



RÉSEAU STRUCTURANT DE TRANSPORT EN COMMUN

MANDAT 10.2 – ETUDE VIBRATOIRE – RAPPORT COMPLÉMENTAIRE - MODIFICATION DU TRACÉ DANS LES SECTEURS SAINTE-FOY (TW06) ET PÔLE SAINT-ROCH (TW11)





MÉMOIRE TECHNIQUE

Mandat 10.2 – Étude vibratoire – Rapport complémentaire - Modification du Tracé dans les secteurs Sainte-Foy (TW06) et Pôle Saint-Roch (TW11)

IDENTIFICATION DU DOCUMENT	
N° du document SYSTRA Canada	FR01IT19A18-T-IDP3-MT-GE00-0009-A
N° du document client	N/A

RÉV.	DATE	MODIFICATION	PRÉPARÉ PAR	RÉVISÉ PAR	APPROUVÉ PAR
A	2020-04-14	Création du document	PR	EA/DR	ELH/RT

Préparé par :

Pierre Ropars
Chargé d'études Vibrations

Signature

Révisé par :

Eric Augis
Responsable pôle Acoustique-Vibrations

Signature

Didier Rancourt
Spécialiste – Études environnementales

Signature

Approuvé par :

Éric Le Hir
Chargé de projet principal

Signature

Romain Taillandier, ing
Responsable Transport Urbain

Signature



TABLE DES MATIÈRES

1. OBJET DE L'ÉTUDE	1
2. DESCRIPTION DU TRACÉ MODIFIÉ	1
3. RAPPELS MÉTHODOLOGIQUES	4
4. RESULTATS DE SIMULATION SANS MESURES DE MITIGATION	11
5. CONCLUSION	13
6. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	13

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs maximales recommandées de vitesse vibratoire (<i>LvSmax</i>) et de bruit solidien (<i>LpASmax</i>) à l'intérieur des résidences et bâtiments de bureaux, pour des événements fréquents, selon recommandations de FTA [2]	4
Tableau 2 : Niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidien calculés dans les bâtiments sensibles du secteur du pôle Saint-Roch	11
Tableau 3 : Niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidien calculés dans les bâtiments sensibles du secteur du pôle Sainte-Foy	12

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Version initiale et nouvelle version du tracé dans le secteur du pôle d'échange Saint-Roch (TW11)	2
Figure 2 : Version initiale et nouvelle version du tracé au voisinage de la station Pôle Sainte-Foy (TW06)	3
Figure 3 : Identification des bâtiments étudiés dans le quartier Sainte-Foy (TW06)	5
Figure 4 : Identification des bâtiments étudiés dans le secteur du pôle Saint-Roch (TW11)	5
Figure 5 : Fonction d'amplification des niveaux de force au passage de la lacune d'un appareil de voie (extrait de [3])	8
Figure 6 : Vitesse de circulation du tramway sur le nouveau tracé dans le secteur Sainte-Foy (TW06)	9
Figure 7 : Position des emplacements de mesure de transmissibilité des vibrations dans le sol (campagne d'essais de juillet 2019)	9
Figure 8 : 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.	10



1. OBJET DE L'ÉTUDE

Suite au dépôt du dossier d'étude d'impact acoustique et vibratoire relatif au projet de la ligne de tramway du RSTC de la Ville de Québec, plusieurs modifications significatives du tracé ont été décidées, nécessitant une mise à jour des études.

Cette étude vise à caractériser le risque d'impact vibratoire dans les zones présentant les changements de tracé, à savoir les secteurs proches du pôle d'échange Sainte-Foy (TW06) et du pôle d'échange Saint-Roch (TW11). Il est à noter que dans le secteur Sainte-Foy, le tracé initialement en tunnel est à présent en surface.

2. DESCRIPTION DU TRACÉ MODIFIÉ

1.1. SECTEUR POLE D'ÉCHANGE SAINT-ROCH (TW11)

La Figure 1 présente le tracé de la ligne de tramway considérée dans l'étude initiale en jaune, ainsi que le nouveau tracé de référence en violet.

Le tracé initial emprunte la Rue de la Couronne puis l'Autoroute Laurentienne avant de rejoindre la Rue de la Croix Rouge.

Le nouveau tracé étudié ici empruntera une portion de la Rue du Chalutier dans le prolongement de la Rue de la Couronne. Ce tracé s'insère à proximité d'immeubles résidentiels de plusieurs étages (entourés en vert sur la figure), risquant d'être impactés.

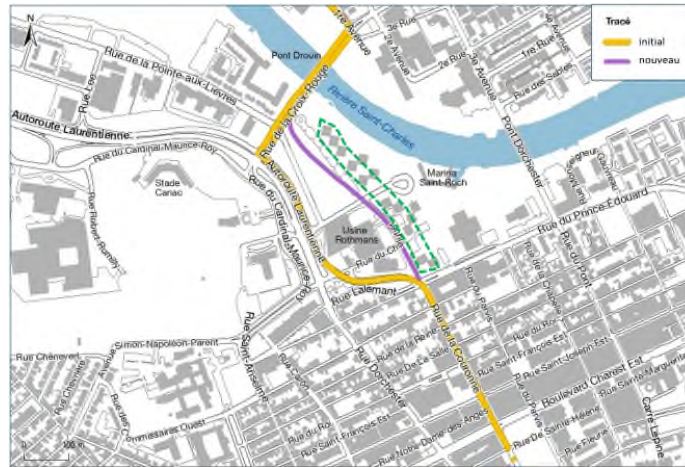


Figure 1 : Version initiale et nouvelle version du tracé dans le secteur du pôle d'échange Saint-Roch (TW11)

1.2. SECTEUR POLE D'ÉCHANGE SAINTE-FOY (TW06)

La Figure 2 présente le tracé initial de la ligne de tramway dans le secteur du pôle d'échange Sainte-Foy en violet, ainsi que le nouveau tracé de référence en jaune.

Le tracé initial prévu en souterrain, traverse le Boulevard Hochelaga puis longe l'avenue Lavigerie avant de remonter en surface au niveau du Boulevard Laurier (proche du bâtiment l'Édifice Le Delta).

Le nouveau tracé de référence, étudié dans cette note, est en surface. La ligne croise le Boulevard Hochelaga puis rejoint le Boulevard Laurier en traversant le parking d'Industriel Alliance (localisation de la station Sainte-Foy). Ce tracé s'insère à proximité de bâtiments administratifs, scolaires ou bureaux, risquant d'être impactés.

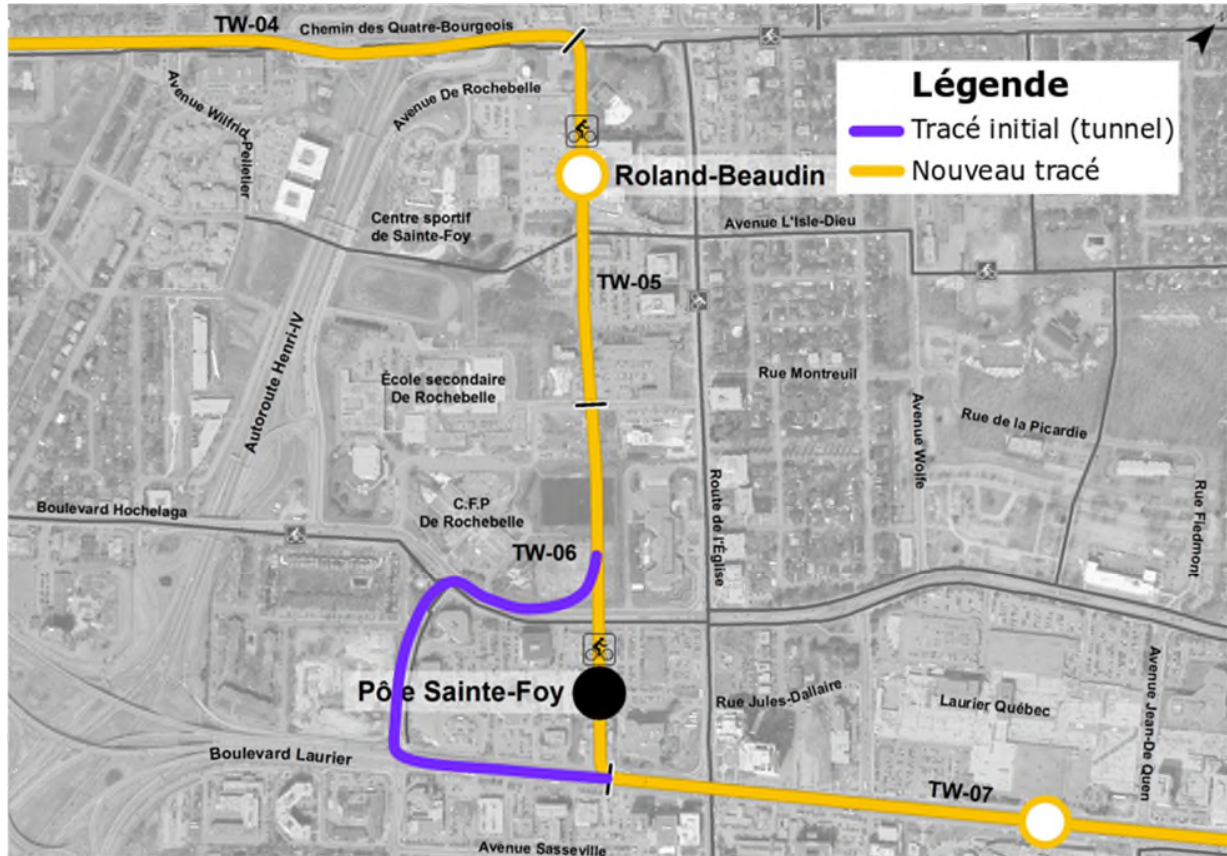


Figure 2 : Version initiale et nouvelle version du tracé au voisinage de la station Pôle Sainte-Foy (TW06)

3. RAPPELS MÉTHODOLOGIQUES

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

Les critères en termes de niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidien appliqués pour ce complément d'étude sont identiques à ceux appliqués pour l'étude d'impact acoustique de la ligne complète [1]. Un résumé des valeurs cibles pour les deux types de bâtiments en présence dans les secteurs étudiés (résidences ou bâtiments où les gens dorment couramment, bâtiments de bureaux ou écoles) sont indiquées dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Valeurs maximales recommandées de vitesse vibratoire (L_{vSmax}) et de bruit solidien (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_{vSmax} sur plancher (dBv réf. 5.10^{-8} m/s)	Niveau de bruit solidien L_{pASmax} (dB(A) réf. $20\mu Pa$)
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 ;
- La deuxième étape consiste à calculer les niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidien 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 solidien 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 anti-vibratile 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 anti-vibratiles sont caractérisées par leur courbe de pertes par insertion, qui correspond aux valeurs d'atténuation des émissions vibratoires observées le long d'une pose de voie anti-vibratile considérée par rapport à celles constatées au même endroit dans le cas d'une pose 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).

Les bâtiments sensibles choisis pour l'analyse sont représentés sur les figures ci-dessous.

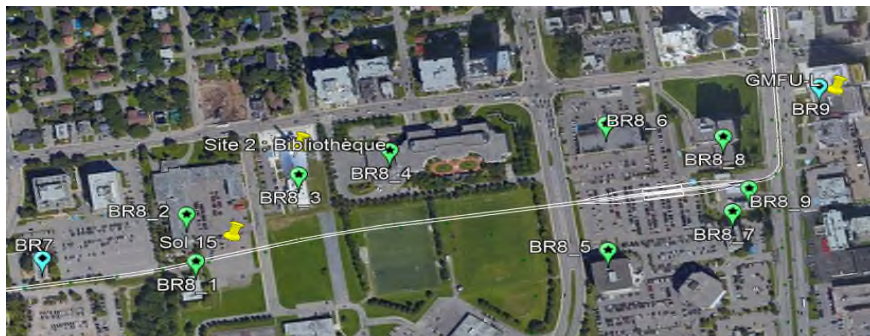


Figure 3 : Identification des bâtiments étudiés dans le quartier Sainte-Foy (TW06)

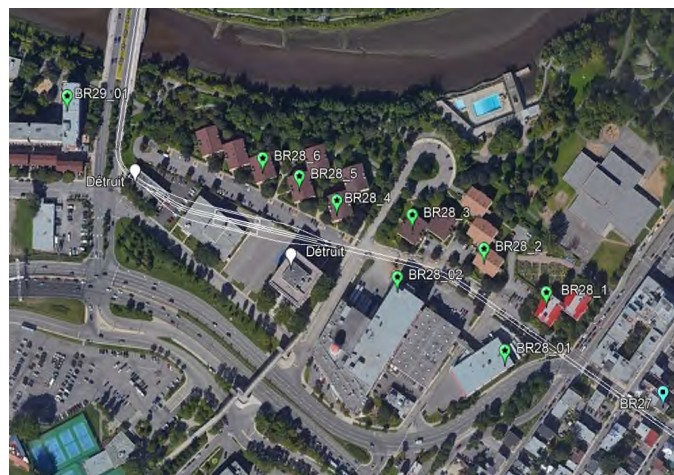


Figure 4 : Identification des bâtiments étudiés dans le secteur du pôle Saint-Roch (TW11)

Un bref descriptif des bâtiments sensibles étudiés est apporté ci-dessous :

RSTC de la Ville de Québec



Mandat 10.2 – Étude vibratoire – Rapport complémentaire -
Modification du Tracé dans les secteurs Sainte-Foy (TW06) et Pôle
Saint-Roch (TW11)

Mémoire technique

FR01IT19A18-T-IDP3-MT-GE00-0009-A

2020-04-14

<p>BR8_1 : Résidence du centre Bon Pasteur</p> 	<p>BR8_2 : Centre du Phénix</p> 
<p>BR8_3 : Bibliothèque, Centre culturel</p> 	<p>BR8_4 : Bureau d'arrondissement de Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge</p> 
<p>BR8_5 : Bureaux, Multiforce</p> 	<p>BR8_6 : Commerce (Canadian Tire)</p> 
<p>BR8_7 : Commerce (McDonald's)</p> 	<p>BR8_8 : Bureau des infractions et amendes</p> 
<p>BR8_9 : Commerce (Dépanneur, Couche Tard)</p> 	

<p>BR28_01 : Industrie et Bureaux</p> 	<p>BR28_02 : Industrie, Bureaux</p> 
<p>BR28_1 : Résidence</p> 	<p>BR28_2 : Résidence</p> 
<p>BR28_3 : Résidence</p> 	<p>BR8_4 : Résidence</p> 
<p>BR28_5 et BR28_6 : Résidences</p> 	<p>BR29_01 : Résidences Village de L'Anse, Centre de la petite enfance L'Anse aux Lièvres</p> 

A l'exception du tracé lui-même et de la vitesse d'exploitation dans le secteur concerné, les hypothèses de calcul restent les mêmes que 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 dans le secteur Sainte-Foy est présentée sur la Figure 6. Sur le secteur près du pôle Saint-Roch, une vitesse maximale de 30 km/h est considérée sur toute la section.

L'influence des forces d'impact au passage des appareils de voie sur les niveaux d'émission vibratoire a été prise en compte en suivant les recommandations de l'article [3]. Cette composante additionnelle concerne uniquement les bâtiments sensibles situés à faible distance du cœur de l'appareil de voie, à savoir les bâtiments BR8_8 et BR8_9 pour le secteur Sainte-Foy et BR28_4 pour le secteur du pôle Saint-Roch.

Le principe utilisé pour caractériser l'effort ponctuel au passage de l'appareil de voie est décrit dans [3] : une fonction d'amplification des niveaux de force, notée ΔL_F , est calculée. Il s'agit du rapport en dB entre la force ponctuelle exercée au passage de la lacune du cœur de l'appareil de voie et la densité de force pour la section de voie courante de part et d'autre du cœur de l'appareil de voie. Cette fonction d'amplification ΔL_F en décibels est tracée sur la Figure 5 ci-dessous.

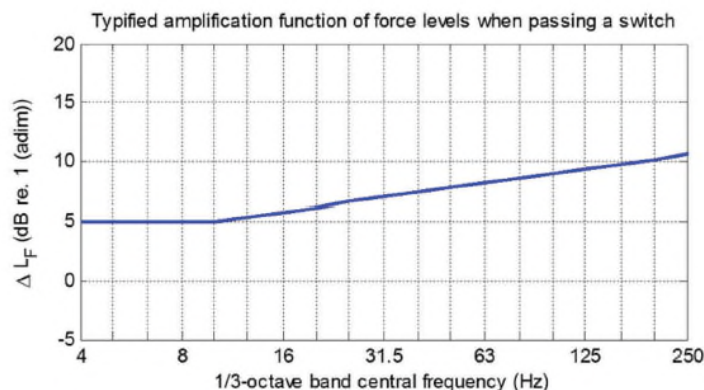


Figure 12. Typified amplification function of force levels when passing a switch.

Figure 5 : Fonction d'amplification des niveaux de force au passage de la lacune d'un appareil de voie (extrait de [3])

- **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 le secteur du pôle Saint-Roch, les données mesurées sur le site d'essai « sol 8 » et illustrées sur la figure 23 du rapport [1], ont été utilisées. Pour les sites étudiés dans le secteur Sainte-Foy, les données utilisées sont celles mesurées sur le site d'essai « sol 15 » et illustrées sur la Figure 8 ci-dessous. Pour rappel, selon la méthode décrite dans le guide FTA [2], la détermination des niveaux de vitesse vibratoire sur le sol en pied de bâtiment sensible requiert la détermination de la mobilité de transfert linéique (représentant les niveaux de vitesse vibratoire obtenus

sur la surface du sol à une distance donnée du tracé au passage du tramway, assimilé à une source linéique générant une densité de force unitaire).

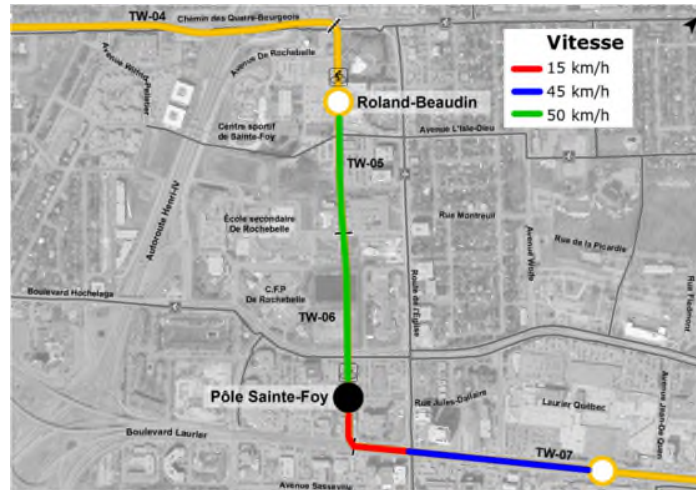


Figure 6 : Vitesse de circulation du tramway sur le nouveau tracé dans le secteur Sainte-Foy (TW06)

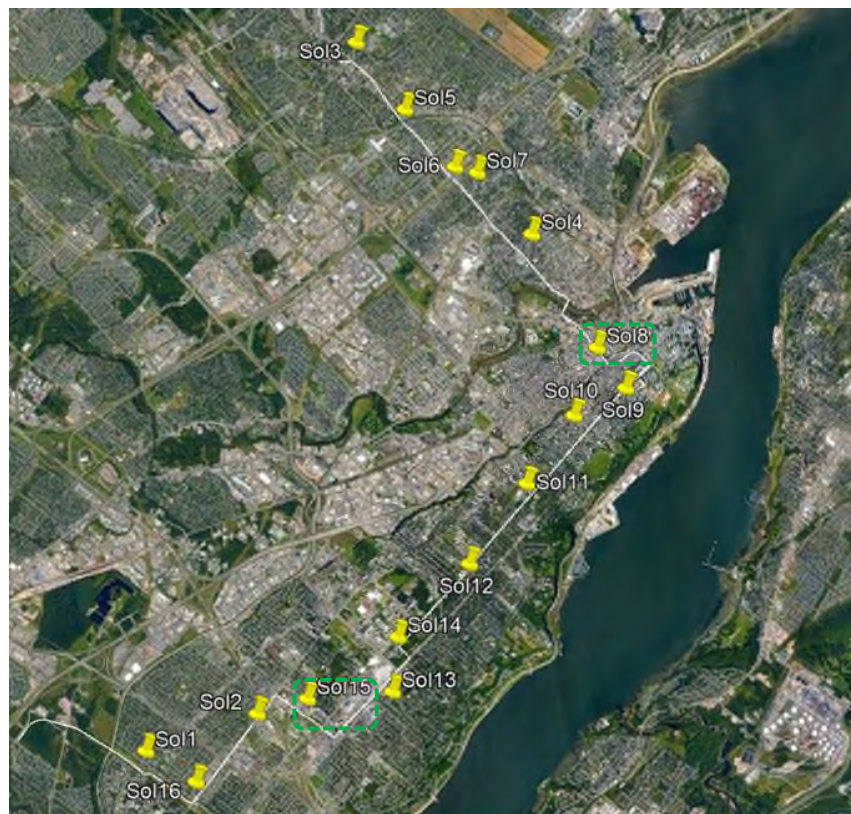


Figure 7 : Position des emplacements de mesure de transmissibilité des vibrations dans le sol (campagne d'essais de juillet 2019)

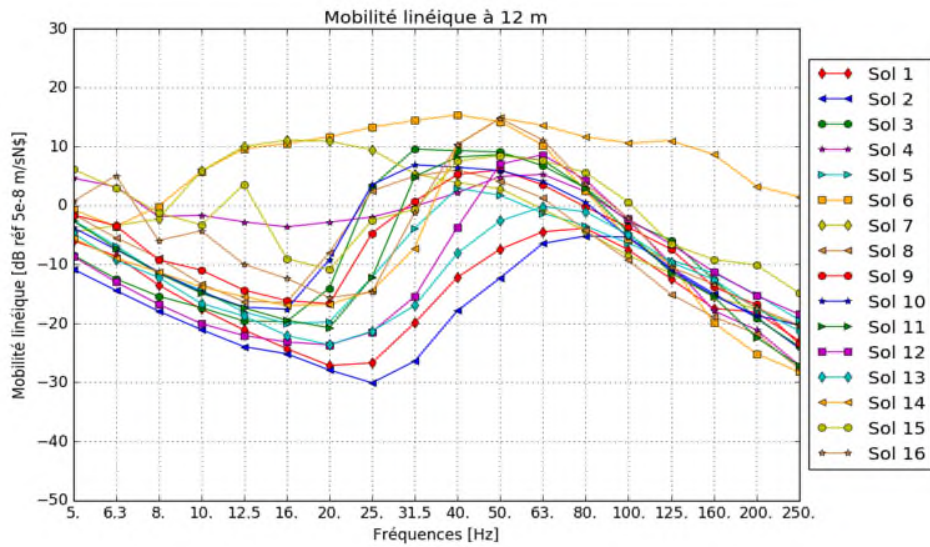


Figure 8 : Mobilités de transfert linéiques sur le sol à 12 m du tracé pour les sites 1 à 16, déterminées à partir des mobilités ponctuelles mesurées.

4. RESULTATS DE SIMULATION SANS MESURES DE MITIGATION

Les tableaux suivants fournissent les résultats des simulations des niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidien dans les bâtiments sensibles sélectionnés au voisinage des secteurs au voisinage du pôle Saint-Roch (Tableau 2) et de la station Pôle Sainte-Foy (Tableau 3).

Le code couleur utilisé dans la colonne de droite du tableau de résultats présenté ci-dessous pour indiquer le niveau de risque d'impact est le suivant :

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

Tableau 2 : Niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidien calculés dans les bâtiments sensibles du secteur du pôle Saint-Roch

ID Site	Désignation site/bâtiment	Adresse	Destination	Distance (m)	Vitesse tramway (km/h)	Description bâtiment		Résultats de simulation				Risque d'impact
						Nombre étages	Type bâtiment	Niveaux vibratoires (dBv)		Niveaux de bruit solidien (dBA)		
								Valeur cible	Pose courante	Valeur cible	Pose courante	
BR28_01	Rothmans Benson & Hedges Inc	337 Rue du Chalutier	Bureaux	20	30	2	2	69	53	40	26	
BR28_02	Rothmans Benson & Hedges Inc	15-1 Rue des Embarcations	Industrie	17	30	nc	2	69	56	40	29	
BR28_1	Habitations	225 rue du Chalutier	Résidence	12	30	4	2	66	62	35	32	
BR28_2	Habitations	225 rue du Chalutier	Résidence	19	30	3	2	66	54	35	27	
BR28_3	Habitations	416 Rue des Embarcations	Résidence	14	30	3	2	66	60	35	31	
BR28_4	Habitations	390 Rue des Embarcations	Résidence	17	30	3	2	66	60	35	31	
BR28_5	Habitations	380 Rue des Embarcations	Résidence	20	30	3	2	66	53	35	26	
BR28_6	Habitations	350 Rue des Embarcations	Résidence	28	30	3	2	66	45	35	21	
BR29_01	L'Anse aux Lièvres	330 Rue de la Croix-Rouge	Crèche	25	30	1	2	66	48	35	23	

Tableau 3 : Niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidien calculés dans les bâtiments sensibles du secteur du pôle Sainte-Foy

ID Site	Désignation site/bâtiment	Adresse	Destination	Distance (m)	Vitesse tramway (km/h)	Description bâtiment		Résultats de simulation				Risque d'impact
						Nombre étages	Type bâtiment	Niveaux vibratoires (dBv)		Niveaux de bruit solidien (dBA)		
								Valeur cible	Pose courante	Valeur cible	Pose courante	
BR8_1	Centre bon pasteur	1094 Rte de l'Église	Résidence	15	50	2	2	66	62	35	34	
BR8_2	Centre du Phénix	1094 Rte de l'Église	Centre formation	24	50	2	2	69	54	40	27	
BR8_3	Bibliothèque Monique-Corriveau	1100 Rte de l'Église	Bibliothèque	50	50	2	2	66	28	35	10	
BR_4	Bureau d'arrondissement	1130 Rte de l'Église	Bureaux	53	50	2	2	69	25	40	8	
BR_5	Multiforce	2954 Boulevard Laurier	Bureaux	75	50	8	2	69	4	40	-5	
BR_6	Canadien Tire	1170 Rte de l'Église	Commerce	57	50	1	2	69	21	40	6	
BR_7	Mc Donald's	2950 Boulevard Laurier	Commerce	49	50	3	2	69	29	40	11	
BR_8	Édifice Louis-Philippe-Pigeon	1200 Route de l'Église	Bureaux	22	15	9	2	69	50	40	25	
BR_9	Couche Tard	2940 Boulevard Laurier	Commerce	20	15	1	2	69	51	40	26	

Commentaires :

Les niveaux de vitesse vibratoire et de bruit solidien par le tramway en exploitation sur les deux secteurs étudiés, pour la pose de voie de référence (sans atténuation), sont inférieurs aux seuils définis dans tous les bâtiments sensibles sélectionnés.

Par conséquent, il n'est pas nécessaire de prévoir de pose de voie anti-vibratile sur les deux secteurs étudiés.



5. CONCLUSION

Les simulations réalisées pour les bâtiments sensibles sélectionnés dans les secteurs Sainte-Foy et pôle Saint-Roch indiquent des niveaux de vibration et de bruit solidien inférieurs aux valeurs limites fixées d'après les recommandations du guide FTA [2], ceci en l'absence de mesures de mitigation, c'est-à-dire en considérant une pose de voie classique sans dispositif d'atténuation des vibrations. Cela concerne l'ensemble des bâtiments sensibles situés dans les deux secteurs.

En d'autres termes, les résultats indiquent un risque d'impact lié aux vibrations générées en phase d'exploitation du tramway, nul ou très faible.

6. 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>