

# Les réglementations, les normes et les référentiels concernant les vibrations et leur mesurage

**Michel Villot**  
CSTB  
Département Acoustique et Éclairage  
24, rue Joseph Fourier  
38400 Saint Martin d'Hères  
Tél : 04 76 76 25 25  
E-mail : michel.villot@cstb.fr

**Résumé**  
*Cet article présente, de manière simplifiée et non exhaustive, les réglementations, normes et référentiels concernant les vibrations et leur mesurage dans les bâtiments, que les documents soient français, provenant d'autres pays européens ou internationaux, et en mettant en évidence leur contenu technique. Un rapport d'étude beaucoup plus détaillé, rédigé par le CSTB pour le Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement (MEDDTL) est donné en référence [1]. Les types de vibrations considérés dans cet article sont les vibrations environnementales comme les vibrations générées par les transports terrestres ou les vibrations de chantier (sismique et explosions de type tirs de mines exclues), et les vibrations provenant de sources internes au bâtiment (équipements), vibrations à la marche exclues. Cet article parle des textes existants mais donne aussi des informations sur les principaux travaux menés actuellement par les groupes de normalisation, en particulier au niveau français.*

## Les textes existants

Pour traiter d'une source de vibration et d'un effet particulier, il est nécessaire de connaître la méthode de mesurage, la quantité physique pertinente à mettre en relation avec l'effet considéré et cette relation entre quantité physique et effet, de manière à pouvoir fixer des seuils à ne pas dépasser. Toutes ces informations figurent dans les textes réglementaires et normatifs existants ; nous allons essayer de les synthétiser.

Cette section traite d'abord :  
- des sources assez fortes et susceptibles d'endommager les structures des bâtiments environnants, comme les vibrations de chantier de construction ou démolition,  
- puis des sources en général plus faibles mais susceptibles de gêner les personnes comme les vibrations des transports terrestres.

## Sources susceptibles d'endommager les structures **Cas français**

Il y a un cadre réglementaire et normatif en France sur le sujet avec une loi (1976) relative aux installations classées (usines, ateliers, chantiers...) et qui définit les dispositions auxquelles sont soumises ces installations et une circulaire (1986) qui précise les règles techniques relatives aux méthodes de mesurage et à l'évaluation des effets sur les constructions.

Le mesurage des vibrations est effectué dans les 3 directions ; la position n'est pas définie précisément, mais il

faut éviter les modes propres des éléments sur lesquels les capteurs sont fixés.

La quantité pertinente est «la vitesse particulière» en mm/s (enregistrement temporel de 4 à 150 Hz pour des amplitudes de 0,1 mm/s à 50 mm/s).

La configuration sol-bâtiment est catégorisée avec des catégories de construction (suivant leur vulnérabilité), des catégories de fondation et des types de terrains.

Pour un «contrôle» réglementaire, ces classes sont regroupées en 3 ensembles (constructions résistantes, sensibles et très sensibles) ayant chacun ses propres seuils, comme le montre le tableau suivant. Notons que les seuils dépendent de la bande de fréquence considérée et du type de vibrations (continues ou impulsionnelles). Pour des bâtiments modernes («résistants») l'ordre de grandeur de seuil est d'une dizaine de mm/s.

a. Vibrations continues ou assimilées – Méthode de mesure de classe « Contrôle »

Type de construction	Fréquence		
	De 1 à 8 Hz	De 8 à 30 Hz	De 30 à 100 Hz
Résistante	5	6	8
Sensible	3	5	6
Très sensible	2	3	4

N.B. – Au-delà de 100 Hz les valeurs limites peuvent être plus élevées.

b. Vibrations impulsionnelles à impulsions répétées – Méthode de mesure de classe « Contrôle »

Type de construction	Fréquence		
	De 1 à 8 Hz	De 8 à 30 Hz	De 30 à 100 Hz
Résistante	8	12	15
Sensible	6	9	12
Très sensible	4	6	9

N.B. – Au-delà de 100 Hz les valeurs limites peuvent être plus élevées.

Tabl. 1 : Valeurs limites de la vitesse particulière (en mm/s)

### Remarques

- les règles techniques sur le mesurage sont reprises dans la norme française récente NF E 90-020 :2007 (voir section suivante).
- il existe une norme ISO 4866 : 1990 sur le même sujet, postérieure à la circulaire de 1986 et qui a repris le même type d'approche.
- L'aspect «effet sur les personnes» est curieusement mentionné dans la circulaire de 1986 par la phrase suivante : «En règle générale, on observe que, lorsque l'étude sismique a réglé le problème de la sécurité des constructions, celui des autres nuisances des occupants de ces constructions se trouve résolu».

### Autres exemples européens

Il existe des normes nationales relatives aux vibrations et leurs effets sur les structures dans de nombreux pays européens : citons en particulier l'Allemagne (DIN 4150-3:1999), le Royaume Uni (BS 7385-2:1993) et la Norvège (NS 8141:2004) ; tous s'accordent sur l'utilisation de la vitesse particulière non pondérée (valeur crête) mesurée sur un élément porteur proche des fondations.

### Sources susceptibles de gêner les personnes

Toutes les sources de vibration sont susceptibles de gêner les personnes. Il est intéressant à ce niveau de séparer les sources internes aux bâtiments de type équipements comme les ascenseurs, les conduits d'évacuation d'eau, qui en général ne génèrent pas de niveaux vibratoires perceptibles corporellement, mais génèrent du bruit solide, des sources externes (transport terrestre ou chantier) plus puissantes.

Pour fixer les idées, l'ordre de grandeur de seuil de perception corporelle d'un individu est de 0,1 mm/s ( $L_v = 66$  dB en niveau de vitesse réf.  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s) alors qu'un bruit solide d'une vingtaine de dB(A) dans un local (perceptible la nuit) correspond à des niveaux vibratoires de dalle béton de l'ordre de 45 dBlin, donc d'une vingtaine de dB plus faibles que le seuil de perception. Notons que les seuils relatifs à des dommages potentiels aux structures «résistantes» présentés plus haut étaient plutôt de l'ordre de 10 mm/s, soit un facteur 100 en amplitude par rapport au seuil de perception corporelle des vibrations (soit 40 dB au dessus).

### Les sources internes au bâtiment

Les équipements de bâtiments d'habitation sont soumis à la Réglementation Acoustique française (2001) qui impose des limites en bruit d'équipement (bruits aérien et solide cumulé) de 30 dB(A) dans les pièces principales des logements (chambres et séjour) et 35 dB(A) dans les cuisines. Cette réglementation est purement acoustique, mais inclut les bruits solides ; les vibrations en sont exclues.

L'aspect normatif concernant la caractérisation aérienne et structurale en laboratoire de ces équipements et la prédiction des niveaux de bruits aérien et solide qu'ils génèrent sur site est traité au niveau européen par le CEN/TC126 (Building Acoustics) via deux groupes de travail actifs : CEN/TC126/WG2 pour la prédiction du bruit sur site (CSTB membre) et CEN/TC126/WG7 pour la caractérisation en laboratoire (CSTB animateur).

Deux normes sont sorties récemment en 2009 et concernent les installations d'équipement sur structures lourdes : la norme EN 15657-1 qui traite de la caractérisation en

laboratoire de la puissance structurale de l'équipement sur une paroi lourde de référence, et la norme EN 12354-5 qui estime le bruit solide rayonné sur site à partir de cette puissance de référence.

Les deux groupes travaillent actuellement aux installations d'équipement sur structures légères à ossature et à la transmission du bruit solide dans ce type de structure.

### Les sources externes au bâtiment

Ces sources, comme les vibrations générées par les transports terrestres et le ferroviaire en particulier, sont susceptibles de générer dans les bâtiments des niveaux vibratoires perceptibles corporellement et auditivement.

Le cadre réglementaire et normatif existant français relatif à l'effet des vibrations sur les personnes est d'abord présenté puis, au vu des manques, les réponses données par les textes internationaux ISO et nationaux de certains pays d'Europe plus en avance sont analysés.

### Le cas français

Il n'y a pas de réglementation française traitant de l'effet des vibrations environnementales sur les personnes et le seul texte normatif qui pourrait apporter des réponses est la norme NF E 90-020 : 2007, très générale comme le montre son titre : «*Vibrations et chocs mécaniques - Méthode de mesure et d'évaluation des réponses des constructions, des matériels sensibles et des occupants*». Concernant les effets des vibrations sur les personnes, la norme donne des informations sur la méthode de mesure (mesure des vibrations sur les planchers, là où les niveaux sont maximaux, intervalles de mesure...) et surtout sur le traitement de signal (filtrage 1/3 octave, calcul FFT, calcul de valeurs rms, pondération fréquentielle), mais ne donne aucune indication sur les descripteurs d'exposition à utiliser et aucune valeur seuil.

Il faut donc rechercher des réponses au niveau international (norme ISO) et dans les pays plus avancés comme l'Allemagne, le Royaume Uni...

### Les textes ISO «primaires»

Ces textes sont dits «primaires» car ils définissent les grandeurs qui sont ensuite reprises par les normes nationales des pays. Deux normes sont d'importance : ISO 2631-1:1997 et ISO 2631-2:2003.

La norme **ISO 2631-1:1997** donne des spécifications générales :

- grandeur de base : valeur rms sur la durée de mesure de l'accélération pondérée :

$$a_{w,rms} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2}$$

- calcul de  $a_{w,rms}$  :

- spectre 1/3 octave de valeurs rms non pondérées de l'accélération (en général en dB)
- pondération 1/3 octave des spectres (pondération donnée en linéaire et en dB dans l'ISO 2631-1)
- calcul de  $a_{w,rms}$  (en linéaire ou en dB) par somme énergétique des valeurs pondérées par 1/3 octave.

Dans le cas particulier de signaux avec facteur de crête élevé, deux méthodes complémentaires sont proposées :

- *méthode complémentaire #1* : valeur rms glissante et recherche d'un maximum de vibration transitoire sur la durée de mesurage ; intégration exponentielle possible

$$a_{w,rms}(t) = \left[ \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \quad \text{MTW} = \max [a_{w,rms}(t)]$$

- *méthode complémentaire #2* : calcul de la racine quatrième de la dose vibratoire (VDV)

$$VDV = \left[ \int_0^T a_w^4(t) dt \right]^{1/4} \quad (\text{valeur de dose vibratoire})$$

La norme **ISO 2631-2:2003** a pour domaine d'application les vibrations dans les bâtiments (1Hz-80 Hz) avec les spécifications suivantes :

- emplacement de mesurage : là où la plus forte amplitude de vibration pondérée est mesurée (dalle près du centre dans le cas très fréquent de vibrations verticales dominantes) ;
- recommandation de la pondération  $w_m$  en fréquence donnée en linéaire et en dB, la même quelle que soit la direction de mesure et quelle que soit la position de la personne ;
- annexe B informative : il est conseillé de mesurer aussi le bruit solidien (emplacement où son effet est gênant) mais aucun descripteur d'exposition n'est proposé ;
- aucune valeur limite n'est donnée (mais donnée dans la version précédente de 1989), montrant clairement que les seuils doivent être définis au niveau des pays.

#### Quatre exemples de cadre normatif et réglementaire en Europe

Cette section montre comment quatre pays européens (l'Allemagne, le Royaume Uni, la Norvège et la Suisse) ont construit leur propre norme à partir des normes «primaires» ISO. Un point commun : ces quatre pays utilisent tous, les méthodes complémentaires proposées par l'ISO 2631-1.

Cas du Royaume Uni : norme **BS 6472-1:2008**

Les spécifications sont les suivantes :

- utilisation de pondérations  $w_b$  pour mouvement vertical et  $w_d$  pour mouvement horizontal, différentes de la pondération  $w_m$  de la 2631-2 ;
- utilisation de la grandeur VDV (voir définition ISO 2631-1), mesurée séparément le jour ou la nuit ; la grandeur VDV dépend beaucoup plus de l'amplitude vibratoire que de la durée d'exposition. La grandeur de base est donc l'accélération ;
- dans le cas de vibrations continues avec facteur de crête pas trop élevé, la valeur de dose vibratoire VDV peut être estimée à partir de l'accélération rms pondérée  $a_{w,rms}$  calculée sur une durée  $t$  d'exposition par :

$$eVDV = 1,4 \cdot a_{w,rms} \cdot t^{0,25}$$

- la norme donne des valeurs limites (exprimées en VDV) à ne pas dépasser pour les bâtiments d'habitation en séparant jour ( $VDV_{jour}$  ;  $t=16$  h, de 6 à 22 h) et nuit ( $VDV_{nuit}$  ;  $t=8$  h, de 22 à 6 h) ; à noter l'aspect probabiliste avec pour chaque cas, 3 valeurs limites croissantes correspondant à 3 catégories de réaction (respectivement «faible probabilité de plaintes», «plaintes possibles» et «plaintes probables»)

**Remarque** : une étude perceptive sur site à grande échelle et relative aux vibrations ferroviaires est en cours, supportée financièrement par le DEFRA (Ministère de l'environnement anglais).

Cas de l'Allemagne : norme **DIN 4150-2:2001**

Tout d'abord une remarque sur la DIN 4150-1 : c'est un guide très sommaire sur la prédiction des vibrations ; notons que de nombreux exemples de signaux vibratoires au sol (signaux temporels et spectres en fréquence) pour différentes sources vibratoires sont donnés en annexe.

Les spécifications de la DIN 4150-2 sont les suivantes :

- vibrations dans les bâtiments limitées à la bande 1 Hz-80 Hz ;
- la grandeur de base est la valeur rms glissante (intégration exponentielle avec temps d'intégration de 0,125 s, constante *Fast*) de la vitesse vibratoire  $KB_F(t)$  pondérée suivant DIN 45669-1 ; la procédure est semblable à l'ISO 2631-1 (méthode complémentaire #1) appliquée à la vitesse vibratoire ; les pondérations sont cohérentes avec les pondérations en accélération  $w$  de l'ISO 2631-1:1997 ;
- le maximum de vitesse vibratoire est recherché avec des règles particulières ;
- la période d'évaluation  $T_r$  est séparée en jour/nuit (mêmes bornes que la BS 6472-1) ; des périodes de repos peuvent être prises en compte (semaine : de 6 à 7 h le matin et de 19 à 22 h le soir ; le dimanche : de 6 à 22 h) ;
- l'indice final  $KB_{FTr}$  est calculé sur une période d'évaluation  $T_r$  avec différentes expositions vibratoires (de durées  $Te_j$ ) :

$$KB_{FTr} = \left[ \frac{1}{T_r} \sum_j Te_j \cdot KB_{FTm,j}^2 \right]^{1/2}$$

- des périodes de repos peuvent être prises en compte (avec  $Te_1$  temps d'exposition hors période de repos, et  $Te_2$  temps d'exposition pendant la période de repos ;

$$KB_{FTr} = \left[ \frac{1}{T_r} (Te_1 \cdot KB_{FTm1}^2 + 2Te_2 \cdot KB_{FTm2}^2) \right]^{1/2}$$

- la norme donne des valeurs limites à ne pas dépasser pour différents types de bâtiment et avec séparation jour/nuit.

Cas de la Norvège : norme **NS 8176 : 2005**

Ce cas est intéressant pour plusieurs raisons.

- la norme concerne les vibrations dans les bâtiments générées par les transports terrestres (le ferroviaire et les poids lourds supérieurs à 3,5 t) et limitées à la bande 0,5-160 Hz ;

- la grandeur de base est comme en Allemagne, une valeur rms glissante (mais avec temps d'intégration de 1s, constante Slow) ; soit l'accélération  $a_{w,rms}(t)$ , soit la vitesse vibratoire  $v_{w,rms}(t)$  (méthode complémentaire #1 de l'ISO 2631-1), pondérées selon la norme ISO 2631-2:2003 (pondération  $w_m$ ) peuvent être utilisées ; la courbe de pondération en vitesse  $w_m$ , correspondant à la courbe de pondération en accélération de l'ISO 2631-2 est donné en annexe D de la norme norvégienne (avec les valeurs en 1/3 octave du filtre, données en linéaire et en dB).

- l'indicateur final est calculé d'une manière statistique :

- identification du maximum ( $v_{w,max,j}$ ) de la vitesse pondérée  $v_{w,rms,j}(t)$  pour chaque passage  $j$  de train ou poids lourds

- calcul de la valeur moyenne  $v_{w,max}$  et de l'écart type des  $v_{w,max,j}$  pour 15 passages

- calcul d'une valeur statistique maximum :

$$v_{w,95} = v_{w,max} + 1.8\sigma$$

- la norme donne des valeurs limites pour les bâtiments d'habitation exprimées soit en vitesse  $v_{w,95}$ , soit en accélération  $a_{w,95}$  ; 4 classes de confort décroissant sont utilisées de A à D ; la classe C correspond au minimum acceptable pour des bâtiments neufs (avec environ 15% de résidents susceptibles d'être gênés) et la classe D au minimum acceptable pour des bâtiments existants (avec environ 25% de résidents susceptibles d'être gênés), permise uniquement si les coûts d'amélioration pour passer en classe C sont prohibitifs.

- à noter l'aspect également probabiliste de la relation entre exposition vibratoire et effet sur les personnes comme le schématise la figure 1. Les courbes utilisées ont été établies à partir d'une enquête perceptive sur site à grande échelle ; pour des raisons de coût, il semble que beaucoup de niveaux vibratoires aient été estimés par calcul à partir de points de référence mesurés.

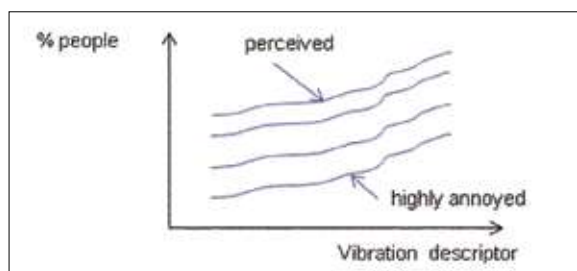


Fig. 1 : Relation type entre exposition vibratoire et effet sur les personnes

#### Cas de la Suisse : Directive OFEFP (1999)

Cette directive concerne les vibrations générées dans les bâtiments par le transport ferroviaire.

L'évaluation des vibrations est effectuée selon la DIN 4150-2 : 1999.

La Suisse est l'un des rares pays à considérer le bruit solide ferroviaire avec les spécifications suivantes :

- valeurs limites données pour deux zones (habitations et mixtes), en séparant jour/nuit, et en séparant bâtiments neufs et existants ;

- indicateurs :

- de jour : Leq 16 h (6-22 h) en dB(A)

- de nuit : Leq 1 h pour chaque heure nocturne de 22 à 6 h et valeur max de ces huit valeurs horaires.

#### Remarques

Les seuils donnés semblent hauts : exemple : Leq 1 h de 25 dB(A) la nuit en habitation pour du neuf ; 4 passages de train de 10 s avec des niveaux de passage d'environ 45 dB(A) satisfont l'exigence (alors que le seuil des bruits d'équipement en France est de 30 dB(A)).

Aucune référence n'est faite à une norme de mesure de bruit et aucune recommandation n'est donnée sur sa mesure (alors que le bruit solide ferroviaire est du bruit basses fréquences en général en dessous de 100 Hz et qu'il peut être combiné avec du bruit aérien, en particulier dans le cas de voies ferrées en surface)

#### Travaux en cours et perspectives

L'étude effectuée par le CSTB pour le MEDDTL, donnée en référence [1] a été effectuée en 2007 et avait pour but de faire le point sur les cadres normatifs et réglementaires existants concernant les vibrations. Depuis, le groupe de normalisation AFNOR S30MI a été mandaté par le MEDDTL pour faire le point sur les indicateurs de bruit et de vibrations, les grouper par famille et surtout donner un avis sur leur pertinence à décrire les effets du bruit et des vibrations sur les personnes. Ce travail est en cours ; notons la difficulté d'identifier et analyser les études perceptives sur site et en laboratoire qui doivent montrer la pertinence de ces indicateurs. Certaines études perceptives n'ont jamais été faites en France : par exemple les études relatives aux vibrations et bruits générés par les transports ferroviaires de surface. De toute façon, une réglementation doit prendre en compte les spécificités des bâtiments et résidents d'un pays et il semble donc que des études perceptives doivent être effectuées.

Un projet européen sur 3 ans (projet RIVAS) vient d'être accepté par la CE et concerne les dispositifs d'atténuation des vibrations ferroviaires à la source. Ce projet rassemble certaines compagnies ferroviaires (SNCF, RATP, DB, SBB ...), les constructeurs de véhicules (ALSTOM et BOMBARDIER inclus) et d'infrastructures ferroviaires (l'entreprise française SATEBA est partenaire), et des centres de recherche, dont le CSTB. Le rôle du CSTB est, en utilisant ce qu'il existe de mieux en Europe (9 pays participent au projet), mais sans rien développer, d'exprimer les performances des dispositifs développés dans le projet en termes de diminution des expositions vibratoire et sonore (bruit solide) dans des bâtiments types (configurations types sol, fondations, bâtiment, distance à la voie) et de diminution de la gêne associée. On devrait donc disposer à la fin du projet d'un outil opérationnel permettant de passer des niveaux vibratoires au sol en champ libre proche des voies ferrées à l'exposition vibratoire et sonore des personnes dans des configurations types sol bâtiment ; cet outil sera, bien sûr, précieux pour les études d'impact.

Une autre action en cours est celle de la commission AFNOR E90A dont l'un des rôles importants est de suivre les travaux du comité technique ISO/TC108 (Vibrations et chocs mécaniques), et en particulier les travaux du groupe de travail ISO/TC108/SC2/WG8 relatif aux vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires. Ce groupe a déjà publié la norme 14 837-1 donnant des directives générales sur ce problème et devrait publier dans le futur des normes sur tous les aspects nécessaires à une étude d'impact ferroviaire : en particulier les modèles de prédiction (partie 2), le mesurage (partie 3), les critères d'évaluation (partie 4) et les dispositifs d'atténuation (partie 5). Le CSTB et la RATP sont (depuis peu) membres actifs de cette commission.

Peu de choses ont été dites sur les vibrations de chantier, qui il est vrai, sont des sources non permanentes. Il n'y a pas à notre connaissance d'action particulière sur ce sujet au niveau prénormatif qui aborderait l'aspect perceptif et des aspects techniques tels que la prédiction des niveaux dans les bâtiments environnants et la caractérisation des sources (battage de pieux par exemple).

## Références bibliographiques

[1] Elias P., Taillefer N., Villot M. et Weiss N., Protection contre les vibrations environnementales, le cas français, Etude CSTB pour le MEDDTL, 2007

[2] Norme NF E 90-020 : 2007, Vibrations et chocs mécaniques ; Méthode de mesurage et d'évaluation des réponses des constructions, des matériels sensibles et des occupants

[3] Norme 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

[4] Norme EN 15657-1 : 2009, Propriétés acoustiques des éléments de construction et des bâtiments ; Mesurage en laboratoire des bruits aériens et structuraux des équipements de bâtiment ; Partie 1 : Cas simplifié où la mobilité de l'équipement est beaucoup plus élevée que celle du récepteur

[5] Norme EN 12354-5 : 2009, Acoustique du bâtiment ; Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance acoustique des éléments ; Partie 5 : bruit émis par les installations et équipements techniques

[6] Norme ISO 2631-1 : 1997, Vibrations et chocs mécaniques ; Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps ; Partie 1 : Spécifications générales

[7] Norme ISO 2631-2 : 2003, Vibrations et chocs mécaniques ; Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps ; Partie 2 : Vibrations dans les bâtiments (1 Hz à 80 Hz)

[8] Standard BS 6472-1 : 2008, Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings ; Part 1 : Vibration sources other than blasting

[9] Standard DIN 4150-2 : 2001, (E) Structural vibration ; Part 2 : Human exposure to vibration in buildings

[10] Standard NS 8176 : 2005, (E) Vibration and shock ; Measurement of vibration in buildings from land based transport and guidance to evaluation of its effects on human beings

[11] Directive suisse OFEFP (Office Fédéral de l'Environnement) : 1999, Directive pour l'évaluation des vibrations et du bruit solidien des installations de transport sur rails (EVBSR)

[12] Norme ISO 14837-1 : 2005, Vibrations mécaniques ; Vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires ; Partie 1 : Directives générales