

Mémoire technique – RSTC de la Ville de Québec

2021-05-21

Référence : FR01IT19A18-T-IDP3-MT-GE00-0015-D



RÉSEAU STRUCTURANT DE TRANSPORT EN COMMUN

MANDAT 10.2 – ÉTUDE VIBRATOIRE – RAPPORT COMPLÉMENTAIRE – BOULEVARD RENÉ-LÉVESQUE





MÉMOIRE TECHNIQUE

Mandat 10 – Étude vibratoire – Rapport complémentaire – Boulevard René-Lévesque

IDENTIFICATION DU DOCUMENT

N° du document SYSTRA Canada	FR01IT19A18-T-IDP3-MT-GE00-0015-D
N° du document client	N/A

RÉV.	DATE	MODIFICATION	PRÉPARÉ PAR	RÉVISÉ PAR	APPROUVÉ PAR
A	2021-04-12	Création du document	PR	EA/PT	ELH
B	2021-04-15	Mise à jour du document	PR	EA/PT	ELH
C	2021-05-07	Mise à jour suite commentaires	PR	EA/PT	ELH
D	2021-05-21	Reprises mineures	PR	EA/PT	ELH

Préparé par :

Pierre Ropars
Chargé d'études Vibrations

Signature

Révisé par :

Eric Augis
Responsable pôle Acoustique-Vibrations

Signature

Pascal Texier
Responsable Infrastructure

Signature

Approuvé par :

Éric Le Hir
Chargé de projet principal

Signature



TABLE DES MATIÈRES

1. OBJET DE L'ÉTUDE	1
2. DESCRIPTION DU PROJET MODIFIÉ	2
3. DÉMARCHE GÉNÉRALE	2
4. HYPOTHÈSES DE CALCUL	3
5. SITES ÉTUDIÉS	5
6. RÉSULTATS DE SIMULATIONS	7
6.1 SANS MESURES DE MITIGATION	7
6.2 AVEC MESURES DE MITIGATION	8
7. CONCLUSION	9
8. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	9

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs maximales recommandées de vitesse vibratoire (<i>LvSmax</i>) et de bruit solidaire (<i>LpASmax</i>) à l'intérieur des résidences et bâtiments de bureaux, pour des événements fréquents, selon recommandations de FTA [2]	2
Tableau 2 : Résultats de simulation des niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidaire avec une pose de voie courante.....	7
Tableau 3 : Résultats de simulation des niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidaire dans les bâtiments sensibles de la zone 3, avec une pose de voie avec appuis sous rail souples (niveau d'atténuation intermédiaire) ...	8

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan d'ensemble de l'insertion axiale du tramway le long du boulevard René-Lévesque	2
Figure 2 : Position des emplacements de mesure de transmissibilité des vibrations dans le sol (campagne d'essais de juillet 2019)	4
Figure 3 : Mobilités de transfert linéaires sur le sol à 12 m du tracé pour les sites 1 à 16, déterminées à partir des mobilités ponctuelles mesurées.....	4
Figure 4 : Présentation des bâtiments étudiés sur le boulevard René-Lévesque	5
Figure 5 : Présentation des bâtiments sensibles étudiés.....	7



1. OBJET DE L'ÉTUDE

Cette étude vise à analyser les risques d'impact vibratoire liés à l'exploitation de la section de la ligne de tramway insérée sur le boulevard René-Lévesque, entre l'avenue des Érables et l'avenue Turnbull. Cette étude fait suite à la définition de trois nouvelles variantes du projet dans ce secteur. Le précédent tracé de référence dans ce secteur prévoyait une insertion en tunnel, alors que les nouvelles variantes sont en surface. Les trois variantes étudiées peuvent être décrites comme suit :

- Variante 1 : Insertion axiale de la plateforme ferroviaire avec des voies partagées de part et d'autre et une forte diminution du trafic routier (par rapport à la situation existante) ;
- Variante 2 : Insertion latérale de la plateforme ferroviaire avec une seule voie de circulation de transit en direction Est et une diminution du trafic routier ;
- Variante 3 : Insertion axiale de la plateforme ferroviaire avec deux voies de circulation de transit et un trafic routier légèrement inférieur au trafic actuel, équivalente à la Variante 1 d'un point de vue vibratoire.

Conformément à la démarche mise en œuvre pour l'étude vibratoire de la ligne complète [1], l'étude a pour objectif d'identifier les potentiels impacts vibratoires le long du boulevard René-Lévesque. La démarche repose sur une estimation des niveaux vibratoires, et de bruit solidien, à l'intérieur de bâtiments représentatifs du secteur étudié.

L'objectif final étant de veiller à ce que l'impact soit minimal sur l'ensemble des bâtiments avoisinants, selon les critères du guide « FTA 2018 » [2], des mesures de réduction des vibrations sont proposées dans le cas où ces critères ne seraient pas respectés. Ces mesures consistent en l'insertion de systèmes de poses de voie antivibratile dans les zones concernées.

Il est à noter que sur un plan vibratoire, les variantes 1 et 3 sont équivalentes.

2. DESCRIPTION DU PROJET MODIFIÉ

La Figure 1 présente la variante 1 du projet, à savoir la ligne de tramway en insertion axiale sur le boulevard René-Lévesque, entre l'avenue des Érables et l'avenue Turnbull. La station de tramway « Cartier » est une station à quais décalés avec un quai de chaque côté de l'avenue Cartier. L'étude ne prend pas en compte la trémie, nécessitant des travaux de modélisation supplémentaires (prévus en phase d'études détaillées par le Partenaire privé).



Figure 1 : Plan d'ensemble de l'insertion axiale du tramway le long du boulevard René-Lévesque

3. DÉMARCHE GÉNÉRALE

La méthodologie de l'étude est identique à celle mise en œuvre pour l'étude de la ligne complète [1].

Les critères sont définis en termes de niveaux de vitesse vibratoire sur plancher et de bruit solgien dans les bâtiments sensibles étudiés, comme pour l'étude d'impact de la ligne complète [1]. Les valeurs cibles pour les deux catégories de bâtiments en présence dans les secteurs étudiés sont indiquées dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Valeurs maximales recommandées de vitesse vibratoire (L_{vSmax}) et de bruit solgien (L_{pASmax}) à l'intérieur des résidences et bâtiments de bureaux, pour des événements fréquents, selon recommandations de FTA [2]

Catégorie de bâtiment selon usage	Niveau de vitesse vibration $L_v \text{ m/s}$ sur plancher (dB ref. 5.10^{-8} m/s)	Niveau de bruit solgien $L_p \text{ m/s}$ (dB(A) ref. $20 \mu\text{Pa}$)
Résidences, maisons, hôtels (Catégorie 2)	66 (0.1 mm/s rms)	35
Bureaux, écoles, garderie, bibliothèque (Catégorie 3)	69 (0.14 mm/s rms)	40

La méthodologie peut se résumer comme suit :

- La première étape consiste à identifier les bâtiments/récepteurs sensibles à étudier dans cette nouvelle configuration du projet ;
- La deuxième étape consiste à calculer les niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solgien dans les bâtiments sélectionnés, pour une pose de voie courante, c'est-à-dire sans mesures de mitigation ;
- Dans le cas où un dépassement des critères fixés en termes de niveau de vitesse vibratoire et de bruit solgien pour un ou plusieurs des bâtiments étudiés serait constaté, l'effet apporté par une pose de voie antivibratile de performances appropriées pour atteindre les valeurs cibles est simulé pour contrôle.

Pour rappel, trois types de pose de voie antivibratile fréquemment utilisés pour les lignes de tramway, ont été envisagés dans le cadre de l'étude d'impact vibratoire sur la ligne complète [1]. Les performances d'atténuation vibratoire de ces poses de voie antivibratile sont caractérisées par leur courbe de pertes par insertion. Ces courbes correspondent aux valeurs d'atténuation des émissions vibratoires observées le long d'une pose de voie antivibratile considérée par rapport à celles constatées au même endroit dans le cas d'une pose de voie de référence, sans atténuation. Ces valeurs sont fournies en général pour toutes les bandes de tiers d'octave utiles (entre 10 Hz et 250 Hz environ). La pose de voie de référence est une pose de voie directe sur dalle béton, dont les semelles sous rail présentent une raideur dynamique élevée (supérieure à 150 kN/mm). Les trois types de pose de voie considérés sont :

- Une pose de voie sur dalle béton avec des semelles sous rail assouplies (environ égale à 50-60 kN/mm par support) ou équivalent ;
- Une pose de voie sur une dalle flottante reposant sur un tapis de matériau résilient courant et d'épaisseur environ égale à 15 mm ;
- Une pose de voie sur une dalle flottante reposant sur un tapis de matériau très souple et d'épaisseur environ égale à 25 mm.

Pour les sites très sensibles aux vibrations et proches du tracé, il est également possible d'envisager une pose de voie sur dalle flottante reposant sur des bandes ou des plots très résilients pour augmenter l'efficacité vibratoire (cas peu courant toutefois).

4. HYPOTHÈSES DE CALCUL

A l'exception du tracé lui-même et de la vitesse d'exploitation dans le secteur concerné, les hypothèses de calcul restent identiques à celles utilisées dans l'étude d'impact vibratoire sur la ligne complète [1].

- **Emissions vibratoires du tramway :**

Les spectres d'émission vibratoire du matériel roulant aux différentes vitesses sont identiques à ceux utilisés lors de l'étude de la ligne complète. La vitesse de circulation du tramway sur le nouveau tracé du boulevard René-Lévesque est de 30 km/h, de l'avenue des Érables jusqu'à la nouvelle trémie.

Aucun appareil de voie n'est prévu dans le secteur étudié.

- **Transmissibilité des vibrations dans le sol (mobilités de transfert) :**

Les propriétés de transmissibilité des vibrations dans le sol ont été mesurées sur un total de 16 sites répartis le long du tracé. Pour les sites étudiés dans ce rapport, les données mesurées sur le site d'essai « sol 10 » et illustrées sur la figure 2 et 3 du rapport [1], ont été utilisées.



**Figure 2 : Position des emplacements de mesure de transmissibilité des vibrations dans le sol
(campagne d'essais de juillet 2019)**

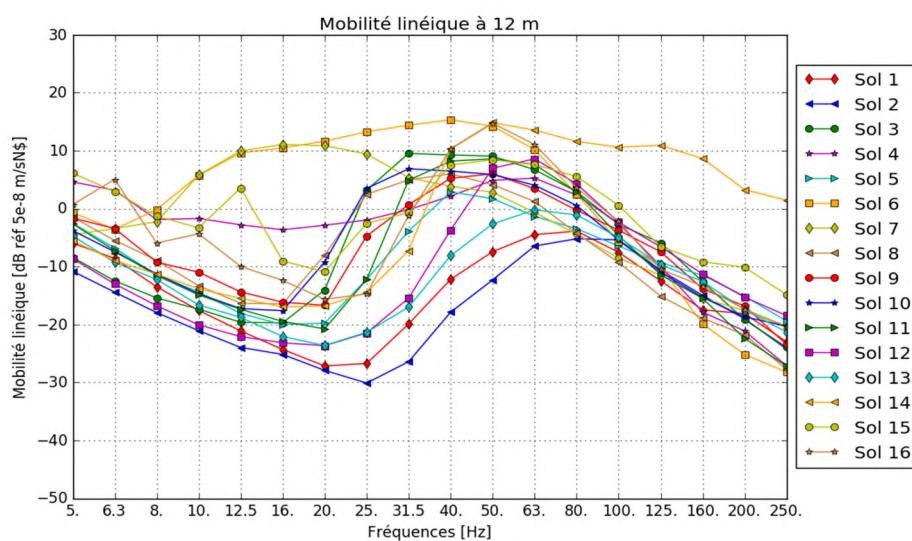


Figure 3 : Mobilités de transfert linéiques sur le sol à 12 m du tracé pour les sites 1 à 16, déterminées à partir des mobilités ponctuelles mesurées.

5. SITES ÉTUDIÉS

Comme illustré sur la Figure 4, le secteur étudié est divisé en quatre zones :

- La zone 1 s'étend de l'avenue des Érables à l'avenue De Bourlamaque;
- La zone 2 s'étend de l'avenue De Bourlamaque à l'avenue Cartier;
- La zone 3 s'étend de l'avenue Cartier à l'avenue De Salaberry;
- La zone 4 s'étend de l'avenue De Salaberry à l'avenue Turnbull.

Pour chaque zone, deux bâtiments sont sélectionnés. Ces bâtiments présentent une sensibilité aux vibrations représentative de l'ensemble des bâtiments de la zone concernée. Il n'existe pas de bâtiments présentant une sensibilité particulière dans ce secteur. Les bâtiments sélectionnés sont désignés comme suit :

- Bâtiments BR Ad1a et BR Ad1b pour la zone 1;
- Bâtiments BR Ad2a et BR Ad2b pour la zone 2;
- Bâtiments BR Ad3a et BR Ad3b pour la zone 3;
- Bâtiments BR Ad4a et BR Ad4b pour la zone 4.

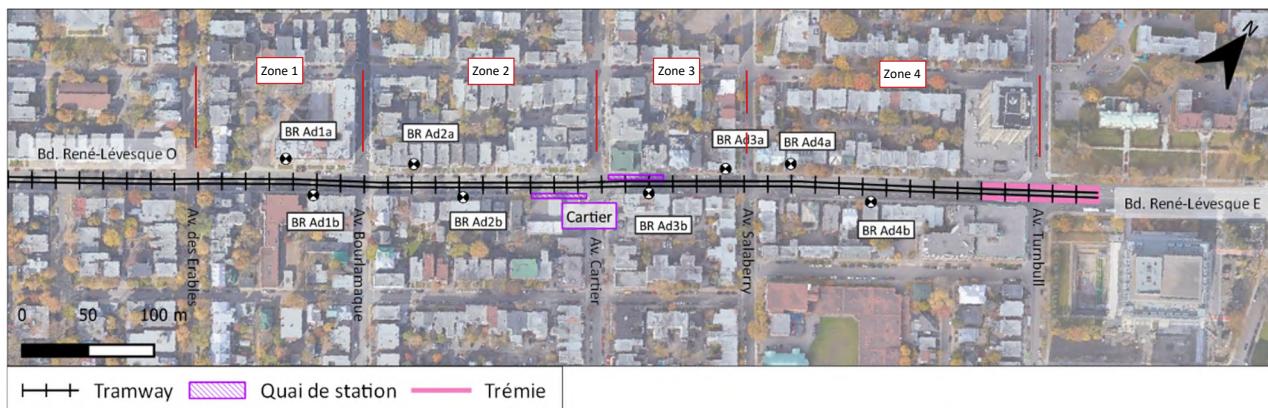


Figure 4 : Présentation des bâtiments étudiés sur le boulevard René-Lévesque

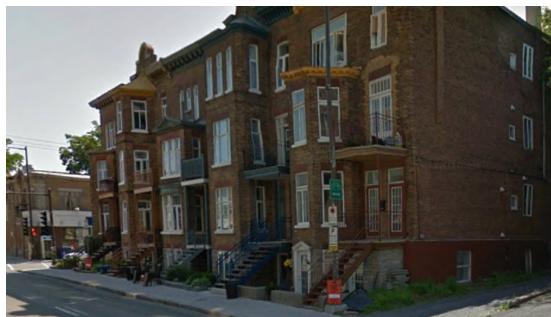
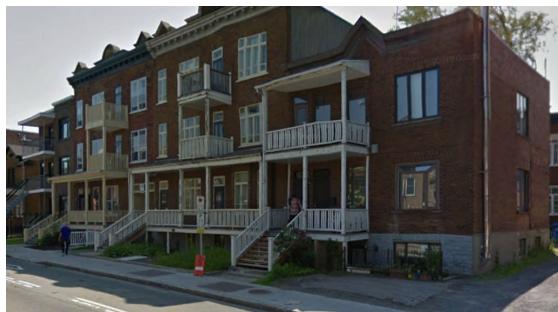
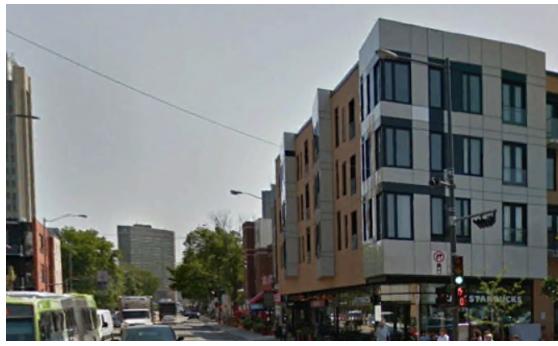
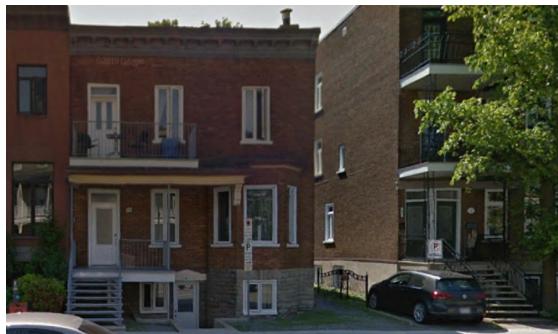
BR Ad1a : Résidence**BR Ad1b : Résidence****BR Ad2a : Résidence****BR Ad2b : Résidence****BR Ad3a: Résidence****BR Ad3b : Commerces & Bureaux****BR Ad4a : Résidence****BR Ad4b : Résidence**

Figure 5 : Présentation des bâtiments sensibles étudiés

6. RÉSULTATS DE SIMULATIONS

6.1 SANS MESURES DE MITIGATION

Cette section présente les résultats obtenus pour les huit bâtiments sensibles sélectionnés sur le boulevard René-Lévesque, en considérant une pose de voie courante (sans dispositif d'atténuation). Les résultats sont présentés dans le Tableau 2, en termes de niveaux de vitesse vibratoire sur le plancher (L_{vSmax}) et de niveaux de bruit solide (L_{pASmax}) à l'intérieur des bâtiments sensibles sélectionnés, et sont comparés aux valeurs cibles. Pour faciliter la lecture, les valeurs en excès des valeurs cibles sont indiquées en rouge.

Dans la colonne de droite, le niveau de risque d'impact est indiqué en appliquant le code couleur défini ci-après :

	Risque d'impact nul ou très faible
	Risque d'impact modéré
	Risque d'impact fort

Tableau 2 : Résultats de simulation des niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solide avec une pose de voie courante

ID Site	Désignation site	Adresse	Destination	Distance entre ligne et bâtiment (m)		Résultats de simulation						Risque d' impact
				Variantes 1 et 3	Variante 2	Niveaux vibratoires (dBv)			Niveaux de bruit solide (dBA)			
BR Ad1a	Habitations	991 Avenue des Érables	Résidence	10.5	8	66	63	65	35	28	31	
BR Ad1b	Habitations	215 Boulevard René-Lévesque	Résidence	8	10.5	66	65	63	35	31	28	
BR Ad2a	Habitations	184 Boulevard René-Lévesque	Résidence	10.5	8	66	63	65	35	28	31	
BR Ad2b	Habitations	153 Boulevard René-Lévesque	Résidence	8	10.5	66	65	63	35	31	28	
BR Ad3a	Habitations	998 Avenue Salaberry	Résidence	7	4.5	66	66	68	35	32	36	
BR Ad3b	Commerce 'Chocolats Favoris'	85 Boulevard René-Lévesque	Commerce & bureaux	7	9.5	69	61	58	40	39	35	
BR Ad4a	Habitations	12 Boulevard René-Lévesque	Résidence	10.5	8	66	63	65	35	28	31	
BR Ad4b	Habitations	29a Boulevard René-Lévesque	Résidence	8	10.5	66	65	63	35	31	28	

Commentaires :

Pour les variantes du projet 1 et 3 (en insertion axiale), les niveaux de vitesse vibratoire sur plancher et les niveaux de bruit solide générés à l'intérieur des bâtiments, par le tramway en exploitation pour le cas d'une pose de voie courante (sans mesures de mitigation), respectent les seuils définis, pour tous les bâtiments sensibles sélectionnés. En d'autres termes, le risque d'impact vibratoire pour ces deux variantes du projet, sans dispositif d'atténuation des vibrations, est très faible.

Pour la variante 2, le niveau de vitesse vibratoire ainsi que le niveau de bruit solide dépasse les valeurs cibles de 2 et 1 dB respectivement dans un bâtiment de la zone 3 (BR Ad3a). Les seuils sont respectés dans tous les autres bâtiments. Le risque d'impact vibratoire pour la variante 2, sans dispositif d'atténuation des vibrations, est très faible sur les zones 1, 2 et 4. Pour la zone 3, il est nécessaire de prévoir une pose de voie avec dispositif de réduction pour respecter les seuils.

6.2 AVEC MESURES DE MITIGATION

Cette section présente, pour la variante de projet 2, les résultats obtenus pour les deux bâtiments sensibles BR Ad3a et BR Ad3b de la zone 3, en considérant une pose de voie avec appuis sous rail souples, présentant un niveau d'atténuation vibratoire intermédiaire. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2, en termes de niveaux de vitesse vibratoire sur le plancher (L_{vSmax}) et de niveaux de bruit solide (L_{pASmax}) à l'intérieur des deux bâtiments sensibles étudiés, et sont comparés aux valeurs cibles.

Tableau 3 : Résultats de simulation des niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solide dans les bâtiments sensibles de la zone 3, avec une pose de voie avec appuis sous rail souples (niveau d'atténuation intermédiaire)

ID Site	Désignation site	Adresse	Destination	Distance (m) – Variante 1 et 3	Distance (m) – Variante 2	Résultats de simulation			
						Niveaux vibratoires (dBv)		Niveaux de bruit solide (dBA)	
						Valeur cible	Variante 2	Valeur cible	Variante 2
BR Ad3a	Habitations	998 Avenue Salaberry	Résidence	7	4.5	66	66	35	33
BR Ad3b	Commerce 'Chocolats Favoris'	85 Boulevard René-Lévesque	Commerce & bureaux	7	9.5	69	56	40	31

La mise en place, pour la variante 2, d'une pose de voie sur semelles assouplies sur la zone 3, permet de réduire de 2 à 4 dB, les niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solide à l'intérieur des deux bâtiments concernés. Il en résulte que les valeurs cibles sont respectées dans les bâtiments étudiés, ce qui signifie



qu'en utilisant une telle pose de voie antivibratile, le risque d'impact lié aux vibrations du tramway devient très faible.

7. CONCLUSION

Les simulations réalisées pour les bâtiments sensibles sélectionnés sur le boulevard René-Lévesque pour les trois variantes du projet entre l'avenue des Erables et l'avenue Turnbull, ont permis de calculer les niveaux de vibration et de bruit solidien dans les bâtiments, puis de les comparer aux valeurs cibles fixées d'après les recommandations du guide FTA [2].

Ces simulations ont d'abord été réalisées pour une pose de voie courante (sans dispositif d'atténuation des vibrations) pour les trois variantes. Les résultats obtenus pour les variantes 1 et 3 (avec insertion axiale du tramway), indiquent que les valeurs cibles sont respectées dans tous les bâtiments étudiés.

Pour la variante 2, les valeurs cibles en vibration et en bruit solidien sont légèrement dépassées dans un bâtiment sélectionné entre l'avenue Cartier et l'avenue De Salaberry. En conséquence, il est nécessaire dans cette zone de prévoir une pose de voie antivibratile. Les niveaux de vibrations et de bruit solidien obtenus en simulant l'effet apporté par une pose de voie avec appuis sous rails assouplis (pose avec niveau d'atténuation intermédiaire) respectant les valeurs cibles.

8. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- [1] Mandat 10.1 – Mémoire Technique – rapport Étude Vibratoire (Référence : FR01T19A18-T-IDP3-MT-GE00-0005-B)
- [2] Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual. FTA Report No. 0123 (2018).
- [3] M. Villot, E. Augis, C. Guigou-Carter, P. Jean, P. Ropars, S. Bailhache & C. Gallais (2016) Vibration emission from railway lines in tunnel – characterization and prediction, International Journal of Rail Transportation, 4:4, 208-228, DOI: 10.1080/23248378.2016.1220267. To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/23248378.2016.1220267>