



Analyse – Efficacité des mesures de mitigation déployées sur la Rive-Sud



Réseau express métropolitain (REM)

15 février 2024

Réseau express métropolitain (REM)

Fiche d'identification

Maitre d'ouvrage	Projet REM s.e.c.
Projet	Réseau express métropolitain (REM)
Etude	
Date du document	15 février 2024
Nom du fichier	Analyse - Efficacité des mesures de mitigation déployées sur la Rive-Sud
Langue du document	Français
Nb de pages	25



Approbation					
	Nom Prénom	Fonction	Date	Signature	Modifications
Rédaction	Jean-Luc WOJTOWICKI	Responsables études	15/02/2024		
Vérification	Walid WASMINE	Responsables études	15/02/2024		

Table des matières

1	Introduction	6
2	Rappel du diagnostic acoustique de septembre 2023.....	8
2.1.	Généralité sur le bruit émis par le rem.....	9
2.2.	Stratégie acoustique générale pour la réduction du bruit.....	9
2.3.	Mesures identifiées.....	10
2.4.	Absorbeurs dynamiques.....	10
2.5.	Stratégie de maintenance acoustique.....	11
2.6.	Niveau sonore au passage	12
2.7.	Gains acoustiques attendus.....	13
3	Avancement de la mise en place des mesures de mitigation et étude de la zone du viaduc sud.....	14
3.1.	Avancement des mesures de mitigation.....	15
3.1.1.	Meulage des rails et reprofilage des roues.....	15
3.1.2.	Pose des absorbeurs dynamiques accordés	15
3.2.	Zone du viaduc sud	16
4	Analyse des résultats	17
4.1.	Méthodologie de suivi du bruit	18
4.2.	Voie ballastée avec traverses en béton	18
4.3.	Voies surélevées sur tablier en béton.....	20
4.3.1.	Réduction apportée par le meulage des rails et le reprofilage des roues	21
4.3.2.	Réduction apportée par les absorbeurs dynamiques.....	22
5	Conclusions et perspectives.....	24
5.1.	Réductions du bruit au passage.....	25
5.2.	Prochaines étapes.....	25

Sommaire des illustrations

Figure 1 : Réseau express métropolitain	7
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	9
Figure 3 : Stratégie de réduction du bruit du REM sur secteur Rive-Sud.....	10
Figure 4 : Positionnement des absorbeurs dynamiques sur le segment entre les stations Gare Centrale et Île-des-Sœurs	11
Figure 5 : Segment couvert par le meulage acoustique.....	12
Figure 6 : Segmentation des zones d'installations d'absorbeurs dynamiques	15
Figure 7 : Zone représentant le segment Viaduc Sud du tracé	16
Figure 8 : Sections représentatives entre Gare-Centrale et Île-des-Sœurs	18
Figure 9 : Section de voie ballastée avec des traverses en béton	19
Figure 10 : Section de voies surélevées sur tablier en béton	20
Figure 11 : Emplacement des absorbeurs dynamiques sur le segment.....	21

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, apporte un regard objectif sur la problématique de bruit du REM.

L'objectif de cette mission a été, dans un premier temps, d'apporter des explications aux phénomènes observés et de proposer des solutions adaptées au projet visant à limiter la gêne acoustique ressentie par les citoyens exposés (document disponible sur le site internet de REM) puis, dans un deuxième temps, de procéder à l'analyse des résultats de la réduction du bruit de passage des voitures du REM suivant l'application des solutions identifiées lors du précédent diagnostic.

Ce présent rapport rédigé pour Projet REM est destiné à lui permettre de prendre connaissance des résultats de la réduction du niveau sonore du passage des voitures du REM suivant l'installation des solutions proposées par SYSTRA.

2 RAPPEL DU DIAGNOSTIC ACOUSTIQUE DE SEPTEMBRE 2023

Le rapport complet est disponible sur le site internet de REM. Cette section met en lumière les principaux constats présentés dans le document « Rapport technique - Bruit du passage des voitures du REM sur le segment entre L'Île-des-Sœurs et Griffintown » disponible au rem.info/documentation

2.1. GENERALITE SUR LE BRUIT EMIS PAR LE REM

Le bruit ferroviaire couvre de nombreux types de bruit qui doivent être identifiés et quantifiés dans le cadre d'une étude acoustique. Dans le cas du REM, les types de bruits suivants ont été rencontrés :

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 bruits rayonnés constitue le bruit de roulement.

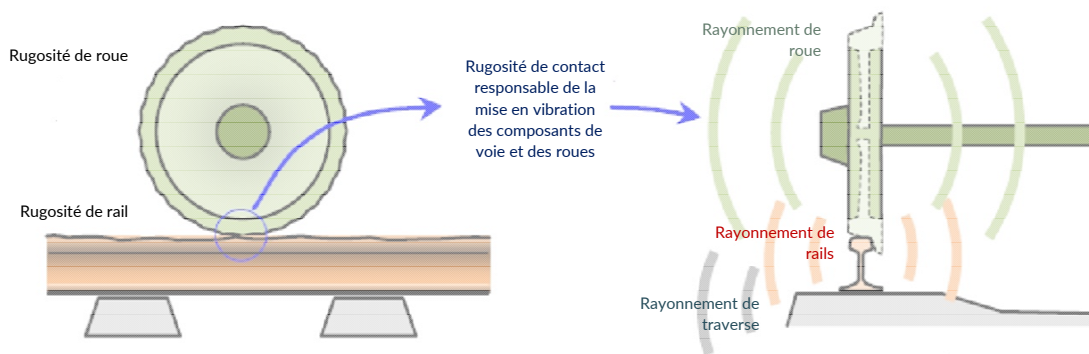


Figure 2 : Mécanisme de génération du bruit de roulement. Source: Environmental Noise Directive Development of Action Plans for railways, prepared for International Union of Railways

Bruit de grondement

Le bruit de grondement est caractérisé par une composante basse fréquence (un bruit grave). 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.

2.2. STRATEGIE ACOUSTIQUE GENERALE POUR LA REDUCTION DU BRUIT

Pour réduire le bruit d'une source sonore et en particulier celui du REM, la méthodologie communément admise comme la plus pertinente et la plus efficace consiste à réduire le bruit à la source, c'est-à-dire à proximité de la source qui émet le bruit. C'est la solution qui a le meilleur potentiel de réduction pour tous les riverains. Pour le bruit du REM, en se basant sur les résultats du diagnostic acoustique, il s'agit d'envisager des actions visant à :

- Augmenter le taux de décroissance du rail (réduire la propagation des vibrations dans le rail) ;

b) Réduire et contrôler dans le temps l'état de surface des bandes de roulement.

2.3. MESURES IDENTIFIEES

Le précédent diagnostic par SYSTRA de la situation acoustique du REM sur le secteur Rive-Sud a permis de proposer une stratégie générale de réduction du bruit, résumée à la Figure 3.

Cette stratégie s'appuie sur 2 axes principaux de réduction à la source, soit la réduction du bruit de rayonnement du rail, qui se traduit par l'ajout d'absorbeurs dynamiques, pour une réduction anticipée de 3 à 5 dB(A) ainsi qu'une réduction de la rugosité du rail et de la roue, qui se traduit par une maintenance acoustique, pour une réduction anticipée de 2 à 5 dB(A), pour un total combiné anticipée de 5 à 10 dB(A) de réduction du bruit au passage.

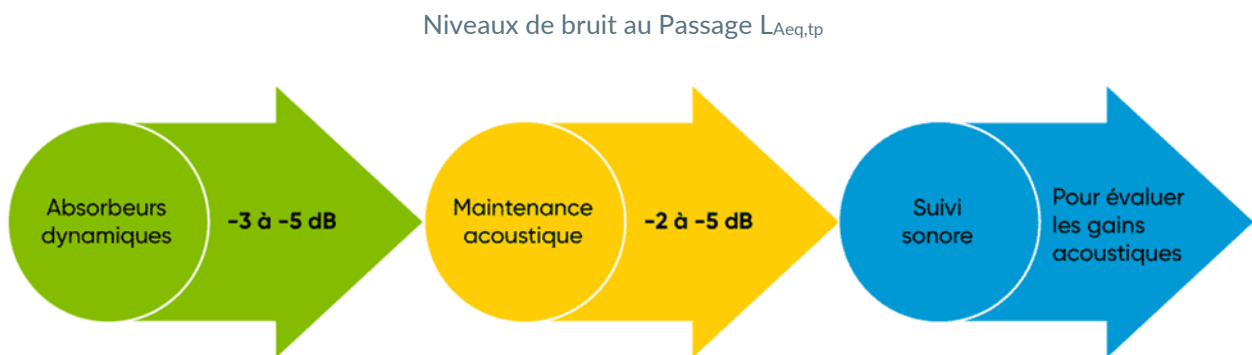


Figure 3 : Stratégie de réduction du bruit du REM sur secteur Rive-Sud

2.4. ABSORBEURS DYNAMIQUES

Les absorbeurs dynamiques sont des systèmes qui amortissent la vibration des rails pour la réduction du bruit de roulement. Cette solution a été testée juillet 2023 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(A) environ.

Les absorbeurs dynamiques ont été déployés en priorité sur le secteur Rive-Sud partout où les conditions sont favorables (semelles souples) et où l'efficacité est la plus grande pour les riverains (quand la voie est proche des habitations), les segments sont identifiés à la Figure 4.

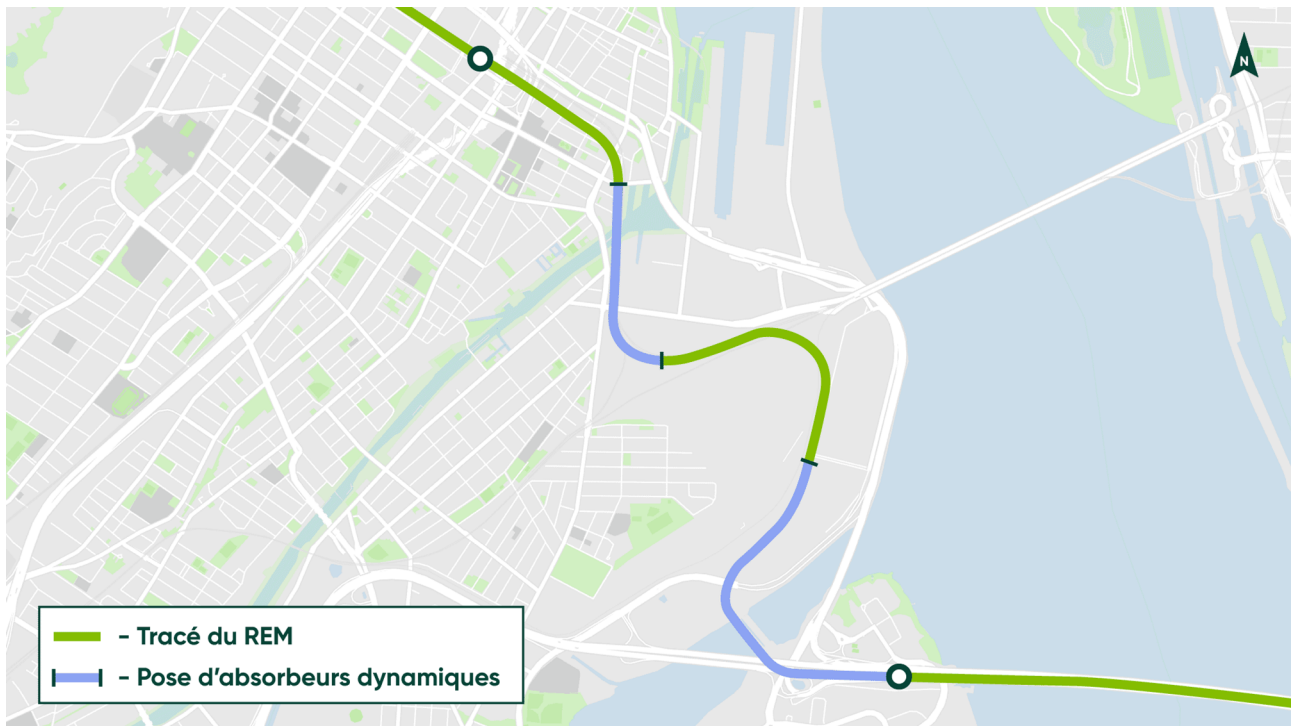


Figure 4 : Positionnement des absorbeurs dynamiques sur le segment entre les stations Gare Centrale et Île-des-Sœurs

2.5. STRATEGIE DE MAINTENANCE ACOUSTIQUE

La rugosité roue / rail est le paramètre clé 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) afin de répéter l'exercice au besoin.

Un procédé de meulage acoustique spécifique a été déployé sur le segment compris entre les stations Gare Centrale et Brossard, représenté à la Figure 5, 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.

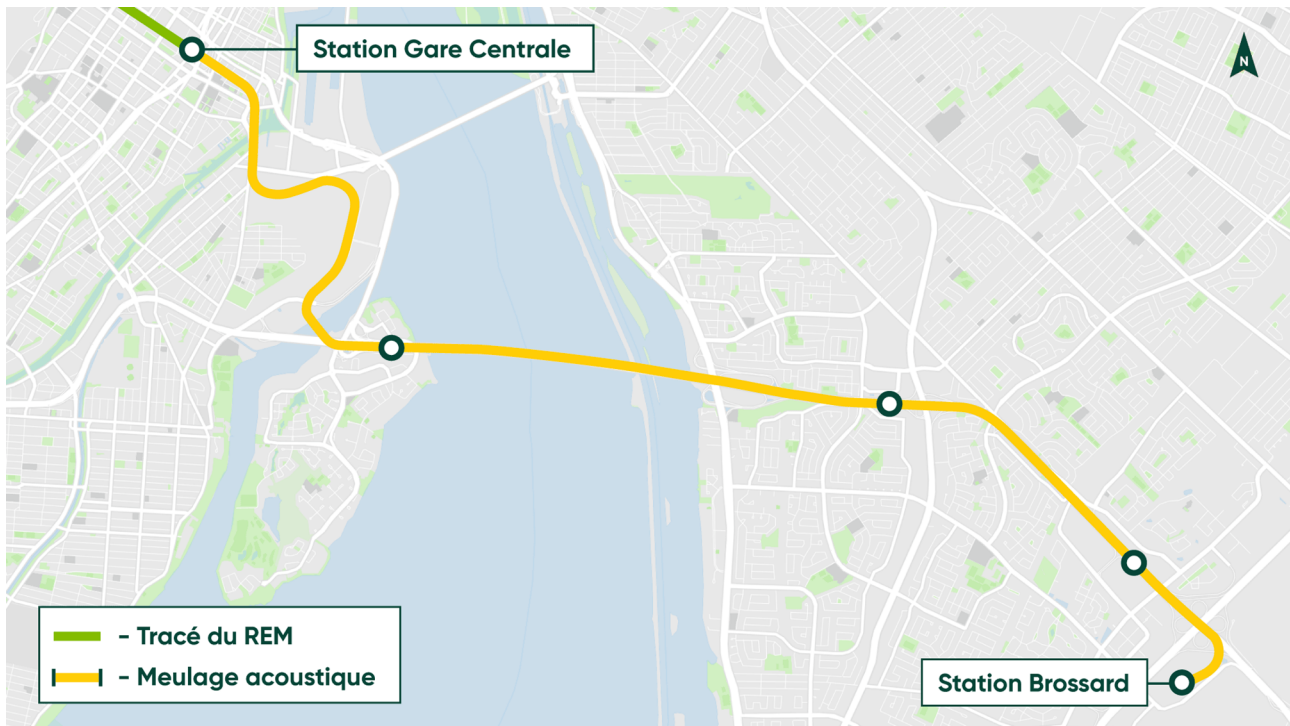


Figure 5 : Segment couvert par le meulage acoustique

2.6. 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 perturbées 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 percevoir des réductions de performance acoustique avant qu'elles soient perçues chez le riverain.

L'indicateur choisi est le $L_{Aeq,1sMax}$ plutôt que le $L_{Aeq,Tp}$ (Tp : temps de passage): niveau sonore maximal enregistré pendant le passage de chaque voiture, mesuré en dB(A) sur 1 seconde. Cette valeur est :

- Représentative d'un bruit au passage ;
- Est égale ou supérieure au $L_{Aeq,Tp}$;
- Rapide à extraire et permet de faire un traitement statistique sur un grand nombre de rames.

Il est important de mentionner que les niveaux de bruit mesurés en bord de voie ne sont pas représentatifs des niveaux de bruit chez les riverains puisque le bruit diminue plus on s'éloigne des voies. Les réductions de bruit observés en bord de voie seront toutefois comparables aux réductions de la contribution sonore du REM chez les riverains.

2.7. GAINS ACOUSTIQUES ATTENDUS

La réduction visée par la combinaison des deux mesures de mitigation identifiées est de 5 à 10 dB(A) au passage, selon la configuration des voies. Dans le but de confirmer cet objectif, des stations de sonomètres ont été déployées au cours du mois d'octobre 2023. Les emplacements de ces stations ont été définis selon la configuration de voie ainsi que les mesures de mitigation en place sur le segment.

3 AVANCEMENT DE LA MISE EN PLACE DES MESURES DE MITIGATION ET ETUDE DE LA ZONE DU VIADUC SUD

3.1. AVANCEMENT DES MESURES DE MITIGATION

À la suite des recommandations de la firme SYSTRA suivant le diagnostic déposé en septembre dernier, Projet REM a déployé les mesures de mitigation à la source, qui permettent une réduction du bruit pour tous les riverains, qu'ils soient résidents de condos en hauteur ou de logement au niveau des rails. Les deux mesures de mitigation identifiées sont le meulage des rails combiné au reprofilage des roues et l'installation d'absorbeurs dynamiques accordés, comme présentés à la section précédente.

Dans le but de permettre une mise en place rapide de ces deux mesures, les heures de service du REM ont été modifiées du dimanche au jeudi avec une fin de service anticipée à 22h00. Des équipes de travail ont été déployées chaque nuit du 15 octobre jusqu'au 15 décembre 2023. Par la suite, les équipes ont poursuivi le travail durant les plages régulières de fermeture du réseau jusqu'au 12 janvier 2024.

3.1.1. MEULAGE DES RAILS ET REPROFILAGE DES ROUES

Le meulage des rails ainsi que le reprofilage de tous les trains ont été réalisés entre les stations Gare Centrale et Île-des-Sœurs du 2 novembre 2023 au 22 janvier 2024.

3.1.2. POSE DES ABSORBEURS DYNAMIQUES ACCORDES

Les coupures anticipées du service de nuit ont permis la mise en place rapide d'absorbeurs dynamiques sur les portions identifiées. Les conditions climatiques hivernales n'ont pas permis de compléter la pose des absorbeurs dynamiques depuis le 12 janvier 2024. Ces travaux seront repris dès la fin de la période hivernale. L'objectif devrait avoir été atteint d'ici le printemps 2024.

Voici un état d'avancement de l'installation des absorbeurs dynamiques pour chacune des zones présentées à la Figure 6 :

- Zone 1 : complétée
- Zone 2 et 3 : non complétée, reprise des travaux au printemps 2024

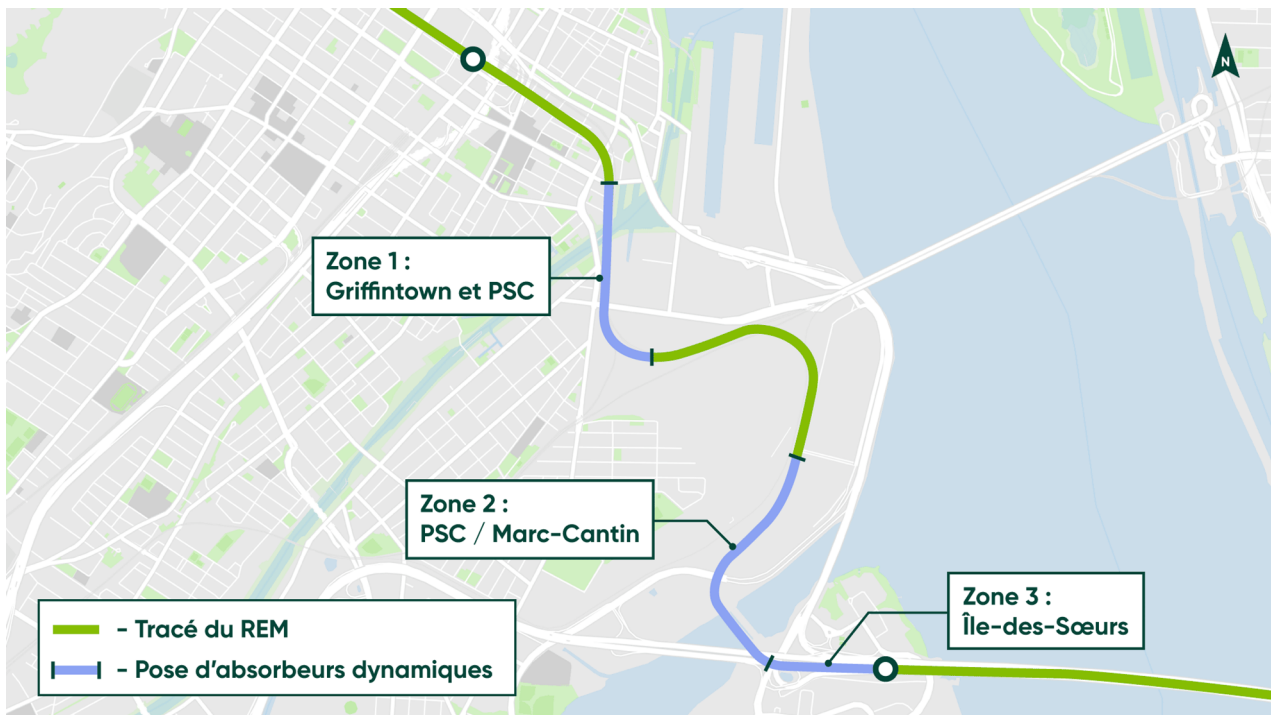


Figure 6 : Segmentation des zones d'installations d'absorbeurs dynamiques

3.2. ZONE DU VIADUC SUD

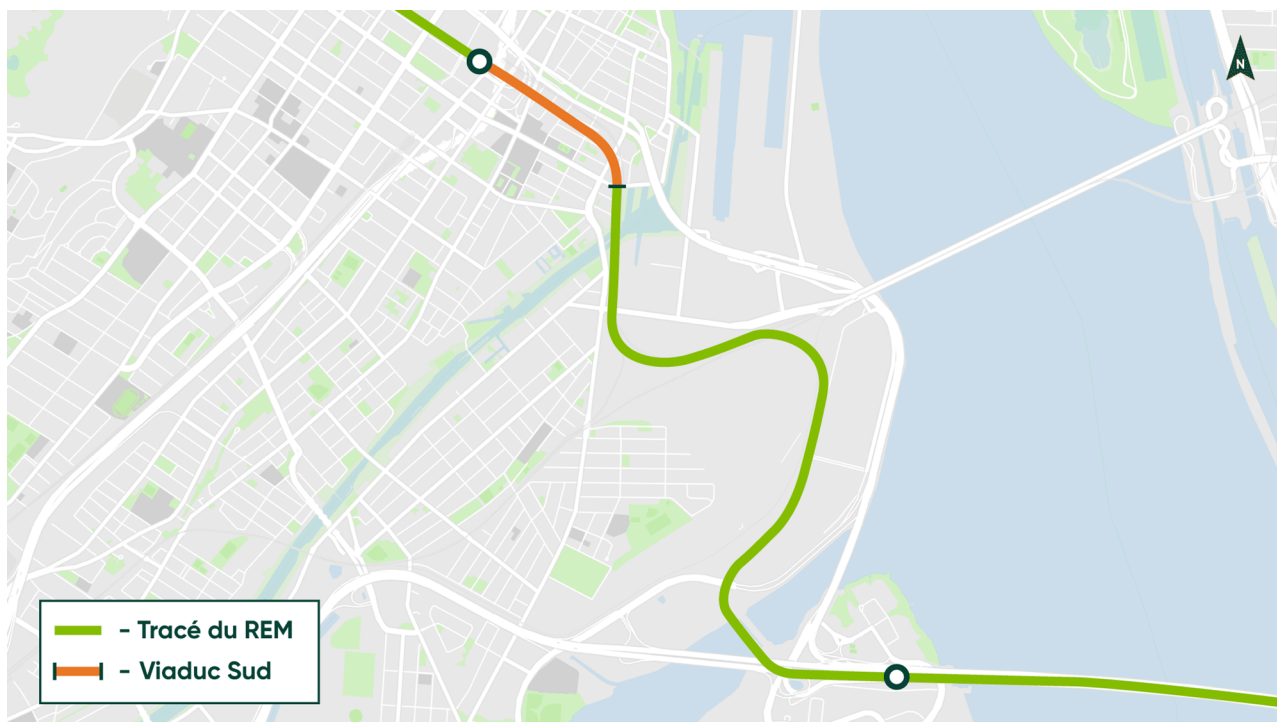


Figure 7 : Zone représentant le segment Viaduc Sud du tracé

Le tronçon du Viaduc Sud situé entre la Gare Centrale et le pont de la Commune 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.

Suivant les différents relevés et les différentes études supplémentaires pour ce secteur, SYSTRA a identifié que le meulage acoustique et le reprofilage des roues des voitures qui circulent sur ce secteur sont les mesures de mitigation les plus pertinentes, et assureraient une réduction sensible du niveau de bruit au passage en bord de voie. Le meulage de ce segment était déjà prévu suivant le précédent diagnostic déposé par SYSTRA à Projet REM en septembre dernier. Les activités de meulage et de reprofilage ont eu lieu du 2 novembre 2023 au 22 janvier 2024 comme mentionné précédemment. Les résultats seront présentés dans la prochaine section de ce rapport technique.

4 ANALYSE DES RESULTATS

4.1. METHODOLOGIE DE SUIVI DU BRUIT

Le segment du REM situé entre les stations Gare-Centrale et Île-des-Sœurs est composé de deux configurations distinctes des voies :

- Pose de voie sur ballast avec des traverses en béton
- Pose de voie directe sur un tablier en béton

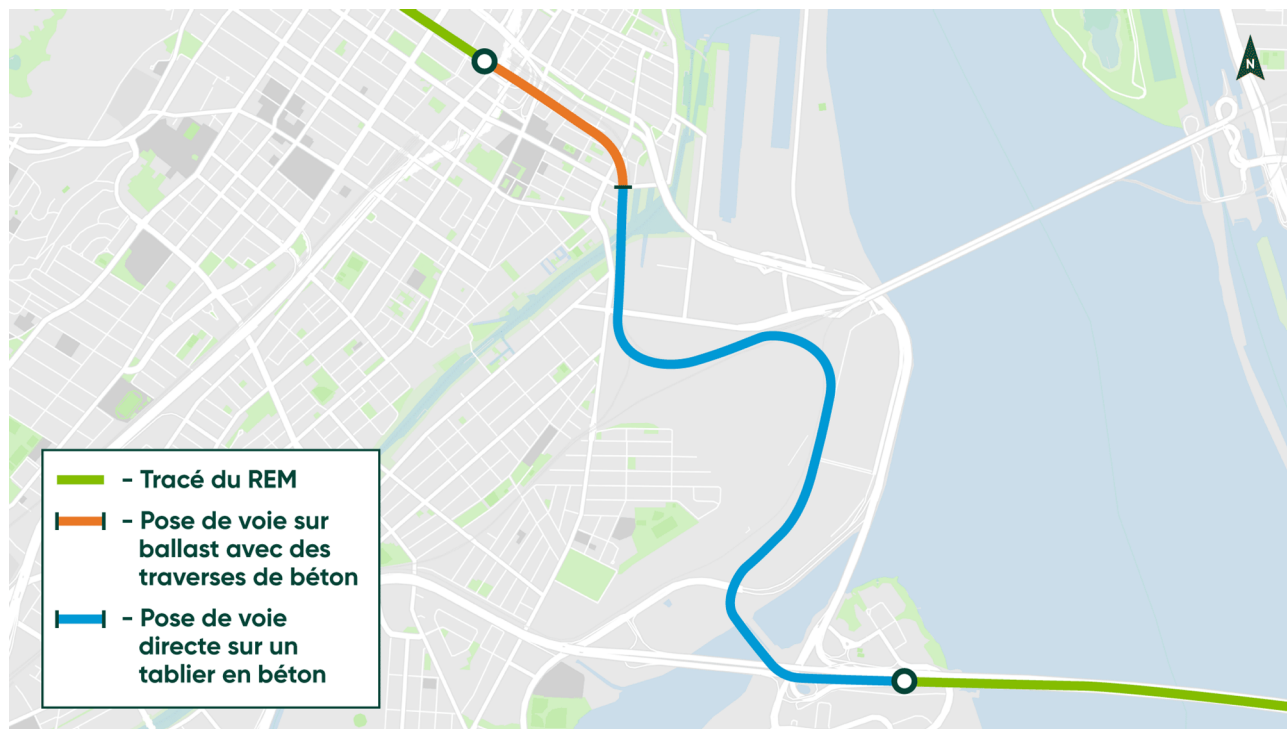


Figure 8 : Sections représentatives entre Gare-Centrale et Île-des-Sœurs

Ces configurations de voies sont des paramètres importants à considérer pour déterminer l'efficacité des mesures de mitigation du bruit mis en place sur ce segment. Ainsi, les résultats seront présentés selon chacune des configurations de ce segment.

Les stations de sonomètres déployées sur l'ensemble des deux configurations de voies ont enregistré chaque passage de train. Pour démontrer l'atteinte des objectifs annoncés en termes de réduction de bruit au passage, 850 passages ont été analysés avant et après la mise en place des mesures de mitigation.

Les résultats suivants sont issus de l'analyse de chaque passage et représentent des moyennes de niveaux sonores atteints en bord de voie lors d'un passage de train, pour chaque section.

4.2. VOIE BALLASTEE AVEC TRAVERSES EN BETON

La section de voie ballastée avec des traverses en béton a fait l'objet d'un meulage des rails combiné aux reprofilages des roues de chaque train, segment représenté à la Figure 9.

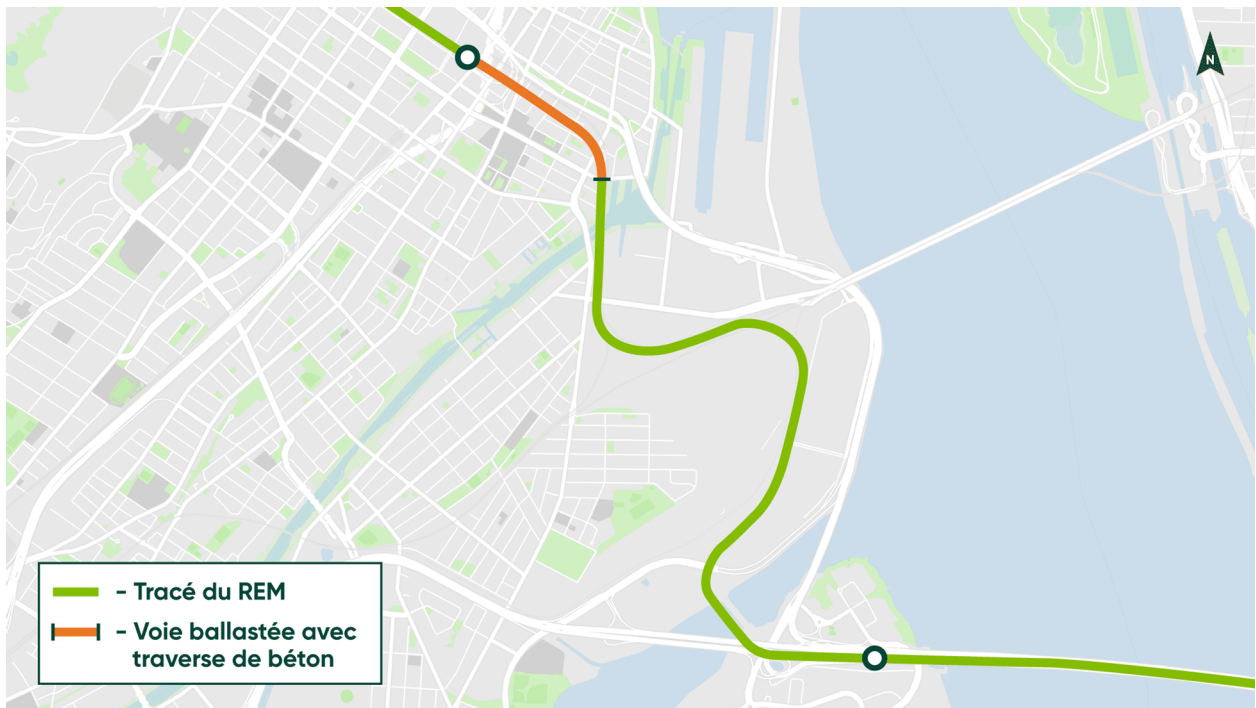
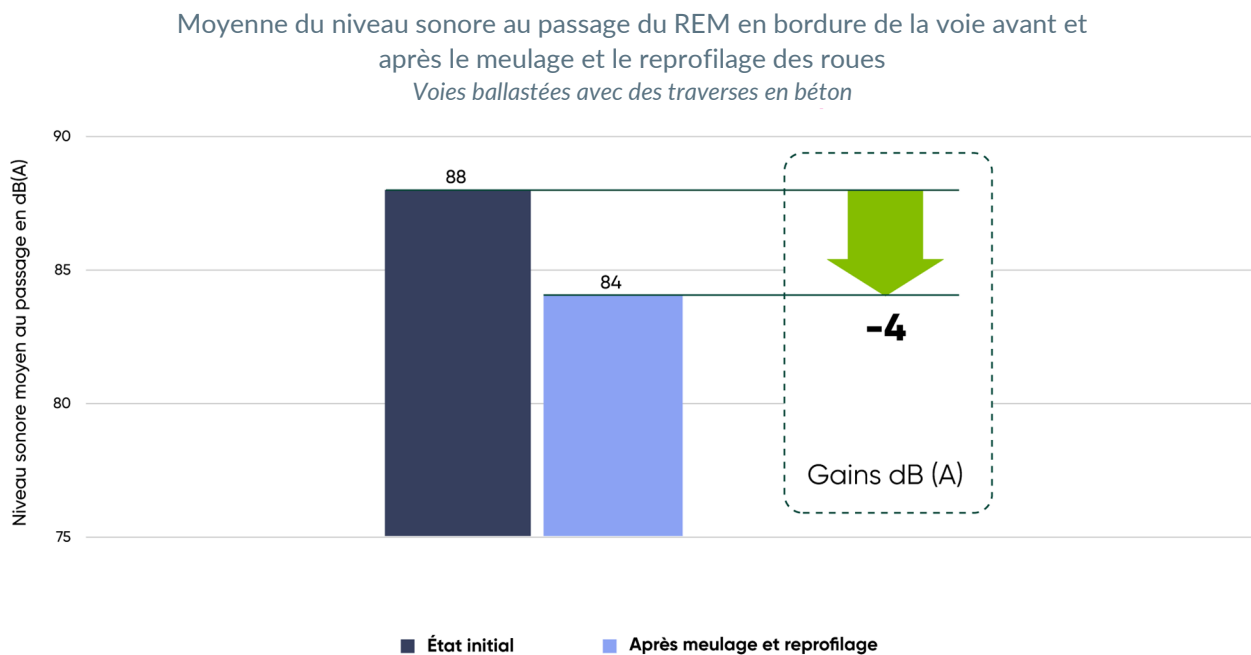


Figure 9 : Section de voie ballastée avec des traverses en béton

Une station de sonomètres située à un emplacement représentatif de la section a permis de démontrer les résultats suivants :



Le meulage et le reprofilage ont apporté une réduction du bruit au passage en bord de voie de 4 dB(A) sur l'ensemble de la section sur ballast avec traverses en béton. Pour rappel, l'objectif annoncé était une réduction de 2 à 5 dB(A) après meulage et reprofilage.

4.3. VOIES SURELEVEES SUR TABLIER EN BETON

La section de voies surélevées sur tablier en béton, représenté à la Figure 10, a fait l'objet d'un meulage des rails combiné aux reprofilages des roues de chaque train, et également de la pose d'absorbeurs dynamiques accordés sur les tronçons proches de la voie les plus sensibles. Les tronçons où des absorbeurs dynamiques ont été installés sont représentés à la Figure 11.

Deux stations de sonomètre ont été installées sur ce segment à des emplacements représentatifs de la section :

- Dans le secteur de Griffintown / Pointe-Saint-Charles ;
- Dans le secteur de Marc-Cantin / Pointe-Sainte-Charles et L'Île-des-Sœurs.

Étant donné que la configuration de la voie sur l'ensemble de cette section est similaire, les réductions obtenues suite aux mesures de mitigations sont du même ordre de grandeur.

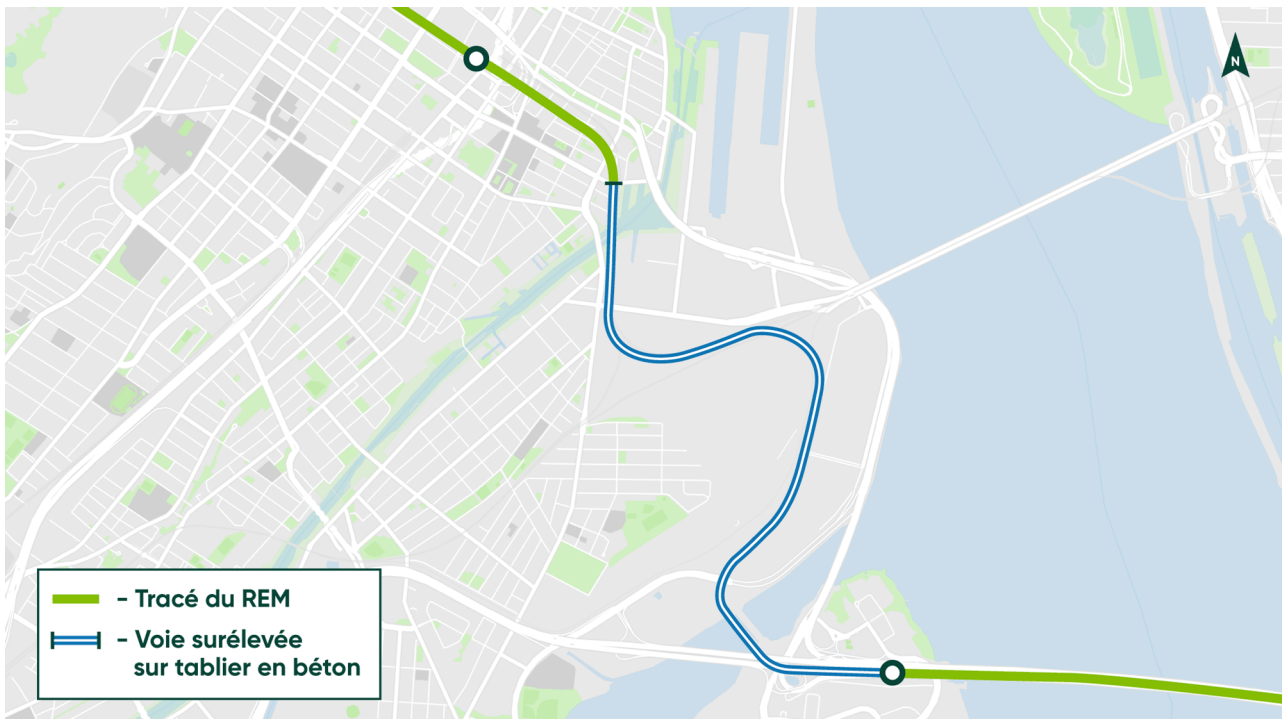


Figure 10 : Section de voies surélevées sur tablier en béton

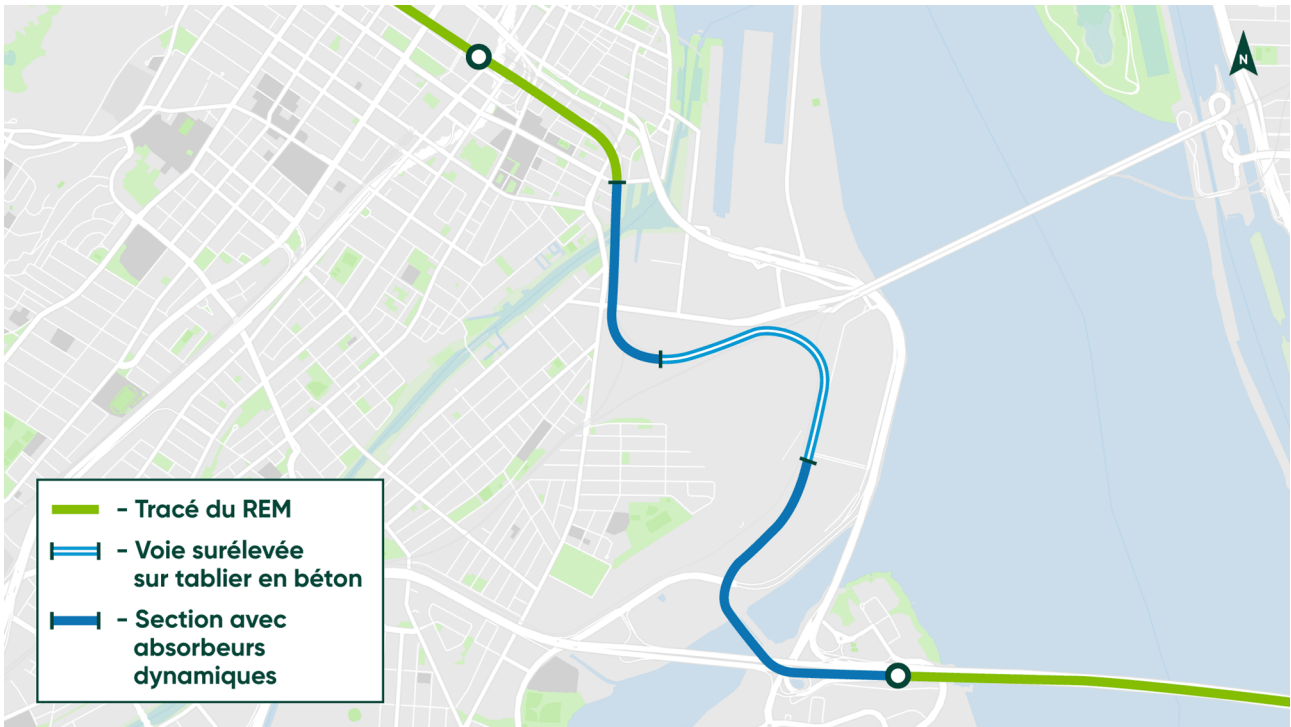
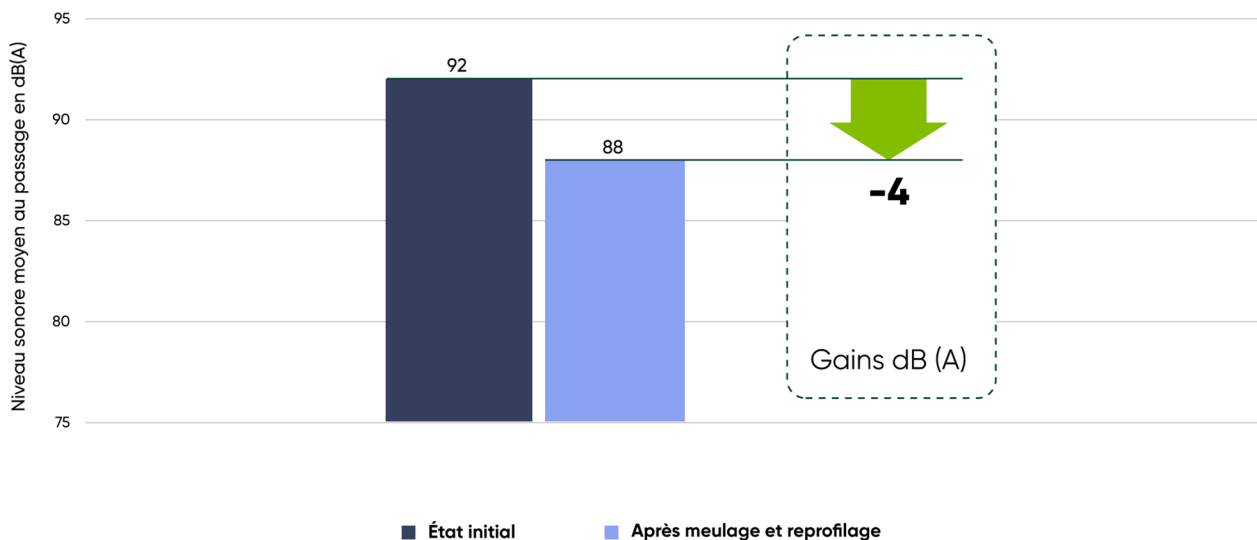


Figure 11 : Emplacement des absorbeurs dynamiques sur le segment.

4.3.1. REDUCTION APPORTEE PAR LE MEULAGE DES RAILS ET LE REPROFILAGE DES ROUES

La station du sonomètre située dans le secteur de Griffintown / Pointe-Saint-Charles a permis de démontrer les résultats suivants à la suite du meulage des rails et du reprofilage des roues :

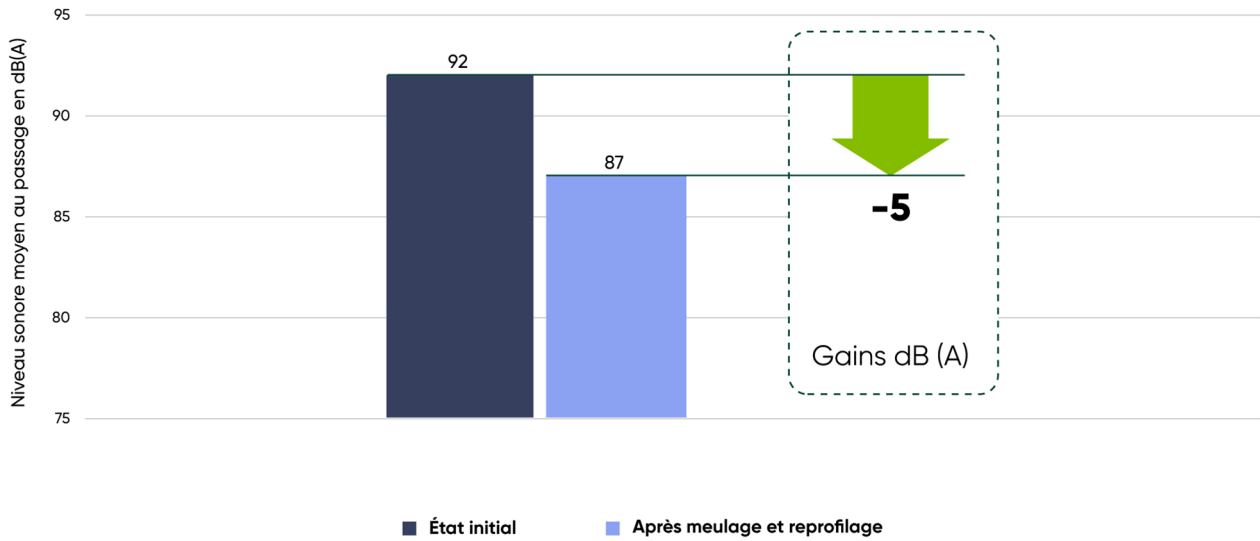
Moyenne du niveau sonore au passage du REM en bordure de la voie avant et après le meulage et le reprofilage des roues
Voies surélevées sur tablier en béton- Griffintown/PSC



La station du sonomètre située dans le secteur de Marc-Cantin/Pointe-Saint-Charles et L'Île-des-Sœurs a permis de démontrer les résultats suivants à la suite du meulage des rails et du reprofilage des roues :

Moyenne du niveau sonore au passage du REM en bordure de la voie avant et après le meulage et le reprofilage des roues

Voies surélevées sur tablier en béton - Marc-Cantin/PSC/L'Île-des-Sœurs.



Le meulage et le reprofilage ont apporté une réduction du bruit au passage en bord de voie entre 4 et 5 dB(A) sur l'ensemble de la section de voies surélevées sur tablier en béton. Pour rappel, l'objectif annoncé était une réduction de 2 à 5 dB(A).

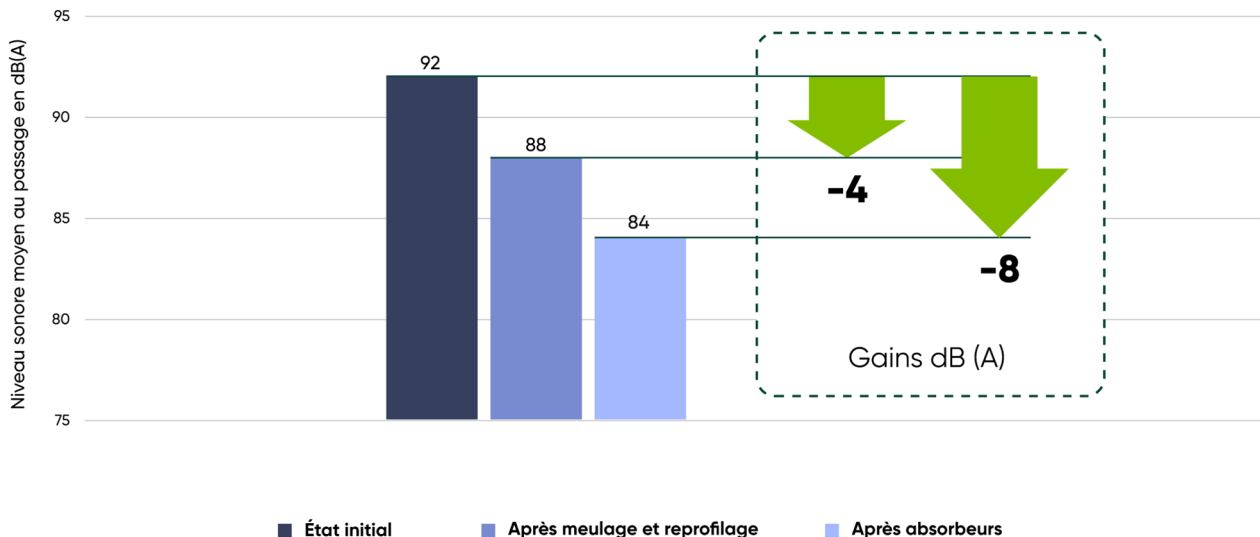
Les résultats des deux stations de sonomètres présentés ci-dessus confirment l'énoncé théorique qu'étant donné la configuration similaire des voies sur ce tronçon, les réductions obtenues sont du même ordre de grandeur sur l'ensemble du segment.

4.3.2. REDUCTION APPORTEE PAR LES ABSORBEURS DYNAMIQUES

La station du sonomètre située dans le secteur de Griffintown / Pointe-Saint-Charles a permis de démontrer les résultats suivants à la suite du meulage des rails ainsi que du reprofilage des roues et de l'installation des absorbeurs dynamiques :

Moyenne du niveau sonore au passage du REM en bordure de la voie avant, après le meulage et le reprofilage des roues et après l'installation des absorbeurs dynamiques

Voies surélevées sur tablier en béton - Griffintown/PSC



Lorsque l'on ajoute les absorbeurs dynamiques, la réduction du niveau de bruit au passage en bord de voie atteint 8 dB(A), soit une réduction supplémentaire de 4 dB(A). Pour rappel, l'objectif annoncé des absorbeurs dynamiques était une réduction de 3 à 5 dB(A).

Comme précisé précédemment, les travaux d'installation des absorbeurs dynamiques ont partiellement été complétés dans les secteurs de Marc-Cantin/Pointe-Saint-Charles et de L'Île-des-Sœurs. Les données démontrent que la réduction du bruit occasionnée par le meulage acoustique et le reprofilage des roues est la même tout le long du segment identifié. Ainsi, les réductions attendues pour les secteurs de Marc-Cantin/Pointe-Saint-Charles et de L'Île-des-Sœurs lorsque les travaux de pose d'absorbeurs seront complétés, devraient être similaires à celles obtenues dans le secteur de Griffintown/Pointe-Saint-Charles. Une annexe à ce document sera publiée lorsque les travaux seront complétés ce printemps.

5 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Par les données présentées dans la section précédente, il est conclu que les objectifs de réduction du bruit de passage des voitures du REM fixés dans la précédente analyse sont atteints.

5.1. RÉDUCTIONS DU BRUIT AU PASSAGE

Pour rappel, la réduction du bruit en bord de voie visée pour le meulage et le reprofilage des roues étaient de 2 à 5 dB(A). Les résultats démontrent une réduction de 4 à 5 dB(A) selon la configuration de la voie.

En ce qui a trait aux absorbeurs dynamiques, la réduction du bruit en bord de voie visée était de 3 à 5 dB(A) et les résultats obtenus sont de l'ordre de 4 dB(A) selon la configuration de la voie.

Lorsque l'on combine les deux mesures d'atténuation, l'objectif était une réduction du bruit en bord de voie de 5 à 10 dB(A) et les résultats obtenus sont de l'ordre de 8 dB(A).

5.2. PROCHAINES ETAPES

Les travaux d'installation des absorbeurs dynamiques reprendront au printemps dans le secteur de la station Île-des-Sœurs. Suivant la fin de ces travaux, une validation des réductions aux passages des voitures du REM sera faite et une annexe sera publiée à ce présent document et déposée sur le site web de REM.

Une campagne de mesure de bruit est attendue de la part de Projet REM au printemps 2024, dans les quartiers. Un état des lieux sera alors réalisé. Les résultats de cette campagne seront disponibles pour consultation suivant le traitement et l'analyse des données.

SYSTRA
72-76 rue Henry Farman
75015 Paris – France
+33(0)1 40 16 61 00
www.systra.com