



Bruit du passage des voitures sur le segment entre L'Île-des-Sœurs et Griffintown

Synthèse – Analyse et mesures d'atténuation
identifiées

Septembre 2023

Réseau
express
métropolitain



Table des matières

Cadre réglementaire	3
Campagne de relevés sonores	3
Diagnostic acoustique par la firme SYSTRA	4
Mesures d'atténuation identifiées.....	5
Prochaines étapes	9
Annexe 1 – Politique sur le bruit routier (grille d'analyse)	
Annexe 2 – Campagne de relevés sonores	
Annexe 3 – Rapport de la firme SYSTRA	
Annexe 4 – Fiche technique des sonomètres	

Cadre réglementaire

Le gouvernement du Québec a émis un décret qui fixe les conditions d'autorisation du REM. Le cadre réglementaire en question prévoit la réalisation d'une modélisation sonore du REM en opération, la mise en place des mesures d'atténuation requises en cas d'impacts significatifs, ainsi que la réalisation d'un programme de suivi du climat sonore. Cette obligation apparaît à la condition #6 du décret environnemental¹.

La modélisation sonore devait prendre en compte tous les intrants pertinents à une telle étude : le profil des voies, la topographie du site d'insertion, les matériaux utilisés dans la construction, le bruit du matériel roulant, les fréquences de service, etc. Cette modélisation sonore a été réalisée entre 2018 et 2020 de façon itérative par NouvLR, le consortium responsable de la conception et de la construction du REM. Elle est disponible sur le site web du REM².

Conformément au cadre règlementaire, la modélisation a été réalisée selon l'approche du ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec, en particulier la *Politique sur le bruit routier* avec la grille d'analyse qui s'y rattache. Cette grille est basée sur la différence entre le bruit ambiant (avant projet) et le bruit avec REM, sur une période de 24h. Cette grille est présentée à l'annexe 1.

Le programme de suivi sonore pour le REM doit être déployé 1 an, 5 ans et 10 ans après la mise en service du réseau selon les exigences du décret. Un suivi volontaire est prévu plus régulièrement par l'équipe du REM, soit à la 1re, 2e, 3e, 5e et 10e année d'opération du REM.

Campagne de relevés sonores

Lors de l'intensification des tests des essais dynamiques avec les voitures en 2023, des plaintes ont été reçues en lien avec le bruit du passage des voitures du REM, majoritairement dans les secteurs de L'Île-des-Sœurs, de Pointe-Saint-Charles et de Griffintown. Une campagne de relevés sonores a alors été déployée dans ces secteurs, pendant la phase des essais, afin de mieux comprendre la situation.

Sept sonomètres ont été installés entre avril et juillet 2023 dans les secteurs de L'Île-des-Sœurs, de Pointe-Saint-Charles et de Griffintown pour poser un diagnostic approprié à chacun des secteurs d'où émanaient les plaintes. À titre informatif, les relevés sonores ne peuvent être effectués en période hivernale ; les températures froides exercent une influence sur le bruit, la neige pouvant

¹ Décret du gouvernement du Québec : [Livre 1.indb \(gouv.qc.ca\)](#)

² <https://rem.info/fr/bruit-vibration-operation>

absorber une partie du bruit. Les sonomètres collectent des données en continu. Afin de dresser un portrait juste de la situation, des journées représentatives ont été sélectionnées pour chacun des sonomètres (ils n'ont pas été déployés simultanément) afin de présenter les données, en tenant compte des journées où la météo était favorable pour la prise de mesures (par exemple, les journées de pluie ou de grand vent doivent être exclues). Les journées ont été ciblées pour se rapprocher le plus possible de la période d'opération, avec une fréquence correspondante de passages de voitures.

Cette campagne de relevés sonores a révélé que la situation sonore ressentie par les riverains diffère d'un secteur à l'autre. Les données mesurées sont plus élevées qu'attendu lorsqu'elles sont comparées aux valeurs de la modélisation sonore à Griffintown et à L'Île-des-Soeurs. Pour le secteur de Pointe-Saint-Charles, les mesures sont similaires à ce qui était anticipé, vu la distance plus importante avec les voies du REM.

À Griffintown et à L'Île-des-Soeurs, les différences observées s'expliquent en partie par des changements liés à l'aménagement du territoire, au cadre bâti et au trafic routier dans les secteurs concernés. Les détails de cette campagne de relevés sonores sont présentés à l'annexe 2.

Suivant les résultats de la campagne de relevés sonores, une analyse par secteur a été réalisée afin d'identifier la bonne mesure d'atténuation à déployer au bon endroit, en fonction des sources précises de bruit identifiées, pour mettre en place des optimisations durables et efficaces, et ce, pour tous les secteurs concernés.

Diagnostic acoustique par la firme SYSTRA

L'équipe du REM a octroyé un mandat à la firme SYSTRA, dont les experts ont travaillé sur le volet acoustique de métros légers partout dans le monde, afin de poser un diagnostic acoustique et d'identifier des mesures d'atténuation supplémentaires spécifiques et adaptées, lorsque requis, en tenant compte de la configuration des voies, des infrastructures et du rail du REM et de l'environnement d'implantation.

En plus des résultats de la campagne de relevés sonores, les experts de la firme SYSTRA se sont également appuyés sur des essais de caractérisation acoustique qui ont été effectués sur le rail et la voie du REM afin de fournir des données plus détaillées sur les sources du bruit. Ce diagnostic acoustique complet a permis de conclure que le REM émet du bruit de grondement dû aux vibrations transmises par le rail vers les ouvrages de la structure aérienne, dans une certaine plage de fréquences. Les essais ont également révélé un rayonnement acoustique du rail, qui représente la principale source de bruit de roulement.

De plus, les essais ont révélé une rugosité élevée des rails, générant du bruit dans une certaine plage de fréquences, ce qui se traduit par du bruit de grondement et de roulement (rayonnement des roues et des rails).

Compte tenu de la hauteur de la structure aérienne du REM dans les secteurs d'où émanent les plaintes et de la configuration de plusieurs bâtiments, aussi en hauteur, des mesures applicables directement à la source ont été recommandées afin d'obtenir le meilleur gain acoustique pour tous. Les mesures d'atténuation ont également été ciblées en fonction des plages de fréquences spécifiques émises par le passage des voitures du REM afin d'en optimiser l'efficacité.

Le rapport de SYSTRA présentant le diagnostic acoustique et les mesures d'atténuation identifiées est présenté à l'annexe 3.

Mesures d'atténuation identifiées

Basé sur le retour d'expérience des acousticiens de SYSTRA sur d'autres systèmes de métros légers dans le monde, deux mesures d'atténuation éprouvées ont été identifiées pour réduire le bruit à la source, soit la maintenance acoustique (meulage) et la pose d'absorbeurs dynamiques.

Un gain acoustique total de 5 à 10 dB au passage, à la source, est visé suite à la mise en place de ces mesures d'atténuation. À noter que le bruit se mesure sur une échelle non linéaire (exponentielle). Ainsi, une diminution du bruit de 5 à 10 dB à la source se traduit par 3 à 10 fois moins de bruit émis.



Figure 1 : Réduction sonore visée avec les mesures d'atténuation

Maintenance acoustique (meulage)

Description

Cette mesure d'atténuation permet de réduire le bruit en lien avec l'interface du rail et des roues, en misant sur une plage optimale de rugosité selon les fréquences identifiées dans le diagnostic acoustique. **Un gain acoustique de 2 à 5 dB est anticipé à la source.**

Du meulage sera effectué sur l'ensemble du tronçon entre L'Île-des-Sœurs et Gare Centrale, dans un premier temps, et ensuite jusqu'à la station Brossard. L'échéancier ciblé pour la réalisation du meulage entre L'Île-des-Sœurs et la Gare Centrale est le début novembre 2023. Cette mesure est présentée plus en détail ci-après.

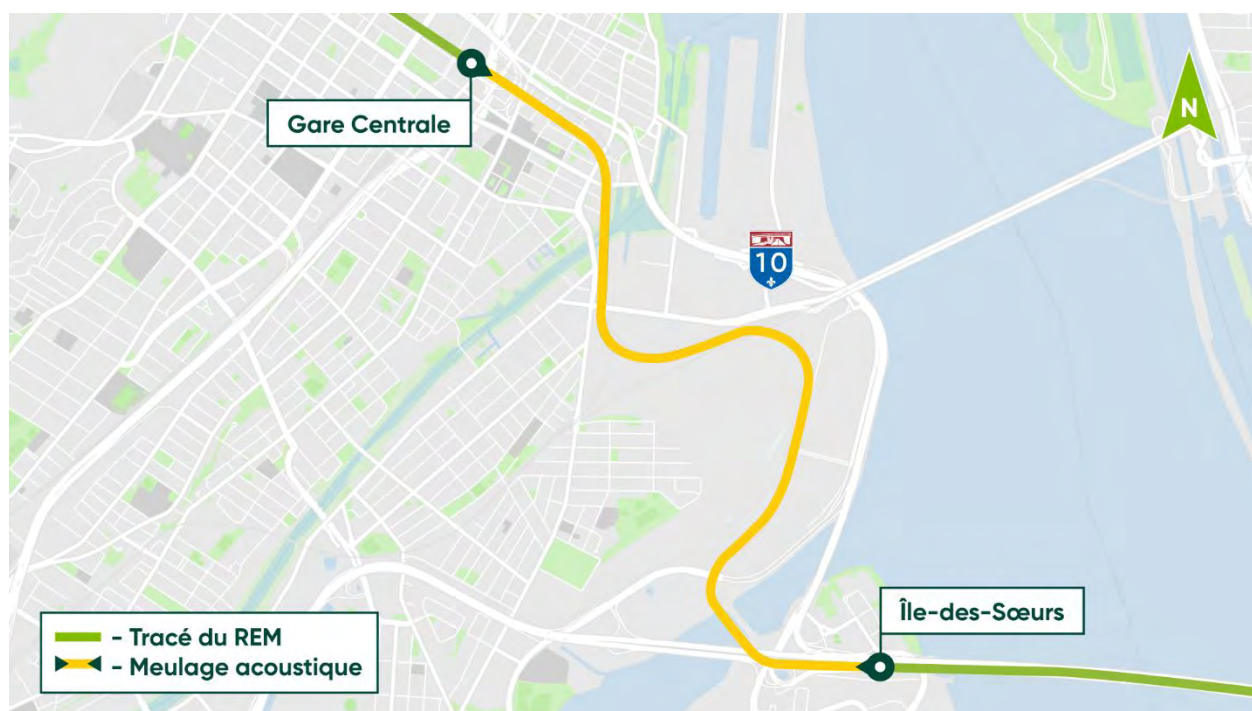


Figure 2 : Secteur visé pour du meulage acoustique entre la Gare Centrale et L'Île-des-Sœurs

Détails

Un des facteurs contribuant à l'émission de bruit sur un système de métro léger est la rugosité des rails.

Pour corriger les défauts de rugosité de la voie, les rails peuvent être rectifiés par une opération de meulage avec un équipement spécialisé (voir figure ci-dessous). Le meulage peut être utilisé dans un objectif de prolongation de la durée de vie du rail pour les défauts d'usure normale de rail; on parle alors de meulage « traditionnel ».

Le meulage permet aussi de réduire les amplitudes des défauts dont les longueurs d'onde correspondent aux fréquences de résonances du rail ou de la roue ; c'est le meulage « acoustique ». Ce type de meulage a été identifié comme une mesure d'atténuation pour le REM suite au diagnostic.



Figure 3 : Opération de meulage pour maintenance de l'état de surface des rails. Sources : Vossloh / RailTechnology

Les rugosités du rail et des roues sont des paramètres qui évoluent : la rugosité a tendance à augmenter avec le temps (usure, fatigue), ce qui entraîne une augmentation progressive du bruit. Les roues des trains sont aussi soumises à des opérations de maintenance, on parle de reprofilage de la roue.

Les opérations de meulage «acoustique» et de reprofilage des roues s'inscrivent dans des programmes de maintenances préventives dont l'aspect acoustique est une composante importante. Cette stratégie de maintenance acoustique propre aux conditions mesurées sur site est en cours d'élaboration pour le REM, de concert avec son opérateur, GPMM. Il est à noter que ce programme de meulage acoustique s'ajoute aux activités de meulage traditionnel qui étaient déjà prévues au programme d'entretien du REM.

Absorbeurs dynamiques accordés sur les rails

Description

Cet équipement, installé directement sur les rails, permet de réduire les vibrations des rails et le bruit qui peut en résulter. Cet équipement a été testé avec succès sur un tronçon de 240 mètres (sur la voie ouest seulement) dans le secteur du canal Lachine en juillet 2023, avec une réduction du bruit mesuré d'environ 5 dB à la source (à 7,5 mètres des voies). Les absorbeurs dynamiques ont été déployés avec succès sur de nombreux réseaux ferroviaires à travers le monde (ex. réseaux de Barcelone, Hong Kong, Perth, Sydney) . Cette mesure d'atténuation est présentée plus en détail ci-après.

Des absorbeurs dynamiques seront donc installés dans les secteurs du tracé situés près des zones résidentielles, tel que présenté ci-dessous. **Un gain acoustique de 3 à 5 dB – qui s'ajoute à celui de 2 à 5 dB pour le meulage – est anticipé.**

Puisque la configuration du tablier de la structure aérienne et des rails est de conception similaire sur le tronçon situé entre le secteur du canal de Lachine et L'Île-des-Sœurs, les absorbeurs seront d'abord installés sur ce segment, de la mi-octobre au début décembre 2023.

Le tronçon situé entre la Gare Centrale et le pont de la Commune, le Viaduc Sud, présente une conception différente ; ce secteur est une voie sur ballast et la configuration d'installation des rails

est différente du reste de l'antenne. Des relevés additionnels sont donc en cours dans le but de définir les paramètres techniques spécifiques pour évaluer l'efficacité des absorbeurs dynamiques pour ce tronçon spécifique. Vu la configuration unique de cette voie, la faisabilité technique est également en analyse. Si la solution des absorbeurs dynamiques est retenue pour ce tronçon, ils seront installés dès que possible.

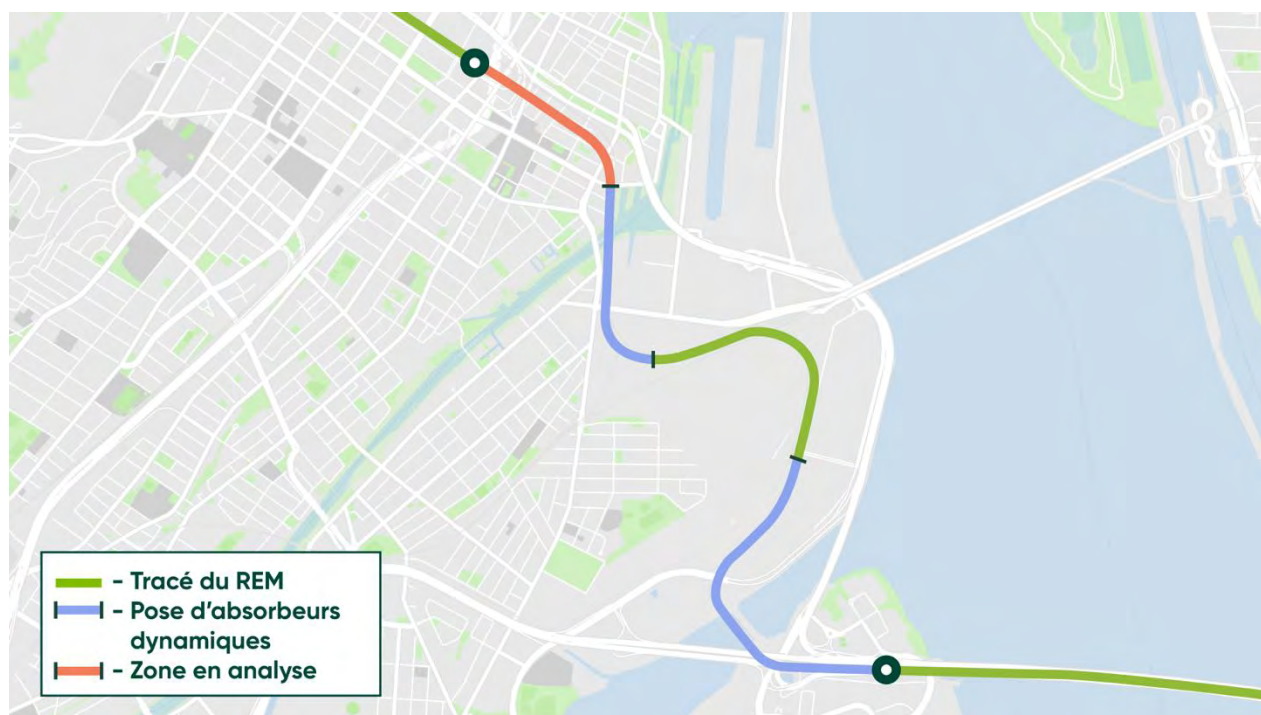


Figure 4 : Secteurs visés pour l'installation des absorbeurs dynamiques

Détails

Afin d'atténuer le rayonnement du rail et la façon dont les ondes « voyagent » le long du rail, des absorbeurs dynamiques peuvent être ajoutés directement sur les rails. Un absorbeur dynamique est un équipement qui permet de réduire les vibrations du rail et donc le bruit rayonné par celui-ci.

Le principe est de distribuer des absorbeurs dynamiques accordés le long de la voie. L'accordage est obtenu par un système masse-ressort. Dans l'exemple ci-dessous, similaire à ce qui a été installé sur le REM en phase test et qui sera déployé à d'autres endroits sur le tracé, le ressort est la partie en polymère (en noir sur les photographies ci-dessous) et la masse est un lingot d'acier noyé dans le polymère. L'absorbeur est plaqué sur le rail à l'aide d'agrafes métalliques (en gris sur la photographie).



Figure 5 : Exemple d'absorbeurs dynamiques « Tuned Rail Damper »

Source Poly-Corp Ltd. : <http://poly-corp.com/assets/pdf/rail/Polycorp-Transportation---Tuned-Mass-Rail-Damper-TMD.pdf>

Cette mesure d'atténuation agit à la source et permet de réduire le bruit en fonction des fréquences de résonance du rail. Les caractéristiques techniques des absorbeurs dynamiques sont déterminées en fonction des caractéristiques de la voie et du rail (taux de décroissance du rail, raideur des semelles sous rails).

Analyse préliminaire – murs antibruit

La possibilité d'ajouter des murs antibruit additionnels a également été étudiée d'un point de vue ingénierie préliminaire. Le constat est que la structure du viaduc aérien pourrait supporter l'ajout de murs d'environ 2 mètres de hauteur. Toutefois, compte tenu de la configuration des résidences (hautes tours à condos) par rapport à la structure dans plusieurs secteurs d'où émanent les plaintes, l'installation de murs antibruit générerait peu de gains acoustiques significatifs en fonction des secteurs. Ainsi, tel qu'indiqué précédemment, les experts recommandent plutôt d'agir à la source avec les absorbeurs dynamiques et le programme de maintenance (meulage) acoustique.

Prochaines étapes

Au fur et à mesure que les mesures d'atténuation seront déployées à l'automne 2023, l'équipe du REM poursuivra le suivi sonore sur la structure aérienne, permettant ainsi d'évaluer l'atteinte des objectifs de réduction de bruit, soit de 5 à 10 dB au passage à la source.

Les résultats de ce suivi seront partagés publiquement.

Annexe 1 – Politique sur le bruit routier (grille d'analyse)

GRILLE D'ÉVALUATION DE L'IMPACT SONORE

NIVEAUX SONORES (dBA Leq, 24 h) :

NIVEAU PROJETÉ (HORIZON 10 ANS)

		45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
N I V E A U A C T U E L	45	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	46	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	47	-	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	48	-	-	-	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	49	-	-	-	-	0	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	50	-	-	-	-	-	0	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	51	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	52	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	53	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3
	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	2	2	3	3	3	3	3	3
	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	2	2	3	3	3	3	3
	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	2	2	3	3	3	3
	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	2	2	3	3	3
	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	2	2	3	3
	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	2	3	3
	69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	2	3
	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	2	3

-	Diminution du niveau sonore
0	Impact nul
1	Impact faible
2	Impact moyen
3	Impact fort



Annexe 2 – Campagne de relevés sonores



Campagnes de relevés sonores – Segment entre L'Île-des-Sœurs et Griffintown

Présentation des résultats

Septembre 2023

Réseau
express
métropolitain



Table des matières

Introduction	3
Contexte.....	3
Politique sur le bruit routier.....	3
Phase de conception détaillée.....	5
Phase d'essais dynamiques et relevés sonores réalisés	5
Résultats de la campagne de relevés sonores.....	7
1330 rue Olier, Griffintown (rez-de-chaussée et toit)	7
100 rue Du Séminaire, 3 ^e étage, Griffintown	9
1085 rue Smith, 11 ^e étage, Griffintown.....	10
Rue Sainte-Madeleine près de la rue Le Ber (terrasse à l'étage), Pointe-Saint-Charles	11
Rue Mullins près de la rue De la Sucrerie(terrasse à l'étage), Pointe-Saint-Charles.....	12
255 avenue Ash, sur le toit, Pointe-Saint-Charles	13
210 rue Chemin du Golf, 5 ^e étage, Île-des-Sœurs	14
Conclusion	16

Introduction

Le présent rapport présente la campagne de relevés sonores déployée au printemps/été 2023 dans les secteurs de Griffintown, Pointe-Saint-Charles et de L'Île-des-Sœurs.

Le rapport présente les comparaisons des valeurs mesurées à celles modélisées pendant la phase de conception détaillée.

Contexte

L'opération du REM est encadrée par un cadre réglementaire fixé par le gouvernement du Québec. Ce cadre réglementaire est la *Politique sur le bruit routier* du ministère des Transports du Québec et de la Mobilité durable (MTMDQ), avec la grille d'analyse qui s'y rattache. Cette grille est basée sur la différence entre le bruit ambiant (avant projet) et le bruit avec REM, sur une période de 24h. La section suivante présente la *Politique sur le bruit routier* plus en détails.

De plus, le décret fixant les conditions d'autorisation du REM exige la réalisation d'une modélisation sonore pour le passage des voitures, la mise en place des mesures d'atténuation requises en cas d'impacts significatifs, ainsi que la réalisation d'un programme de suivi du climat sonore pendant la période d'opération. Pour plus de détails, veuillez vous référer à cette [fiche d'information](#).

Des mesures à la source ont été intégrées dès la conception du projet pour diminuer le bruit émis par le passage des voitures, incluant :

- Rails soudés pour éviter le bruit récurrent de choc entre la roue et les joints de rail
- Motorisation 100 % électrique de la voiture
- Roues en métal spécifiquement traitées (roue équipée d'anneaux en acier montés dans des rainures usinées de chaque côté de la jante, ce qui réduit le bruit de crissement lors du passage dans les courbes)

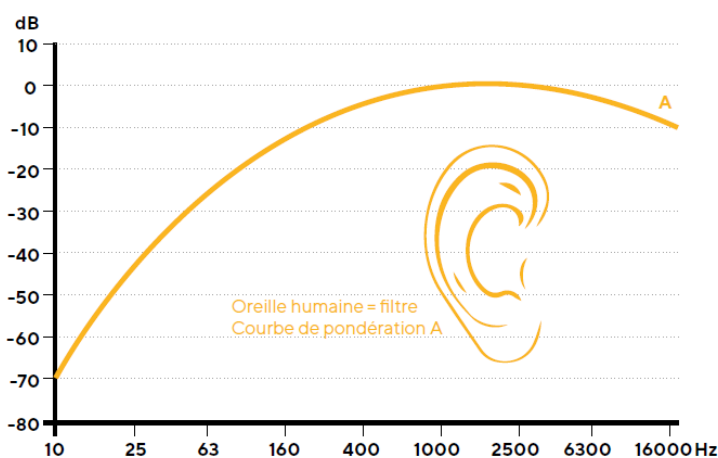
Politique sur le bruit routier

La *Politique sur le bruit routier* du MTMDQ prévoit la mise en place de mesures d'atténuation lorsque l'impact sonore aux récepteurs sensibles est déterminé comme étant significatif. L'impact est considéré significatif lorsque la différence entre le niveau sonore actuel (avant projet) et projeté (avec REM) génère un impact fort ou moyen selon la grille d'analyse de la *Politique sur le bruit routier*. En résumé, un impact significatif est défini de la façon suivante :

Niveau sonore avant REM (période de 24 heures)	Augmentation du niveau sonore occasionnant un impact sonore significatif et nécessitant la mise en œuvre de mesures d'atténuation
Entre 45 et 51 dBA	De 11 à 5 dBA – pour un maximum de 56 dBA
Entre 52 et 61 dBA	4 dBA
62 dBA	3 dBA
Entre 63 et 69 dBA	2 dBA
À partir de 70 dBA	1 dBA

Pour plus de détails, veuillez consulter la grille d'analyse de la Politique à l'[annexe 1](#).

La *Politique sur le bruit routier* utilise le descripteur du $L_{eq(A)24h}$. Ce descripteur peut être défini par le niveau de pression acoustique continu (ou niveau sonore) **équivalent sur une journée complète, pondéré A**. La pondération A est une correction permettant de prendre en compte la réponse fréquentielle de l'oreille humaine : la perception des sons graves (quelques dizaines de Hertz) et très aigus (quelques milliers de Hertz) étant moindre que les sons en moyennes fréquences (autour de 1000 Hertz, sensibilité maximale), l'oreille humaine est plus sensible aux sons perçus dans le spectre des moyennes fréquences.



Source : SNCF Réseau et France Nature Environnement : Le bruit ferroviaire en questions & réponses (Décembre 2018)

Phase de conception détaillée

Tel qu'exigé par le décret du gouvernement du Québec (Condition 6)¹, une modélisation sonore a été réalisée en phase de conception détaillée, tenant compte du profil des voies (pentes), du type d'infrastructure supportant le REM (structure aérienne, type de tablier, voie ballastée ou non, etc.), de la topographie environnante et de la fréquence de passage en opération.

La zone d'étude de la modélisation acoustique se constitue d'un corridor d'environ 300 mètres de part et d'autre du REM, le bruit diminuant significativement avec la distance. Le modèle acoustique utilisé a été développé à l'aide du logiciel SoundPLAN® version 8.0 et de la méthode de calcul TNM (Traffic Noise Model) version 2.5 de la « Federal Highway Administration » des États-Unis pour le bruit routier et de la « Federal Transit Administration » (FTA) des États-Unis pour le bruit ferroviaire.

Le logiciel SoundPLAN® est largement utilisé à l'échelle mondiale, et l'application des méthodes de calcul de la FTA est reconnue, notamment en Amérique du Nord. La modélisation sonore du REM pour l'antenne Rive-Sud est présentée sur le [site web](#) du REM.

Suivant les résultats de cette modélisation sur l'antenne Rive-Sud (cette antenne se déploie de la Gare Centrale jusqu'à la station terminale Brossard), des murs anti-bruit ont été prévus sur une portion de la rue Smith et une portion de la rue Marc-Cantin.

Phase d'essais dynamiques et relevés sonores réalisés

Lors de l'intensification des tests des essais dynamiques avec les voitures en 2023, des plaintes ont été reçues en lien avec le bruit du passage des voitures du REM, dans les secteurs de L'Île-des-Sœurs, de Pointe-Saint-Charles et de Griffintown. La campagne de suivi sonore a alors été bonifiée et déployée plus tôt que prévue dans ces secteurs afin de mieux comprendre la situation.

Sept (7) sonomètres ont été installés entre avril et juillet 2023 dans les secteurs de L'Île-des-Sœurs, de Pointe-Saint-Charles et de Griffintown. À titre informatif, les relevés sonores ne peuvent être effectués en période hivernale ; les températures froides exercent une influence sur le bruit, la neige pouvant absorber une partie du bruit. Les sonomètres déployés sont de classe 1 (IEC 61672-1:2013) et ont été calibrés de façon périodique. La fiche technique complète des sonomètres est présentée à l'[annexe 4](#).

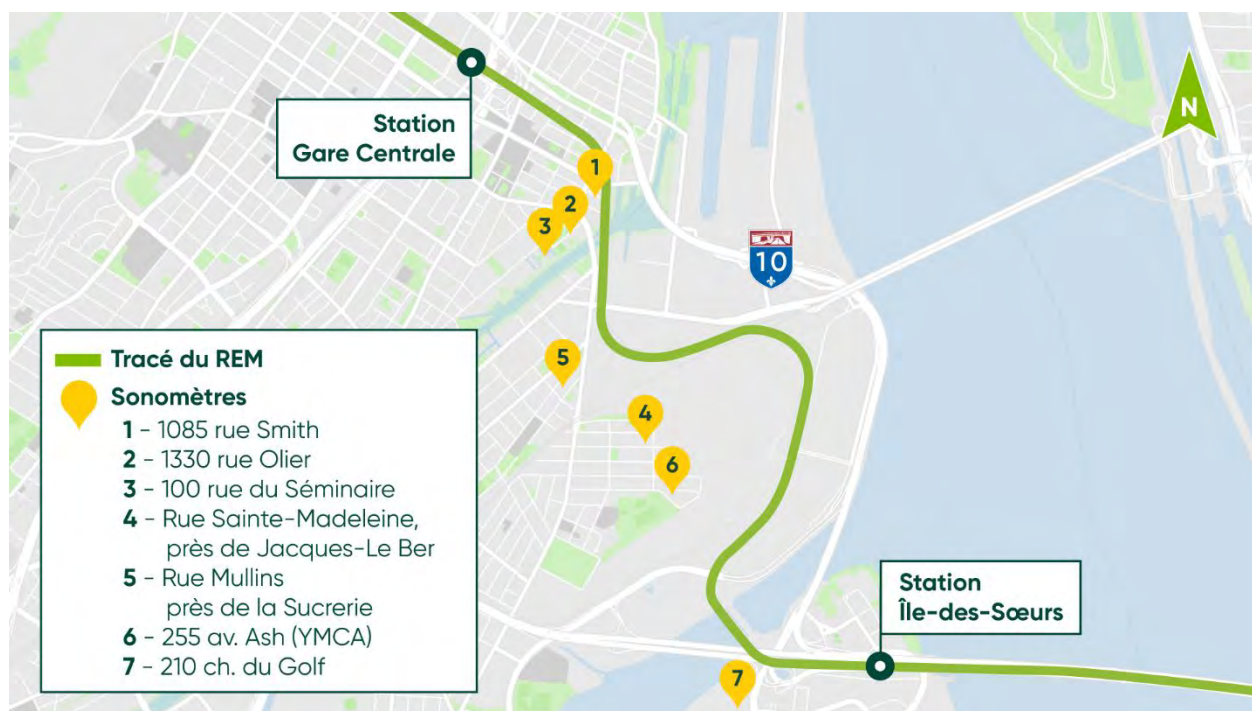
Le déploiement des sonomètres a été réalisé de manière séquentielle. Ainsi, les dates des mesures de bruit présentées ci-bas peuvent varier d'un secteur à l'autre.

¹ Décret du gouvernement du Québec : [Livres 1.indb \(gouv.qc.ca\)](#)

La localisation des sonomètres installés aux propriétés riveraines au printemps et à l'été 2023 est présentée ci-après :

1. 1085 rue Smith, 11^e étage, Griffintown
2. 1330 rue Olier, rez-de-chaussée et toit (10^e), Griffintown
3. 100 rue Du Séminaire, 3^e étage, Griffintown
4. Rue Sainte-Madeleine près de la rue Le Ber (terrasse à l'étage), Pointe-Saint-Charles
5. Rue Mullins près de la rue De La Sucrierie (terrasse à l'étage), Pointe-Saint-Charles
6. 255 avenue Ash (toit), Pointe-Saint-Charles
7. 210 rue Chemin du Golf, 5^e étage, Île-des-Sœurs/Verdun

La carte ci-dessous présente ces points de mesure.



Afin d'obtenir le portrait le plus juste possible sur le bruit émis lors du passage des voitures REM, et selon les bonnes pratiques pour ce type de campagnes sonores, quelques journées représentatives des conditions normales d'opération (fréquence de passage des voitures) ont été ciblées afin de retirer tout bruit non relatif au REM ou au bruit ambiant (ex. sirènes de pompiers, bruit de construction, conversations près du sonomètre, etc.) afin de déterminer le niveau sonore ambiant (sans REM), niveau sonore auquel on réfère dans la Politique du bruit routier du MTQ.

Les données recueillies ont été comparées à la modélisation sonore réalisée pour le projet entre 2018 et 2020 et sont présentées dans les sections suivantes.

Résultats de la campagne de relevés sonores

Les résultats des campagnes de relevés sonores sont présentés dans cette section pour chaque sonomètre.

Les valeurs modélisées pendant la période de conception détaillée sont également présentées après les valeurs mesurées en 2023.

1330 rue Olier, Griffintown (rez-de-chaussée et toit)

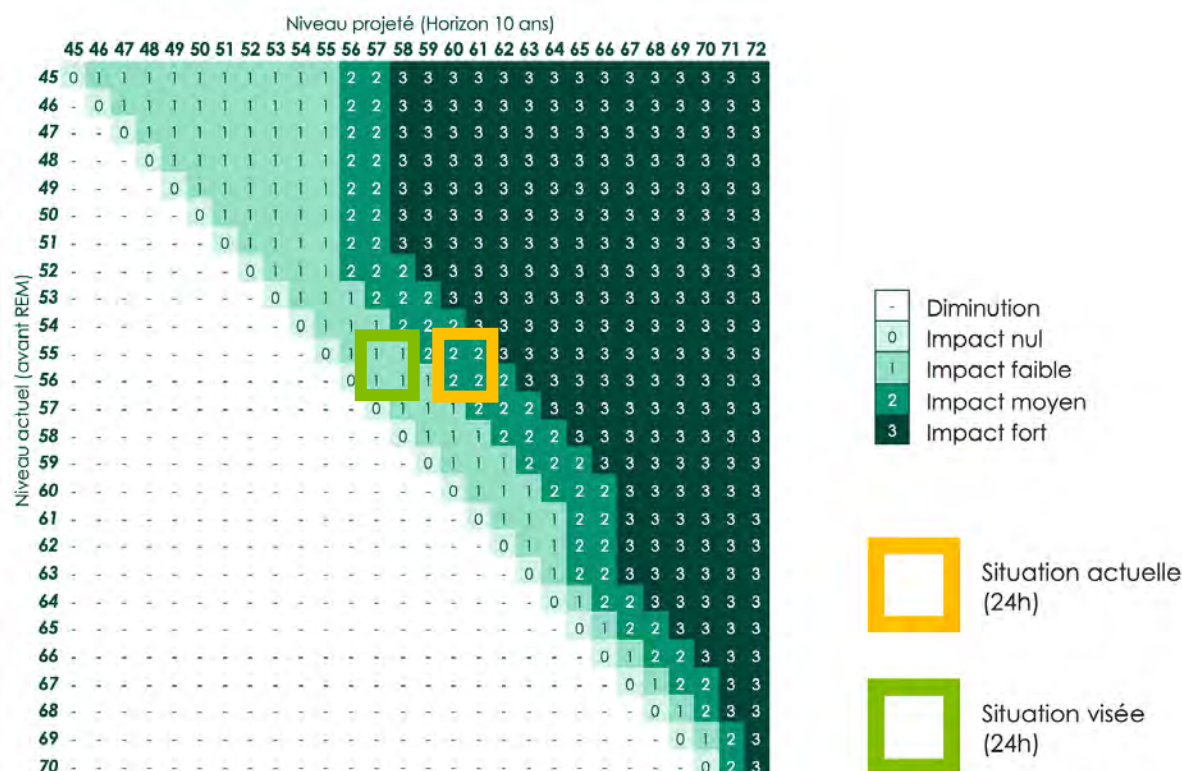
Campagne 2023

Données pour le sonomètre du rez-de-chaussée

Date	Bruit ambiant (dBA, Leq(A)24h)	Bruit ambiant avec REM (dBA, Leq(A)24h)
2023-04-28	56	60
2023-05-05	55	61
2023-06-12	56	n.d. (journée sans REM)

Les valeurs mesurées par le sonomètre installé sur le toit du bâtiment démontrent que le niveau sonore y est supérieur de 2 dBA, autant pour le bruit ambiant que pour le bruit avec REM. Ainsi, nous ne présentons pas de tableau distinct pour les valeurs sur le toit.

De façon graphique dans la matrice du MTMDQ, les niveaux sonores mesurés sont présentés ainsi que la situation visée.



Modélisation sonore 2018-2020

Bruit ambiant (dBA, Leq(A)24h)	Bruit ambiant avec REM (dBA, Leq(A)24h)
64	65

Dans ce secteur, une différence importante entre le bruit ambiant (avant REM) modélisé et celui mesuré en 2023 (plus faible) est constatée.

Les différences entre les données de la modélisation sonore et la campagne de mesures de 2023 s'expliquent en partie par des changements liés à l'aménagement du territoire et au trafic routier, qui influencent directement le bruit ambiant. En effet, il y a eu un changement important du cadre bâti dans le secteur par l'ajout de bâtiments en hauteur, modifiant ainsi les patrons de cheminement des ondes sonores. De plus, la vitesse des véhicules automobiles a été réduite sur la rue Wellington à proximité, et le secteur de la rue Peel a été réaménagé par la Ville de Montréal entre 2019 et aujourd'hui, réduisant de façon significative la capacité routière de cette artère principale.

Tous ces éléments combinés contribuent à faire en sorte que le bruit mesuré en 2023 est significativement plus faible que celui modélisé pendant la conception.

100 rue Du Séminaire, 3^e étage, Griffintown

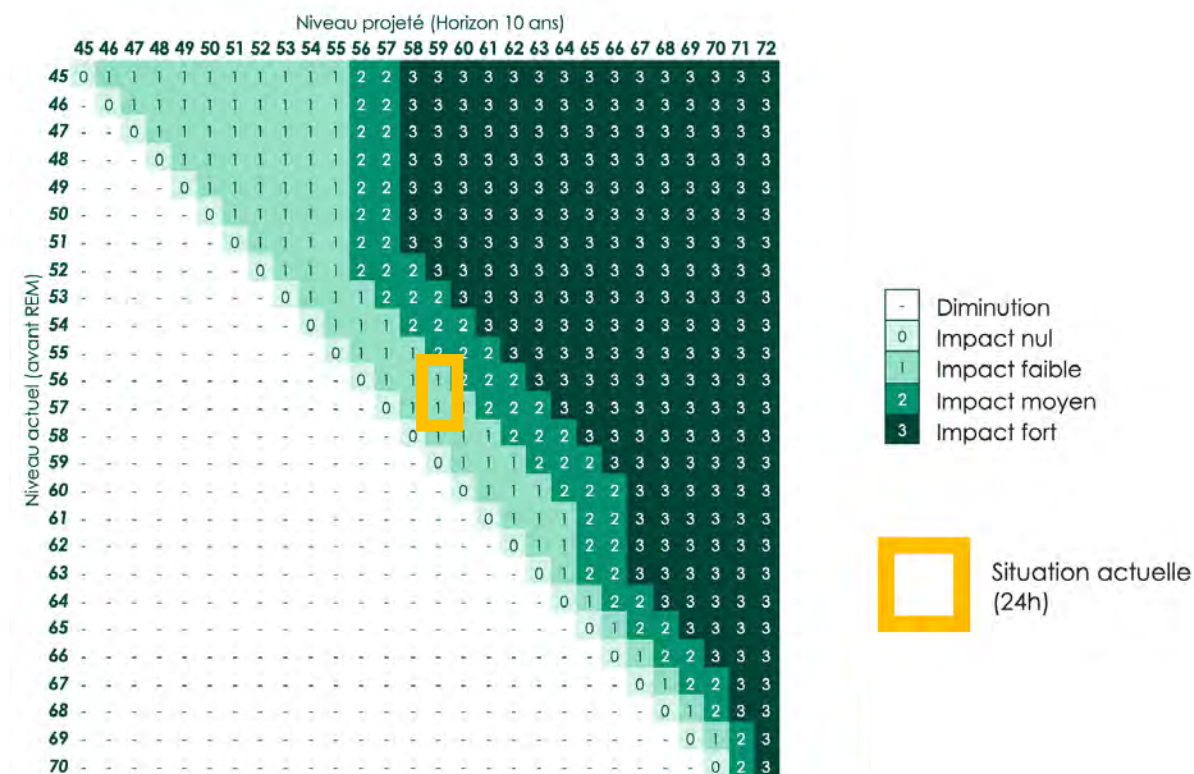
Campagne 2023

Données pour le sonomètre du rez-de-chaussée

Date	Bruit ambiant (dBA, Leq(A)24h)	Bruit ambiant avec REM (dBA, Leq(A)24h)
2023-06-05/06*	56	59
2023-06-08/09*	57	59
2023-06-12	57	n.d. (journée sans REM)

*En raison d'une météo défavorable aux mesures de bruit, une période de 24h débutant dans l'après-midi a été sélectionnée ; c'est pourquoi deux dates sont présentées.

De façon graphique dans la matrice du MTMDQ, les niveaux sonores mesurés sont présentés.



Modélisation sonore 2018-2020

Ce secteur n'était pas inclus dans la zone d'étude de la modélisation car, a priori, le niveau d'impact appréhendé selon la *Politique sur le bruit routier* était nul ou faible, étant donné la distance entre ce récepteur et le REM (environ 300 m). La modélisation prenait en compte le secteur de la rue Olier, plus près des voies que la rue Du Séminaire.

1085 rue Smith, 11^e étage, Griffintown

Campagne 2023

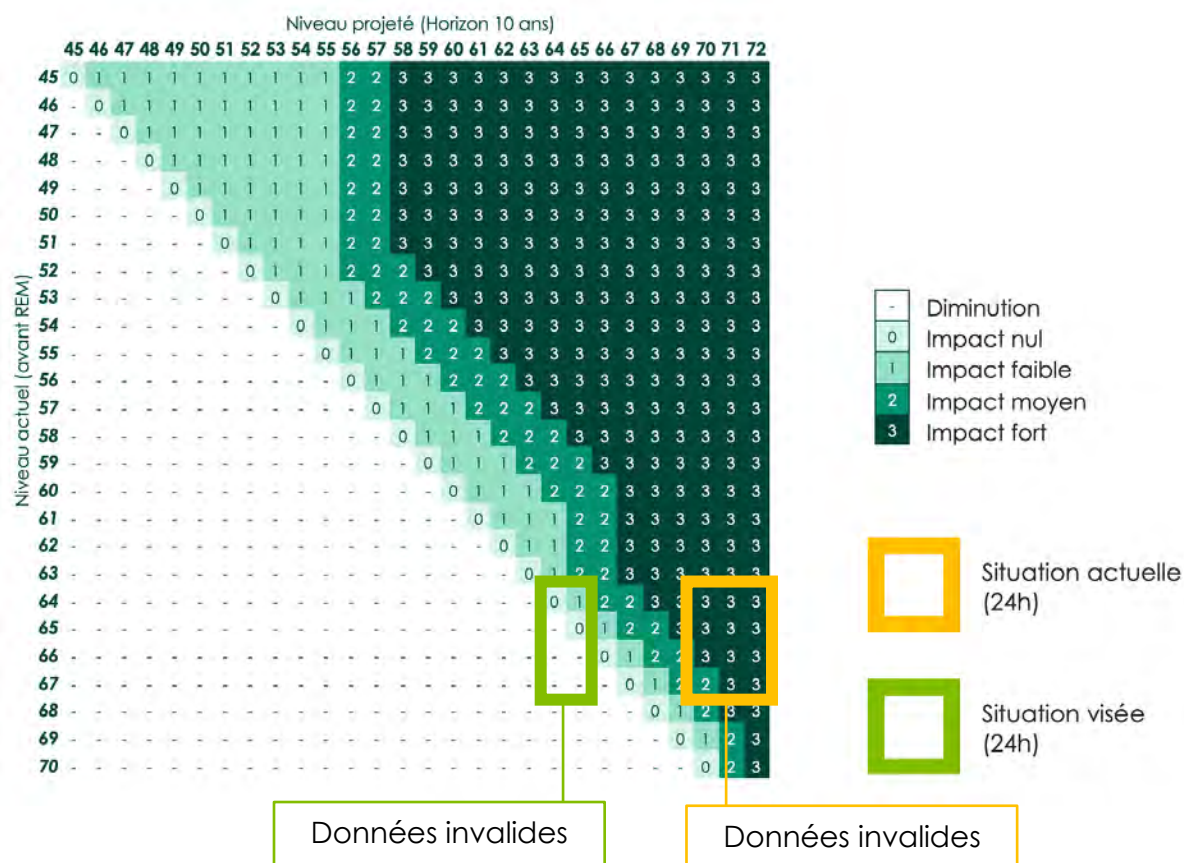
Date	Bruit ambiant (dBA, Leq(A)24h)	Bruit ambiant avec REM (dBA, Leq(A)24h)
2023-06-05/06*	64** (donnée invalide)	70** (donnée invalide)
2023-06-08/09 *	67**(donnée invalide)	72**(donnée invalide)
2023-06-12	66**(donnée invalide)	n.d. (journée sans REM)

*En raison d'une météo défavorable aux mesures de bruit, une période de 24h débutant dans l'après-midi a été sélectionnée ; c'est pourquoi deux dates sont présentées.

** Les données mesurées en 2023 à ce sonomètre ne peuvent être considérées comme étant représentatives de la situation réelle étant donné une pollution sonore importante provenant de travaux de construction dans ce secteur et de la présence de climatiseurs sur les balcons de cette tour à condominiums.

Néanmoins, des mesures d'atténuation seront déployées dans ce secteur (voir rapport principal pour les détails).

De façon graphique dans la matrice du MTMDQ, les niveaux sonores mesurés sont tout de même présentés ainsi que la situation visée.



Rue Sainte-Madeleine près de la rue Le Ber (terrasse à l'étage), Pointe-Saint-Charles

Ce secteur est situé près de plusieurs courbes du tracé.

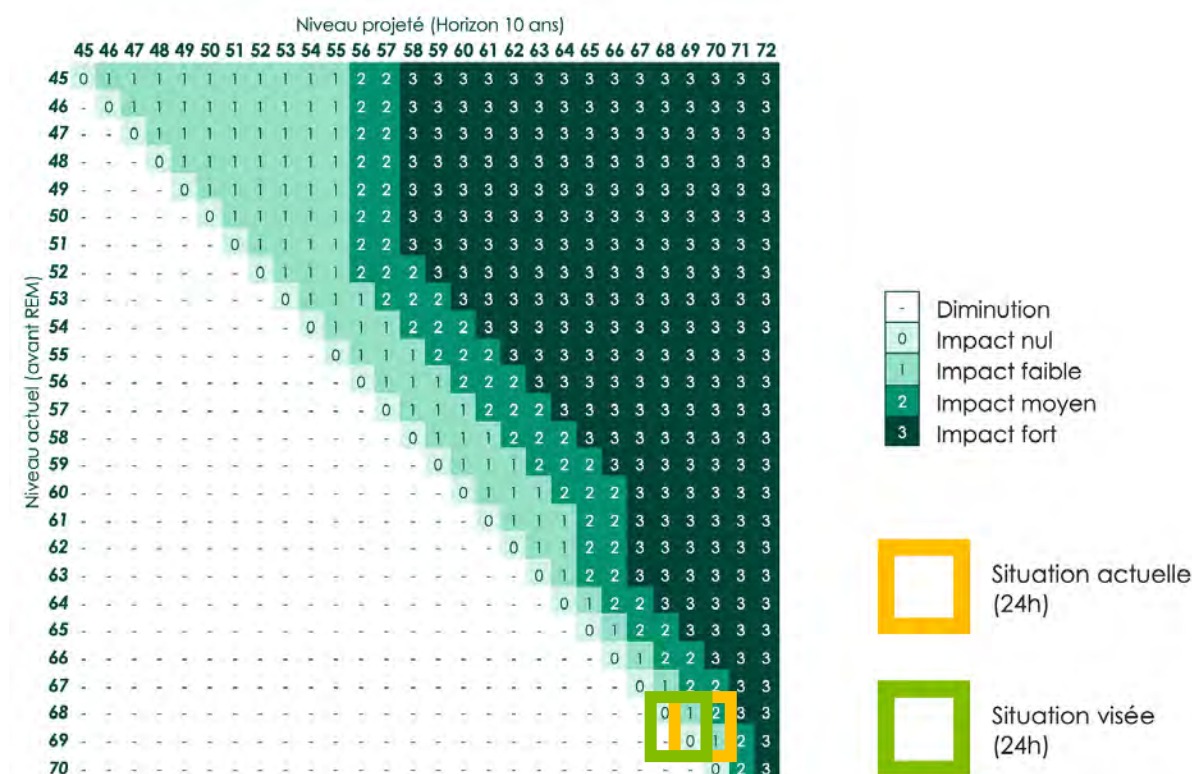
Campagne 2023

Date	Bruit ambiant (dBA, Leq(A)24h)	Bruit ambiant avec REM (dBA, Leq(A)24h)
2023-05-25	54	55
2023-06-12	53	n.d. (journée sans REM)
2023-06-05/06	54	55
2023-06-08/09	55	55

Date	Bruit ambiant (dBA, Leq(A)24h)	Bruit ambiant avec REM (dBA, Leq(A)24h)
2023-06-12	68	n.d. (journée sans REM)

*En raison d'une météo défavorable aux mesures de bruit, une période de 24h débutant dans l'après-midi a été sélectionnée, ainsi deux dates sont présentées.

De façon graphique dans la matrice du MTMDQ, les niveaux sonores mesurés sont présentés ainsi que la situation visée.



Modélisation sonore – 2018-2020

Bruit ambiant (dBA, Leq(A)24h)	Bruit ambiant avec REM (dBA, Leq(A)24h)
63	62

Dans ce secteur, une différence importante entre le bruit ambiant (avant REM) modélisé et celui mesuré en 2023 est constatée.

Les différences entre la modélisation et les valeurs mesurées en 2023 s'expliquent par deux éléments défavorables qui sont pris en compte dans les mesures de 2023 :

- 1) la circulation des autobus sur le pont Samuel-De Champlain pour desservir les usagers de la Rive-Sud vers Montréal et vice-versa étaient toujours en service au printemps/été 2023, car le REM était en période d'essais dynamiques et n'était pas encore en opération;
- 2) le chantier du tunnel Louis-Hyppolite-Lafontaine amène une augmentation significative du trafic routier sur le pont Samuel- De Champlain, soit plus de 30 000 voitures de plus par jour qu'avant la pandémie selon les données rapportées par l'opérateur du pont².

Une fois que le chantier du tunnel sera terminé, il est anticipé que le bruit ambiant devrait diminuer. Il est bien établi que le trafic routier sur le pont Samuel-de-Champlain est la composante dominante du bruit ambiant dans ce secteur.

Conclusion

Une campagne de relevés sonores a été déployée au printemps/été 2023 à sept emplacements sur le parcours du REM. Les valeurs mesurées ont été comparées à la modélisation sonore effectuée pendant la conception détaillée du projet.

Ces données d'entrée ont été fournies aux experts acousticiens de la firme SYSTRA, qui ont procédé à une analyse détaillée afin d'identifier les sources du bruit et de cibler des mesures d'atténuation additionnelles à déployer sur certains tronçons du REM. Le rapport de la firme SYSTRA est disponible à l'annexe 3.

² [Les automobilistes doivent se préparer à des bouchons dignes d'avant la pandémie aux heures de pointe | JDM \(journaldemontreal.com\)](https://journaldemontreal.com)



Annexe 3 – Rapport de la firme SYSTRA

Diagnostic acoustique, Solutions & Perspectives



Réseau express métropolitain (REM)

8 septembre 2023

Réseau express métropolitain (REM)

Fiche d'identification

Maitre d'ouvrage	Projet REM s.e.c.
Projet	Réseau express métropolitain (REM)
Etude	
Date du document	8 septembre 2023
Nom du fichier	Analyse Acoustique Rive SUD-01_REM_V3.docx
Langue du document	Français
Nb de pages	29

Approbation					
	Nom Prénom	Fonction	Date	Signature	Modifications
Rédaction	Jean-Luc WOJTOWICKI	Responsables études	31/08/2023		
Vérification	Walid WASMINE	Responsables études	21/09/2023		

Table des matières

1	INTRODUCTION.....	7
2	GENERALITES SUR LE BRUIT FERROVIAIRE	9
3	DIAGNOSTIC ACOUSTIQUE	11
	3.1. ANALYSE PRELIMINAIRE	12
	3.1.1. VISITE SUR SITE.....	12
	3.2. ESSAIS DE CARACTERISATION ACOUSTIQUE	13
	3.2.1. NIVEAU SONORE AU PASSAGE	14
	3.2.2. TAUX DE DECROISSANCE DE LA VOIE.....	16
	3.2.2.1. Définition du taux de décroissance du rail	16
	3.2.2.2. Taux de décroissance voie du REM	16
	3.2.3. RUGOSITE DU RAIL.....	17
	3.2.3.1. Définition de la rugosité.....	17
	3.2.3.2. Rugosité de la voie du REM.....	17
	3.2.4. NIVEAU VIBRATOIRE AU PASSAGE	19
	3.3. ANALYSE DES RESULTATS	19
4	PRINCIPES DE MITIGATION	20
	4.1. STRATEGIE ACOUSTIQUE GENERALE POUR LA REDUCTION DU BRUIT	21
	4.2. ABSORBEURS DYNAMIQUES.....	22
	4.3. STRATEGIE DE MAINTENANCE « ACOUSTIQUE »	24
	4.4. IMPLANTATION DE BARRIERES ACOUSTIQUES.....	25
5	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	26
	5.1. ABSORBEURS DYNAMIQUES.....	27
	5.2. STRATEGIE DE MAINTENANCE ACOUSTIQUE	27
	5.3. BARRIERES ACOUSTIQUES ET ECRANS	28

Sommaire des illustrations

Figure 1 : Réseau express métropolitain.....	8
Figure 2 : Mécanisme de génération du bruit de roulement. Source: Environmental Noise Directive Development of Action Plans for railways, prepared for International Union of Railways.....	10
Figure 3 : Tronçon de voie sélectionné pour le diagnostic acoustique.....	13
Figure 4 : Configuration d'essai de caractérisation acoustique du bruit au passage d'une rame	14
Figure 5: Taux de décroissance de la voie	16
Figure 6 : Rugosité rail & roue : l'origine du bruit de roulement - analogie avec le gramophone	17
Figure 7: niveau de rugosité des rails entre pk 201+700 et pk 201+900.....	18
Figure 8 : Schéma d'émission -propagation - réception du bruit aérien.....	21
Figure 9 : Exemple d'absorbeurs dynamiques « Tuned Rail Damper », Source Poly-Corp Ltd. http://poly-corp.com/assets/pdf/rail/Polycorp-Transportation---Tuned-Mass-Rail-Damper-TMD.pdf	22
Figure 10: Niveau de bruit moyen en bord de voie, sans absorbeurs dynamiques, avec absorbeurs dynamiques- pk 201+780 – Voie 2	23
Figure 11: Opération de meulage pour maintenance de l'état de surface des rails. Sources : Vossloh / RailTechnology	24
Figure 12: Principe de protection par des barrières acoustiques	25
Figure 13 : Stratégie de réduction du bruit du REM sur secteur Rive-Sud.....	27

1 INTRODUCTION

Le Réseau express métropolitain (REM) est un métro léger de 26 stations et 67 km reliant le centre-ville de Montréal, l'aéroport et la région métropolitaine de Montréal.

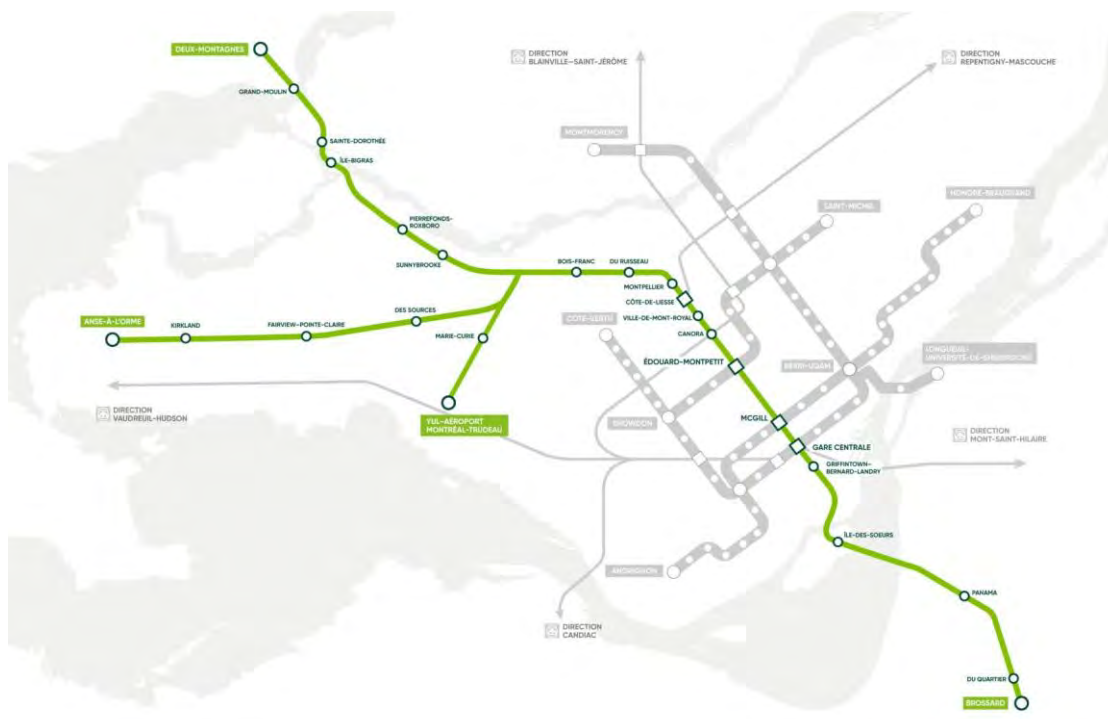


Figure 1 : Réseau express métropolitain

Projet REM s.e.c. (Projet REM) a mandaté SYSTRA Canada filiale du groupe SYSTRA reconnue comme une référence pour les solutions de transport, et en particulier, son expertise dans le domaine particulier de l'acoustique ferroviaire. SYSTRA n'est pas partie prenante du projet REM et, à ce titre, apportera un regard neuf et objectif sur la problématique de bruit du REM.

L'objectif de cette mission est d'apporter des explications aux phénomènes observés dans un premier temps, puis de proposer des pistes de solutions adaptées au projet visant à limiter la gêne acoustique ressentie par les citoyens exposés.

Ce rapport rédigé pour Projet REM est destiné à lui permettre de :

- Comprendre le bruit ferroviaire et particulièrement le cas du REM,
- Proposer une approche pragmatique visant à traiter le problème à la source sur l'antenne Rive-Sud,
- Agir en amont sur le volet acoustique pour le reste du réseau.

2 GENERALITES SUR LE BRUIT FERROVIAIRE

Le terme « bruit ferroviaire » couvre de nombreux types de bruit qui doivent être identifiés et quantifiés dans le cadre d'une étude acoustique. Dans le cas d'un métro léger aérien, il est possible de rencontrer les types de bruit suivants :

Bruit de roulement :

Le bruit de roulement est l'une des composantes principales du bruit ferroviaire. Les niveaux de bruit de roulement élevés résultent d'une importante irrégularité de la bande de roulement sur le rail et le bandage de roues, appelée rugosité de surface. Ces irrégularités, de l'ordre du micromètre (nécessaires à l'adhérence des rames) sont le déclencheur d'une mise en vibration des rails, des roues et des traverses (ou de la plateforme béton). Par phénomènes vibro-acoustiques, ces éléments vibrants rayonnent du bruit. Le cumul de ces différents bruit rayonné constitue le bruit de roulement.

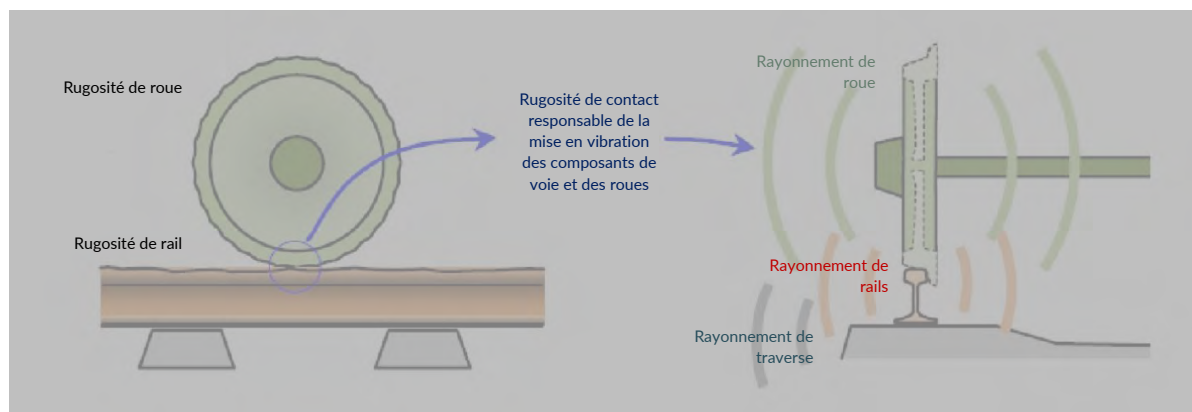


Figure 2 : Mécanisme de génération du bruit de roulement. Source: Environmental Noise Directive Development of Action Plans for railways, prepared for International Union of Railways

Bruit de traction

Le terme « bruit de traction » englobe l'ensemble des sources sonores liées à la motorisation et le système de transmission. Ces sources sont généralement localisées sous le plancher des voitures du métro. Le bruit de traction est le bruit prédominant lorsqu'une rame roule à faible vitesse (<30km/h).

Bruit auxiliaire

Il s'agit du bruit provenant des équipements auxiliaires d'une voiture, tels que le système de climatisation, chauffage et compresseurs.

Bruit de crissement

Le bruit de crissement est un son aigu très gênant qui peut apparaître durant le passage de rames dans les courbes à faible rayon, ou dans certains cas particuliers, lors de l'utilisation de freins mécaniques.

Ce bruit particulier est caractérisé par une apparition de courte durée (quelques secondes) et de forts niveaux sonores (+15~20 dB par rapport au bruit de roulement). Il est le résultat d'un phénomène particulier de frottement dynamique entre deux surfaces (par ex : la roue contre le rail ou la roue contre les patins). Aussi appelé phénomène de « collé-glissé » (Stick-slip).

Bruit d'impact

De nombreuses autres sources de bruit d'impact peuvent apparaître en phase exploitation d'une ligne ferroviaire. La principale, dans le cas d'un métro aérien, est le bruit lié au franchissement d'un cœur d'appareil de voie. En effet, un appareil de voie (ou aiguillage) constitue d'une discontinuité dans la longueur du rail, générant par conséquent, un impact lors du passage d'une roue.

Bruit de grondement

Le bruit de grondement est caractérisé par une composante basse fréquence (un bruit grave donc), Il s'agit du rayonnement d'une structure lourde (par exemple un tablier de viaduc) causé par une transmission importante des vibrations générées par un passage de rame.

3 DIAGNOSTIC ACOUSTIQUE

3.1. ANALYSE PRELIMINAIRE

3.1.1. VISITE SUR SITE

SYSTRA a d'abord pris connaissance dès le printemps 2023 des relevés sonores provenant des sonomètres déployés chez les riverains par Projet REM. Par la suite, une visite de site a été organisée en début d'été 2023 sur le secteur Rive-Sud du REM. L'objectif pour les acousticiens SYSTRA a été de s'approprier la problématique et de réaliser un diagnostic préliminaire, en s'appuyant sur :

- Le ressenti acoustique et des vibrations au passage des rames en différents endroits de ce secteur (Griffintown, secteur Marc-Cantin, Ile-des-Sœurs, quartier Pointe-Saint-Charles),
- Des observations de l'implantation physique de la voie et génie civil,
- Des observations sur le matériel roulant (les rames) au centre de maintenance de Brossard,
- Une analyse des résultats des surveillances acoustiques implantées initié au printemps 2023.

Les constatations effectuées sur le terrain à proximité des voies (dans le domaine public) sont :

- Sur tous les secteurs, le bruit principal perçu au passage des rames est un « chuintement » en moyennes fréquences d'intensité moyenne à forte suivant la distance à laquelle on se situe par rapport à la voie, ce « chuintement » est caractéristique du **bruit de roulement**.
- Aucun bruit de crissement (bruit strident généré en courbe par le différentiel de vitesse de la roue extérieure et intérieure des essieux). Le crissement peut être une des causes principales habituelles de plainte de riverains, **celle-ci a été écartée**.
- Sur les secteurs en viaduc aérien, la première sensation est un **bruit de grondement** en basses fréquences à l'approche et au passage des rames. Le bruit de grondement est moins sensible sur les sections de la voie en remblai ou au sol.

Les caractéristiques de l'implantation de la voie dans le milieu urbain montréalais sont :

- Dans le secteur sud de la gare Centrale, il s'agit d'une voie sur ballast, posée sur un viaduc « massif ». Cette configuration de voie est plutôt favorable d'un point de vue acoustique (le son est en partie absorbé par le ballast),
- Sur le reste du parcours (à partir du pont de la Commune), il s'agit d'une voie « béton » qui est réfléchissante d'un point de vue acoustique en comparaison à une voie ballast,
- A partir de la rue Smith, les immeubles d'habitation de grande hauteur sont présents et proches de la voie. Cette configuration est défavorable car elle limite l'utilisation d'écrans acoustiques pour tous les étages en surplomb,
- A partir du Canal Lachine, la voie s'élève et passe en viaduc dit « aérien » sur tablier béton. Cette configuration favorise la propagation du son à plus longue distance que si elle est au sol (absence d'effet de diffraction par les obstacles les plus proches de la voie). Il est à noter que l'élévation de la structure est inférieure à la hauteur de certains immeubles, ce qui limite à nouveau l'utilisation efficace d'écrans acoustiques pour protéger l'ensemble des logements des immeubles.

3.2. ESSAIS DE CARACTERISATION ACOUSTIQUE

Sur la base des observations sur site (voir chapitre 3.1.1), une campagne d'essais de caractérisation acoustique a été opérée sur un tronçon jugé émetteur de niveau sonore élevé et représentatif du tracé, à savoir le tronçon de voie en viaduc traversant le Canal Lachine. D'autres essais ont également été réalisés sur le secteur Marc-Cantin et Île-des-Sœurs avec des résultats concordants à ceux présentés ici pour le Canal Lachine.



Figure 3 : Tronçon de voie sélectionné pour le diagnostic acoustique

Le diagnostic acoustique sur site est basé sur l'analyse des résultats d'une campagne d'essai réalisée par l'entreprise SoftdB pour le compte de GPM (Groupe des Partenaires pour la Mobilité des Montréalais).

4 types de mesures ont été réalisées :

- **Mesure de niveau sonore au passage d'une rame** : visant à caractériser le bruit généré par un passage de rame, d'en identifier les amplitudes et les fréquences caractéristiques.
- **Mesure du taux de décroissance de la voie** : dans l'objectif de caractériser le comportement du rail (et son système d'attache), et d'évaluer la contribution sonore du rail dans le bruit de roulement.
- **Mesure de la rugosité du rail** : visant à évaluer l'état de surface de la bande de roulement du rail et sa contribution au bruit et les vibrations émises durant un passage de rame.
- **Mesures du niveau vibratoire au passage d'une rame** : visant à évaluer les vibrations transmises à l'ouvrage (viaduc) et d'évaluer la contribution sonore du rayonnement de l'ouvrage au bruit total émis.

3.2.1. NIVEAU SONORE AU PASSAGE

Dans l'objectif de travailler pour réduire le bruit à la source, il convient de mesurer ce bruit au plus près. Dans le domaine ferroviaire, la bonne pratique consiste à se placer dans les conditions standards de certification des trains (ISO 3095 : 2013 - Acoustique — Applications ferroviaires — Mesurage du bruit émis par les véhicules circulant sur rails). Cette technique a deux avantages :

- Le microphone est suffisamment proche (7.5 m) pour ne prendre en compte que le bruit provenant des sources du train et de la voie. De fait, on quantifie plus précisément les réductions apportées par les solutions sans être perturbés par les sources de bruit environnantes (bruit routier par exemple).
- On se place dans des conditions standards qui permettent de se comparer avec d'autres scénarios ou d'autres essais, notamment les conditions de certification des rames).
- L'indicateur utilisé est le LAeqTp : niveau sonore équivalent sur la durée du passage, conformément à la définition donnée dans la norme ISO 3095.

Les analyses acoustiques réalisées dans le cadre du diagnostic et des investigations pour la réduction du bruit du REM ont été réalisées à l'aide de microphone à 7.5m en bord de voie. Les réductions associées chez les riverains sont déduites à posteriori.

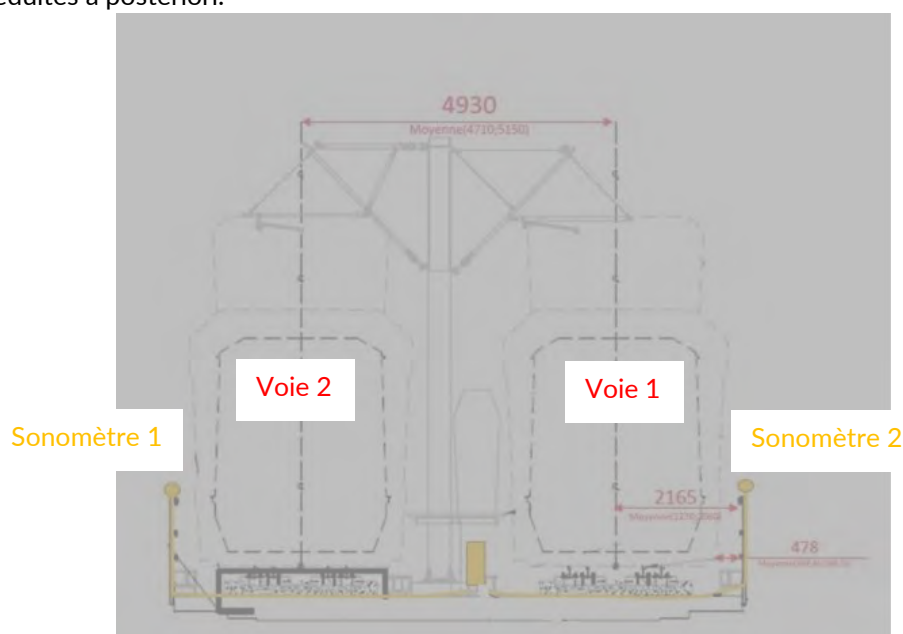


Figure 4 : Configuration d'essai de caractérisation acoustique du bruit au passage d'une rame

Conditions de la mesure :

- Circulation de rames doubles (4 voitures)
- Vitesse de circulation ~55km/h
- Voie considérée en alignement droit (rayon de 3000m), pente de 3.9%
- Pose de voie directe sur plinthe, travelage 75cm

Analyse et commentaire :

Des bosses d'énergie acoustiques ont été constatées, soit une première bosse d'énergie acoustique en basses fréquences, située dans la plage de fréquence 40 – 100Hz, une deuxième bosse avec un maximum d'énergie à plus hautes fréquences dans la plage 500 – 1kHz, puis une troisième bosse à 2 kHz (voir Figure 10) .

Sur la base de nos connaissances théoriques des phénomènes physiques et nos retours d'expérience, nous pouvons émettre les hypothèses suivantes qui peuvent expliquer cette signature particulière du niveau sonore mesuré :

- La composante basses fréquences du spectre est ce qui s'apparente à ce ressenti de bruit de grondement (bruit grave) durant le passage. Il est fort probable qu'elle soit la conséquence d'un rayonnement acoustique des éléments du viaduc (tablier, poutre), lui-même le produit d'une transmission des vibrations de la voie ferrée vers l'ouvrage.
- Les composantes hautes fréquences sont liées au rayonnement acoustique du rail et des roues, qui représente la source principale du bruit de roulement.

3.2.2. TAUX DE DECROISSANCE DE LA VOIE

Une mesure du taux de décroissance acoustique de la voie a été réalisée pour mieux comprendre et analyser les phénomènes physiques à l'origine du bruit produit par le passage de rame.

3.2.2.1. Définition du taux de décroissance du rail

Durant un passage d'une rame, des vibrations sont générées au point de contact roue/rail. Ces vibrations « voyagent » le long du rail, et s'atténuent avec la distance.

Le taux de décroissance est un indicateur qui évalue l'atténuation de ces vibrations du rail en fonction de la distance, il est représenté par un spectre par bandes de tiers d'octave, exprimées en dB/m. La méthode de mesure et d'évaluation du taux de décroissance est défini dans la norme EN 15461.

Ce taux dépend principalement de la raideur des semelles sous le rail (particulièrement entre 200 et 2kHz). Plus le taux est élevé, plus la vibration s'atténue rapidement avec la distance, et par conséquent le rail émet moins de bruit. En d'autres termes, une voie avec un taux de décroissance élevé est une voie plus « silencieuse », qui contribue faiblement au bruit de roulement.

3.2.2.2. Taux de décroissance voie du REM

Le graphe suivant présente le résultat de l'essai opéré sur le tronçon de voie au-dessus du canal de Lachine. À titre de comparaison, la courbe du taux de décroissance des voies servant à la certification acoustique du matériel roulant est présentée (Courbe issue de la norme ISO 3095).

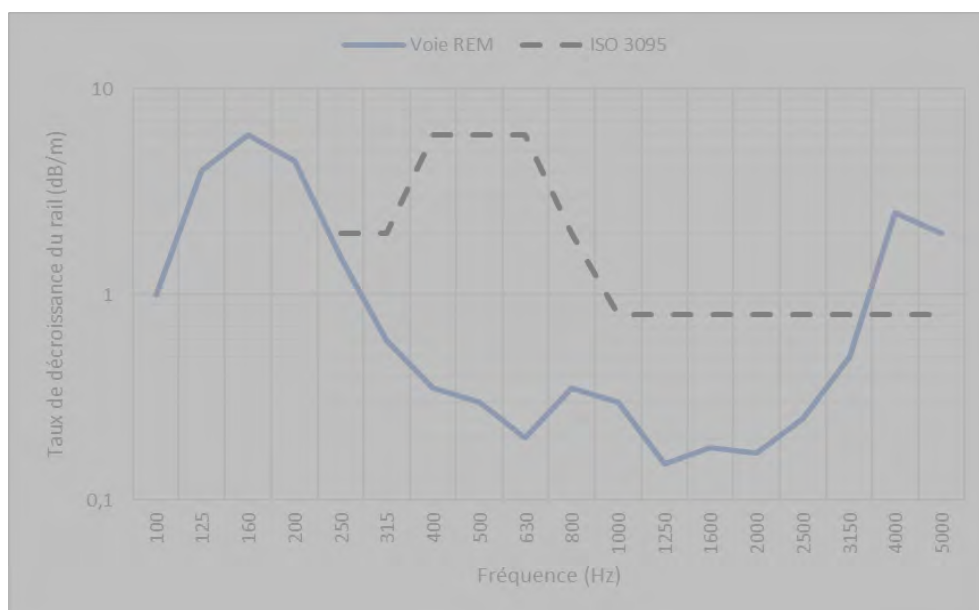


Figure 5: Taux de décroissance de la voie

Analyse et commentaire :

Le résultat met en évidence un fort taux de décroissance de la voie aux fréquences inférieures à 250Hz ainsi qu'aux fréquences supérieures à 3150 Hz.

En revanche, on constate un faible taux de décroissance (inférieur à 0,4dB/m) dans la plage de fréquence 400 – 2 kHz.

Ce constat tend à affirmer que les rails contribuent fortement au niveau sonore au passage dans la plage 400 – 2 kHz.

3.2.3. RUGOSITE DU RAIL

3.2.3.1. Définition de la rugosité

Les défauts du rail et de la roue sont caractérisés par un paramètre appelé la rugosité. La rugosité est définie comme l'amplitude (la profondeur en micromètre) du défaut en fonction de sa longueur d'onde (la taille du défaut en centimètre). Dans la figure ci-dessous, seule la rugosité du rail est représentée. Les défauts de contact roue rail génèrent une excitation qui se propage à la roue et au rail qui rayonne le bruit (analogie avec un gramophone).

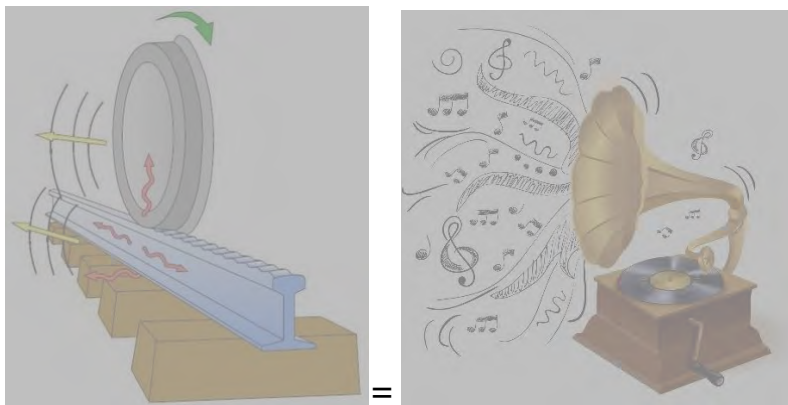


Figure 6 : Rugosité rail & roue : l'origine du bruit de roulement - analogie avec le gramophone

Plus un défaut est court et plus le train va vite, plus la fréquence de l'excitation est élevée. Plus le défaut est long et la vitesse du train faible, plus la fréquence d'excitation est basse. **La coïncidence des fréquences d'excitation avec les fréquences de résonances du rail ou de la roue entraîne un bruit important.**

La rugosité de contact (addition de la rugosité du rail et la rugosité de la roue) est susceptible de générer une excitation large bande, c'est-à-dire que toutes les fréquences sont potentiellement excitées. De fait, la réduction de la rugosité doit viser les bandes de fréquences où on observe du bruit, par priorité, le bruit de roulement en moyennes fréquences et le bruit de grondement en basses fréquences.

La rugosité peut être exprimée en dB comme le bruit. Une réduction de 5 dB de la rugosité pour une longueur d'onde donnée entrainera une réduction du bruit de 5 dB à la fréquence correspondante (à distinguer de la valeur globale en dBA).

3.2.3.2. Rugosité de la voie du REM

Les voies construites spécifiquement pour le REM sont neuves. L'état de rugosité du rail a été évalué sur les voies du secteur Rive-Sud en juin 2023. La figure suivante montre la rugosité relevée sur le canal Lachine en fonction de la fréquence (pour une vitesse de 50 km/h).

La courbe ISO 3095 est un gabarit défini pour les voies d'essai pour la certification acoustique des trains. Ces voies sont utilisées dans un environnement parfaitement contrôlé afin d'isoler et de valider l'acoustique du matériel roulant. Ce gabarit peut être respecté sur une voie en exploitation par suite d'une opération de meulage spécifique. Cependant, l'expérience montre qu'il est très difficile de garantir ce niveau de rugosité sur un réseau complet en exploitation en tout temps et en tout lieu.

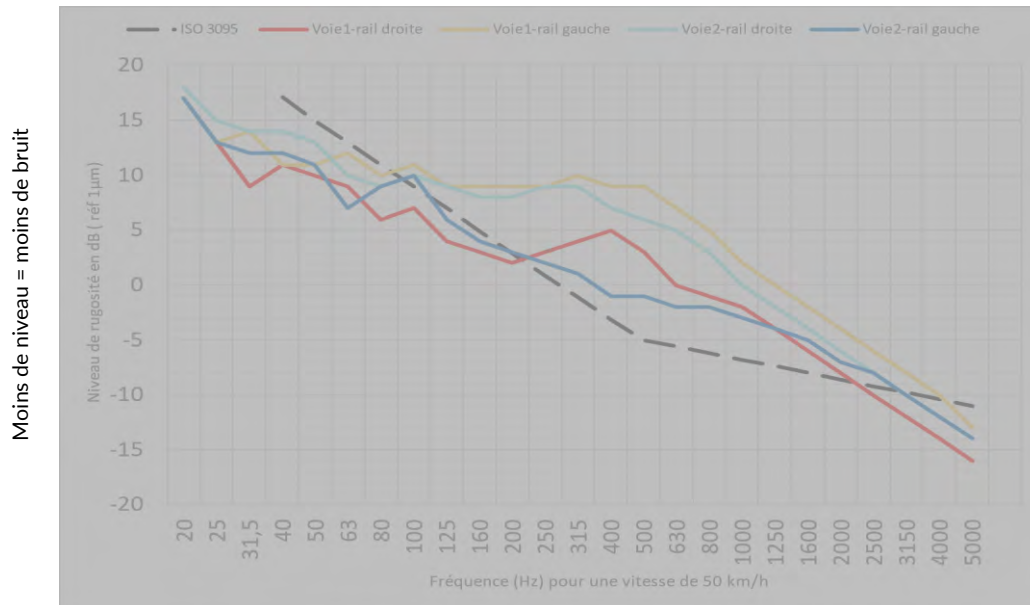
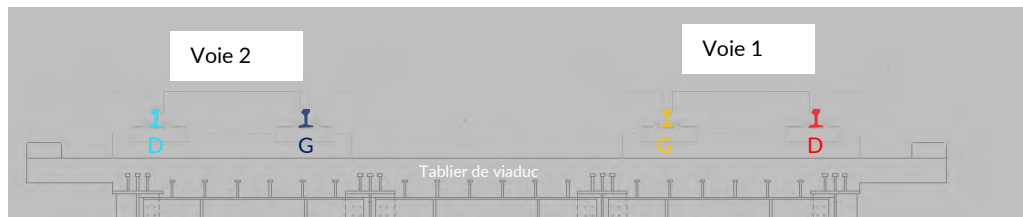


Figure 7: niveau de rugosité des rails entre pk 201+700 et pk 201+900

Analyse et commentaires :

L'analyse de la courbe montre que les niveaux de rugosité actuels sont élevés et coïncident avec la plage de fréquence où le taux de décroissance de la voie est faible (315 – 630 Hz @ 50km/h).

On peut donc conclure que la mise en œuvre d'une stratégie de meulage est une piste sérieuse pour le contrôle du bruit du REM :

- Le potentiel de réduction de la rugosité est important,
- La limite basse correspondant à la rugosité d'une voie de certification ISO 3095 donne une réduction possible de la rugosité de l'ordre de 2 à 5 dB (valeur globale).

3.2.4. NIVEAU VIBRATOIRE AU PASSAGE

Durant la visite de site, un bruit de grondement a été identifié (basses fréquences).

L'hypothèse associée à ce ressenti est une possible transmission des vibrations vers l'ouvrage (le viaduc) se traduisant par un rayonnement acoustique basses fréquences du tablier et des poutres. Cette hypothèse a été confirmée par des mesures de vibrations sur la dalle de la voie, le tablier du viaduc et sur piles du viaduc.

3.3. ANALYSE DES RESULTATS

Le diagnostic acoustique, basé sur une visite du site et une analyse des résultats d'essais acoustique et vibratoire, permet de comprendre les phénomènes physiques responsables du bruit émis dans l'environnement durant la circulation des rames.

Le bruit de grondement ressenti sur site à proximité des tronçons en viaduc semble être la conséquence d'une transmission de vibrations ferroviaires vers l'ouvrage. Ces vibrations se traduisent par un rayonnement acoustique basse fréquence des éléments de l'ouvrage (tablier et poutres) principalement dans la plage de fréquence 50 – 80Hz.

Par ailleurs, les essais sur le tronçon canal de Lachine mettent en évidence un faible taux de décroissance des vibrations le long du rail dans la plage 500Hz – 1kHz. Ce faible taux s'explique par la souplesse des semelles sous rail. La conséquence est un rayonnement élevé du rail dans la plage de fréquence identifiée.

Enfin, les essais de rugosité ainsi que l'observation de l'état de roues au centre de maintenance tendent à montrer que la rugosité de contact peut être réduite. Il est à noter que la rugosité des rails est caractérisée par un niveau élevé à des fréquences coïncidant avec le faible taux de décroissance du rail (pour des vitesses de circulation autour de 50 km/h).

Sur la base de ce diagnostic, il apparaît pertinent de mener une réflexion sur deux axes de réduction de bruit, chaque axe ayant pour objectif la mitigation d'un phénomène physique bien identifié :

- Axe1 : augmenter le taux de décroissance des rails
- Axe2 : réduire et contrôler dans le temps la rugosité de contact roue/rail

4 PRINCIPES DE MITIGATION

4.1. STRATEGIE ACOUSTIQUE GENERALE POUR LA REDUCTION DU BRUIT

Il existe plusieurs leviers pour réduire le bruit, on peut agir soit sur l'émission, la propagation ou la réception du bruit (voir figure ci-dessous).

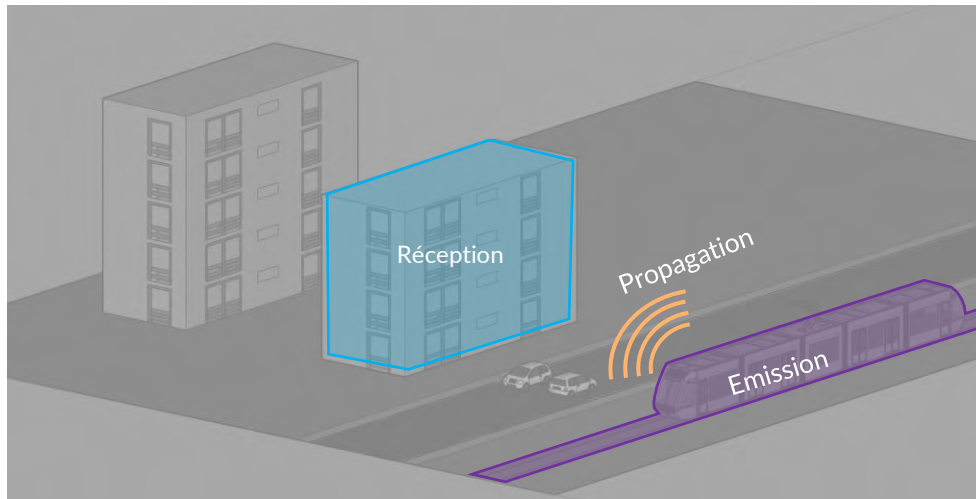


Figure 8 : Schéma d'émission - propagation - réception du bruit aérien

Pour réduire le bruit d'une source acoustique et en particulier celui du REM, la méthodologie communément admise la plus pertinente et efficace consiste à :

- 1) Réduire le bruit à la source : il faut identifier les sources et comprendre comment est généré le bruit. C'est la solution qui a le meilleur potentiel de réduction. **Pour le bruit du REM, en se basant sur les résultats du diagnostic acoustique, il s'agit d'envisager des actions visant à :**
 - a) Augmenter le taux de décroissance du rail
 - b) Réduire et contrôler dans le temps l'état de surface des bandes de roulement
- 2) Diminuer la propagation du bruit entre la source et le récepteur : il s'agit de placer des contre-mesures visant à limiter la propagation des ondes sonores. La solution la plus efficace consiste à absorber l'énergie acoustique proche de la source. Pour le bruit ferroviaire, cela consiste à placer des écrans acoustiques absorbants au plus près de la source. L'efficacité est aussi dépendante de la dimension (hauteur) des écrans et de la position des récepteurs. Plus l'écran est loin de la source, moins l'écran est efficace. Plus le récepteur est loin de l'écran, plus la réduction est faible. **Pour le cas du REM secteur Rive-Sud, il y a peu de situations favorables d'un point de vue acoustique à l'implantation d'écrans additionnels à ceux déjà en place.**
- 3) Protéger le récepteur : Cette solution n'est pas envisagée. Les mesures de réductions à la source sont privilégiées parce qu'elles sont les plus efficaces et ont des impacts plus larges.

4.2. ABSORBEURS DYNAMIQUES

Un absorbeur dynamique est un équipement ajouté sur le rail pour réduire ses vibrations (augmenter le taux de décroissance) et donc le bruit rayonné par celui-ci.

Le principe est de distribuer le long de la voie des résonateurs accordés sur les fréquences dont on veut augmenter le taux de décroissance. L'accordage est obtenu par un système masse-ressort. Dans l'exemple ci-dessous, le ressort est la partie en polymère (en noir sur les photographies ci-dessous) et la masse est un lingot d'acier noyé dans le polymère. Le résonateur est plaqué sur le rail à l'aide d'agrafes métalliques (en gris sur la photographie).



Figure 9 : Exemple d'absorbeurs dynamiques « Tuned Rail Damper », Source Poly-Corp Ltd. <http://poly-corp.com/assets/pdf/rail/Polycorp-Transportation---Tuned-Mass-Rail-Damper-TMD.pdf>

Cette mesure de mitigation agit à la source et permet de réduire le bruit en fonction des fréquences de résonance du rail. Les caractéristiques techniques des absorbeurs dynamiques sont déterminées en fonction des caractéristiques de la voie et du rail (taux de décroissance du rail, raideur des semelles sous rails).

Cette solution éprouvée est déployée sur de nombreux réseaux ferroviaires à travers le monde (métros, trains), par exemple :

- Réseau de Barcelone, Ligne L9
- Réseau de Hong kong (West Island Line, kwun tong line)
- Réseau de Perth (Joondalu line)
- Réseau de Sydney (Chatswood-Tallawon Line)

Dans le cas du REM, cette solution est pertinente car les analyses de caractérisation acoustique montrent que :

- Le rayonnement du rail est dominant par rapport à la roue,
- Le taux de décroissance du rail (TDR) est faible aux fréquences où le bruit est le plus élevé.

L'utilisation des absorbeurs est optimale pour des poses de voie particulières et son efficacité dépend fortement des paramètres du système de fixation du rail. En général, plus les fixations et les semelles de rail sont souples, plus le rail vibre et plus les absorbeurs sont efficaces.

Pour les voies du REM :

- La solution est à privilégier sur les secteurs sur semelles souples, soit toute la partie en viaduc aérien. Une seule voie d'un secteur de 240 m sur le pont du canal Lachine a été équipée d'absorbeurs dynamiques à titre d'essai (voir Figure 3 & Figure 10). **Une réduction significative de 5-6 dB du niveau de bruit sur le temps de passage est observée en bord de voie (7.5 m de la voie).** La réduction apparaît

dans la zone fréquentielle attendue (400Hz à 1 000 Hz). Vu ces résultats, c'est la solution qui est en cours de déploiement à la date de rédaction de ce rapport.

- Pour les secteurs sur voie ballastée et sur semelles rigides (entre la Gare Centrale et le pont de la Commune), les réductions attendues sont moindres et les absorbeurs nécessitent d'être spécifiquement dimensionnés pour en optimiser le résultat. Cette action est en cours à la date de rédaction de ce rapport.

Le graphe présenté ci-dessous indique le résultat du niveau sonore mesuré durant des passages de rames au PK 201+780 (au milieu du Canal Lachine). À noter que les résultats en dBA sont présentés sous forme d'un spectre en fréquence pour fins d'analyse et ne représentent pas la valeur globale du bruit.

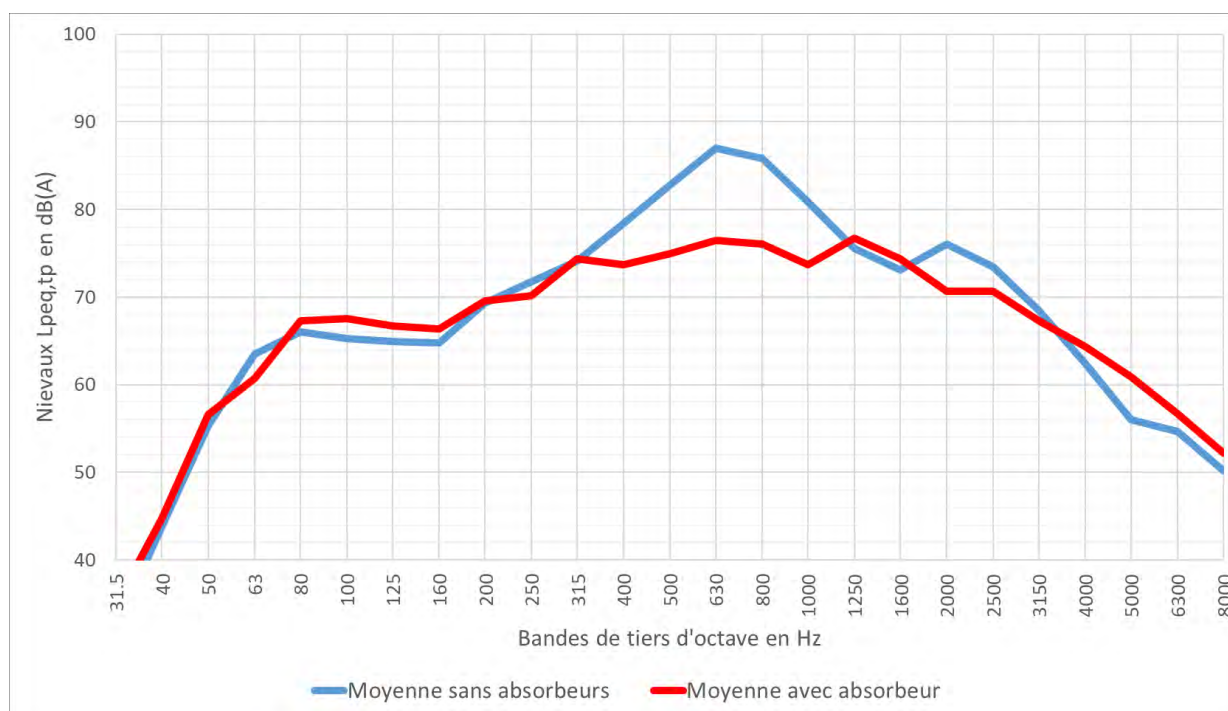


Figure 10: Niveau de bruit moyen en bord de voie, sans absorbeurs dynamiques, avec absorbeurs dynamiques- pk 201+780 - Voie 2

Notes importantes :

- Pour apprécier la réduction du bruit à des distances importantes (typiquement chez les riverains), il est nécessaire que les deux voies soient traitées et sur des distances suffisamment longues (environ 4 fois la distance entre la voie et le récepteur),
- Le bruit en basses fréquences (bande de tiers d'octave 63 Hz et autour) ne peut pas être réduit avec des absorbeurs dynamiques. Ce sont d'autres phénomènes physiques qui sont en jeu et qui nécessitent une solution spécifique (voir chapitre 4.3).

4.3. STRATEGIE DE MAINTENANCE « ACOUSTIQUE »

Pour corriger les défauts de rugosité de la voie, les rails sont rectifiés par une opération de meulage (voir figure ci-dessous). Le meulage peut être utilisé dans un objectif de prolongement de sa durée de vie du rail pour les défauts d'usure normale de rail, on parle alors de meulage « traditionnel ». Le meulage permet aussi de réduire les amplitudes des défauts dont les longueurs d'onde correspondent aux fréquences de résonnances du rail ou de la roue, c'est le meulage « acoustique ».

Les roues des trains sont aussi soumises à des opérations de maintenance, on parle de reprofilage de la roue.

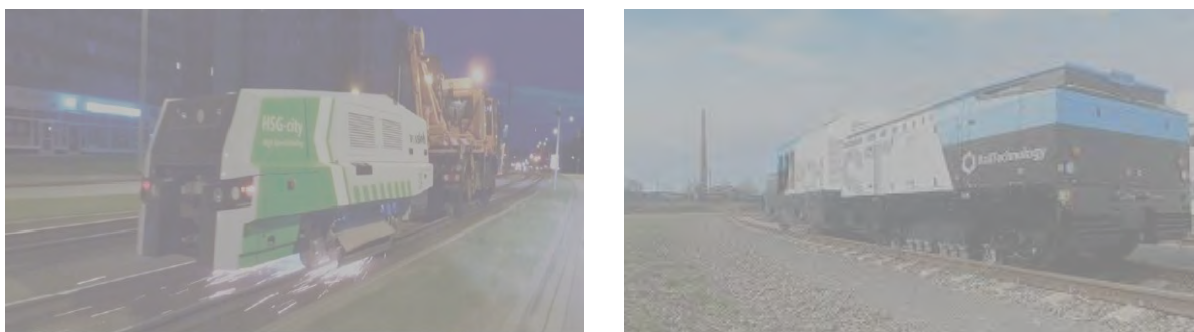


Figure 11: Opération de meulage pour maintenance de l'état de surface des rails. Sources : Vossloh / RailTechnology

Les rugosités du rail et des roues sont des paramètres qui évoluent : la rugosité a tendance à augmenter avec le temps (usure, fatigue). Ce qui entraîne une augmentation progressive du bruit.

Les opérations de meulage « acoustique » et de reprofilage des roues s'inscrivent dans des programmes de maintenances préventives. L'aspect acoustique doit y être intégré de façon plus spécifique. Cette stratégie de maintenance est en cours d'élaboration pour le REM de concert avec l'opérateur GPMM.

4.4. IMPLANTATION DE BARRIERES ACOUSTIQUES

Les barrières acoustiques sont une solution très répandue pour protéger les bâtiments du bruit du trafic (routier, ferroviaire).

Le principe de cette solution est de créer un obstacle à la propagation des ondes sonores et si possible, d'en absorber une partie de l'énergie par des matériaux adaptés couvrant la face intérieure (coté voie ferrée) de l'écran.

La performance d'atténuation d'une barrière dépend principalement de la position du récepteur à protéger (bâtiment) par rapport à l'émission de bruit (passage d'une rame).

Augmenter la hauteur de la barrière tend à augmenter la zone protégée (appelée zone d'ombre). Il existe toutefois des contraintes structurelles (prise au vent, descente de charge supportée par l'ouvrage...) qui limitent la réhausse des barrières. Les hauteurs de barrière les plus répandues dans le cas d'une implantation sur ouvrage sont de l'ordre de 2m.

Par conséquent, l'atténuation espérée par une telle solution varie grandement d'une situation à une autre, allant de moins de 1dB dans le cas les plus inadaptées (logement des étages supérieurs d'un grand bâtiment), jusqu'à plus de 10dB pour les situations les plus favorables.

A noter également que les barrières acoustiques ont un effet seulement sur le bruit émis par la voie et le matériel roulant. Il est fort probable que le bruit de grondement, à priori lié au rayonnement de l'ouvrage (viaduc) soit très peu, voire nullement atténué.

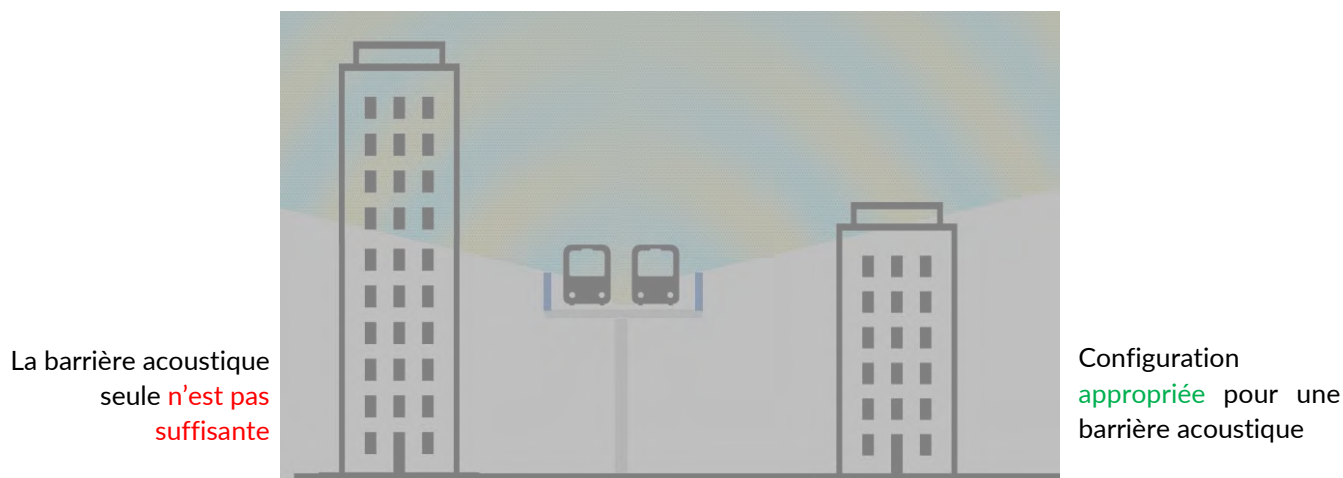


Figure 12: Principe de protection par des barrières acoustiques

La possibilité d'ajouter des barrières additionnelles a été étudiée d'un point de vue ingénierie préliminaire. Le constat est que la structure du viaduc pourrait supporter l'ajout de barrières d'environ 2 mètres de hauteur. Toutefois compte tenue de la configuration des résidences (hautes tours à condominiums) par rapport au viaduc dans plusieurs secteurs, et des sources de bruit, il n'y aurait pas de gain acoustique significatif en considérant l'ensemble des riverains. Ainsi il est plus pertinent de déployer des mesures de mitigation à la source (absorbeurs dynamiques et maintenance acoustique - meulage). Selon notre expérience sur d'autres réseaux de métros légers, ces solutions « à la source » sont les plus efficaces compte tenu du contexte du REM et offrent les meilleurs gains acoustiques.

5 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'analyse par SYSTRA de la situation acoustique du REM sur le secteur Rive-Sud a permis de proposer une stratégie générale de réduction du bruit. Cette stratégie en 3 étapes est résumée à la Figure 13.

Cette stratégie s'appuie sur 2 axes principaux de réduction à la source (réduction du bruit de rayonnement du rail, réduction de l'excitation (de la rugosité du rail et de la roue), pour un total anticipé de 5 à 10 dBA de réduction du bruit au passage. Un suivi sonore devra être effectué pour valider l'atteinte de ces objectifs de réduction du bruit.

Niveaux de bruit au passage $L_{Aeq,tp}$

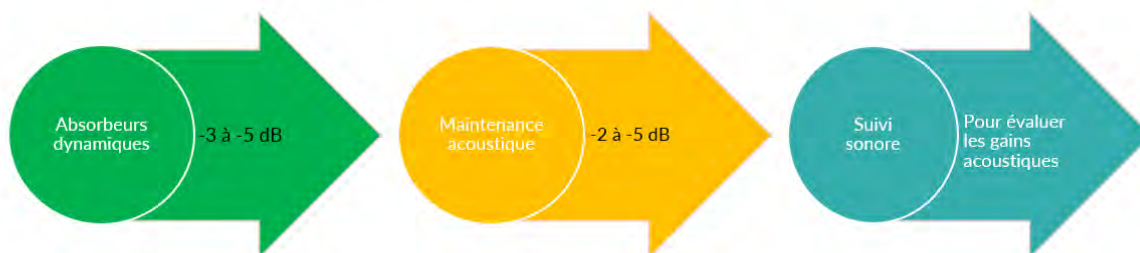


Figure 13 : Stratégie de réduction du bruit du REM sur secteur Rive-Sud

Les solutions à mettre en œuvre sont rappelées ci-dessous. Elles sont dès maintenant à l'étude pour les autres secteurs de circulation de REM non-encore en service.

5.1. ABSORBEURS DYNAMIQUES

Solution : Les absorbeurs dynamiques sont des systèmes qui amortissent la vibration des rails pour la réduction du bruit de roulement. Elle a été testée avec succès sur une portion de voie de 240 m en viaduc au-dessus du canal Lachine avec une réduction du bruit au passage (en bord de viaduc, à 7.5 m des voies) de 5 dB environ.

Action : Les absorbeurs dynamiques seront déployés en priorité sur le secteur Rive-Sud partout où les conditions sont favorables (semelles souples) et où l'efficacité sera la plus grande pour les riverains (quand la voie est proche des habitations).

Perspective : L'objectif est d'étendre la solution aux secteurs requis. La prochaine étape est de concevoir des systèmes qui soient accordés avec les conditions de poses de voie spécifiques (voie ballastée sur semelle rigide au sol ou en remblai dans le secteur de la gare Centrale).

5.2. STRATEGIE DE MAINTENANCE ACOUSTIQUE

Solution : La rugosité roue / rail est le paramètre clé qui régit l'excitation responsable du bruit de roulement. Les rugosités sont les états de surface et les défauts de la roue et du rail. Plus la rugosité est faible, moins il y a de bruit. Un minimum de rugosité est cependant requis pour assurer une adhérence suffisante entre la roue et le rail. Les rugosités augmentent avec le temps (usure des rails et des roues), elles sont donc suivies par un programme de maintenance (opération de meulage pour le rail et reprofilage pour les roues).

Les voies et le matériel roulant du REM étant neufs ou très peu usagés, il est nécessaire de faire un état des lieux et d'établir une stratégie de maintenance « acoustique » adaptée.

Action : Un procédé de meulage acoustique spécifique sera déployé, permettant : 1) de réduire la rugosité des rails après meulage initial, 2) de contenir dans le temps le niveau de rugosité à des niveaux acceptables d'un point de vue acoustique.

Le reprofilage des roues est la responsabilité de l'exploitant. Des concertations sont en cours pour un état des lieux ainsi qu'un programme de suivi.

Perspective : L'objectif à moyen terme est d'intégrer ces actions dans une stratégie de maintenance préventive globale du réseau et du parc de matériel roulant. Cette stratégie a été déployée avec succès sur d'autres réseaux du même type que le REM tels que les réseaux de Toulouse (France), Düsseldorf (Allemagne) et sur des réseaux en Asie.

5.3. BARRIERES ACOUSTIQUES ET ECRANS

Solution : Les barrières acoustiques sont une solution éprouvée pour réduire la propagation du bruit de roulement quand les conditions sont favorables. Les limites sont la géométrie des barrières (hauteurs), leurs performances acoustiques (affaiblissement, absorption acoustique) et surtout la position des récepteurs. Il est possible d'obtenir de bonnes réductions en certains points (zone d'ombre des écrans acoustique) et négligeables en d'autres points (récepteur en hauteur dans la zone des condominiums). C'est pourquoi cette solution n'est pas mise en œuvre en priorité dans les zones étudiées.

Action : Tel que mentionné précédemment, la capacité de l'ouvrage à accueillir des murs anti-bruit additionnels a été validée. À l'heure actuelle et compte tenu du diagnostic acoustique, il est attendu que les mesures de mitigation à la source présentées (absorbeurs et meulage acoustique) permettront les meilleurs gains acoustiques.

Perspective : Le suivi sonore se poursuivra en continu afin de mesurer et confirmer le gain acoustique du déploiement des mesures de mitigation à la source.

SYSTRA

72-76 rue Henry Farman

75015 Paris – France

+33(0)1 40 16 61 00

www.systra.com



LA CONFIANCE TRANSPORTE LE MONDE



Annexe 4 – Fiche technique des sonomètres

Stations de Monitoring Watch

Services Monitoring Soft dB

Les stations de monitoring Watch sont Compactes, Robustes et contiennent des Dispositifs Puissants

3 Modèles disponibles :

- **NoiseWatch** Station de monitoring de Classe 1
- **VibWatch** Station de monitoring mesurant les vibrations et les surpressions
- **ProWatch** Station de monitoring mesurant le Bruit, les Vibrations et les Surpressions

Mesures acoustiques :

- Conformes aux standards IEC 61672/ANSI S1.4 Classe 1
- Leq, Lmax, Lmin, Lpeak, et SEL en pondérations A, C et Z
- 7 niveaux statistiques (LN %) pour la pondération choisie (A, C ou Z)
- LA_{Fm5} (TaktMaximal) pour les impulsions
- Spectres en 1/1 Octave, en 1/3 Octave et FFT
- Enregistrement simultané des données d'intervalle et des événements audios

Mesures de vibrations :

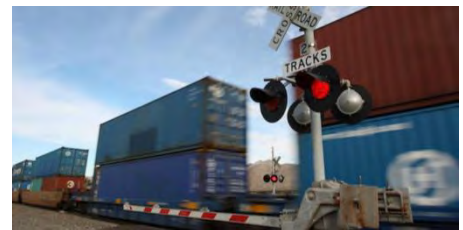
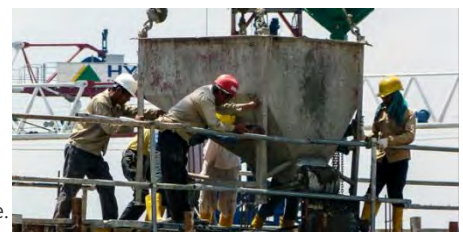
- Conformes aux standards ISEE, DIN 45669-1 et ISO 8041
- Plage de fréquences allant de 0,5 Hz – 1 kHz
- 2 plages dynamiques (± 2 G, ± 8 G)
- Taux d'échantillonnage de 2,7 kHz
- Mesures simultanées de :
 - L'accélération et la vitesse sur la plage de fréquence définie par l'utilisateur
 - L'accélération selon le standard ISO 8049 Wm
 - La vitesse selon le standard DIN 45669 KBFT
 - Le signal et le niveau crête des surpressions (OPL : overpressure peak level)
- Filtres avec bandes de fréquences définies par l'utilisateur
- Enregistrement simultané des données d'intervalle et des événements vibratoires
- Vérification automatique des capteurs

Solution d'alimentation intégrée :

- Batterie permettant 5 jours d'autonomie en continu,
- Kit solaire optionnel fournissant une alimentation illimitée,
- Source d'alimentation secteur pour les installations permanentes.

Compatible avec les service de monitoring Soft dB :

- Module 4G LTE intégré pour le transfert de données,
- GPS intégré pour la géolocalisation et la synchronisation précise de l'horloge interne.

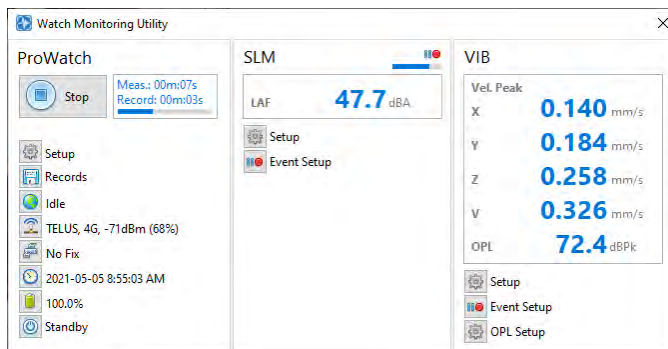


Déploiement Simple

Logiciel de Gestion

Le logiciel Watch Utility est un outil simple pour la configuration de la Station Watch.

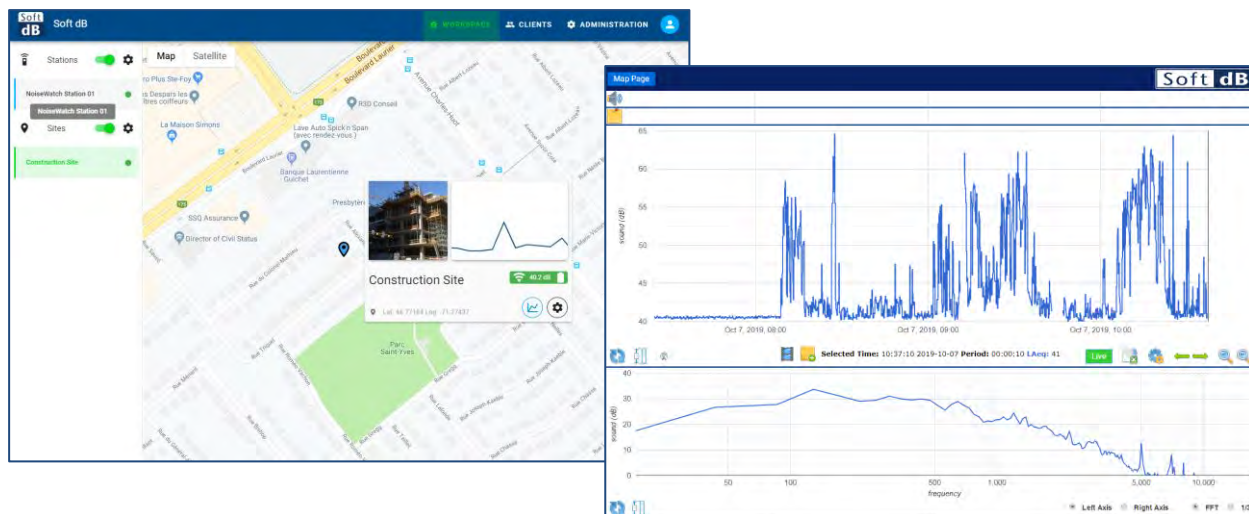
- Lancement et arrêt de la mesure;
- Changement de la configuration des mesures;
- Gestion des paramètres du service internet;
- Téléchargement des enregistrements;
- Visualisation du statut du module 4G;
- Visualisation du statut du module GPS;
- Visualisation du statut de la batterie;
- Visualisation du certificat de calibration embarquée.



Plateforme internet de monitoring

La plateforme de monitoring Soft dB est une application internet libre-service qui apporte une valeur importante aux campagnes de mesures de bruit sans surveillance de courte ou de longue durée :

- Contrôle de toutes vos stations de monitoring (coordonnées GPS, statut de la batterie, etc.);
- Configuration des alertes pour les avertissements des stations (batterie faible, hors ligne, etc.);
- Contrôle des alertes de dépassements sonores et vibratoires (SMS et courriels);
- Téléversement des données en temps réel;
- Hébergement sécuritaire des données;
- Contrôle de la durée des périodes (10 m, 1 h, etc.);
- Assignation des stations de monitoring aux sites de mesures;
- Création de pages d'accès client pour des sites spécifiques.



Spécifications techniques de la station de monitoring

Mesure	NoiseWatch	VibWatch	ProWatch
Sonomètre (SLM: Sound Level Meter)	✓		✓
Vibration (Acc., Vit. et surpressions OPL)		✓	✓
Mémoire*			
Taille de la mémoire embarquée*	16 MB		
Échantillonnage			
Durée des intervalles d'enregistrement	1s à 1h		
Résolution des intervalles d'enregistrement	1 s		
Mode d'enregistrement	Auto sauvegarde continue		
Synchronisé sur l'horloge en temps réel	Oui		
Monitoring			
Cellulaire	4 G LTE avec repli HSPA+, antennes intégrées		
GPS	GPS 56 canaux, SBAS, QZSS, RTC embarqué		
Chargement des enregistrements	Service de monitoring Soft dB		
Environnemental			
Température d'opération	-20 °C à 40 °C		
Température de stockage	-30 °C à 50 °C		
Certifié à	NEMA Type 4 — IP66		
Alimentation			
Puissance	1,1 W	1,3 W	
Batterie	168 Wh (12V-14Ah)		
Autonomie des batteries (sans alimentation solaire ou électrique)	132 h (5 jours, 12 h)	120 h (5 jours)	
Physiques			
Hauteur	324 mm (12 ¾")		

Épaisseur	273 mm (10 ¾")
Profondeur	145 mm (6 5/8")
Poids	8,9 kg (19.6 lbs)
Accessoires	
Câble USB	0,9 m (3') A à Micro-B
Alimentation électrique secteur (optionnelle)	Alimentation interne (24VDC, 2A). Remplace le connecteur de panneau solaire par un câble
Panneau solaire (optionnel)	Panneau solaire 50W (601 x 498mm / 23,7" x 19,6")
Support de fixation (optionnel)	Autorise des sangles pour des poteaux d'un diamètre allant de 3 cm à 30 cm (1 ¼" to 11")

*la mémoire est illimitée si les enregistrements sont chargés sur la plateforme internet de monitoring

Spécifications techniques acoustiques

Sonomètre		
Standards	IEC 61672-1/ ANSI S1.4-1 (2013) Classe 1, ANSI S1.43 (2007) Type 1, IEC 60651 (1979), Amd.1 (1993-02), Amd.2 (2000-10) Type 1	
Certificat	Certificat de calibration enregistré en mémoire non volatile	
Moyenne	Exponentielle et linéaire	
Pondération temporelle	Lent (Slow) ou Rapide (Fast)	
Pondération fréquentielle	A, C et Z	
Fréquence d'échantillonnage	44,1 kHz	
Gamme dynamique	Basse (Low)	Haute (High)
Niveau crête maximum	105 dBZpk	115 dBZpk
Niveau inférieur à la plage (Under-range level)	30 dBA	38 dBA
Niveau de bruit électrique	22 dBA	30 dBA
Niveau de bruit total	24 dBA	30 dBA
Sensibilité nominale du microphone	28 mV/Pa	
Technologie du microphone	Condenseur Électret	
Spectre		
Standards	IEC 61260-1/ ANSI S1.11-1 (2014) Classe 1	
Moyenne	Linéaire (Leq)	
Spectre 1/1 Octave	31,5 Hz à 8 kHz	
Spectre 1/3 Octave	20 Hz à 16 kHz	
Spectre FFT	400 lignes sur 6 largeurs de bandes de 539 Hz à 17,2 kHz	
Enregistrements d'intervalle		
Données enregistrées	Leq, SEL, Lpeak (A, C et Z) Lmax, Lmin, (Lent (Fast) ou Rapide (Slow), A, C et Z) LN % (1%, 2%, 5%, 8%, 10%, 50%, 90%, 95%, 99%), (Lent (Fast) ou Rapide (Slow), A, C ou Z) LAftm5 (TaktMaximal) Spectres (1/1 Octave, 1/3 Octave and FFT)	
Résolution des données	0,1 dB	
Évènements audios		
Résolution	11 025 kHz, 16-bit (compression dynamique adaptative 8-bit ou 4-bit)	
Seuil de déclenchement de l'évènement	Défini par l'utilisateur de 40 à 90 dB (A, C ou Z - SPL Lent (Slow) ou Rapide (Fast))	
Durée de pré déclenchement de l'évènement	Définie par l'utilisateur de 0 s à 3 s	
Durée totale de l'évènement	Définie par l'utilisateur de 5 s à 30 s	
Mémoire*		
Maximum d'enregistrements d'intervalle	97 920 (sans FFT activée) – 16 320 (avec FFT activée)	
Maximum évènements audios	11 min 50 s (compression 8-bit) – 23 min 40 s (compression 4-bit)	
Accessoires		
Écran anti-vent pour le microphone	Protection pour toutes conditions météorologiques	

Câble BNC du microphone

1,2 m (4')

Certificat de calibration

Testé selon les procédures du standard IEC 61672-3 (2013)

* la mémoire est illimitée si les enregistrements sont chargés sur la plateforme internet de monitoring

Spécifications techniques vibratoires

Capteur de vibration	
Standards	ISEE (2017), DIN 45669-1 (2010), ISO 8041 (2005)
Certificat	Certificat de calibration enregistré en mémoire non volatile
Technologie du capteur	Accéléromètre Triaxial MEMS
Fréquence d'échantillonnage	2,756 kHz
Axe	X (Trans.), Y (Long.), Z (Vert.), Vecteur-Somme
Filtrage des signaux	Filtres séparés pour l'Accélération et la Vitesse, n'affectent pas les standards ISO Wm et DIN KBFT
Fréquences des filtres passe-haut (kHz)	0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,125; 4,0; 5,0
Fréquences des filtres passe-bas (Hz)	100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000
Standards des filtres de pondération	DIN 45669 KBF, ISO 8041 Wm
Test intégré	Force électromécanique injectée sur le capteur
Physiques	
Hauteur	35 mm (1 3/8")
Largeur	57 mm (2 1/4")
Profondeur (sans connecteur)	64 mm (2 1/2")
Profondeur (avec connecteur)	78 mm (3 1/16")
Poids	175 g (6,2 oz)
Densité	1370 kg/m ³ (85,5 lbs/ft ³)
Installation	Trous de fixation de 2x 4.5mm (acceptent les vis à métaux M4 or 8-32)
Niveau de surpression (OPL : Overpressure level)	
Standards	ISEE (2017)
Niveau crête maximum	128 dBpk
Niveau inférieur à la plage (Under-range level)	56 dBpk
Bande passante	2 Hz — 315 Hz
Fréquence d'échantillonnage	1 378 kHz
Sensibilité nominale du microphone	6,3 mV/Pa
Technologie du microphone	Condenseur Électret
Métrique mesurée	Niveau pic de surpression (OPL pk)
Enregistrements d'intervalle	
Métriques mesurées	Accélération sur la bande de fréquence définie par l'utilisateur (RMS et Pk) (X, Y, Z et V) Vitesse sur la bande de fréquence définie par l'utilisateur (RMS et Pk) (X, Y, Z et V) Accélération selon le standard ISO 8041 Wm (RMS et Pk) (X, Y, Z et V) Vitesse selon le standard DIN 45669 KBFT (0;125s Expo. RMS) (X, Y, Z et V) Champ gravitationnel terrestre (Moy.) (X, Y, Z et V) Niveau pic de surpression (OPL pk)
Évènements vibratoires	
Métriques mesurées	Toutes les métriques des enregistrements d'intervalle (Période d'échantillonnage de 0,093 s)
Signaux	Accélération ou Vitesse (X, Y et Z) (2 756 kHz) et OPL (1 378 kHz)

Mémoire*	
Enregistrements Vib. d'intervalle	81 600
Évènements signaux Vib.	9 min 28 s

*la mémoire est illimitée si les enregistrements sont chargés sur la plateforme internet de monitoring

Spécifications techniques vibratoires (suite)

Accessoires						
Plaque de fixation du capteur Vib.	57 mm x 64mm x 19 mm (avec matériel de fixation et 3 pics)					
Câble d'extension du capteur Vib.	M12, 4 — Conducteur, Femelle-Mâle, 10m (peut être montée en parallèle jusqu'à 100 m)					
Certificat de calibration du capteur Vib.	Testé selon les procédures des standards ISEE (2017), DIN 45669-1 (2010), ISO 8041 (2005)					
Écran anti-vent du microphone OPL	Protection pour toutes conditions météorologiques					
Câble BNC du microphone OPL	1,2 m (4')					
Certificat de calibration du microphone OPL	Testé selon les procédures du standard ISEE (2017)					
Plage dynamique du capteur vibratoire*	Bas (Low)			Haut (High)		
	X, Y	Z	V Somme	X, Y	Z	V Somme
Accélération pic maximum (m/s ²)	±19,61	±9,81**	±9,81**	±78,4	±68,6**	±68,6**
Accélération pic large bande (0.5Hz-1kHz) (m/s ²)	24,0 m	34,0 m	48,0 m	30,0 m	40,0 m	58,0 m
Accélération RMS large bande (0.5Hz-1kHz) (m/s ²)	6,00 m	8,50 m	12,0 m	7,50 m	10,0 m	14,5 m
Vitesse pic large bande (0.5Hz-1kHz) (m/s ²)	220 u	400 u	500 u	400 u	440 u	720 u
Vitesse RMS large bande (0.5Hz-1kHz) (m/s ²)	55,0 u	100 u	125 u	100 u	110 u	180 u
Vitesse pic selon ISEE (1.6Hz-315Hz) (m/s)	120 u	240 u	300 u	200 u	260 u	380 u
Vitesse RMS selon ISEE (1.6Hz-315Hz) (m/s)	30,0 u	60,0 u	75,0 u	50,0 u	65,0 u	95,0 u
Vitesse pic selon DIN (0.8Hz-100Hz) (m/s)	160 u	340 u	400 u	280 u	400 u	560 u
Vitesse RMS selon DIN (0.8Hz-100Hz) (m/s)	40,0 u	85,0 u	100 u	70,0 u	100 u	140 u
Accélération pic selon ISO Wm (0.8Hz-100Hz) (m/s ²)	2,20 m	3,60 m	4,80 m	2,90 m	4,00 m	5,80 m
Accélération RMS selon ISO Wm (0.8Hz-100Hz) (m/s ²)	550 u	900 u	1,20 m	730 u	1,00 m	1,45 m
Vitesse RMS selon DIN KBFT (0.8Hz-100Hz) (m/s)	30,0 u	60,0 u	75,0 u	45,0 u	65,0 u	90,0 u

* Les valeurs dans le tableau ci-dessus sont les spécifications minimales. Les accélérations pics maximales typiques sont plus hautes et les vitesses sont plus basses.

** La plage dynamique est limitée par le champ gravitationnel terrestre sur l'axe vertical

