

## VIBRATION D'UN TRAIN LORSQUE LE SOL EST GELÉ

Claude Chamberland et Franck Duchassin

SNC-LAVALIN INC., Division Environnement

### 1. INTRODUCTION

La vibration causée par le passage des trains est une source potentielle de nuisance pour les résidents le long des voies ferrées. Elle peut avoir des effets sur l'intégrité de la structure des bâtiments, sur la santé à long terme des individus exposés et sur le confort au cours des activités quotidiennes. La vibration est causée par les locomotives et par la rotation des roues sur les rails. Elle est transmise aux supports des rails et se propage dans le sol vers les fondations. La prévision des niveaux de vibration se fait généralement pour un sol non gelé en considérant la distance et des ajustements pour la source, le sol et le récepteur (1). Toutefois, pour les régions nordiques, le sol gelé en hiver peut avoir un effet sur la propagation des vibrations. Selon une étude de la vibration induite par la circulation des camions et des autobus à Montréal (2), les niveaux de vibration mesurés en hiver sont environ la moitié de ceux mesurés en automne.

### 2. RELEVÉS

#### 2.1 Site

Le site est situé le long d'une portion rectiligne de la voie ferrée, dans un champ non construit. La voie ferrée est légèrement surélevée et bordée par des fossés de chaque côté. Le sol est plat et constitué d'un schiste argileux recouvert de till, d'une couche d'argile de 5 à 20 m et de sable. Les relevés ont été effectués en novembre, avant que le sol soit gelé, et en février, alors que le sol était gelé. La profondeur du gel (3) peut atteindre 2,2 m dans la région.

#### 2.2 Source

Les trains de marchandises étaient composés de trois locomotives et d'une centaine de wagons. Les trains circulaient dans la même direction et à des vitesses de l'ordre de 30 km/h.

#### 2.3 Procédure et acquisition

La vibration dans l'axe transversal, vertical et longitudinal (T, V, L) a été mesurée simultanément à deux distances de la voie ferrée, 15 m et 45 m. Le capteur a été déposé sur le sol et maintenu en place avec une tige métallique et un sac de sable. L'axe longitudinal est perpendiculaire à la voie ferrée. La vibration a été mesurée avec des géophones triaxiaux (Instantel 714A) ayant une sensibilité de 0,006 V/mm/s de 2 à 250 Hz. Le signal a été enregistré avec des moniteurs Instantel Minimate Plus. L'onde vibratoire a été enregistrée pendant le passage qui a duré environ trois

minutes. L'analyse a été effectuée avec le logiciel Blastware v10.20 d'Instantel afin de déterminer la vitesse crête de particule (PPV), la somme vectorielle des vitesses crête (PVS) et la fréquence de l'onde à la crête la plus élevée (ZCF). Le signal de vitesse de vibration a été dérivé pour obtenir l'accélération et filtré à travers un filtre passe-bas avant de faire la transformée de Fourier (FFT) de l'onde. À partir du spectre en fréquence, le niveau de vibration par bandes de 1/3 d'octave a été calculé et l'effet de la vibration sur les humains a été évalué selon la norme ISO-2631-1 :1997 en appliquant la pondération  $W_k$  pour la perception et la pondération  $W_d$  pour les effets sur la santé.

### 3. RÉSULTATS ET ANALYSE

Les ondes de vibration mesurées à 15 m, sont présentées à la figure 1 et les niveaux de vitesse de particules sont présentés au tableau 1. Les vitesses de particules PPV et PVS sont inférieures aux valeurs guide de la norme DIN4150-3 : 1999 pour des résidences (vertical 10 mm/s, horizontal 5 mm/s). Lorsque ces valeurs sont observées, les vibrations ne devraient pas avoir d'effets défavorables sur la fonctionnalité de la structure.

Le ratio de vitesse de particule, sol gelé vs non gelé, est présenté au tableau 1. Les vibrations sont plus faibles lorsque le sol est gelé et l'atténuation est plus marquée à 15 m qu'à 45 m. Les vibrations du sol gelé sont plus atténuées dans le plan horizontal (T et L) que dans l'axe vertical (V). On note également que la fréquence de l'onde (ZFC) a diminué dans le plan horizontal, mais qu'elle a augmenté dans l'axe vertical. Ce comportement en fréquence peut possiblement expliquer que la vibration ait diminué plus fortement dans le plan horizontal. Lorsque le sol est gelé, il est plus rigide, ce qui change la réponse du sol lorsqu'il est soumis à une excitation. Si la fréquence d'excitation dans l'axe vertical s'est rapprochée d'une fréquence où la réponse est élevée, alors le niveau de vibration sera plus élevé. Par contre, si la fréquence d'excitation s'en éloigne, le niveau de vibration sera alors plus faible.

Les accélérations pondérées mesurées sont présentées au tableau 2. Les accélérations  $AW_k$  sont supérieures au seuil de perception de la norme ISO-2631-1 :1997 (axe dominant 15 mm/s<sup>2</sup>). Si des logements sont construits au site de mesure, il est possible que les occupants se plaignent, que le sol soit gelé ou non. Toutefois, les accélérations  $AW_d$  sont inférieures à la zone de précaution santé de la norme ISO-2631-1 :1997 (3200 mm/s<sup>2</sup> pour une durée d'exposition inférieure à 10 minutes) et ne devrait pas avoir d'effets sur la santé. Le ratio d'accélération mesuré, sol gelé vs non gelé, est présenté au tableau 2. Comme pour les vitesses de particules, les vibrations sont plus faibles lorsque le sol est

gelé et l'atténuation est plus marquée à 15 m qu'à 45 m. Les vibrations du sol gelé sont plus atténuées dans le plan horizontal (T et L) que dans l'axe vertical (V). On note aussi que les atténuations sont plus grandes en accélération en pondérée (Wd et Wk) qu'en vitesse de particule.

#### 4. CONCLUSION

Les relevés effectués supportent le fait que la vibration est atténuée lorsque le sol est gelé. Les atténuations observées sont plus faibles dans l'axe vertical que dans le plan horizontal et l'atténuation est plus prononcée près de la voie ferrée. Donc, pour la prévision des vibrations du passage d'un train, lorsque le sol est gelé, il est possible de considérer que la vibration sera égale ou inférieure au niveau de vibrations lorsque le sol n'est pas gelé, sans toutefois préciser le facteur d'atténuation. Les vibrations mesurées à 15 m et 45 m, sol gelé et non gelé, sont perceptibles, mais ne devraient pas avoir d'effets défavorables sur la fonctionnalité de la structure des bâtiments, ni sur la santé des occupants.

Ces observations ont été établies à partir de relevés à un seul site et pour un seul passage de train avec le sol gelé et non gelé. Il serait pertinent de procéder à des relevés additionnels pour confirmer les tendances.

Tableau 1 : Vitesse de particule

Sol	Distance (m)	PPV (mm/s)			ZCF (Hz)			PVS (mm/s)
		T	V	L	T	V	L	
Non gelé	15	4,9	3,8	3,5	28,0	9,0	24,0	5,0
	45	2,0	2,0	1,8	15,0	8,8	6,8	2,3
Gelé	15	1,0	2,7	0,8	6,7	24,0	6,4	2,7
	45	0,7	1,8	0,6	8,3	13,0	6,4	1,8
Ratio (%) gelé vs non gelé	15	20 %	72 %	24 %	24 %	267 %	27 %	54 %
	45	33 %	89 %	33 %	55 %	148 %	94 %	80 %

Figure 1 : Ondes de vibration mesurées à 15 m. a) sol non gelé et b) sol gelé

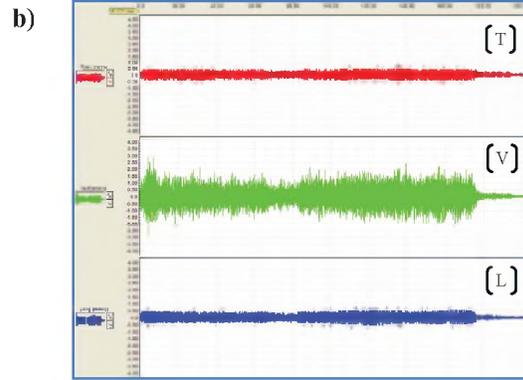
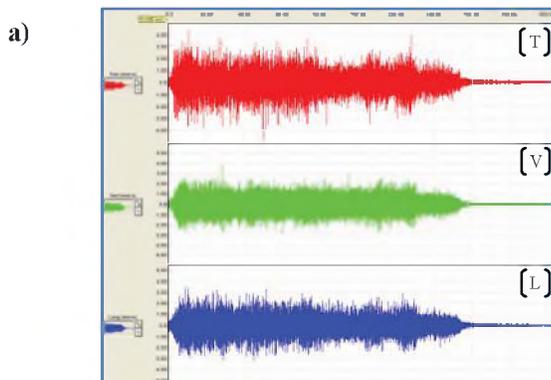


Tableau 2 : Accélération

Sol	Distance (m)	A (mm/s <sup>2</sup> rms)			AWk (mm/s <sup>2</sup> rms)			AWd (mm/s <sup>2</sup> rms)		
		T	V	L	T	V	L	T	V	L
Non gelé	15	132	99	114	53	47	46	10	9	9
	45	45	41	40	24	29	25	5	6	5
Gelé	15	28	88	28	10	35	11	2	6	2
	45	20	43	18	7	23	8	2	4	2
Ratio (%) gelé vs non gelé	15	22 %	89 %	24 %	19 %	76 %	23 %	24 %	74 %	26 %
	45	44 %	104 %	44 %	30 %	79 %	31 %	32 %	74 %	33 %

#### RÉFÉRENCES

1. Federal Transit Administration (2006). *Transit Noise and Vibration Impact Assessment*
2. O. Hunaidi, M. Tremblay, NRC (1997). *Traffic-induced building vibration in Montréal*, Can. J. Civ. Eng. 24: 736-753 (1997)
3. BNQ 1809-300/2004 (R2007), *Travaux de construction – Clauses techniques générales – Conduites d'eau potable et d'égout* (Bureau de normalisation du Québec)
4. ISO-2631-1 (1997). *Vibrations et chocs mécaniques – Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps – Partie 1 : Spécifications générales* (Organisation internationale de normalisation)
5. DIN4150-3 (1999). *Structural vibration – Part 3 : Effects of vibrations on structures* (Deutsches Institut für Normung)