

Annexe H  
**ASPECTS THÉORIQUES DES VIBRATIONS**



## MISE EN CONTEXTE

La vibration des structures dans les bâtiments peut être perçue par les occupants et les affecter de diverses manières. La vibration peut compromettre le confort, la capacité de travailler et, dans certaines circonstances, la santé et la sécurité des individus. La vibration transmise à l'ensemble du corps se produit lorsque le corps est soutenu par une surface vibrante, par exemple lorsque le sujet est assis sur un siège vibrant, debout sur un sol vibrant, ou couché sur une surface vibrante.

Le contact des roues du train de passagers avec les irrégularités de la voie ferrée exerce des charges dynamiques à la surface du sol. Ces charges donnent lieu à des ondes de contrainte qui se propagent dans le sol et finissent par atteindre les fondations des bâtiments adjacents en les faisant vibrer. Le type de sol et sa stratification influent grandement sur l'amplitude des vibrations et les fréquences dominantes. Moins le sol est rigide et a un pouvoir amortissant, plus la vibration est forte.

Les niveaux de vibration diminuent avec la distance par rapport à la voie ferroviaire en raison de la « propagation géométrique » des ondes de contrainte et de sa dissipation due à la viscosité du sol et/ou au frottement dans le sol. Dans le cas des sols homogènes, les schémas de propagation des vibrations sont simples et on peut établir des rapports simples entre les niveaux de vibration et la distance. Cependant, les sols sont généralement hétérogènes et sont habituellement stratifiés. Les schémas de propagation sont par conséquent très complexes et les relations d'atténuation sont propres à chaque site.

Au Québec, il n'y a pas de réglementation concernant les vibrations générées par le trafic ferroviaire. Le MDDEP n'a aucune directive sur les limites de vibration à respecter pour les activités ferroviaires et n'a eu que très peu de dossiers à traiter à ce sujet. Toutefois, l'évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps est traitée dans les normes ISO 2631-1:1997 et 2631-2:2003, qui quantifient les amplitudes vibratoires à l'intérieur des bâtiments en respect avec le corps humain. Les vibrations doivent être mesurées par rapport à un système de coordonnées ayant pour origine un point à partir duquel la vibration est considérée entrer dans le corps humain. L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation.

Présentement, aucune norme canadienne ne permet d'évaluer l'effet des vibrations sur les bâtiments. La norme internationale ISO 4866:1990 ainsi que ses deux amendements, ISO 4866:1990/Amd.1:1994 et ISO 4866:1990/Amd.2:1996, donne des lignes directrices pour le mesurage des vibrations et l'évaluation de leurs effets sur les bâtiments, mais n'inclut pas de valeurs vibratoires indicatives.

Selon ces normes, les vibrations transmises à l'homme et aux bâtiments doivent être mesurées selon trois axes : l'axe des x, y et z. Ces mesures permettent d'évaluer la limite sécuritaire aux bâtiments et la limite de tolérance des humains aux vibrations en fonction de la santé, du confort et de la perception.

## THÉORIE

### Fréquence

La fréquence est le nombre de fois par seconde où le corps vibrant se déplace en va-et-vient. On l'exprime par une valeur en cycles par seconde, plus généralement connue sous le nom Hertz (Hz). La fréquence d'une vibration affecte la façon dont cette vibration est transmise au corps, la propagation à l'intérieur du corps, ainsi que les effets qu'elle provoque dans l'organisme. La relation entre le déplacement et l'accélération dépend également de la fréquence de l'oscillation: un déplacement de 1,0 mm correspond à de très faibles accélérations en basses fréquences, mais à de très fortes accélérations aux fréquences élevées.

Les effets des vibrations transmises à l'ensemble du corps sont généralement les plus marqués aux fréquences les plus basses de la gamme, soit de 0,5 à 100 Hz. La composition fréquentielle d'une vibration peut être représentée par un spectre. Pour de nombreux types de vibrations transmises à l'ensemble du corps, ces spectres de fréquences sont complexes, certains mouvements comprenant plusieurs fréquences. On observe cependant souvent des pics, qui correspondent aux fréquences où la vibration est prédominante.

La réponse de l'être humain aux vibrations dépend de la fréquence de celles-ci, il est donc nécessaire de pondérer les vibrations mesurées en fonction de la fréquence. La pondération fréquentielle consiste à appliquer une correction aux mesures de vibrations (souvent à l'aide d'un filtre) pour rendre compte de l'effet présumé de la fréquence sur l'exposition des individus. Elle est nécessaire pour chaque axe de vibration. Les vibrations transmises à l'ensemble du corps appellent des pondérations fréquentielles différentes.

## Amplitude des vibrations

Le déplacement oscillatoire d'un objet implique alternativement une vitesse dans un sens, suivie d'une vitesse dans l'autre sens. Cette variation de vitesse signifie que l'objet subit une accélération constante, d'abord dans un sens, puis dans le sens opposé. L'amplitude vibratoire peut être quantifiée par l'amplitude du déplacement en mètres (m), par l'amplitude de la vitesse en mètres/seconde (m/s) ou par l'amplitude de l'accélération en mètres/seconde<sup>2</sup> (m/s<sup>2</sup>). Lors d'une évaluation préliminaire, les amplitudes maximales du signal vibratoire en vitesse, appelées aussi « valeurs crêtes de vitesse »<sup>1</sup>, et la détermination de la fréquence dominante sont suffisantes.

Lorsque l'on mesure des valeurs crêtes, celles-ci doivent être converties en valeurs efficaces avant de se référer aux limites données dans les normes ISO 2631-1:1997 et 2631-2:2003. Cette conversion permet d'exprimer l'amplitude de la vibration par une valeur moyenne de l'accélération du mouvement oscillatoire.

Afin de donner une description adéquate des vibrations qui sont en bandes larges (plusieurs fréquences) un facteur de crête doit être déterminé ou estimé. Le facteur de crête est le rapport entre la valeur crête maximale et la valeur efficace. À noter que le facteur de crête n'indique pas nécessairement la sévérité des vibrations. Selon le document « *Transit Noise and Vibration Impact Assessment* » de la *Federal Transit Administration* des États-Unis, le facteur de crête pour les vibrations engendrées par un train peut être estimé à 4 ou 5.

Le facteur de crête peut être utilisé pour indiquer si la méthode d'évaluation fondamentale suffit pour décrire la sévérité des vibrations en fonction de ses effets sur les êtres humains. Pour des vibrations dont le facteur de crête est inférieur ou égal à 9, la méthode d'évaluation de base prescrite dans la norme ISO 2631-1:1997 est normalement suffisante.

On exprime l'amplitude de la vibration par une valeur moyenne de l'accélération du mouvement oscillatoire, généralement la valeur efficace de l'accélération pondérée (mm/s<sup>2</sup> efficace). Pour un mouvement en bandes larges dont le facteur de crête est inférieur à 9, la méthode d'évaluation de base prévoit calculer la valeur efficace de l'accélération pondérée à partir de la formule suivante :

$$a_w = k \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (mm/s^2) \quad (1)$$

où  $a_w(t)$  : accélération pondérée en translation en fonction du temps (mm/s<sup>2</sup>);  
 $T$  : durée de mesure (s);

---

<sup>1</sup> De l'anglais « Peak Particule Velocity (PPV) ».

$k_x$ : facteur de pondération fréquentielle.

### Valeur totale des vibrations

La valeur totale des vibrations des valeurs efficaces d'accélération pondérée, déterminée à partir des vibrations dans un système de coordonnées orthonormées, est calculée de la façon suivante :

$$a_v = \sqrt{(k_x a_{wx})^2 + (k_y a_{wy})^2 + (k_z a_{wz})^2} \quad (mm/s^2) \quad (2)$$

où  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$  : valeurs efficaces des accélérations pondérées respectivement sur les axes orthonormés des x, des y et des z;  
 $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  : facteurs de pondération fréquentielle respectivement sur les axes orthonormés des x, des y et des z.

La valeur totale correspond au « vecteur somme des accélérations pondérées »<sup>2</sup> par rapport aux axes des x (longitudinal), y (transversale) et z (vertical). L'utilisation de cette valeur peut être recommandée afin de quantifier certains paramètres importants de l'exposition des individus aux vibrations.

---

<sup>2</sup> De l'anglais « Peak Vector Sum (PVS) ».