
**Vibrations et chocs mécaniques —
Évaluation de l'exposition des individus à
des vibrations globales du corps —**

Partie 4:

**Lignes directrices pour l'évaluation des
effets des vibrations et du mouvement de
rotation sur le confort des passagers et du
personnel dans les systèmes de transport
guidé**

[ISO 2631-4:2001](https://standards.iso.org/standards/catalog/standards/sist/f993e248-81e2-4f6c-aec3-af929481d64/iso-2631-4-2001)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f993e248-81e2-4f6c-aec3-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f993e248-81e2-4f6c-aec3-af929481d64/iso-2631-4-2001)

Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration —

Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 2631-4:2001](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f993e248-81e2-4f6c-aec3-af3929d81d64/iso-2631-4-2001)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f993e248-81e2-4f6c-aec3-af3929d81d64/iso-2631-4-2001>

© ISO 2001

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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.ch
Web www.iso.ch

Imprimé en Suisse

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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

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.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments de la présente partie de l'ISO 2631 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.

La Norme internationale ISO 2631-4 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*, sous-comité SC 4, *Exposition des individus aux vibrations et chocs mécaniques*.

L'ISO 2631 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Vibrations et chocs mécaniques — Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps*:

- *Partie 1: Spécifications générales* [ISO 2631-4:2001](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f993e248-81e2-4f6c-aec3-af3929d81d64/iso-2631-4-2001)
- *Partie 2: Vibrations dans les bâtiments (1 Hz à 80 Hz)*
- *Partie 4: Lignes directrices pour l'évaluation des effets des vibrations et du mouvement de rotation sur le confort des passagers et du personnel dans les systèmes de transport guidé*

L'annexe A constitue un élément normatif de la présente partie de l'ISO 2631.

Introduction

L'objet de la présente partie de l'ISO 2631 est d'apporter une aide à la conception et à l'évaluation des systèmes de transport guidé en ce qui concerne l'influence des vibrations et des mouvements répétitifs sur le confort des passagers. Ces informations sont requises pour les raisons suivantes.

Les véhicules guidés engendrent un ensemble de mouvements suivant plusieurs axes, prévisible mais complexe, qui est fonction du système de guidage, du véhicule et du siège ou de la couchette. Les passagers évaluent le confort de marche non seulement sur la base du mouvement mais également en fonction de leurs attentes concernant la catégorie du service qu'ils ont acheté. Il n'a pas été démontré que la durée du trajet était un paramètre influant la prévision du confort (à la possible exception de cinétose), mais la durée prévue du trajet est liée aux types d'activités que les passagers prévoient de réaliser à bord. Les passagers de trajets supérieurs à quelques minutes peuvent prévoir de lire, écrire, manger et boire; sur des trajets plus longs, ils espèrent dormir. Dans la mesure où les vibrations induites par la marche interfèrent avec ces activités, les passagers peuvent avoir une perception différente du confort des véhicules avec le même environnement vibratoire mais des niveaux de service attendus différents ou des durées de trajet différentes. Les passagers sont susceptibles de juger le confort sur la base de l'interaction des vibrations avec des facteurs tels que le bruit, la température, l'humidité, la qualité de l'air et la conception des sièges.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 2631-4:2001](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f993e248-81e2-4f6c-aec3-af3929d81d64/iso-2631-4-2001)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f993e248-81e2-4f6c-aec3-af3929d81d64/iso-2631-4-2001>

Vibrations et chocs mécaniques — Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps —

Partie 4:

Lignes directrices pour l'évaluation des effets des vibrations et du mouvement de rotation sur le confort des passagers et du personnel dans les systèmes de transport guidé

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 2631 donne des lignes directrices concernant l'application de l'ISO 2631-1 à l'évaluation des effets des vibrations mécaniques sur le confort des passagers et du personnel dans les systèmes guidés. Elle est destinée à servir aux organismes qui achètent, spécifient ou utilisent des systèmes guidés et à éclairer la relation qui existe entre la conception de systèmes de guidage et autres caractéristiques du système d'une part, et le confort des passagers et du personnel d'autre part. Ces lignes directrices établissent des méthodes pour évaluer le confort relatif entre ces systèmes, par opposition aux niveaux absolus de confort.

La présente partie de l'ISO 2631 est applicable à des individus en bonne santé exposés à des vibrations de translation le long des axes x , y et z ainsi qu'à des vibrations de rotation autour de ces axes (centrés sur le corps). Elle est destinée à donner des indications pour l'estimation du confort en fonction des mouvements suivant et autour des axes des véhicules, qui produisent les mouvements du corps. Elle n'est pas applicable aux chocs uniques de grande intensité qui peuvent provoquer des traumatismes, tels qu'il s'en produit lors des accidents ou des «réactions d'attelage» provoqués par un «effet d'accordéon», pas plus qu'elle n'est applicable aux vibrations de grande intensité qui peuvent affecter la santé.

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 2631, les systèmes de transport guidé incluent les systèmes ferroviaires (rail lourd et léger), les systèmes à sustentation magnétique (MAGLEV) et les systèmes sur pneumatiques de type métro, ainsi que tous types de systèmes indiqués ci-dessus qui comportent une possibilité d'inclinaison pour compenser l'accélération latérale lors du passage en courbes.

La présente partie de l'ISO 2631 donne des lignes directrices concernant les accélérations à très basse fréquence (0,1 Hz à 0,5 Hz) subies comme des forces verticales qui peuvent causer une cinétose. Ces forces peuvent être provoquées par des combinaisons de transition de courbe, de dévers et de technologie pendulaire. Toutefois, la présente partie de l'ISO 2631 n'est pas destinée à donner des lignes directrices relatives aux implications pour le confort des accélérations à très basse fréquence (inférieures à 0,5 Hz) subies comme des forces latérales ou longitudinales. Ces accélérations peuvent être générées par la géométrie du système de guidage (alignement horizontal et dévers).

La présente partie de l'ISO 2631 donne des lignes directrices quant à l'évaluation du confort du trajet uniquement sur la base de l'environnement vibratoire.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 2631. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de l'ISO 2631 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les

éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

ISO 2631-1:1997, *Vibrations et chocs mécaniques — Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps — Partie 1: Spécifications générales.*

CEI 61260, *Électroacoustique — Filtres de bande d'octave et de bande d'une fraction d'octave.*

3 Considérations particulières pour les systèmes de transport guidé

Les systèmes guidés peuvent entraîner des mouvements répétitifs et/ou vibratoires importants, qui nuisent au confort des passagers. Les mouvements concernés sont, d'une part, le mouvement de translation le long de chacun des trois axes mutuellement perpendiculaires du véhicule et, d'autre part, le mouvement de rotation autour de ces mêmes axes. Il est manifeste que les mouvements verticaux, latéraux et de roulis jouent également un rôle important dans le confort des passagers pour les véhicules ferroviaires. C'est pour les passagers et le personnel en position debout que l'influence des mouvements latéraux et longitudinaux peut être la plus importante.

Les facteurs incluant le niveau de bruit, les stimuli visuels, la température et l'humidité interagissent avec les vibrations dans la perception du confort par les passagers. Il convient de tenir compte de l'effet de ces facteurs extérieurs au mouvement lorsqu'on utilise les résultats d'essais de mouvement de véhicule pour estimer le confort. À titre d'exemple, il s'est avéré que le bruit était corrélé aux jugements relatifs au confort du trajet dans les véhicules ferroviaires de passagers.

Un système de coordonnées centré sur le corps de l'individu n'est pas toujours bien adapté pour caractériser la relation confort/mouvement pour les systèmes guidés. Les passagers peuvent se trouver en position debout, assise ou couchée dans diverses orientations par rapport à la caisse du véhicule. Lorsque cela est possible, des mesurages à l'interface corps/siège peuvent permettre une appréhension plus complète de l'environnement de confort fourni par les mouvements de la marche. Lorsque les mesurages sont effectués à l'interface corps/siège, les indications fournies par l'ISO 2631-1:1997, Figure 1, sur les axes basicentriques doivent être utilisées.

Le mesurage à l'interface corps/siège est la méthode privilégiée dans l'ISO 2631-1, mais elle n'est pas toujours appropriée pour l'évaluation de systèmes guidés. Ces mesurages sont également problématiques en raison de la variabilité inhérente aux diverses postures ou mouvements volontaires des sujets. L'environnement vibratoire produit par un système guidé est composé des contributions du système de guidage, de la suspension du véhicule, de la caisse du véhicule et des sièges ou des couchettes. Les sièges et les couchettes ne sont pas des pièces permanentes du véhicule et sont susceptibles d'être remplacés plusieurs fois pendant la durée de vie du véhicule.

L'estimation de l'impact des vibrations sur le confort des passagers est rendue plus complexe par les attentes des passagers et la durée du trajet. La longueur du trajet peut aller de quelques minutes à plusieurs jours; les passagers peuvent espérer avoir un large éventail d'activités, notamment marcher, lire, écrire, taper sur un clavier, manger, boire ou dormir. Non seulement certains mouvements peuvent interférer avec certaines de ces activités, mais l'implication dans des activités requérant une concentration visuelle, comme la lecture ou l'écriture, est susceptible d'augmenter la probabilité que le passager développe la cinétose (mal des transports).

L'état des suspensions des véhicules d'essai et l'état de la voie ou des sections de voie utilisées doit être décrit de façon à permettre des comparaisons significatives entre les véhicules ou les systèmes. En général, il convient de réaliser les essais le long de sections représentatives de voie en alignement ou de courbe. Il convient que ces sections incluent la gamme totale de qualité voie/guidage appropriée à la voiture soumise à essai. De même, il convient de soumettre à l'essai les véhicules lorsqu'ils sont équipés de roues neuves et, si possible, aussi avec des roues usées jusqu'aux limites de maintenance.

Il convient de réaliser les essais avec des voitures vides et, si possible, aussi avec des voitures entièrement chargées. D'autres conditions de charge peuvent également être examinées. La position de la voiture dans le train et, dans certains cas, le sens de déplacement peuvent affecter le résultat des essais. Des véhicules contigus à la voiture soumise à l'essai peuvent aussi influencer sur les résultats. Il convient d'enregistrer et de consigner la position des voitures d'essai dans le train ou la rame et le sens de déplacement.

4 Caractéristiques de mouvement des véhicules guidés

Les mouvements dans un véhicule guidé se caractérisent par

- a) des accélérations de translation semi-aléatoires (dans les trois axes) et des accélérations de rotation semi-aléatoires (autour des trois axes) en raison des imperfections des surfaces de contact voie-roue, des défauts d'alignement de la voie, etc.;
- b) des mouvements plus ou moins périodiques dus à des problèmes d'instabilité (lacet), à des mouvements de la suspension, à des défauts de voie de grande longueur d'onde, à la périodicité des joints d'infrastructure, à une voie décalée, etc.;
- c) des amplitudes quasi statiques d'accélération suivant les axes latéral et vertical et de roulis (inclinaison latérale) et mouvements de lacets dus à l'alignement et au dévers (surélévation), et des amplitudes quasi statiques d'accélération le long de l'axe longitudinal dues à l'accélération ou au freinage du véhicule;
- d) des mouvements soudains dus à des défauts importants des voies ou aiguillages, ou des modifications des niveaux quasi statiques (jerk) dues à des changements des rayons de courbes avec ou sans raccordement de courbes.

La gamme de fréquences des mouvements qui a normalement un impact important sur le confort de marche dans les véhicules ferroviaires classiques va de 0,1 Hz à 2 Hz lors des passages en courbe (roulis), de 0,5 Hz à 10 Hz dans les directions latérale et longitudinale, et de 0,5 Hz à 20 Hz dans le sens vertical.

Pour les véhicules à très grande vitesse (250 km/h et plus) et pour les trains pendulaires, des accélérations verticales dans la gamme de fréquences de 0,1 Hz à 0,5 Hz peuvent se produire. Ces accélérations verticales à basse fréquence peuvent induire une cinétose (mal des transports). L'ISO 2631-1:1997, annexe D, donne des indications sur la méthode de calcul d'une valeur dose cinétose basée sur les accélérations dans cette gamme de fréquences.

Deux types de mouvements de roulis peuvent se produire:

- des mouvements de roulis à amplitude relativement élevée, à très basse fréquence, qui se produisent lors de l'entrée ou de la sortie d'une section en dévers d'une voie ou d'un système de guidage en courbe;
- des mouvements de balancement répétitifs d'un côté sur l'autre, résultant des interactions du système de guidage et de la suspension.

Pour les systèmes qui comportent des niveaux importants de dévers du système de guidage et/ou des mécanismes de suspension pendulaires, il convient de tenir compte de l'angle de roulis (inclinaison latérale) et de la vitesse de roulis (degré d'inclinaison latérale) dans l'estimation des effets du mouvement sur le confort.

Des angles importants d'inclinaison latérale survenant pendant des virages coordonnés nettement supérieurs à 24° se rencontrent couramment dans les voyages aériens. Lorsque ces angles d'inclinaison latérale sont obtenus progressivement et qu'ils sont prolongés, ils ne semblent pas provoquer un inconfort des passagers. Mais une exposition répétée à des degrés élevés d'inclinaison latérale nécessaires pour rapidement atteindre ces angles et revenir à la normale peut provoquer le mal des transports. Ces taux de roulis élevés peuvent se produire lors de l'utilisation de courbes de raccordement (raccordement entre entrée et sortie de courbe). À de très grandes vitesses, les courbes de raccordement d'une longueur pratique sont une source potentielle d'inconfort des passagers et de mal des transports.

5 Mesurage

Le système de guidage, les roues, la suspension, la structure de la caisse et les garnissages intérieurs (sièges et couchettes) contribuent tous aux vibrations subies par les passagers et le personnel.

Lorsque c'est le confort du siège ou de la couchette qui est à prendre en compte, il est vital d'effectuer des mesurages à l'interface siège/corps ou couchette/corps. Ceux-ci sont les points de contact directs entre la structure

du véhicule et la personne, qui ont pour fonction de soutenir et de guider la personne et de transmettre son poids à la caisse du véhicule (voir Tableau 1). L'évaluation de la valeur totale de vibrations globales pour une personne debout, assise ou couchée inclut des mesures réalisées aux interfaces du corps données dans le Tableau 1.

NOTE Dans certaines situations, il peut être utile de prendre des mesures pour les passagers assis, à l'interface repose-tête/cou et à l'interface accoudoir/avant-bras, de même que pour les passagers couchés il peut être utile de prendre des mesures à l'interface couchette/jambe.

Tableau 1 — Interfaces du corps

Position	Interfaces
Position debout	Sol/pieds
Position assise	Assise du siège Dossier du siège Sol/pieds
Position couchée	Surface soutenant le bassin, le dos et la tête

Les installations (sièges, couchettes) sont généralement remplacées plusieurs fois pendant la durée de vie du véhicule et du système guidé. Prendre des mesures à ces interfaces-là peut ne pas être aussi utile que d'en prendre sur la structure du véhicule. Ainsi, il peut être plus approprié de prendre des mesures sur les parties rigides de la structure du véhicule comme évoqué dans l'ISO 2631-1:1997, note 1 du paragraphe 5.3.1. Lorsque les mesurages sont effectués sur la structure du véhicule, il convient d'utiliser les références suivantes:

- axe z: vertical, vers le haut (positif)/vers le bas (négatif), perpendiculaire au sol;
- axe x: longitudinal, en avant (positif)/en arrière (négatif), dans le sens du déplacement;
- axe y: latéral, à angle droit par rapport au sens du déplacement;
- roulis: mouvement de rotation autour de l'axe x.

Il n'est pas toujours correct de considérer un véhicule comme un corps rigide. Par conséquent, il convient de réaliser des mesurages aux deux extrémités et au milieu du véhicule (à l'exception du mouvement le long de l'axe x pour lequel une seule mesure peut suffire). Pour des véhicules à étages, il convient de prendre les mesures à l'étage inférieur aux deux extrémités et au milieu du véhicule et, à l'étage supérieur, au milieu du véhicule. Les conceptions des véhicules pouvant être très différentes, il convient d'enregistrer et de consigner les emplacements de mesurage de façon détaillée.

Le mesurage des caractéristiques des mouvements de roulis est nécessaire uniquement sur les véhicules qui possèdent un mécanisme de roulis (inclinaison) ou des systèmes de guidage avec des dévers importants et entraînant des angles de roulis importants (inclinaison latérale).

La vitesse de roulis (taux de roulis) peut être mesurée au moyen d'un gyromètre monté sur le sol. L'accélération de roulis peut alors être calculée comme la dérivée en temps de la vitesse de roulis. Le filtrage des basses fréquences peut être requis; il convient de consigner les caractéristiques de ces filtres.

Bien que la méthode privilégiée consiste à utiliser un gyromètre comme décrit ci-dessus, l'accélération de mouvement peut être mesurée au moyen de deux accéléromètres verticaux montés sur le sol au même emplacement longitudinal dans le véhicule, mais séparés par une distance latérale d (en mètres). Ensuite, l'accélération de roulis (en radians par seconde carrée) est donnée par $(\ddot{z}_{gauche} - \ddot{z}_{droite})/d$, où \ddot{z} est le résultat de l'accéléromètre (en mètres par seconde carrée).

6 Analyse des mouvements des véhicules guidés

En ce qui concerne les vibrations verticales, l'ISO 2631-1:1997, Tableau 1, fournit des indications générales quant au choix de la courbe de pondération à utiliser dans un grand éventail de conditions. Ce tableau suggère l'utilisation de la courbe de pondération W_k pour les accélérations verticales. Toutefois, la note en C.2.2.1 de l'ISO 2631-1:1997 indique que pour l'estimation du confort dans les véhicules ferroviaires, la courbe de pondération nommée W_b est une approximation acceptable de la courbe générale W_k . W_b présente une valeur particulière dans l'estimation du confort dans les véhicules ferroviaires et est couramment utilisée par de nombreuses compagnies de chemins de fer européennes et quelques compagnies de chemins de fer non européennes.

Même si les courbes de pondération W_k et W_b peuvent parfois fournir des résultats similaires, l'utilisation de ces deux courbes peut dans d'autres cas produire des résultats nettement différents. Au-dessous de 8 Hz, la valeur pondérée au moyen de W_b peut être inférieure d'un facteur de 0,8; au-dessus de 8 Hz, la valeur pondérée au moyen de W_b peut être supérieure d'un facteur de 1,2. La Figure 1 illustre les différences entre les deux courbes de pondération en fréquence. La méthode de calcul de W_b se trouve dans l'annexe A. Les facteurs de multiplication appropriés sont les mêmes que ceux indiqués pour W_k dans l'ISO 2631-1.

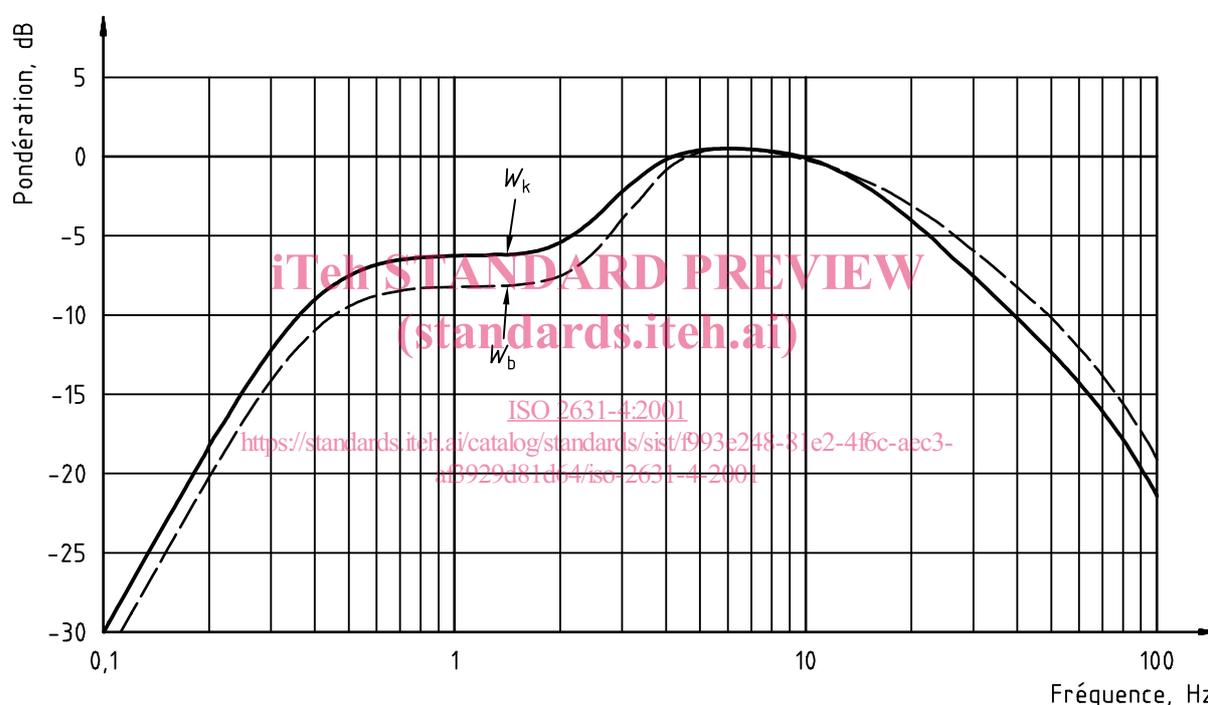


Figure 1 — Courbes de pondération en fréquence pour W_b et W_k

L'ISO 2631-1:1997, à l'article 8, spécifie une méthode fondée sur les valeurs efficaces pour l'évaluation du confort de marche. Toutefois, de nombreuses compagnies de chemins de fer utilisent une autre méthode statistique d'évaluation, décrite dans l'ISO 10056. Les méthodes statistiques tiennent compte de la fluctuation des vibrations, des variations entre passagers, et elles évitent la sensibilité à des influences artificielles extrêmes. Un exemple de l'utilisation de ces méthodes statistiques se trouve dans la référence [5] de la bibliographie. Dans cette méthode, les valeurs des vibrations correspondantes sont caractérisées par l'utilisation du 95^{ème} percentile des valeurs efficaces pondérées des accélérations mesurées à des intervalles de 5 s sur une durée de 5 min. Au moins quatre de ces durées doivent être prises en compte.

Sur des systèmes guidés, les dévers et les mécanismes d'inclinaison du véhicule sont destinés à compenser les accélérations latérales. Toutefois, cette compensation peut entraîner la perception d'accélérations verticales à basse fréquence. Des durées prolongées d'exposition à des accélérations verticales à basse fréquence peuvent engendrer le mal des transports. Un guide pour l'estimation de l'exposition prolongée à un mouvement à basse fréquence se trouve dans l'ISO 2631-1:1997, annexe D, qui fournit une méthode pour calculer la valeur dose cinétose, MSDV_z (Motion Sickness Dose Value).