





Projet : Diablos Bleus – Programme mixte à Nice

Maître d'ouvrage : MOTU 1  
3, rue Monceau  
75008 Paris

Architecte : Février Carré  
5 Rue de la Préfecture, 06300 Nice  
06300 Nice

Rapport n° : Rp 001 r01 20220040

#### Limites de responsabilité

Les documents produits par Marshall Day Acoustics découlent d'un programme spécifique et de conditions et limites de prestations telles que prévues dans le contrat liant Marshall Day Acoustics au client. Les documents produits par Marshall Day Acoustics peuvent ne pas être adaptés pour une utilisation autre que celle prévue dans le cadre de cette mission. L'utilisation de ces documents est interdite par toute autre partie que le client sans son accord ou celui de Marshall Day Acoustics.

Les prescriptions figurant dans ce document ne concernent que les aspects acoustiques. Des sociétés spécialisées devront être consultées selon les besoins pour s'assurer du respect des exigences réglementaires ou programmatiques dans les domaines autres que l'acoustique.

#### Copyright

Les concepts et informations contenus dans ce document sont la propriété de Marshall Day Acoustics. Toute reproduction de ce document, même partielle, par quelque procédé que ce soit est interdite sans consentement préalable écrit de la part de Marshall Day Acoustics.

#### Suivi du document

Statut	Rév.	Commentaires	Date	Rédacteur	Relecture
Final	-	-	01/09/2022	C. Pfeiffer	C. Charvis
Final	01	Modifications mineures	04/01/2023	C. Charvis	-

## TABLE DES MATIÈRES

1.0	INTRODUCTION .....	4
2.0	TEXTES DE RÉFÉRENCE .....	4
2.1	Norme ISO 10137 .....	4
2.2	Projet européen RIVAS.....	4
3.0	PRÉSENTATION DES MESURAGES .....	5
3.1	Chaîne de mesures, accessoires et outils d'analyse.....	5
3.2	Emplacement des points de mesure.....	5
3.2.1	Tramway .....	5
3.2.2	Voie ferrée .....	5
4.0	PRÉSENTATION DES NIVEAUX VIBRATOIRES MESURÉS .....	8
5.0	ATTÉNUATION DES VIBRATIONS DE LA VOIE FERRÉE ENTRE LES POINTS 1 ET 2.....	8
6.0	ÉTUDE ET ANALYSE DES NIVEAUX VIBRATOIRES .....	11
6.1	Locaux considérés.....	11
6.2	Hypothèses de calcul.....	11
6.3	Analyse du risque pour les logements et les bureaux .....	11
6.3.1	Risques associés aux tramways.....	11
6.3.2	Risques associés aux trains .....	14
6.4	Analyse du risque pour locaux auditorium .....	16
7.0	SYNTHÈSE .....	18
7.1	Logements.....	18
7.2	Bureaux .....	18
7.3	Auditorium et local auditorium RDC.....	18
ANNEXE A	GLOSSAIRE.....	19

## 1.0 INTRODUCTION

Le cabinet Février Carré est architecte du programme immobilier mixte situé sur la parcelle à proximité du 12-18 Route de Turin à Nice. Ce programme comprend plusieurs immeubles avec un programme à l'étude pouvant comprendre des logements, du co-living, des commerces, un auditorium et des bureaux.

À ce stade, Marshall Day Acoustics est consulté en phase PC/AVP afin d'assister et conseiller l'équipe concernant les façades du projet, l'organisation des différents programmes les uns par rapport aux autres, et les éventuels impacts vibratoires de la voie ferrée et du tramway sur le projet.

Ce rapport présente les mesures et l'analyse des impacts vibratoires de la voie ferrée et du tramway.

## 2.0 TEXTES DE RÉFÉRENCE

Le seul texte réglementaire traitant des vibrations est la circulaire du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement. Ce texte concerne cependant les risques sur la structure de bâtiments soumis à des vibrations et non de la perception tactile et auditive des vibrations.

En l'absence de législation, la norme ISO 10137:2007 et l'étude européenne RIVAS sont prises comme références dans le présent document et sont présentées ci-après.

### 2.1 Norme ISO 10137

La perception de vibrations engendrées par le passage de trains peut être étudiée sur la base des niveaux vibratoires proposés dans la norme internationale ISO 10137 *Bases du calcul des constructions - Aptitude au service des bâtiments et des passerelles sous vibrations* pour différentes typologies de bâtiments (logements, bureaux, hôpitaux, etc.).

L'annexe C de cette norme définit des séries de courbes limites de niveaux vibratoires (VC : Vibrations Curves) en fonction de la fréquence :

- La courbe VC 1<sup>1</sup> pour un espace très sensible tel qu'un laboratoire de précision : celle-ci présente des niveaux de vibration proches des valeurs recommandées par la FTA<sup>2</sup> pour l'auditorium et la salle VR
- Les courbes VC 1,4 et VC 2 pour un logement en période nuit et jour respectivement
- Les courbes VC 2 et VC 4 pour des bureaux d'activité calme ou d'activité normale respectivement

Les niveaux vibratoires des courbes proposés dans la norme ISO 10137 sont bien en deçà des niveaux vibratoires pouvant causer des dommages structurels (circulaire du 23 juillet 1986) ou encore aux niveaux vibratoires pouvant être directement préjudiciables à la santé (ISO 2631-1).

Ces niveaux vibratoires sont associés à une notion de confort des personnes liée à la perception tactile de vibrations. Cependant, leur respect ne garantit pas une absence de perception de vibration : en effet, il est fréquent que l'origine d'une plainte soit diluée dans l'apparition de multiples stimuli (au-delà de la perception tactile de vibration), dont le bruit aérien rayonné.

Ce rapport considère donc également les indicateurs définis par le projet Européen RIVAS, qui permet une évaluation plus complète des risques d'apparition d'une gêne liée aux vibrations.

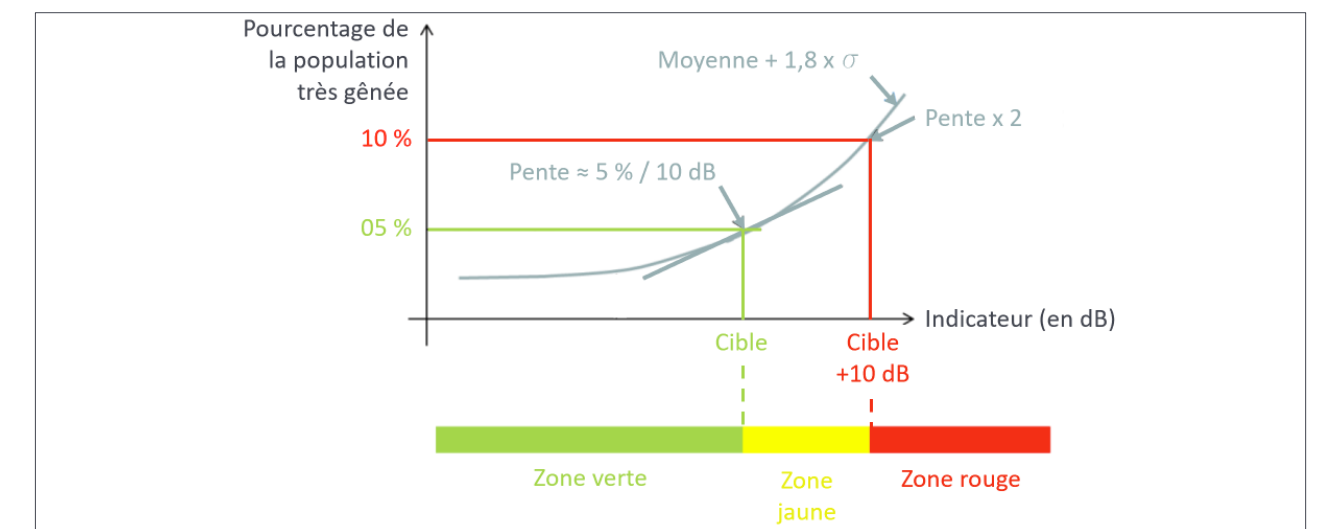
## 2.2 Projet européen RIVAS

RIVAS (Railway Induced Vibration Abatement Solution) est un projet de recherche collaboratif financé par l'Union Européenne regroupant 27 partenaires de 9 pays européens portant sur la réduction de l'impact environnemental des vibrations d'origine ferroviaire sur des logements.

Sur la base de courbes exposition/réponse idéales, inspirées d'études à grandes échelles réalisées aux Etats-Unis, en Norvège et au Royaume-Uni, le projet RIVAS a conduit à définir des valeurs cibles d'études dont le principe est présenté dans la figure suivante.

La zone verte couvre la valeur cible correspondant à 5 % ou moins de personnes dites "très gênées". Cette valeur cible peut être considérée comme "sévère". Une zone jaune est donc proposée dans les documents du projet RIVAS, avec une valeur cible un peu moins "contraignante" et correspondant à 10 % ou moins de personnes se disant "très gênées".

Figure 1 : Principe des courbes idéalisées exposition/réponse – Extrait du document D1.9 de RIVAS



L'application de ce principe aux courbes d'exposition/réponse a conduit à l'élaboration des valeurs cibles pour 4 indicateurs, présentées dans le Tableau 1.

Les indicateurs  $L_{V_{W,Smax}}$  et  $L_{V_{W,eq,24h}}$  sont associés à la perception tactile des vibrations respectivement au passage d'un train (valeur maximum, effet perturbateur) et à l'exposition sur 24 heures (valeur moyenne équivalente, effet cumulatif).

Les indicateurs  $L_{p_{A,Smax}}$  et  $L_{p_{A,den,24h}}$  sont associés à la perception auditive respectivement au passage d'un train (valeur maximum, effet perturbateur) et à l'exposition sur 24 heures (valeur moyenne équivalente, effet cumulatif).

Bien que les valeurs cibles du projet RIVAS soient applicables aux logements, certaines normes européennes présentées dans le document 1.4 du projet RIVAS<sup>3</sup> recommandent des objectifs associés aux bureaux et espaces sensibles. Ainsi, les valeurs cibles suivantes sont proposées pour l'analyse de ces locaux.

- $L_{V_{W,Smax}}$ <sup>4</sup> :
  - o Valeurs cible RIVAS + 6 dB pour les bureaux
  - o Valeurs cible RIVAS pour l'auditorium et la salle VR

<sup>1</sup> Le passage de trains entre dans la catégorie des sources de vibrations « continues ou intermittentes » tel que défini dans la norme, et non dans la catégorie des sources intermittentes.

<sup>2</sup> FTA : Federal Transit Administration – Transit Noise and Vibration Impact Assessment – May 2006

<sup>3</sup> Deliverable D1.4 – Review of existing standards, regulations and guidelines, as well as laboratory and field studies concerning human exposure to vibration

<sup>4</sup> Issu de la norme Italienne UNI 9614 et de l'interprétation des courbes vibratoire de la norme ISO 10137

- $L_{pA,Smax}^5$  :
  - o Valeurs cible RIVAS + 5 dB pour les bureaux
  - o Comparaison avec les courbes d'évaluation par bandes de fréquences NR 25 et NR 35 pour l'auditorium et la salle VR<sup>6</sup>

Les bureaux, l'auditorium du sous-sol, et le local auditorium du RDC n'étant majoritairement occupés qu'en journée, seule l'analyse des niveaux maximums a été réalisée.

**Tableau 1 : Indicateurs et valeurs cibles proposées dans le document de synthèse du projet RIVAS**

Indicateurs*	Valeurs cibles (zone verte)	Valeurs cibles (zone jaune)
<b>Logements</b>		
$L_{VW,Smax}$ réf. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s	66 dB	76 dB
$L_{VW,eq,24h}$ réf. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s	55 dB	65 dB
$L_{pA,Smax}$ réf. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa	38 dB(A)	48 dB(A)
$L_{pA,den,24h}$ réf. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa	32 dB(A)	42 dB(A)
<b>Bureaux</b>		
$L_{VW,Smax}$ réf. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s	72 dB	82 dB
$L_{pA,Smax}$ réf. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa	43 dB(A)	53 dB(A)
<b>Auditorium SS et local auditorium RDC</b>		
$L_{VW,Smax}$ réf. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s	66 dB	76 dB
$L_{pA,Smax}$ réf. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa	Comparaison des résultats aux courbes NR 25 et NR 35	

\* Se référer au document « Deliverable D1.9 – Evaluating the mitigation measures developed in WP2-5 in terms of decrease of exposure and annoyance » pour plus d'informations.

### 3.0 PRÉSENTATION DES MESURAGES

#### 3.1 Chaîne de mesures, accessoires et outils d'analyse

La campagne de mesure a été réalisée à l'aide du matériel de mesure et d'analyse présenté dans les tableaux suivants.

**Tableau 2 : Appareillage de mesure**

Désignation	Marque	Type	Classe	N° de série
Station d'acquisition	01dB	Orion	1	10232
Accéléromètres mono-axiaux	B&K	4507 002	-	30194
		4508 002		30368

**Tableau 3 : Logiciel d'analyse**

Désignation	Marque	Version
dBTrait	01dB	5.5.2
dBFA	01 dB	4.9.1.2

#### 3.2 Emplacement des points de mesure

##### 3.2.1 Tramway

Les mesures ont été réalisées le vendredi 29 juillet 2022, de 09h30 à 10h 50, en deux points simultanés.

Les accéléromètres étaient fixés mécaniquement via une platine collée au sol.

Les figures des pages suivantes présentent l'emplacement des points de mesures et les localisations des accéléromètres sur la parcelle.

##### 3.2.2 Voie ferrée

Les mesures ont été réalisées en 2 points :

- Point 1 : Mesures 24 heures au droit de la façade la plus proche des voies ferrées le vendredi 29 juillet 2022, à partir de 13h30
- Point 2 : Mesures ponctuelles (plus éloigné des voies ferrées) vendredi 29 juillet 2022, de 13h30 à 15h30

Les accéléromètres étaient fixés mécaniquement via une platine collée au sol.

Les figures des pages suivantes présentent l'emplacement des points de mesures et les localisations des accéléromètres sur le terrain.

<sup>5</sup> Issu de la norme Autrichienne ÖNORM S 9012

<sup>6</sup> Issu de la littérature et du guide technique Dolby « Technical Guideline for Dolby Stereo Theatres »



Figure 2 : Emplacement des points de mesure du tramway

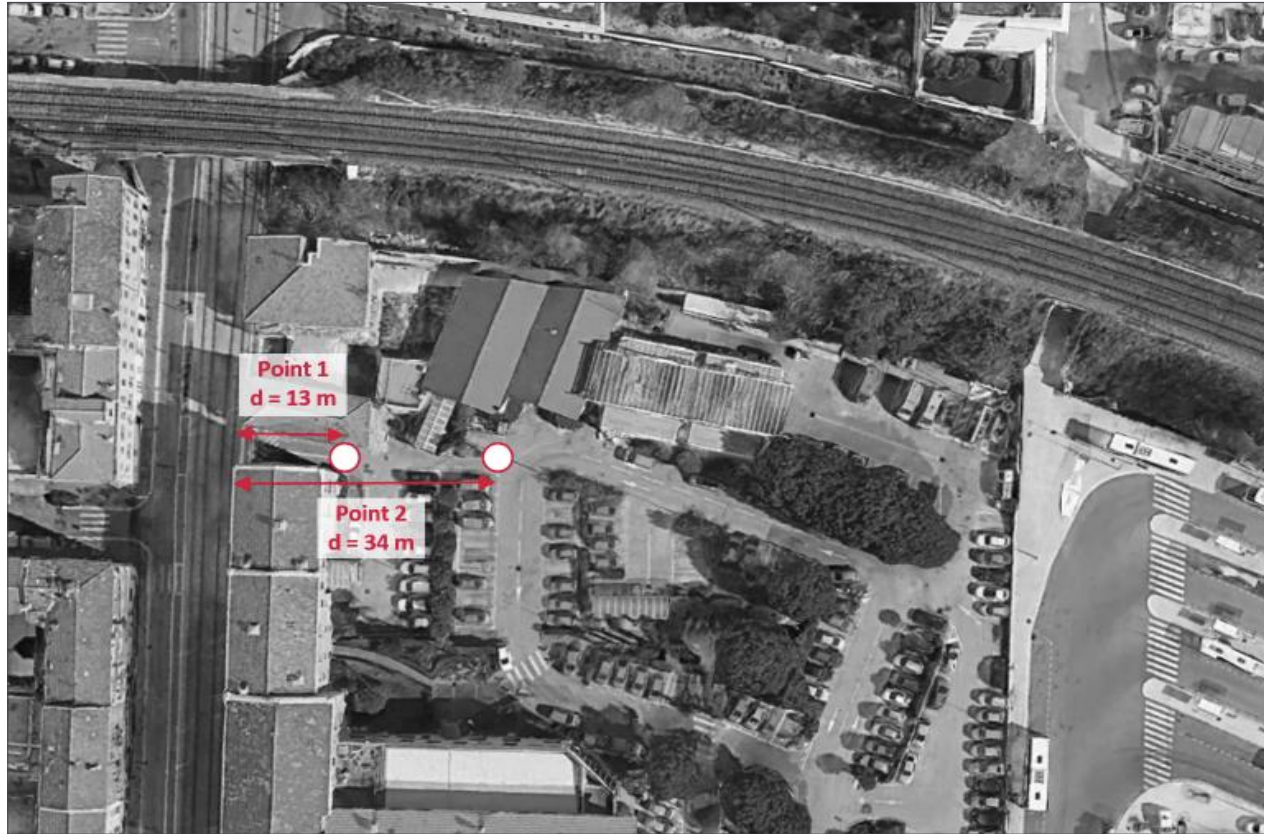


Figure 3 : Emplacement des points de mesure du tramway par rapport au projet



Figure 4 : Photo de la station Orion avec accéléromètre – Point 1 (tramway)

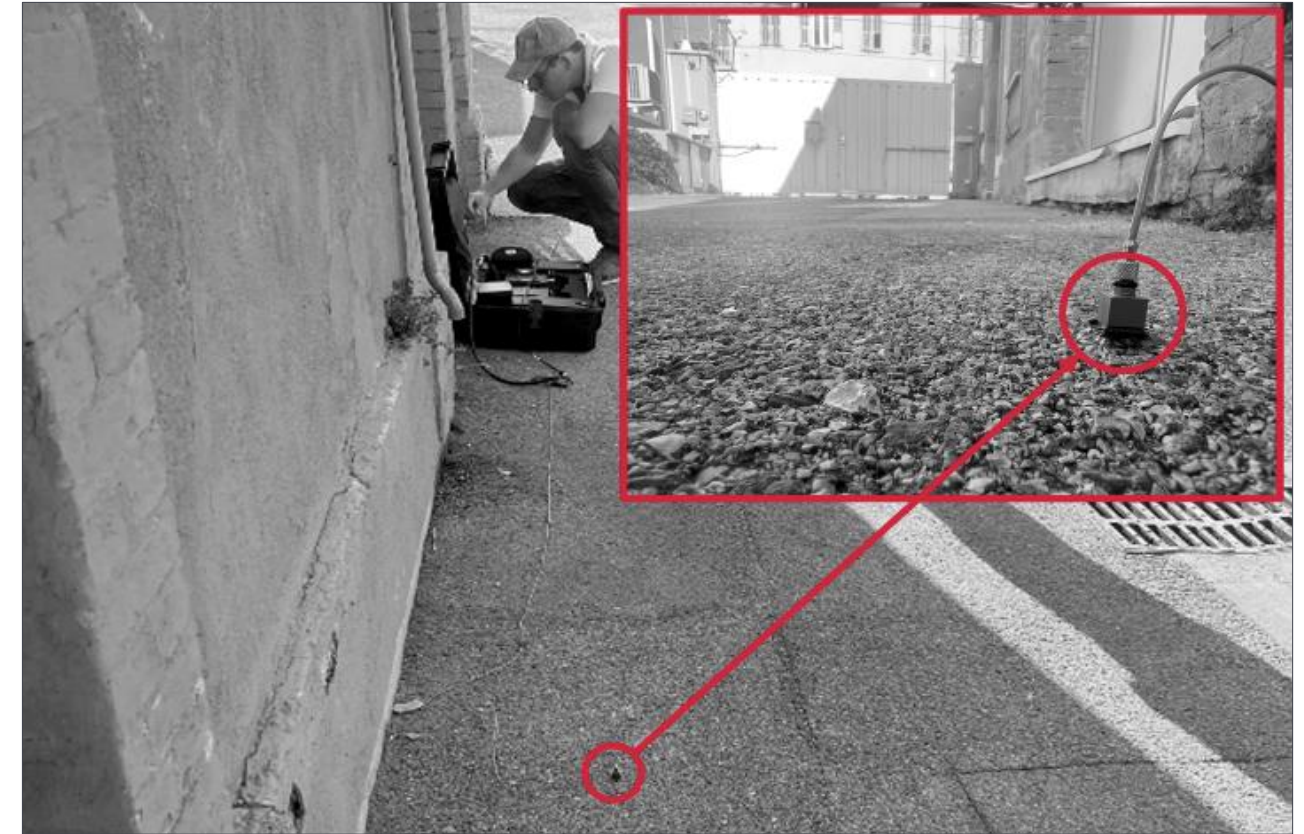


Figure 5 : Photo de l'accéléromètre – Point 2 (tramway)

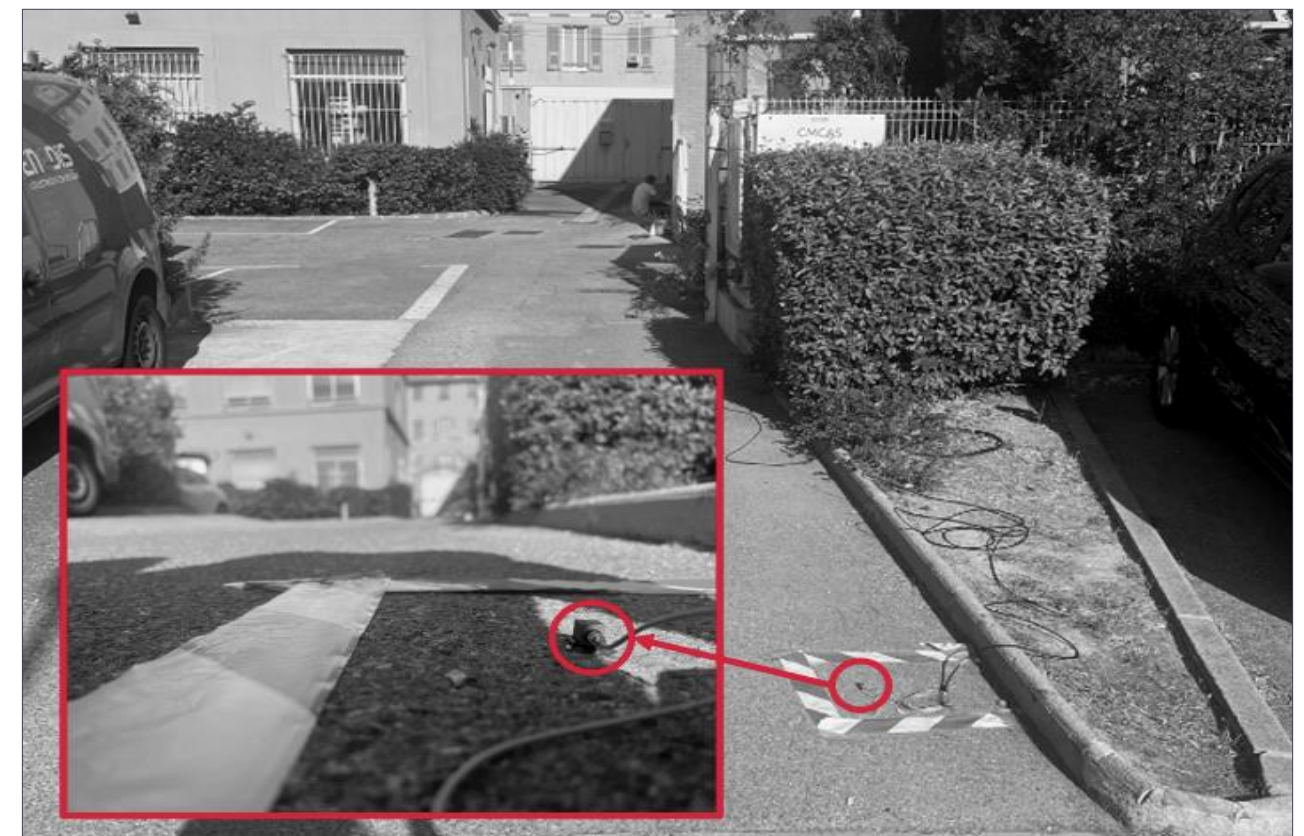




Figure 6 : Emplacement des points de mesure de la voie ferrée

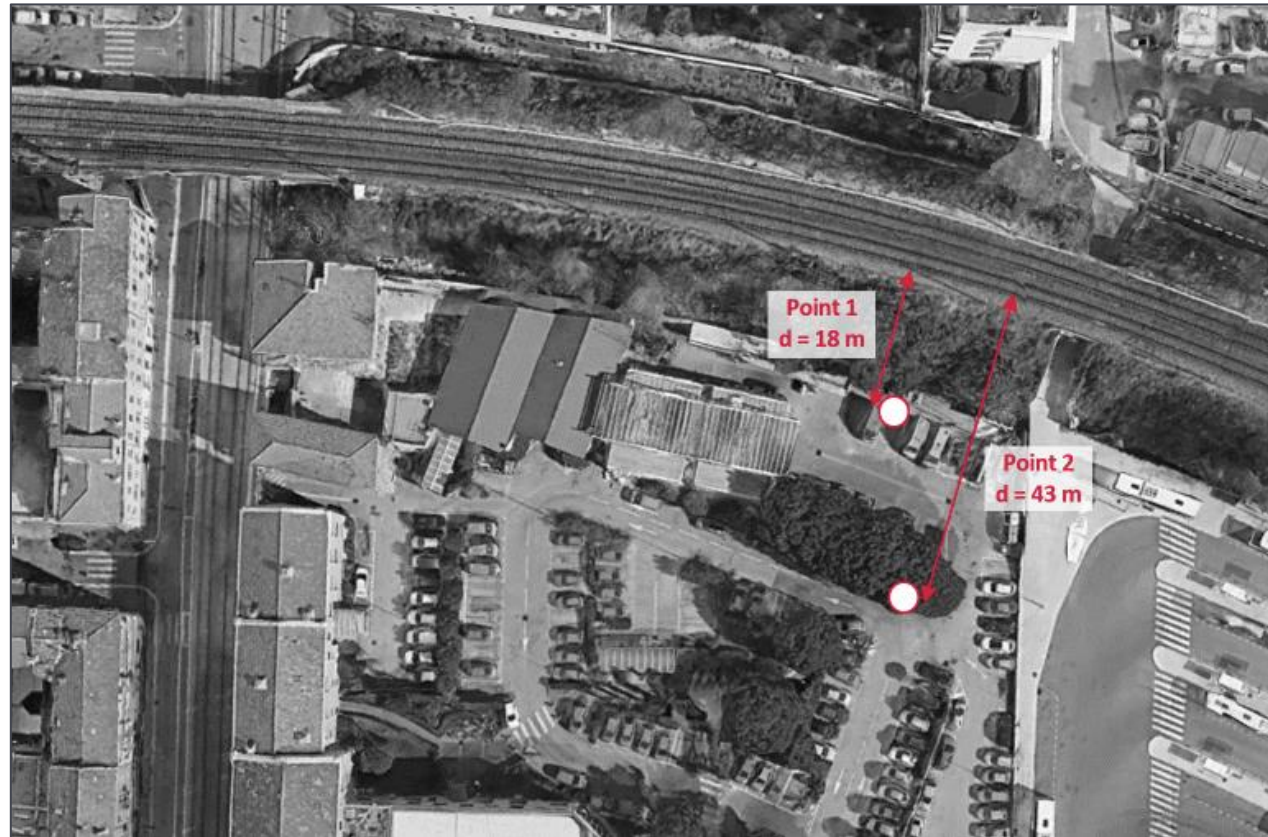


Figure 7 : Emplacement des points de mesure de la voie ferrée par rapport au projet



Figure 8 : Photo de la station Orion avec accéléromètre – Point 1 (voie ferrée)

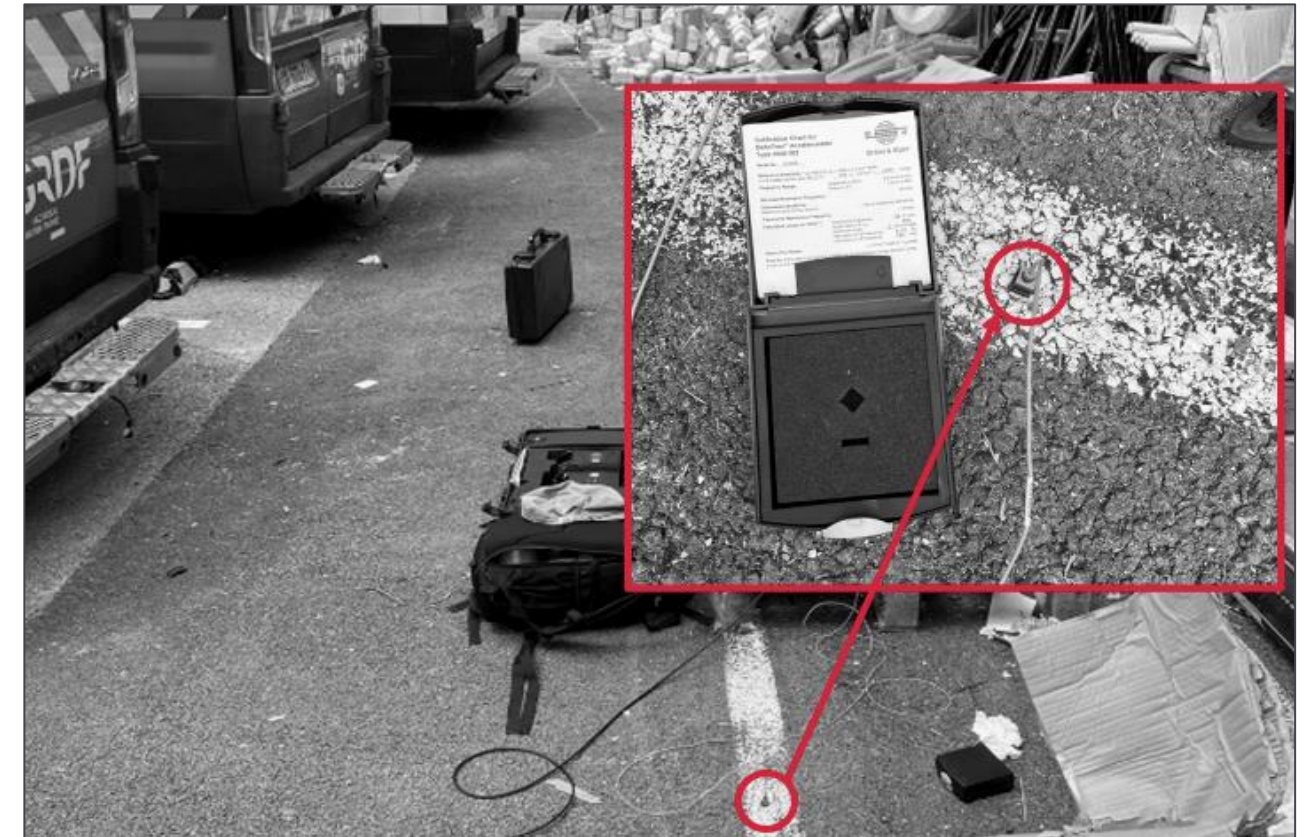
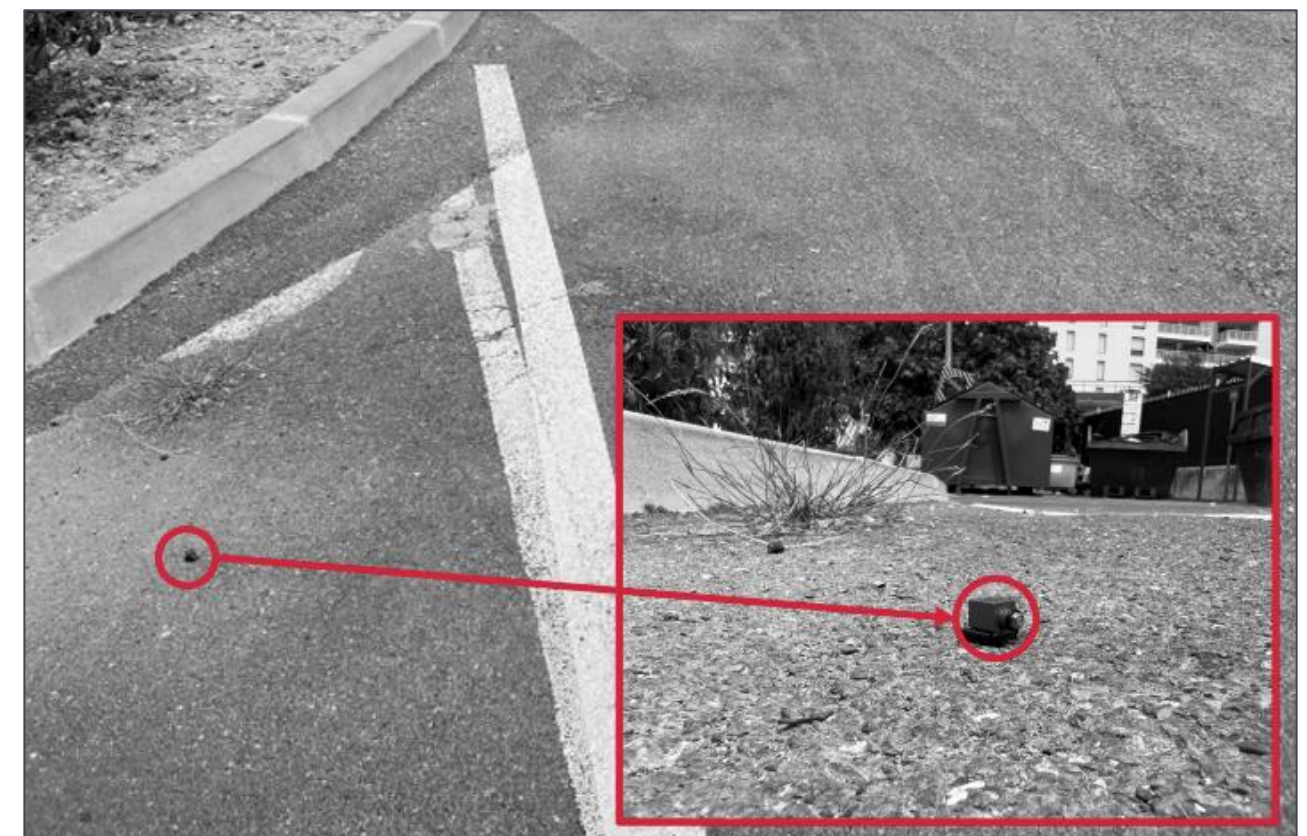


Figure 9 : Photo de l'accéléromètre – Point 2 (voie ferrée)





#### 4.0 PRÉSENTATION DES NIVEAUX VIBRATOIRES MESURÉS

Les niveaux vibratoires des tramways ont été mesurés selon l'axe vertical Z pendant une durée de 2 heures. Durant cette période, les niveaux vibratoires de 21 passages ont été analysés.

Les niveaux vibratoires des trains ont été mesurés selon l'axe vertical Z pendant une durée de 2 heures aux points 1 et 2, et 24 h au total au point 1. Durant cette période, les niveaux vibratoires de 93 passages ont été analysés, dont 9 durant les deux premières heures. Aucun train de marchandise (fret) n'a pu être clairement identifié durant notre intervention. Ainsi, aucune analyse spécifique n'a pu être réalisée pour ces derniers.

Les niveaux de vitesse vibratoire maximums mesurés au passage de chaque tramway/train sont présentés en gris dans les figures des pages suivantes. La courbe verte représente le niveau vibratoire résiduel (en l'absence de passage de tramways/trains).

L'énergie vibratoire des tramways est répartie entre 16 et 100 Hz avec des amplitudes maximales observées dans les bandes de tiers d'octave 25 et 31,5 Hz tandis que l'énergie vibratoire de passage de trains est répartie entre 6,3 Hz et 200 Hz, avec des amplitudes maximales observées dans les bandes de tiers d'octave 10 à 80 Hz.

#### 5.0 ATTÉNUATION DES VIBRATIONS DE LA VOIE FERRÉE ENTRE LES POINTS 1 ET 2

Les mesures réalisées en simultanée aux points 1 et 2 permettent d'évaluer l'atténuation vibratoire due à la distance entre ces points.

Cette atténuation est calculée sur la base des niveaux vibratoires de 9 passages de trains mesurés au point 2, auxquels sont soustraits les niveaux vibratoires du point 1 (pour ces mêmes trains).

Elle met en évidence une atténuation des vibrations à partir de 6,3 Hz, de -8 dB à -20 dB aux fréquences d'amplitudes maximales du passage de trains (10 à 40 Hz).

Figure 10 : Fonction de transfert calculée du point 1 => point 2 sur la base des 9 trains mesurés en simultanée





Figure 11 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{V_{max,1s}}$  mesurés au point 1 lors du passage de tramways

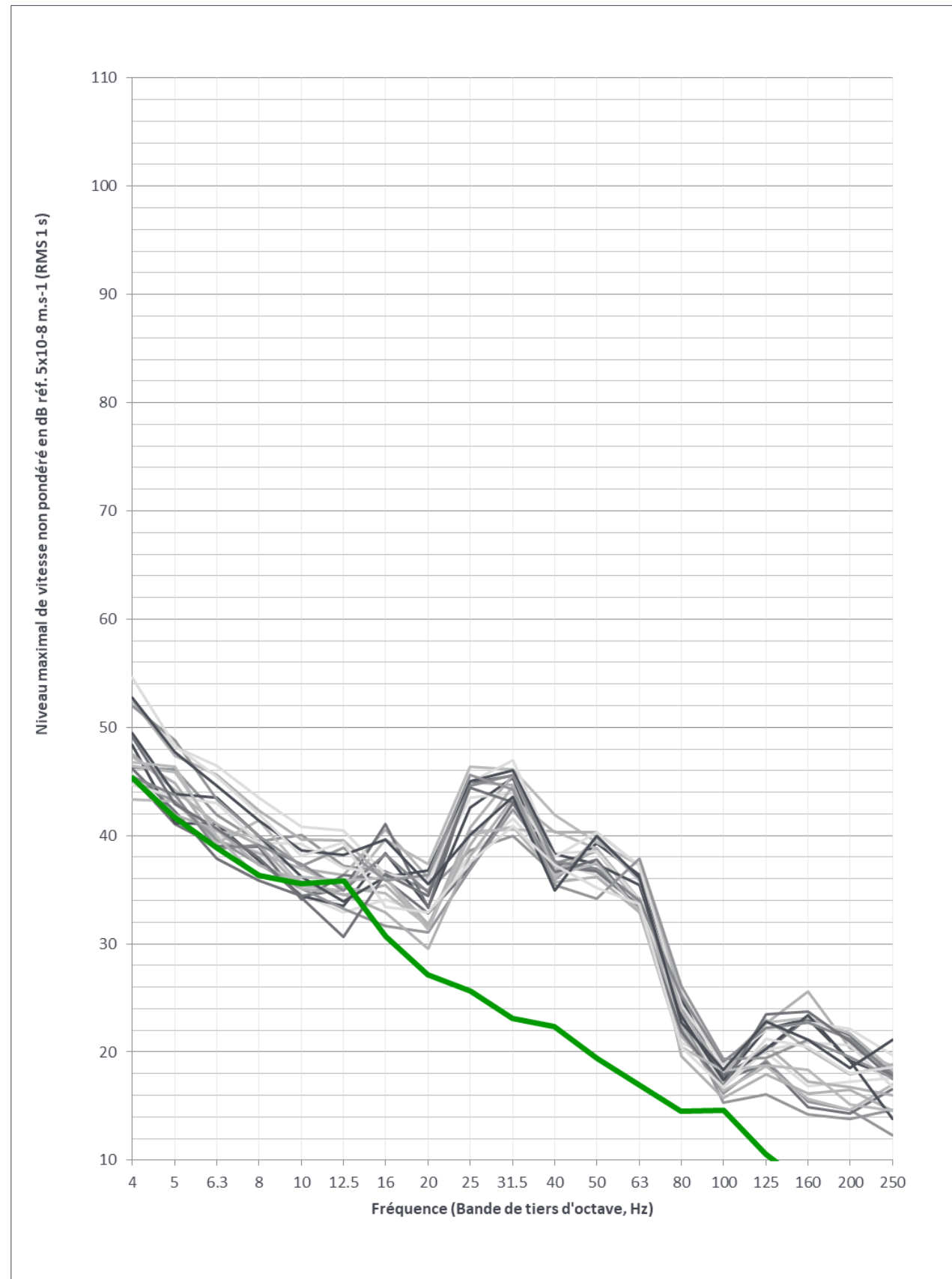


Figure 12 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{V_{max,1s}}$  mesurés au point 2 lors du passage de tramways

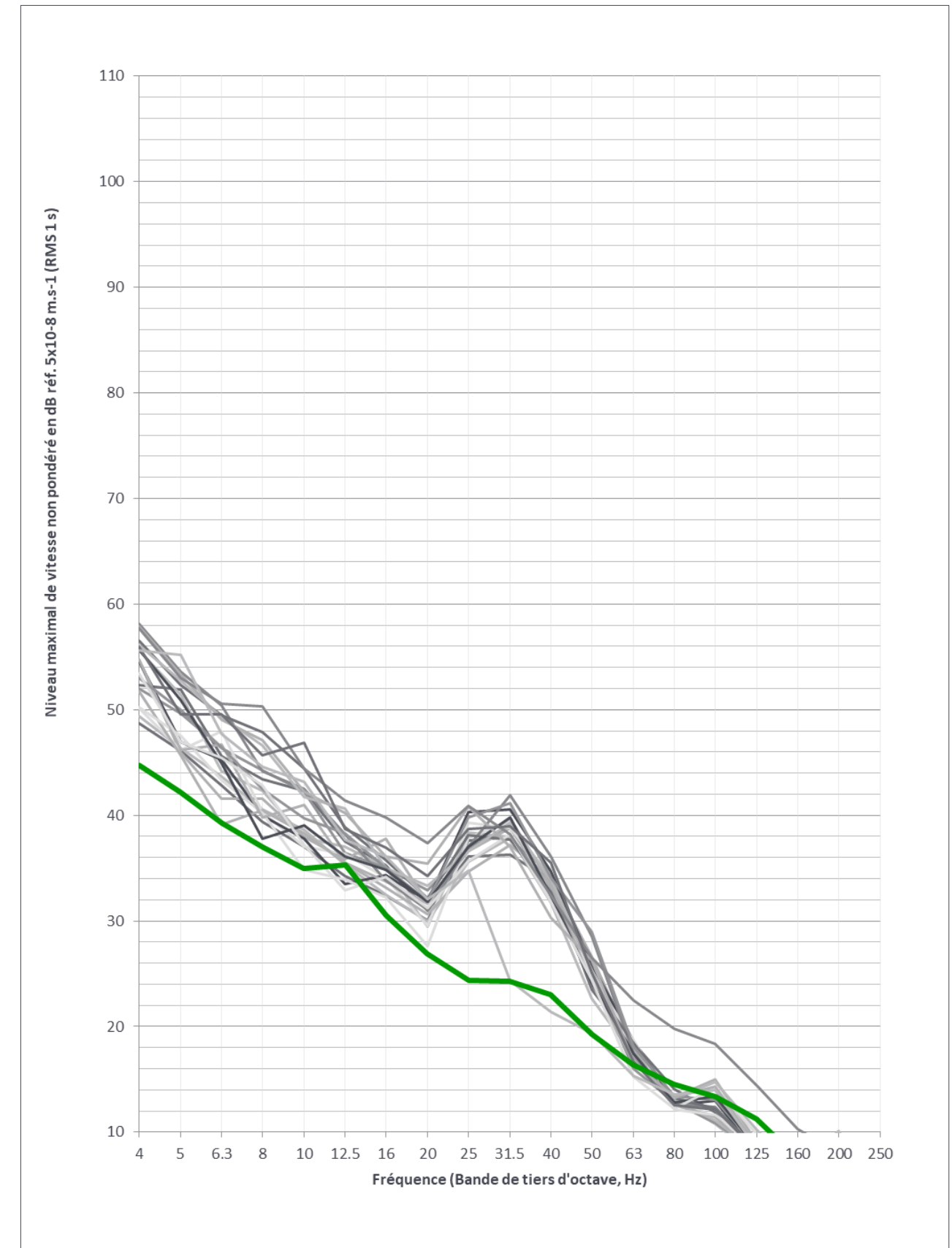


Figure 13 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{V_{max,1s}}$  mesurés au point 1 lors du passage de trains

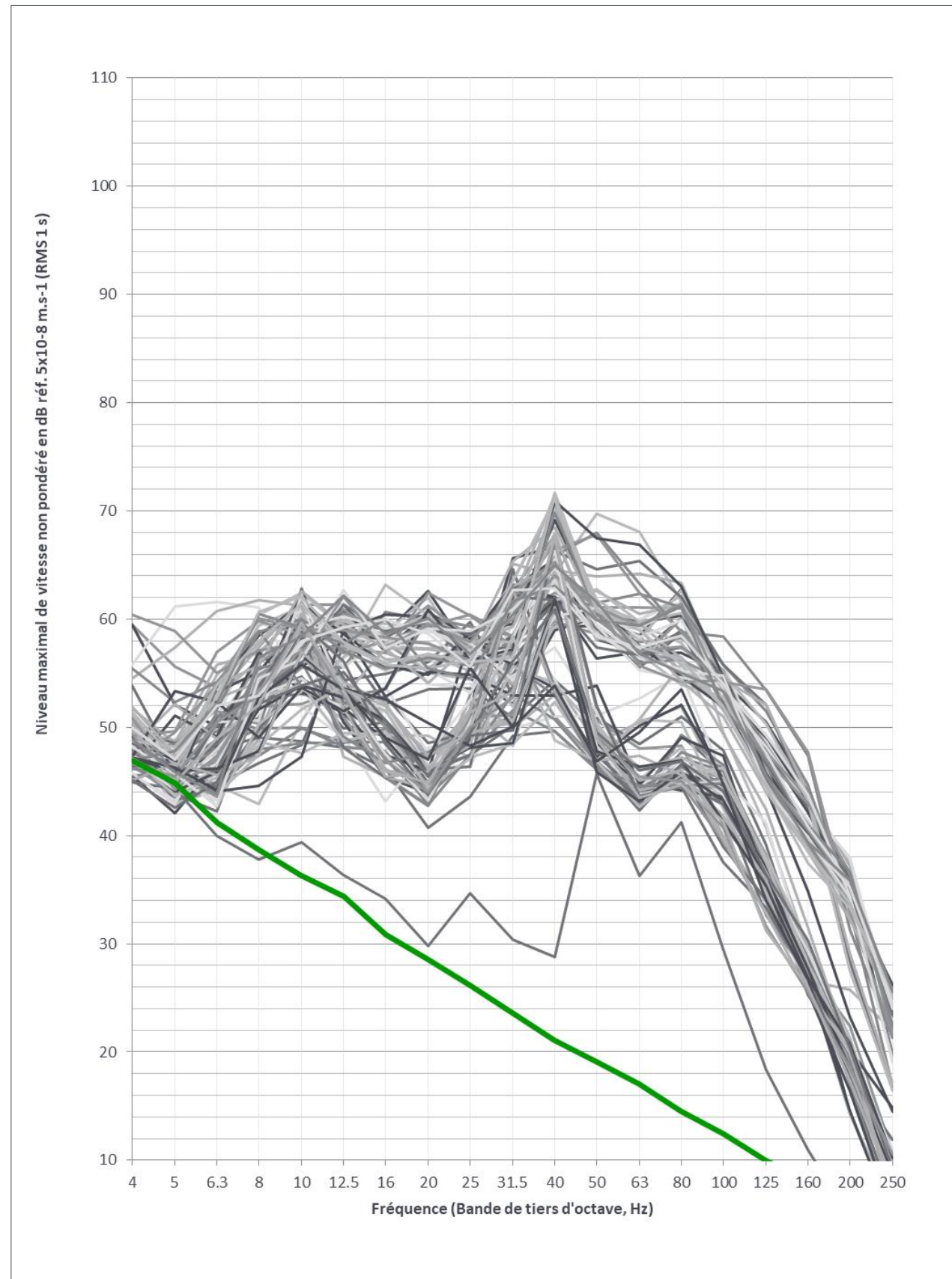
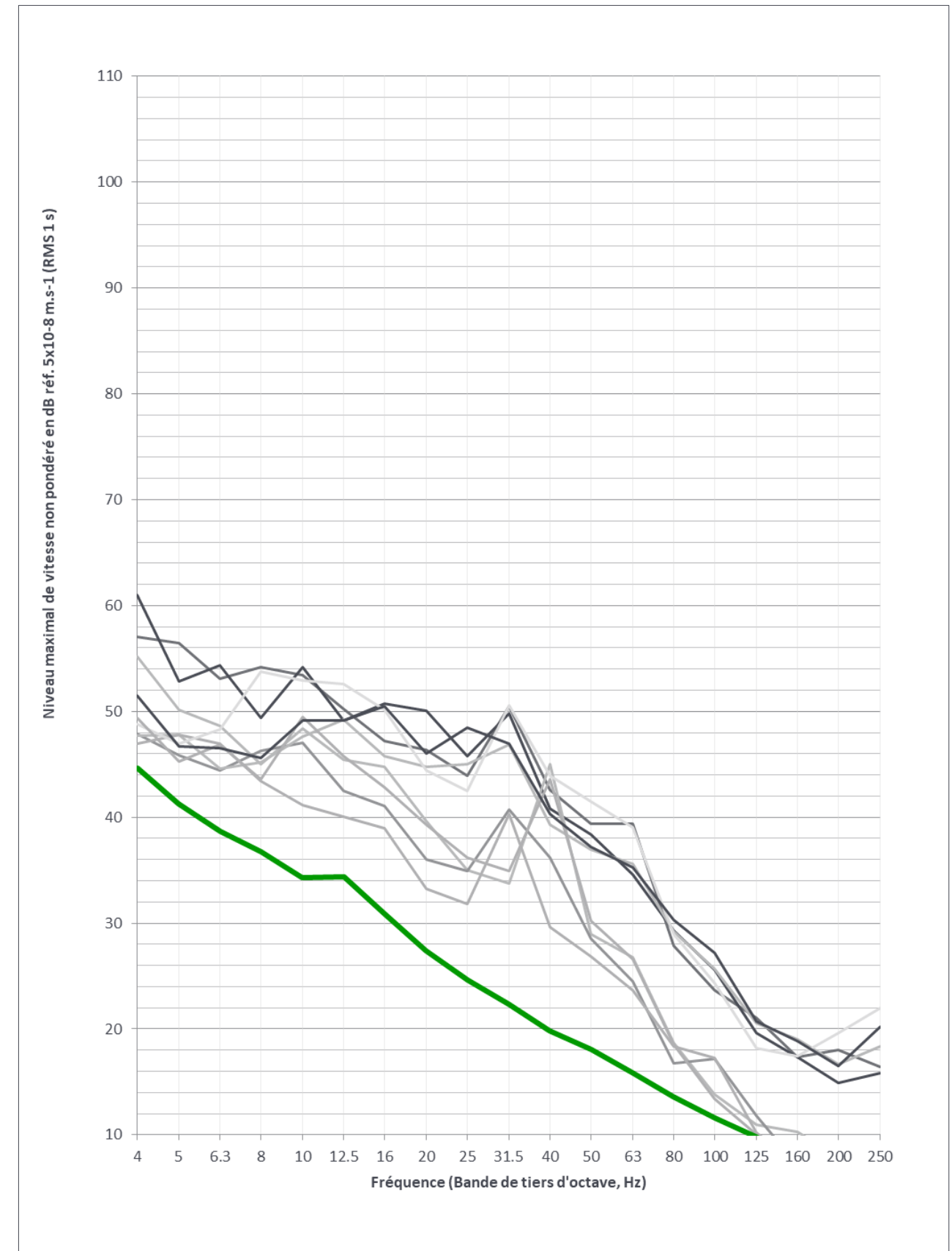


Figure 14 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{V_{max,1s}}$  mesurés au point 2 lors du passage de trains





## 6.0 ÉTUDE ET ANALYSE DES NIVEAUX VIBRATOIRES

### 6.1 Locaux considérés

Les études ont été effectuées pour les locaux suivants :

- Logements :
  - Tramways : Deux chambres de 12 m<sup>2</sup> situées au R+1 avant et après le JD entre bâtiments sud-ouest (voir Figure 15)
  - Trains : Deux chambres de 12 m<sup>2</sup> situées au R+1 avant et après le JD entre bâtiments nord-est (voir Figure 19)
- Bureaux :
  - Tramways : Bureau individuel de 10 m<sup>2</sup> au R+1 à l'ouest (voir Figure 15)
  - Trains : Bureau individuel de 10 m<sup>2</sup> au R+1 à l'est
- Auditorium R-2/R-1 : Analyse trains et tramways
- Local Auditorium RDC : Analyse trains et tramways

### 6.2 Hypothèses de calcul

Afin de prédire les niveaux vibratoires transmis à la structure des locaux considérés, les fonctions de transfert considérées sur la base des documents de l'étude RIVAS sont présentées ci-après :

- Propagation dans le sol (de la source à l'emplacement du bâtiment) : Pas de fonction de transfert nécessaire dans la mesure où les points de mesures ont été positionnés au droit des façades des bâtiments impactés (voir Figure 4 et Figure 8)
- Propagation du sol aux fondations : S'agissant de bâtiments de grande hauteur et selon les recommandations RIVAS, la fonction de transfert « moyenne moins un écart type » pour de petits bâtiments a été considérée<sup>7</sup>
- Atténuations liées à l'étage du local considéré (de la fondation au plancher du local) : Fonctions de transferts issues de la littérature et de l'expérience de Marshall Day Acoustics en fonction de l'étage du local étudié
- Amplifications liées aux planchers : Fonction de transfert considérant l'amplification moyenne de planchers ayant une fréquence propre allant de 20 à 30 Hz issue des données de l'étude RIVAS<sup>4</sup>

Les fonctions de transfert susmentionnées sont présentées pour chaque local étudié dans la suite de ce document.

Les paragraphes suivants présentent les résultats de calcul des niveaux vibratoires structurels (perception tactile) et des niveaux sonores rayonnés par la structure (perception auditive) ainsi que les niveaux équivalents continus sur 24 heures.

## 6.3 Analyse du risque pour les logements et les bureaux

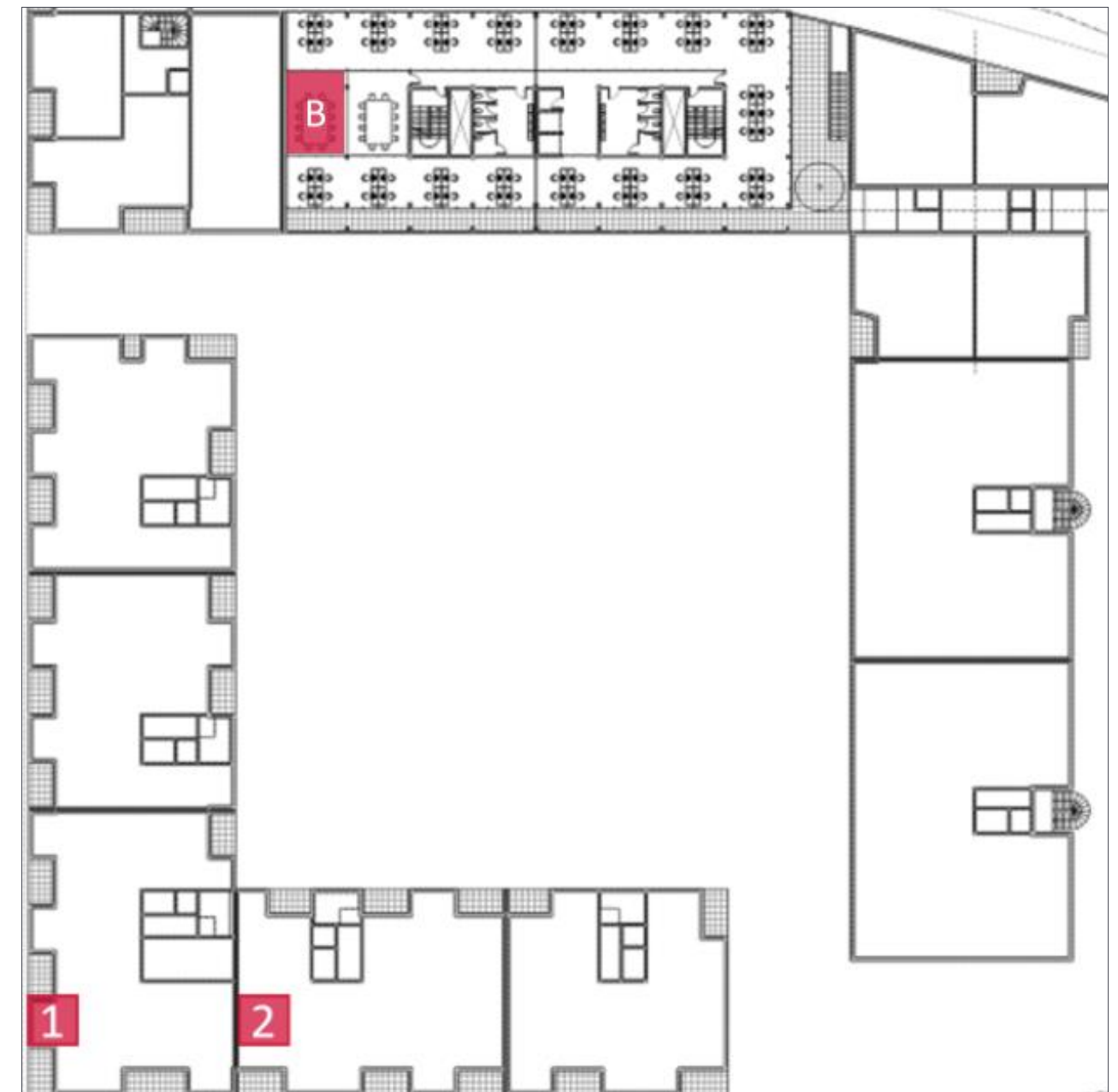
### 6.3.1 Risques associés aux tramways

Afin d'étudier les risques liés aux vibrations émises par le tramway, les analyses ont été réalisées dans deux logements (local type chambre de 12 m<sup>2</sup> avec hauteur sous plafond de 2.5 m) ont été situées au R+1 et dénommées ci-après chambres « 1 » et « 2 ».

Par ailleurs, l'analyse a également été réalisée dans un bureau individuel d'environ 10 m<sup>2</sup> dénommé local « B », également au R+1.

L'emplacement de ces locaux est présenté dans la figure ci-dessous.

Figure 15 : Emplacement des locaux considérés pour les logements à proximité du tramway



<sup>7</sup> Recommandation issue du document « Deliverable D1.6 – Definition of appropriate procedures to predict exposure in buildings and estimate annoyance ».

Les points de mesure 1 et 2 sont situés à l'aplomb des locaux étudiés. Ainsi, les niveaux vibratoires associés ont été utilisés pour les calculs respectivement dans la chambre 1, la chambre 2 et le bureau.

Les fonctions de transfert prises en compte sont présentées dans la figure ci-après.

Figure 16 : Fonctions de transferts considérés pour les logements et les bureaux (R+1)



Analyse selon la norme ISO 10137

Les niveaux vibratoires maximums (RMS 1s) calculés sur les planchers des chambres 1 et 2 lors du passage de tramways sont présentés dans les figures de la page suivante.

Les niveaux vibratoires maximums des tramways sont considérablement inférieurs aux courbes VC 1,4 (résidentiel nuit) et VC 2 (résidentiel jour et bureaux calmes).

Analyse selon le projet européen RIVAS

Les mesures proches de la ligne de tramway ont été réalisées sur une durée de 2 heures uniquement. Dans ces conditions, les indicateurs 24 heures n'ont pas été calculés.

Les indicateurs calculés sont présentés dans le tableau suivant. La couleur de chaque case correspond à la zone définie par le projet RIVAS (cf. Tableau 1).

Tableau 4 : Comparaison des indicateurs calculés par rapport aux valeurs cibles du projet RIVAS

Local	Niveaux sonores		Niveaux vibratoires	
	Lp <sub>A,Smax</sub>	Lp <sub>A,den,24h</sub>	LV <sub>W,Smax</sub>	LV <sub>W,ég,24h</sub>
Chambre 1	20 dB(A)	-	45 dB	-
Chambre 2	< 10 dB(A)	-	42 dB	-
Bureau	< 10 dB(A)	-	42 dB	-

Sur base des courbes d'exposition/réponse, il est possible d'évaluer le pourcentage de personnes susceptibles d'être moyennement gênées et/ou très gênées et ce, pour chaque indicateur. Ces pourcentages ne sont présentés que pour les logements, les courbes exposition/réponse pouvant être différentes dans le cadre d'une activité de bureau.

Tableau 5 : Pourcentages de personnes susceptibles d'être modérément et très gênées

Local	Niveaux sonores				Niveaux vibratoires			
	Lp <sub>A,Smax</sub>		Lp <sub>A,den,24h</sub> <sup>4</sup>		LV <sub>W,Smax</sub>		LV <sub>W,ég,24h</sub> <sup>4</sup>	
	%HA*	%MHA**	%HA	%MHA	%HA	%MHA	%HA	%MHA
Chambre 1	1,0	1,7	-	-	1,3	2,1	-	-
Chambre 2	< 1,0	< 1,0	-	-	1,1	1,9	-	-

\* %HA : Pourcentage de personnes dites "très gênées".

\*\* %MHA ; Pourcentage de personnes dites "moyennement et très gênées".

Les indicateurs RIVAS sont très en deçà des valeurs cibles de la zone verte pour les chambres 1 et 2 ainsi que le bureau.



Figure 17 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{v_{max,1s}}$  calculés sur le plancher de la chambre 1 lors du passage de tramways

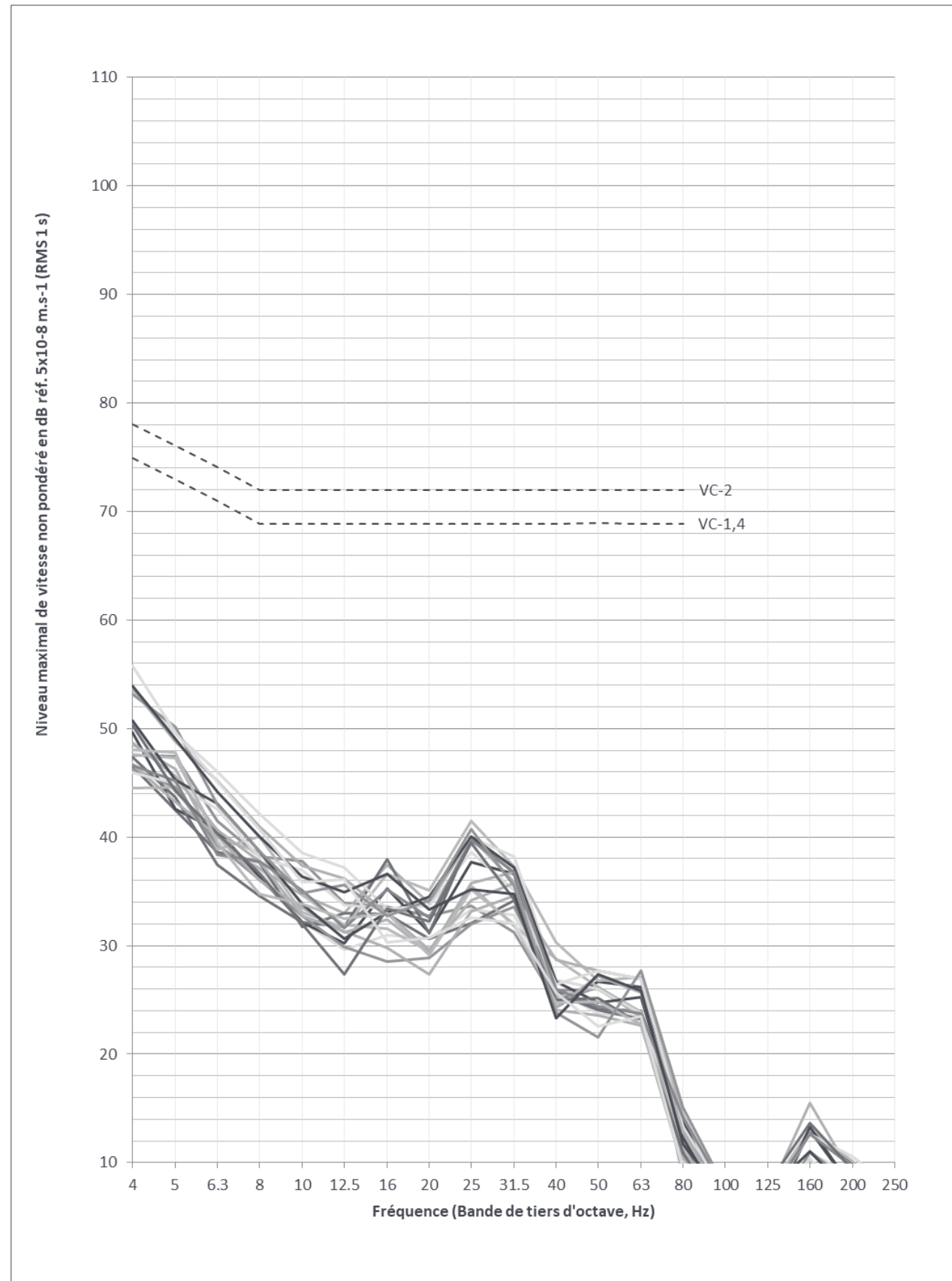
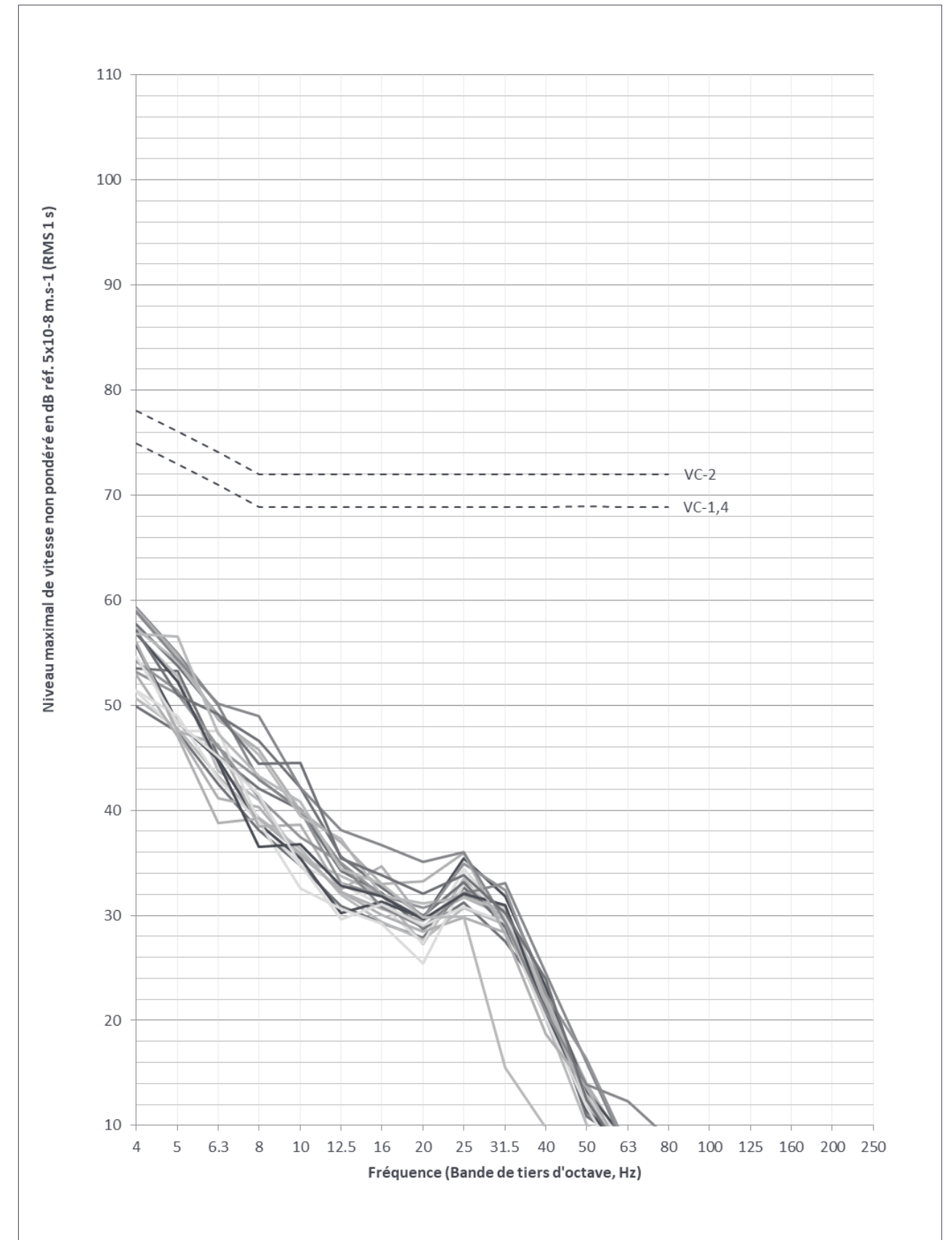


Figure 18 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{v_{max,1s}}$  calculés sur le plancher de la chambre 2 et du bureau lors du passage de tramways



### 6.3.2 Risques associés aux trains

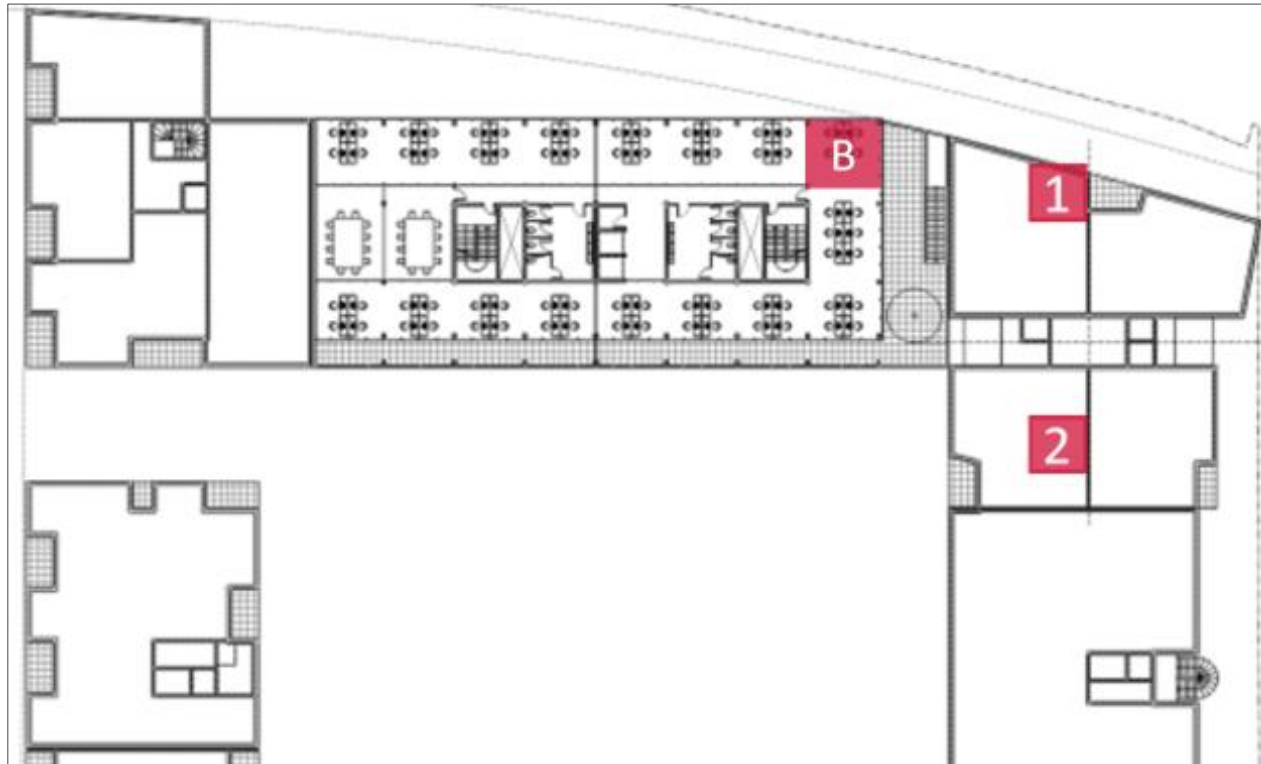
Afin d'étudier les risques liés aux vibrations émises par les trains, les analyses ont été réalisées dans deux logements (type chambre de 12 m<sup>2</sup> avec hauteur sous plafond de 2.5 m) au R+1 dénommées chambres « 1 » et « 2 » dans la suite du document.

Par ailleurs, l'analyse a également été réalisée dans un bureau individuel d'environ 10 m<sup>2</sup> dénommé local « B », également au R+1.

Les indicateurs calculés au point 2 sont issus des données du point 1 ajustées de l'atténuation présentée au chapitre 5.0.

L'emplacement de ces locaux est présenté dans la figure ci-dessous.

Figure 19 : Emplacement des locaux considérés pour les logements à proximité de la voie ferrée



Les points de mesure 1 et 2 sont situés à l'aplomb des locaux étudiés. Ainsi, les niveaux vibratoires associés ont été utilisés pour les calculs respectivement dans la chambre 1, le bureau et la chambre 2.

Les fonctions de transfert retenues sont identiques à celles présentées dans le chapitre précédent (voir Figure 16).

#### Analyse selon la norme ISO 10137

Les niveaux vibratoires maximums (RMS 1s) calculés au niveau du plancher des chambres 1 et 2 ainsi que du bureau lors du passage de trains sont présentés dans les figures de la page suivante.

#### Analyse selon le projet européen RIVAS

Les indicateurs calculés sont présentés dans le tableau suivant. La couleur de chaque case correspond à la zone définie par le projet RIVAS (cf. Tableau 1).

Sur base des courbes d'exposition/réponse, il est possible d'évaluer le pourcentage de personnes susceptibles d'être moyennement gênées et/ou très gênées et ce, pour chaque indicateur. Ces pourcentages ne sont présentés que pour les logements, les courbes exposition/réponse pouvant être différentes dans le cadre d'une activité de bureau.

Tableau 6 : Comparaison des indicateurs calculés par rapport aux valeurs cibles du projet RIVAS

Local	Niveaux sonores		Niveaux vibratoires	
	Lp <sub>A,Smax</sub>	Lp <sub>A,den,24h</sub>	Lv <sub>W,Smax</sub>	Lv <sub>W,ég,24h</sub>
Chambre 1	43 dB(A)	19 dB(A)	67 dB	40 dB
Chambre 2	21 dB(A)	< 10 dB(A)	60 dB	35 dB
Bureau	43 dB(A)	-	67 dB	-

Tableau 7 : Pourcentages de personnes susceptibles d'être modérément et très gênées

Local	Niveaux sonores				Niveaux vibratoires			
	Lp <sub>A,Smax</sub>		Lp <sub>A,den,24h</sub>		Lv <sub>W,Smax</sub>		Lv <sub>W,ég,24h</sub>	
	%HA*	%MHA**	%HA	%MHA	%HA	%MHA	%HA	%MHA
Chambre 1	7,9	15,7	1,6	2,7	5,5	10,8	1,4	2,2
Chambre 2	1,2	1,9	< 1,0	< 1,0	3,1	5,7	< 1,0	1,3

\* %HA : Pourcentage de personnes dites "très gênées".

\*\* %MHA ; Pourcentage de personnes dites "moyennement et très gênées".

#### Chambre 1

Les niveaux de vitesse vibratoires maximums des trains ne dépassent pas la courbe VC 1,4 (résidentiel nuit).

La valeur cible pour l'indicateur Lv<sub>W,Smax</sub> n'est dépassée de 1 décibel qu'au 1<sup>er</sup> étage (zone jaune). À partir de 3<sup>ème</sup> étage, l'indicateur calculé est inférieur à 66 dB (zone verte).

L'indicateur Lp<sub>A,Smax</sub> est 5 décibel au-dessus de la valeur cible de la zone verte. Par conséquent, 15,7 % de la population est susceptible d'être gênée, dont 7,9 % très gênés par la perception auditive de vibration lors du passage de trains (zone jaune). À partir du 5<sup>ème</sup> étage, l'indicateur calculé est inférieur à 38 dB(A) (zone verte).

Ces perceptions (tactiles et auditives) ne sont toutefois pas assez fréquentes pour engendrer une gêne persistante (les indicateurs Lv<sub>W,ég,24h</sub> et Lp<sub>A,den,24h</sub> sont en deçà des valeurs cibles de la zone verte), et ce quel que soit l'étage considéré.

#### Chambre 2

Les niveaux vibratoires maximums des trains sont considérablement inférieurs à la courbe VC 1,4 (résidentiel nuit). Il en est de même pour l'ensemble des indicateurs RIVAS, en deçà des valeurs cibles de la zone verte.

#### Bureaux

Les niveaux vibratoires maximums des trains restent en deçà de la courbe VC 2 (bureau calme), en cohérence avec l'indicateur Lv<sub>W,Smax</sub>, 5 décibel en-dessous de la valeur cible de la zone verte.

L'indicateur Lp<sub>A,Smax</sub> est 1 décibel en dessous de la valeur cible de la zone verte.



Figure 20 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{V_{max,1s}}$  calculés sur le plancher de la chambre 1 et du bureau lors du passage de trains

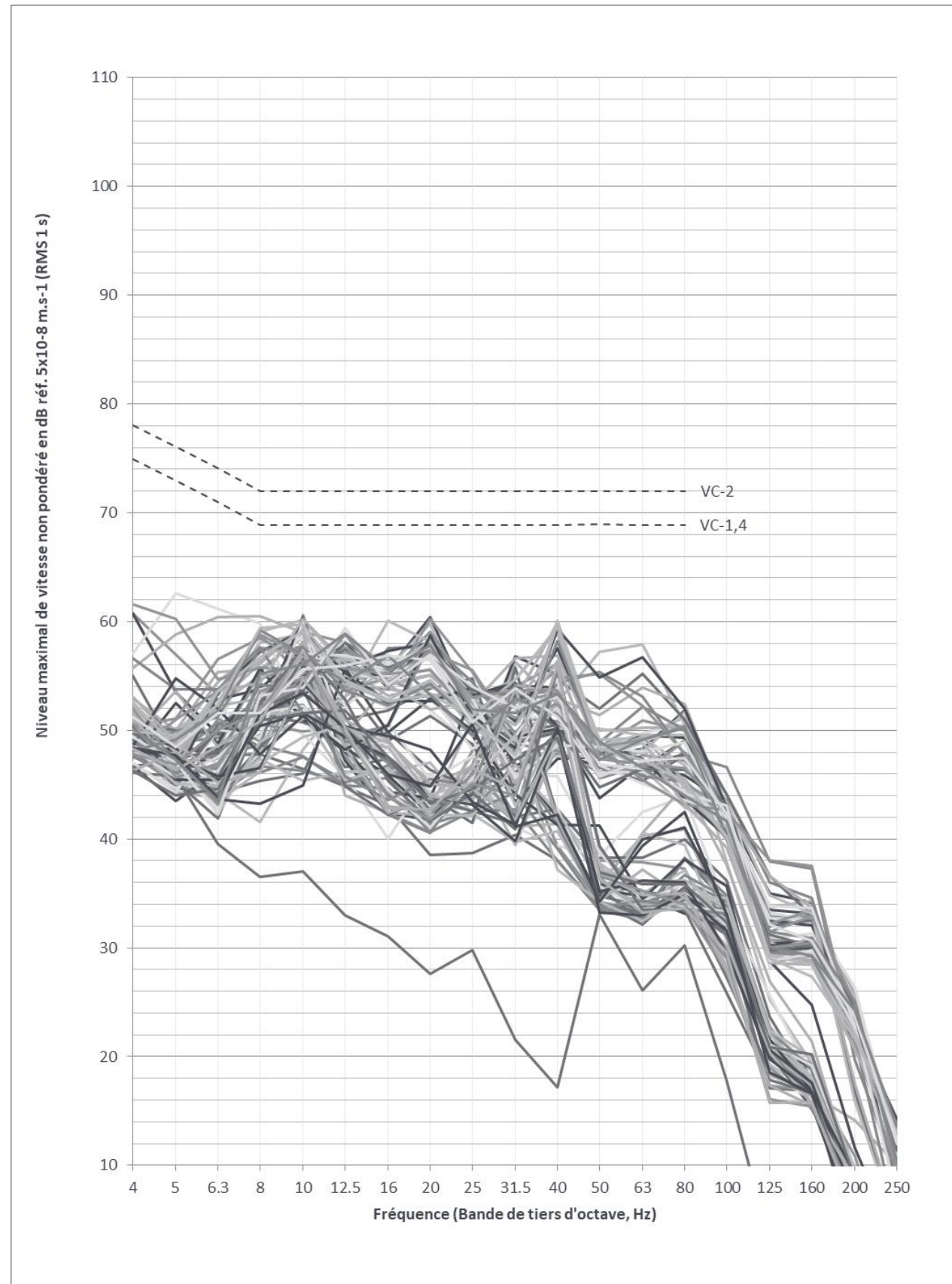
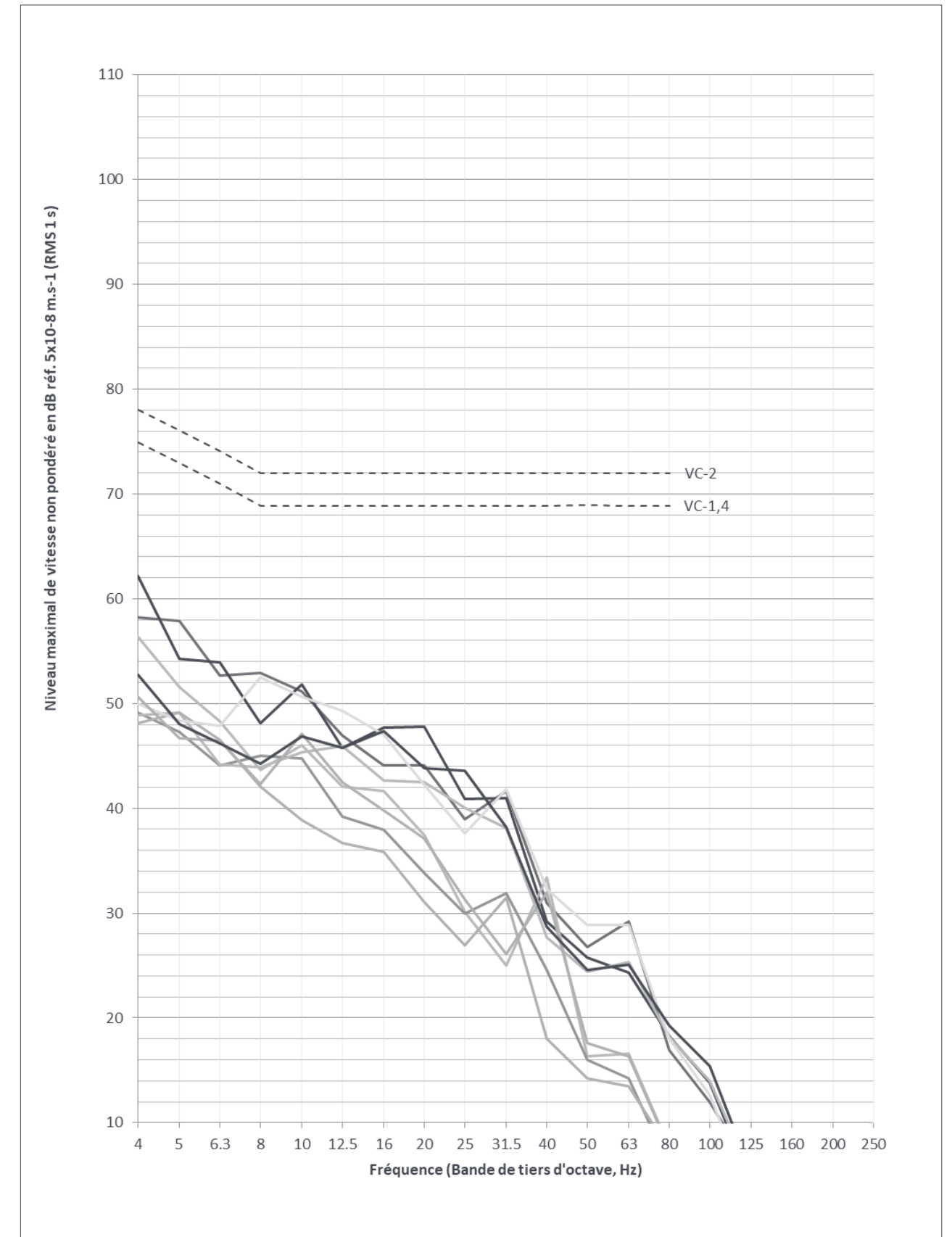


Figure 21 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{V_{max,1s}}$  calculés sur le plancher de la chambre 2 lors du passage de trains



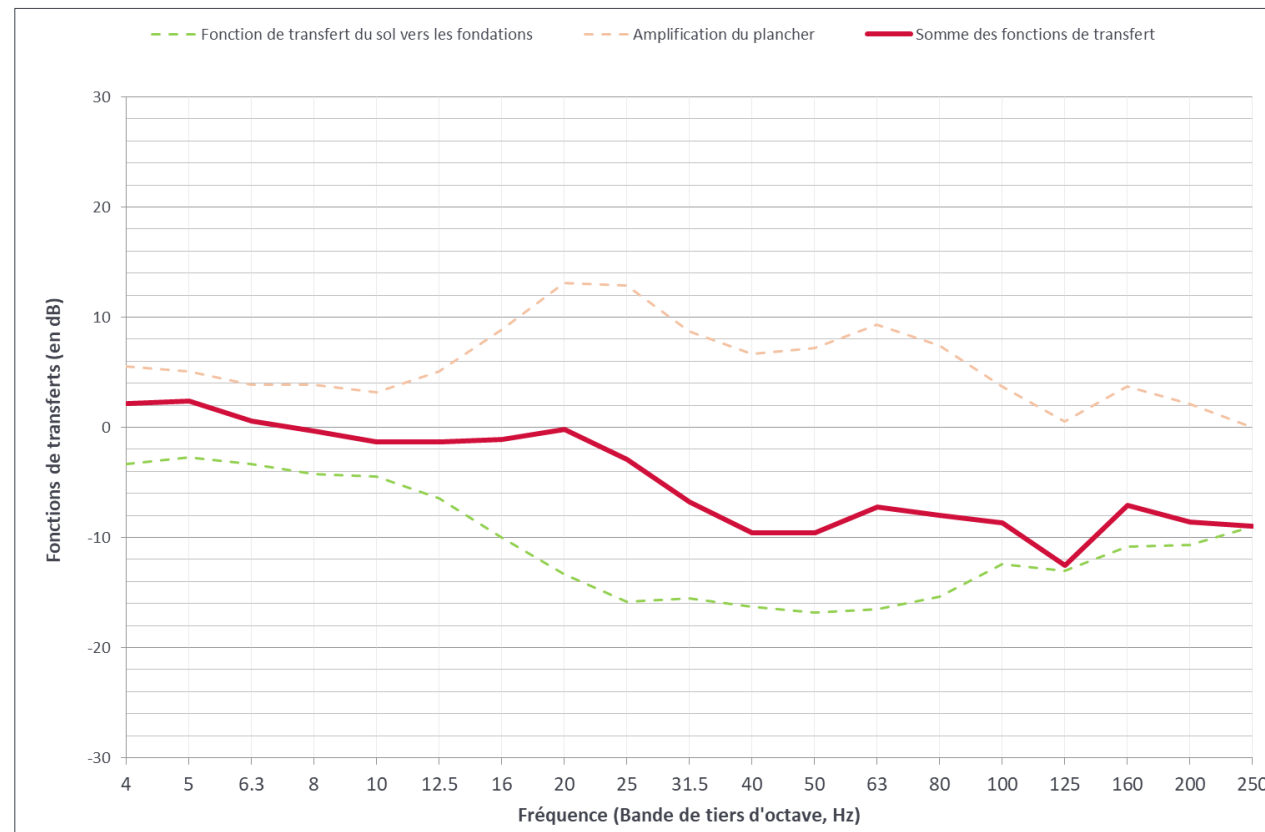
#### 6.4 Analyse du risque pour locaux auditorium

Le point de mesure 2 du tramway est situé à l'aplomb de ces locaux. Ainsi, les niveaux vibratoires associés ont été utilisés pour les calculs des vibrations issues du passage de tramway.

Les niveaux vibratoires du point de mesure 1 de la voie ferrée ont été utilisés pour les calculs des vibrations issues du passage de train.

Les fonctions de transfert prises en compte sont identiques à celles des logements à l'exception de l'atténuation d'un étage.

Figure 22 : Fonctions de transferts considérés pour l'auditorium et la salle VR



Analyse selon la norme ISO 10137

Les niveaux vibratoires maximums (RMS 1s) calculés au niveau du plancher de l'auditorium (sous-sol) et du local auditorium du RDC lors du passage de tramways et de trains sont présentés dans les figures des pages suivantes.

Analyse selon le projet Européen RIVAS

Les indicateurs calculés à partir des mesures sont présentés dans le tableau suivant. La couleur de chaque case correspond à la zone définie par le projet RIVAS (cf. Tableau 1).

Le pourcentage de personnes susceptibles d'être moyennement gênées et/ou très gênées ne sont pas présentés, les courbes exposition/réponse pouvant être différentes dans le cadre des locaux considérés.

Analyse des niveaux vibratoires (perception tactile)

Les niveaux vibratoires maximums des tramways sont en deçà de la courbe VC 1, en cohérence avec l'indicateur  $L_{vW,Smax}$  très inférieur à la valeur cible de la zone verte dans les deux locaux.

Les niveaux vibratoires maximums des trains sont proches de la courbe VC 1. En outre, l'indicateur  $L_{vW,Smax}$  dépasse la valeur cible de 3 dB (zone jaune), également pour les deux locaux.

Analyse des niveaux sonores (perception auditive)

Les niveaux de bruits rayonnés correspondant aux 5% des trains les plus générateurs de vibration sont de 47 et 44 dB(A) dans un local auditorium du RDC et l'auditorium au sous-sol respectivement. La Figure 23 indique que ces derniers dépassent significativement les objectifs recommandés par Dolby<sup>8</sup> :

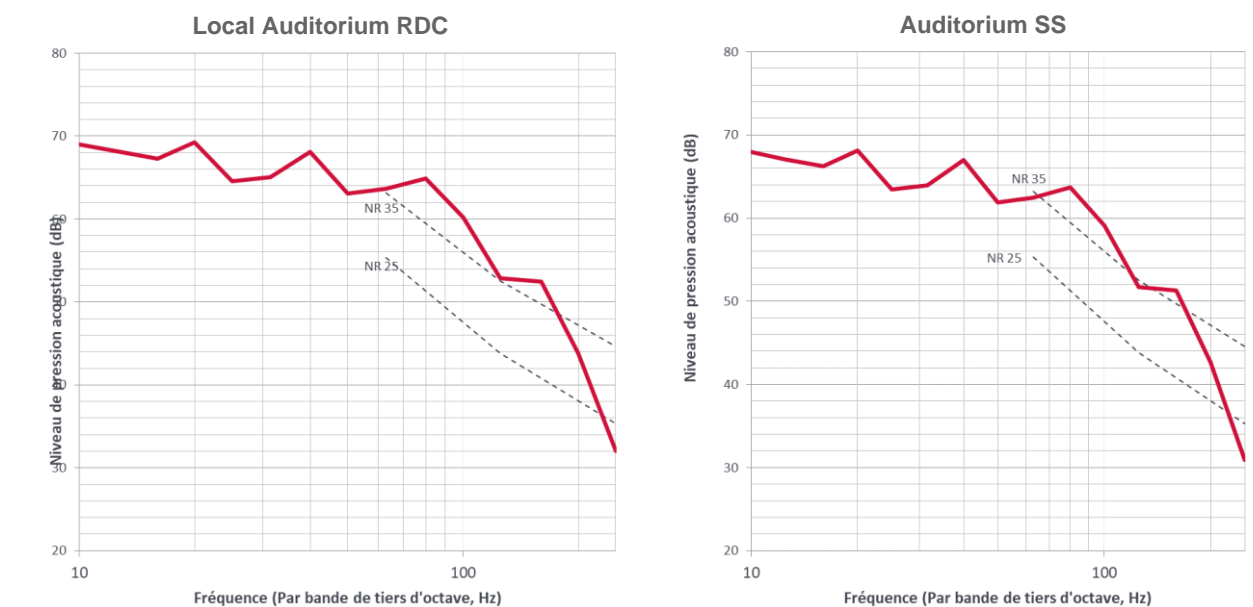
- NR 25 (spectre de niveaux optimaux selon Dolby<sup>9</sup>)
- NR 35 (spectre de niveaux maximums acceptables pour un évènement intermittent selon Dolby<sup>9</sup>)

Tableau 8 : Comparaison des indicateurs calculés par rapport aux valeurs cibles du projet RIVAS

Source	Local	Niveaux sonores		Niveaux vibratoires	
		$L_{pA,Smax}^*$	$L_{pA,den,24h}$	$L_{vW,Smax}$	$L_{vW,ég,24h}$
Tramways	Local auditorium RDC	< 10 dB(A)	-	44 dB	-
	Auditorium SS	< 10 dB(A)	-	44 dB	-
Trains	Local auditorium RDC	47 dB(A)	-	69 dB	-
	Auditorium SS	46 dB(A)	-	69 dB	-

\*En l'absence de recommandations dans l'étude RIVAS, le niveau sonore rayonné n'est pas comparé aux valeurs cibles.

Figure 23 : Niveaux de pression acoustique rayonnés dans le local auditorium RDC au passage des 5 % de trains les plus générateurs de vibration.



<sup>8</sup> Issu du document « Technical Guidelines for Dolby Stereo Theatres » de novembre 1994, encore en utilisation aujourd'hui.

<sup>9</sup> Issu du document « Technical Guidelines for Dolby Stereo Theatres » de novembre 1994, encore en utilisation aujourd'hui.



Figure 24 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{v_{max,1s}}$  calculés sur le plancher de l'auditorium et du local auditorium au SS lors du passage de tramways

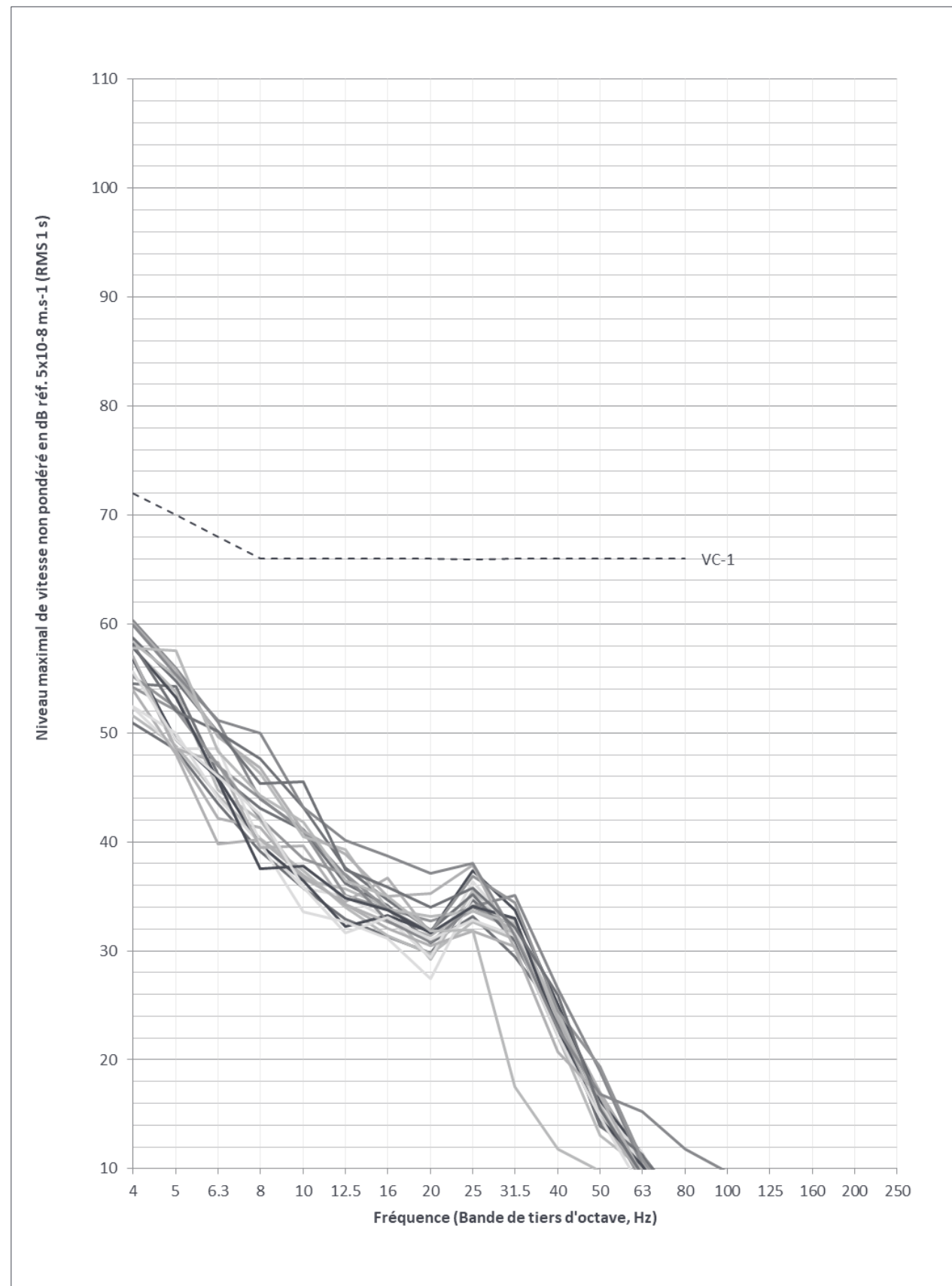
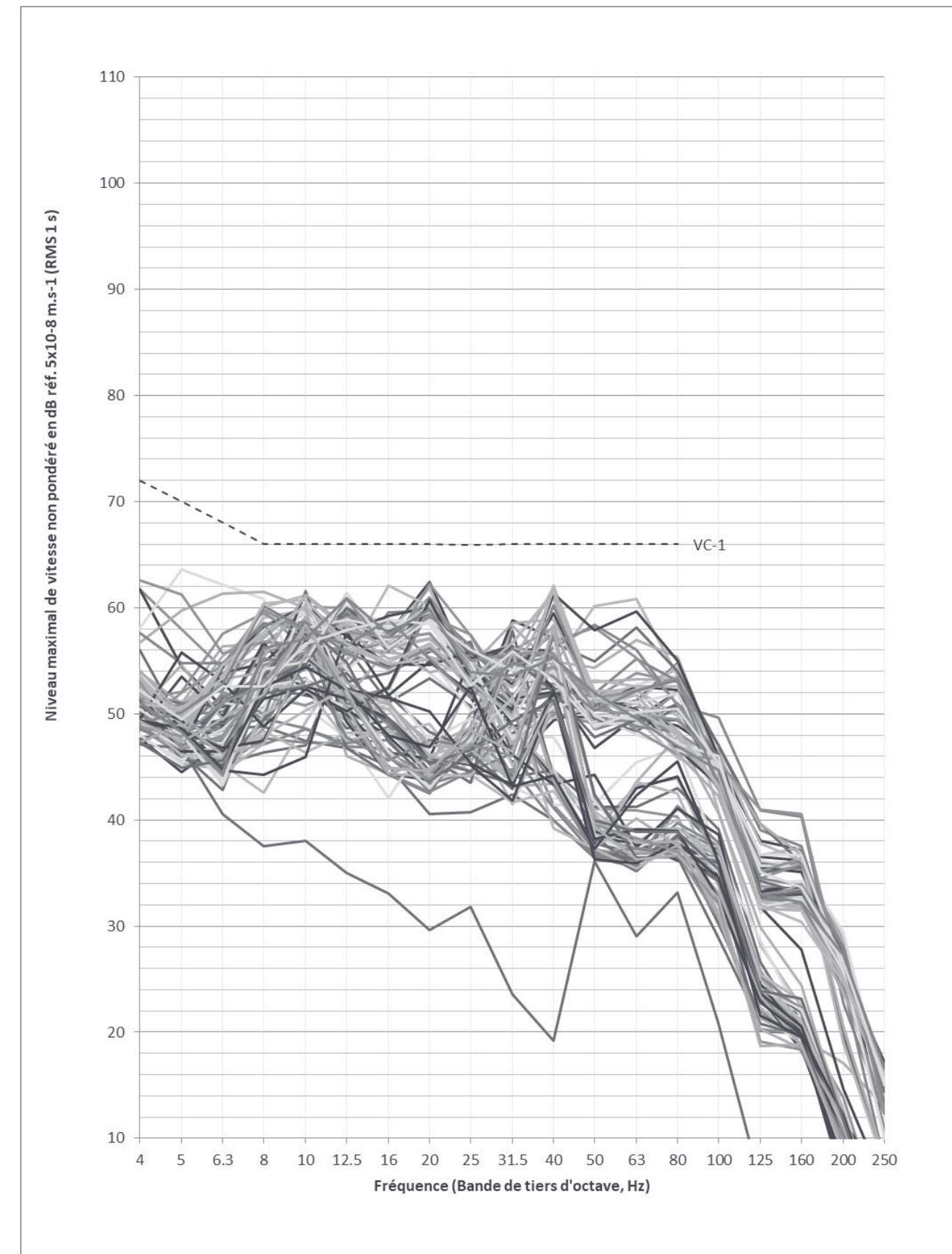


Figure 25 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum  $L_{v_{max,1s}}$  calculés sur le plancher du local auditorium RDC et de l'auditorium au SS lors du passage de trains



## 7.0 SYNTHÈSE

Les résultats présentés dans ce document sont basés sur une hypothèse de fréquence de premier mode propre de flexion de plancher compris entre 20 et 30 Hz. Dans le cas où ces fréquences seraient inférieures à 20 Hz, les indicateurs de perception tactile sont susceptibles d'être plus élevés.

Il n'a pas été possible de mesurer de passage de trains frets lors de notre déplacement sur site. Ces trains sont susceptibles de générer des vibrations plus élevées dans une proportion inconnue. À l'occasion de mesures similaires dans la région, Marshall Day Acoustics a dénombré de l'ordre de 5 à 10 trains fret par jour dont les horaires sont fluctuants. Il n'est pas à exclure que leur nombre puisse augmenter à l'avenir.

L'évaluation des risques qui suit s'entend pour des locaux courants. Si un standing élevé est souhaité, le risque serait alors accru.

### 7.1 Logements

L'analyse des indicateurs calculés pour les logements révèle que :

- Le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception tactile et auditive de vibrations générées par le passage des tramways est faible
- Le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception tactile de vibrations générées par le passage des trains est modéré (zone jaune) aux étages 1 et 2 des bâtiments les plus proches de la voie ferrée (avant joint de dilatation)
- Le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception auditive de vibrations générées par le passage des trains est modéré (zone jaune) aux étages 1 à 4 des bâtiments les plus proches de la voie ferrée (avant joint de dilatation)
- Le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception tactile et auditive de vibrations générées par le passage des trains est faible pour les autres étages et bâtiments de logements (après joint de dilatation)

### 7.2 Bureaux

L'analyse des indicateurs calculés pour l'immeuble de bureaux indique que :

- Le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception tactile et auditive de vibrations générées par le passage des tramways est faible
- Le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception tactile de vibrations générées par le passage des trains est également faible
- Le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception auditive de vibrations générées par le passage des trains est faible, bien que proche de la valeur cible pour les bureaux du R+1 et R+2.

### 7.3 Auditorium et local auditorium RDC

L'analyse des indicateurs calculés pour l'auditorium et le local auditorium du RDC révèle que :

- Le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception tactile et auditive de vibrations générées par le passage des tramways est faible
- Le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception tactile de vibrations générées par le passage des trains est modéré dans les deux locaux
- Les niveaux sonores maximums rayonnés dépassent les spectres recommandés par Dolby

Le passage de trains pourra être audible dans ces deux locaux. Afin de limiter le risque il est possible d'envisager la mise en œuvre de doublages sur les murs, plafonds suspendus et planchers flottants dans ces locaux.



**ANNEXE A GLOSSAIRE**

<b>Bruit</b>	Son jugé indésirable	<b>Fréquence</b>	Nombre de répétitions d'une vibration périodique par unité de temps. C'est l'inverse de la période (T). La fréquence peut être exprimée de 2 façons : Hz (nombre de cycles par seconde) ou tr/min (nombre de révolutions par minute)
<b>Décibel (dB)</b>	Unité des niveaux sonores et vibratoires  Dans le cas d'un niveau de pression acoustique : Ratio entre une pression acoustique P et une pression de référence : $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$ i.e. $\text{dB} = 20 \times \log(P/P_0)$	<b>Réponse en fréquence</b>	Réponse d'un système soumis à une excitation donnée. En dynamique des structures, la fonction de réponse en fréquence (FRF) est un spectre de vibration de la structure divisé par le spectre de force de l'excitation. Pour sa mesure, il faut donc mesurer simultanément les vibrations de l'excitation et du système
<b>Pondération A</b>	Correction des niveaux sonores reflétant la sensibilité de l'oreille humaine moyenne	<b>Harmonique</b>	Fréquence qui est un multiple entier d'une fréquence donnée
<b>Fréquence</b>	Nombre d'oscillations par seconde d'une onde acoustique. Unité : Hertz (Hz)	<b>Hertz (Hz)</b>	Unité de fréquence. 1 hertz correspond à un cycle (oscillation) par seconde. Mille hertz est un kilohertz (kHz). Les vibrations structurelles sont habituellement mesurées sur un spectre compris entre 1 Hz et 500 Hz
<b>Hertz (Hz)</b>	Unité de fréquence. 1 hertz correspond à un cycle (oscillation) par seconde. Mille hertz est un kilohertz (kHz). Les fréquences audibles sont habituellement mesurées sur un spectre compris entre 63 Hz et 8 kHz bien que l'oreille soit en mesure d'entendre sur un spectre plus large	<b>Fréquence propre ou naturelle</b>	Fréquence à laquelle oscille un système en évolution libre
<b>Bande d'octave</b>	Gamme de fréquences. Elle est désignée par sa fréquence centrale, telle que 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, et 16 kHz pour la gamme audible	<b>Crête-Crête</b>	Mesure de l'amplitude d'une vibration entre son minimum et son maximum. Elle est égale à deux fois $\sqrt{2}$ la valeur RMS pour une onde sinusoïdale, avec un facteur de crête inférieur à 5-6
<b>Tr</b>	Durée ou temps de réverbération : Temps nécessaire pour que la pression sonore d'un bruit interrompu dans un local atteigne un millionième de sa valeur initiale (ce qui correspond à une décroissance de 60 dB), parfois désignée T60	<b>PPV</b>	Vitesse de crête d'une particule (Peak Particle Velocity) : Mesure de l'amplitude d'une vibration entre zéro et le maximum. Unité employée dans les analyses des dommages structurels des bâtiments
<b>L<sub>w</sub></b>	Niveau de puissance acoustique : Caractérise l'énergie sonore émise par une source (machine, haut-parleur, etc.). Indépendante de l'environnement, elle peut être mesurée avec précision en laboratoire. Sauf indication contraire dans le corps du texte, ce niveau est donné pour une puissance de référence de $10^{-12}$ W	<b>Résonance</b>	Un système est dit en résonance lorsque la fréquence de l'excitation est la même que sa fréquence propre
<b>L<sub>p</sub></b>	Niveau de pression acoustique : Niveau instantané mesuré par un sonomètre en un point donné. Il dépend de la puissance acoustique des sources environnantes, des caractéristiques du local ou de l'environnement, des obstacles entre la source de bruit et le point de mesure, etc. Sauf indication contraire dans le corps du texte, ce niveau est donné pour une pression de référence de $20 \times 10^{-6}$ Pa	<b>Amortissement critique</b>	C'est la limite entre le régime des oscillations pseudopériodiques (ou amorties) et le régime sans oscillations. L'oscillateur en régime critique effectue une seule oscillation puis revient à sa position d'équilibre
<b>L<sub>eq</sub></b>	Niveau continu équivalent. Niveau équivalent sur une période donnée à l'énergie sonore totale mesurée des bruits fluctuants. Communément appelé « niveau de bruit moyen », il est souvent donné en dB(A)	<b>Vitesse RMS</b>	Vitesse moyenne quadratique (Root Mean Square). Aussi appelée « vitesse moyenne », elle est fréquemment employée dans les situations de vibrations continues et est employée pour caractériser la gêne ressentie
<b>L<sub>max</sub></b>	Niveau sonore maximum. Il est défini comme étant le niveau sonore de la seconde la plus bruyante mesurée pendant une période donnée. Il est généralement mesuré en dB(A)	<b>L<sub>a</sub></b>	Niveau d'accélération vibratoire, habituellement référencé par rapport à $10^{-9}$ m/s <sup>2</sup> . Parfois donné en « g », avec $g = 9,81$ m/s <sup>2</sup>
<b>Vibration</b>	Mouvement d'oscillation autour d'une position d'équilibre stable. Le ressenti lorsqu'un sujet est en contact avec un objet en vibration est lié à la vitesse vibratoire.  Une vibration peut se produire dans toutes les directions. Les vitesses vibratoires données peuvent caractériser la vibration totale ou l'une de ses composantes : vitesses horizontales (longitudinale avant-arrière ou transversale gauche-droite) ou vitesse verticale (vibration haut-bas)	<b>L<sub>v</sub></b>	Niveau de vitesse vibratoire, habituellement référencé par rapport à $5 \cdot 10^{-8}$ m/s
<b>Amplitude</b>	Mesure de l'énergie ou du mouvement d'un objet vibrant. L'amplitude peut être mesurée et exprimée de 3 manières : le déplacement, habituellement en mm, la vitesse, habituellement en mm/s, ou l'accélération, habituellement en mm/s <sup>2</sup>	<b>L<sub>d</sub></b>	Niveau de déplacement vibratoire, habituellement référencé par rapport à $10^{-11}$ m
<b>Amortissement</b>	Dissipation de l'énergie par une structure en oscillation. Dans le cas d'une vibration libre, l'amortissement entraîne une décroissance temporelle de l'amplitude des oscillations		
<b>Raideur dynamique</b>	Réponse fréquentielle de la force par rapport au déplacement		