plaque façonnée en acier entre le capteur et le rail; sinon, il n'est pas possible de monter les capteurs perpendiculairement à la semelle du rail (voir Figure 2).



Légende

- 1 capteur
- 2 plaque façonnée en acier

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

Il est important que le système constitué des capteurs, du support de montage et de la visserie ait une fréquence de résonance beaucoup plus élevée que la fréquence supérieure de la gamme d'intérêt (voir l'ISO 5348).

Il est à noter que les accéléromètres peuvent être très sensibles à la réponse couplée à l'air lors du passage d'un train. Il est donc nécessaire de les protéger contre les bruits aériens.

6.3 Rapport signal-bruit

Si possible, il est recommandé de mesurer le bruit de fond (voir 3.2), après avoir désactivé les sources de vibrations à mesurer. Par exemple, lorsque les vibrations engendrées par le passage d'un train sont enregistrées, il convient que le signal présent en l'absence du train soit enregistré et traité de la même manière. Les résultats des deux mesurages sont comparés; leur rapport constitue le rapport signal-bruit (S/N).

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

Deleted: cela

Deleted: d'essai

Lorsque le niveau du signal est inférieur au double du niveau de bruit ($S/N < 6$ dB), les résultats ne sont pas fiables et ont seulement une valeur indicative.

7 Instruments de mesure

Le choix des capteurs est important pour une évaluation correcte du mouvement vibratoire (voir l'ISO 4866). Il convient que les capteurs soient choisis en fonction de la grandeur à mesurer, en tenant compte de ses gammes de fréquence (voir 4.2) et d'amplitude, ainsi que de l'environnement dans lequel il convient que ces capteurs soient utilisés.

La fréquence de résonance et la réponse en phase des capteurs, ainsi que fonction de transfert complexe des intégrateurs pouvant conduire à des résultats différents pour la même caractéristique mécanique constituent des paramètres particulièrement importants.

Un accéléromètre est utilisé dans la plupart des mesurages effectués sur un rail; sur les autres points, il est recommandé d'utiliser des géophones avec une fréquence propre inférieure à la fréquence minimale étudiée.

Il convient que la chaîne de mesurage soit étalonnée avant et après la séquence de mesurages et que les composants de la chaîne de mesurage soient étalonnés au moins une fois tous les deux ans par un laboratoire accrédité qui délivre le certificat approprié.

Sauf sur les rails, il est recommandé d'utiliser un capteur de vitesse et d'exprimer les valeurs en millimètres par seconde. Il convient de consigner chaque composante de vitesse mesurée avec sa fréquence d'oscillation. Si une échelle en décibels est utilisée, la grandeur de référence est égale à 10^{-6} mm/s conformément à l'ISO 1683 (voir Note).

S'il est nécessaire de comparer les résultats d'un accéléromètre aux résultats d'autres capteurs, il convient d'effectuer une intégration (de préférence numérique) en consignnant l'historique d'accélération initiale et du spectre de Fourier. Il est possible qu'une intégration électronique, telle que celle effectuée au moyen d'un filtre passe-bas, produise des résultats différents, selon les composantes d'amplitude et de phase du signal initial et la fonction complexe des intégrateurs.

Pour l'échelle en décibels, l'accélération de référence est égale à 10^{-6} m/s² conformément à l'ISO 1683.

NOTE Bien qu'elle soit très couramment utilisée en acoustique, l'échelle en décibels peut prêter à confusion lorsqu'elle est adoptée pour des vibrations structurelles alors que la grandeur cinématique sur laquelle elle est basée, c'est-à-dire la vitesse (mm/s) ou l'accélération (m/s²), n'est pas énoncée conjointement à la valeur de référence appropriée (voir l'ISO 1683). C'est notamment le cas lorsque des vibrations doivent être comparées.

Deleted: est

8 Mesurage pour les sources internes

8.1 État de la voie

Pour les essais conformément à 9.2 et 9.3, il convient que la voie soit en bon état, exempte de défauts visibles et d'usure ondulatoire.

8.2 État des trains

Pour les essais conformément à 9.2 et 9.3, il convient que le véhicule soit correctement maintenu. En particulier, il convient que les roues soient exemptes de plats et autres défauts visibles. Il convient que le véhicule circule à vide, avec seulement un conducteur et une équipe de signalisation et d'inspection à bord. Il convient que la composition du train soit la même qu'en exploitation normale. Il convient que les vitesses des véhicules pour voyageurs soient les suivantes:

- 11 m/s (40 km/h) pour les tramways;
- 17 m/s (60 km/h) pour les métros;
- 22 m/s (80 km/h) pour les véhicules interurbains rapides;
- la vitesse maximale autorisée sur la section de mesurage.

Lors de l'enregistrement des vibrations, il convient que le véhicule soit en marche sur l'erre, sauf pour la dernière condition (vitesse maximale).

9 Types d'essais

9.1 Généralités

Les essais peuvent être de deux types: essais complets et essais partiels.

Lors d'un essai, il convient d'utiliser un temps d'intégration de 1 s pour l'enregistrement des niveaux à l'aide d'instruments analogiques.

9.2 Essais complets

Ces essais sont destinés à vérifier que les performances du système de tunnel sont conformes aux spécifications requises. Ils sont également effectués pour vérifier l'effet d'une éventuelle modification structurale significative. Il convient que ces essais fournissent des informations pour une analyse dynamique complète.

Dans ce cas:

- il y a trois sections de mesurage distantes de 20 m les unes des autres, comme spécifié en 6.1;
- il convient de placer, à chaque point de mesurage (voir 6.1), trois capteurs distincts, un capteur pour chaque axe du système cartésien orthogonal, ou une unité triaxiale;
- il convient d'enregistrer un nombre minimal de trois passages de train sur la section de mesurage, dans un seul sens de circulation;
- à l'aide instruments analogiques, il convient d'enregistrer la valeur efficace la plus élevée de l'évolution temporelle (temps d'intégration de 1 s);
- il convient de prendre comme valeurs vraies, les trois valeurs, qui ne diffèrent pas de plus de 11 % (1 dB) en valeur globale et de 40 % (3 dB) dans chaque bande de fréquence; il convient ensuite de

calculer les moyennes arithmétiques pour obtenir les valeurs de chacune des composantes de vitesse v_x, v_y, v_z ;

- il convient que le rapport S/N (voir 6.3) soit supérieur à 10 dB en valeurs globales et à au moins 6 dB dans chaque bande de fréquence; il convient d'enregistrer trois composantes orthogonales.

9.3 Essais partiels

Les essais partiels sont destinés à contrôler des caractéristiques spécifiques et sont réalisés de manière systématique à intervalles de temps réguliers.

Dans ce cas:

- une seule section de mesurage est nécessaire;
- en chaque point, il est nécessaire d'utiliser un seul capteur placé perpendiculairement au plan approprié (voir 6.1);
- l'examen de l'évolution temporelle est probablement suffisant lorsque $S/N \geq 6$ dB (voir 6.3);
- il convient d'enregistrer un nombre minimal de trois passages; les trois valeurs qui ne diffèrent pas de plus de 3 dB doivent être prises comme les valeurs vraies et la moyenne arithmétique doit être calculée et arrondie au décibel entier le plus proche.

Deleted: ;

Deleted: — . cela est suffisant lorsque $S/N \geq 6$ dB (voir 6.3);¶

Il est possible que cet essai soit affecté par la performance du train. Bien qu'il soit spécifié qu'il convient que le train soit en bon état d'entretien (voir 8.2), il convient qu'une section de mesurage «de contrôle» à faible circulation soit disponible.

Pour les voies expérimentales, il convient, en règle générale, que l'intervalle de temps ne dépasse pas une année au cours des cinq premières années et deux années au cours des six années suivantes.

Il convient qu'une section de contrôle soit utilisée pour vérifier la vitesse des ondes vibratoires obtenue une ou deux années avec le train mentionné ci-dessus, afin de déterminer une différence éventuelle imputée au train plutôt qu'aux conditions du tunnel et de la voie.

10 Évaluation des mesurages

La méthode la plus simple est de noter la valeur maximale de la grandeur cinématique à mesurer ou la valeur efficace la plus élevée avec un temps d'intégration de 1 s (voir 9.2).

Dans des circonstances particulières, il est possible de calculer une valeur cinématique par intégration ou différenciation de la valeur mesurée. Toutefois, ces opérations effectuées selon des méthodes analogiques ou numériques, peuvent être affectées par des erreurs intrinsèques qui, dans certains cas, sont difficiles à quantifier.

Il existe une solution qui consiste à effectuer un mesurage au moins en un point, en enregistrant deux valeurs cinématiques qui permettront d'évaluer la qualité de l'intégration (ou de la différenciation).

Il convient de noter que, pour des formes d'ondes complexes, l'intégration en basse fréquence nécessite beaucoup de soin et de connaissance de la réponse en amplitude et en phase des capteurs et de la chaîne de mesurage. Il convient que les modes opératoires et les limites de traitement des signaux soient décrits et évalués de façon détaillée.

Il convient que l'historique soit mesuré, sur une durée appropriée, dans les trois directions orthogonales, à moins qu'il n'ait été démontré expérimentalement qu'il suffit qu'il y ait moins de trois composants pour que le problème soit pris en considération.