



Projet : **Vauban littoral à Antibes**

Maîtres d'ouvrages : **Bouygues Immobilier**
369 promenade des Anglais
06200 Nice

Unicil / Unicil OFS
11 rue Armény
13006 Marseilles

Rapport n° : **Rp 001 20220155**

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	-	-	02/12/2022	C. Pfeiffer	C. Charvis
Final	01	Correction de mise en page des renvois word	02/12/2022	C. Pfeiffer	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
4.0	ÉTUDE ET ANALYSE DES NIVEAUX VIBRATOIRES	8
4.1	Présentation des niveaux vibratoires mesurés	8
4.2	Analyse fréquentielle du signal mesuré.....	8
4.3	Analyse de l'atténuation entre les points de mesure	8
4.4	Locaux considérés.....	8
4.5	Hypothèses de calcul.....	8
4.6	Analyse du risque – parcelle nord	12
4.6.1	Présentation des résultats.....	12
4.6.2	Analyse – Chambre 1	12
4.6.3	Analyse – Chambre 2	12
4.7	Analyse du risque – parcelle sud	13
4.7.1	Présentation des résultats.....	13
4.7.2	Analyse – Chambre 3	13
4.7.3	Analyse – Chambre 4	13
5.0	SYNTHÈSE	16
5.1	Rappel des hypothèses	16
5.2	Conclusion.....	16
ANNEXE A	GLOSSAIRE.....	17

1.0 INTRODUCTION

Le bailleur social Unicil a remporté, aux côtés de Bouygues Immobilier, Jean-Paul Gomis Architecte et Février Carré Architectes l'appel à projets Vauban littoral dans le quartier du Val Claret à Antibes portant sur environ 11 630 m² de SDP de logements prenant la forme de 8 plots en R+3 ou R+4 avec parkings en sous-sol.

Le projet se situe à proximité de la voie ferrée ligne SNCF de Marseille à Vintimille. Compte tenu de la faible distance entre les voies ferrées et certains bâtiments du projet, il existe un risque de perception tactile et/ou auditive des vibrations issues du passage de trains.

C'est dans ce cadre que Marshall Day Acoustics est consulté pour la réalisation d'un diagnostic vibratoire afin d'évaluer le risque de perception des vibrations.

Ce rapport présente les mesures et l'analyse de l'impact vibratoire de la voie ferrée.

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 et le projet européenne RIVAS sont pris(es) comme références dans le présent document et sont présenté(e)s ci-après.

2.1 Norme ISO 10137

La perception tactile 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 des logements.

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 1,4 pour un logement en période nuit
- La courbe VC 2 pour un logement en période jour

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.

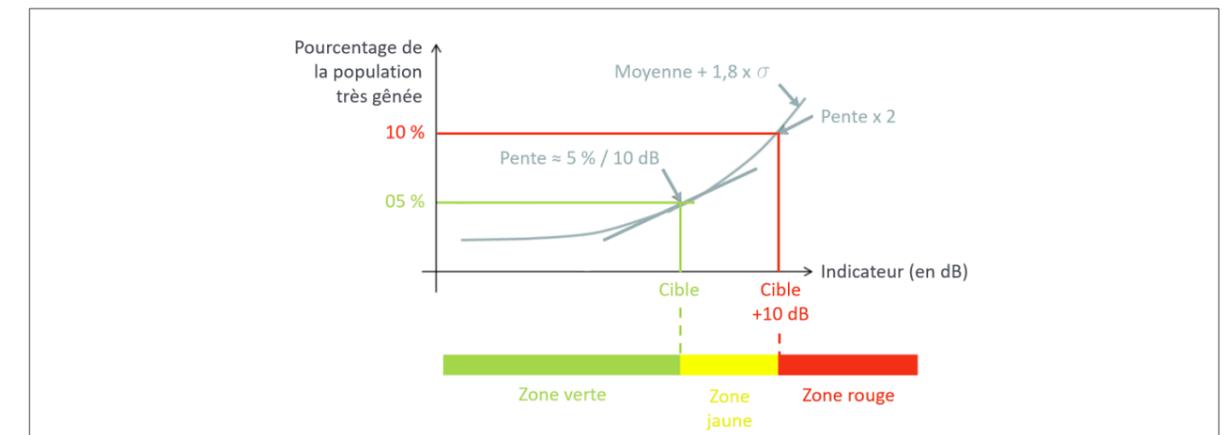
2.2 Projet européen RIVAS

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 suivante¹.

La zone verte couvre la valeur cible correspondant à 10 % ou moins de personnes dites "moyennement et très gênées", dont 5 % "très gênées". Cette valeur cible peut être considérée comme "sévère". Une zone jaune est donc également proposée, avec une valeur cible un peu moins "contraignante" correspondant à environ 20 % de personnes dites "moyennement et très gênées", dont 10 % "très gênées".

Figure 1 : Principe des courbes idéalisées exposition-réponse du projet RIVAS



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

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

Les indicateurs $L_{pA,Smax}$ et $L_{pA,den,24h}$ sont associés à la perception auditive respectivement au passage d'un train (valeur maximale, gêne événementielle) et à l'exposition sur 24 heures (valeur moyenne équivalente, gêne cumulative).

Tableau 1 : Indicateurs et valeurs cibles issues du document D1.9 du projet RIVAS

Indicateurs*	Valeurs cibles (zone verte)	Valeurs cibles + 10 dB (zone jaune)
$L_{W,Smax}$ réf. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s	66 dB	76 dB
$L_{W,eq,24h}$ 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)

* 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.

¹ Extrait du document D1.9 du projet RIVAS : Deliverable D1.9 – Evaluating the mitigation measures developed in WP2-5 in terms of decrease of exposure and annoyance.

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	N° de série
Stations d'acquisitions	01dB	Orion	10232
	01dB	Orion	10179
Accéléromètres mono-axiaux	B&K	4507 002	30194
	B&K	4507 002	31709
	B&K	4507 002	31710
	B&K	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

Les mesures ont été réalisées du samedi 05 au dimanche 06 novembre 2022, en quatre points simultanés :

- Deux points sur la parcelle nord du site, situés à :
 - o 19 m du premier rail de la voie ferrée
 - o 30 m du premier rail de la voie ferrée
- Deux points sur la parcelle sud du site, situés à
 - o 21 m du premier rail de la voie ferrée
 - o 38 m du premier rail de la voie ferrée

Les points de mesures sont situés à l'aplomb des façades les plus proches de la voie ferrée.

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.

Figure 2 : Emplacement des points de mesure sur la parcelle nord



Figure 4 : Emplacement des points de mesure sur la parcelle nord par rapport au projet

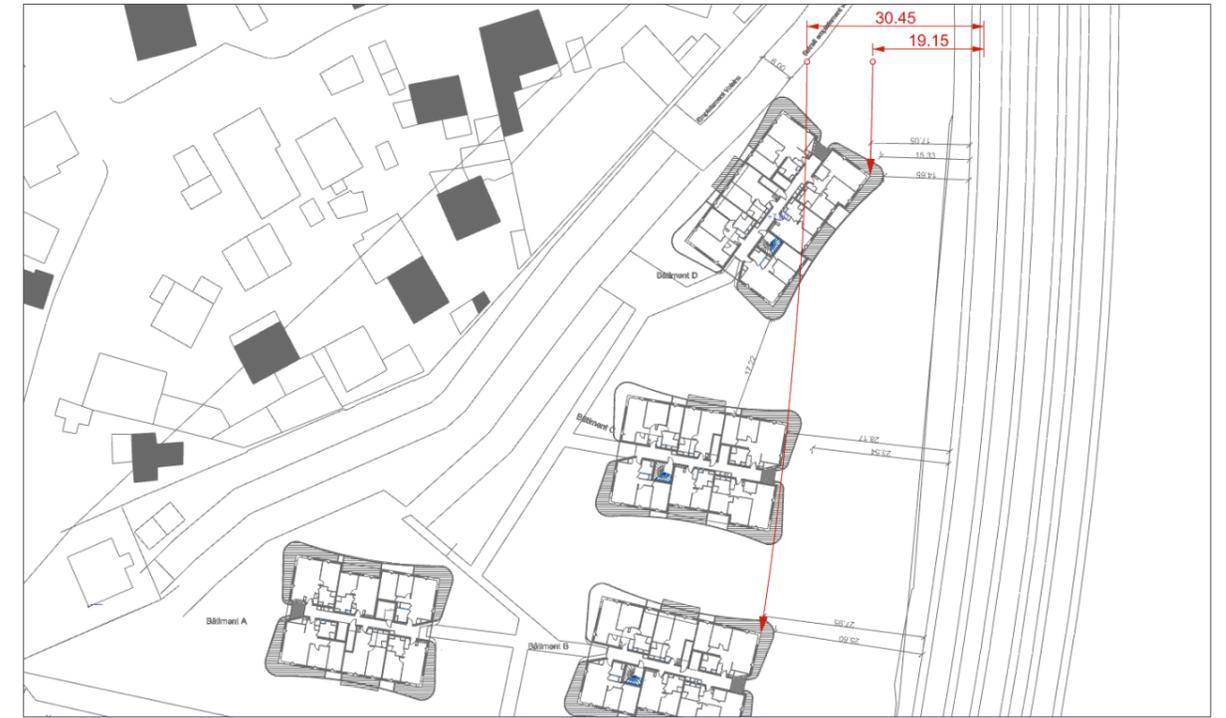


Figure 3 : Photo du point de mesure 1 sur la parcelle nord (le plus proche de la voie ferrée)



Figure 5 : Photo du point de mesure 2 sur la parcelle nord (le plus éloigné de la voie ferrée)

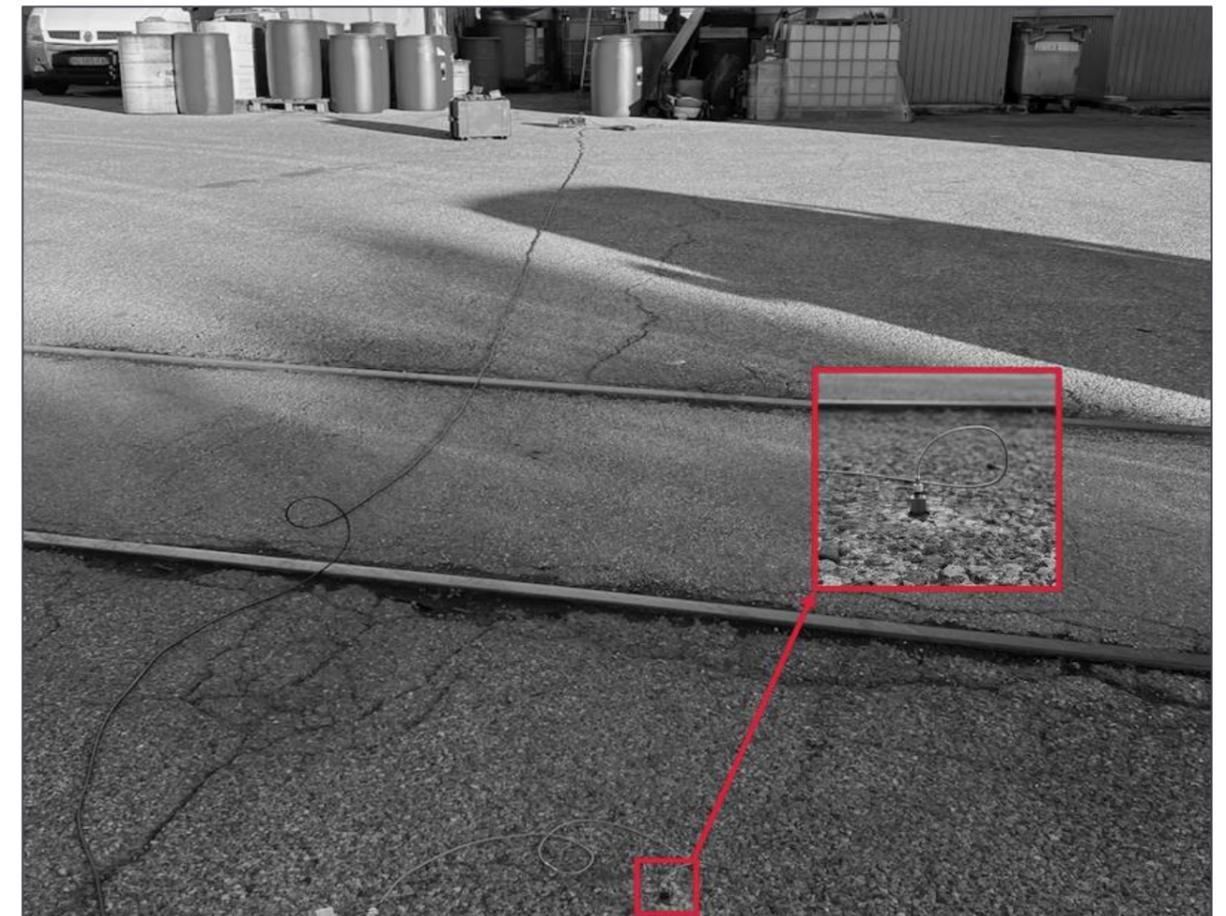


Figure 6 : Emplacement des points de mesure sur la parcelle sud



Figure 7 : Photo du point de mesure 1 sur la parcelle sud (le plus proche de la voie ferrée)



Figure 8 : Emplacement des points de mesure sur la parcelle sud par rapport au projet

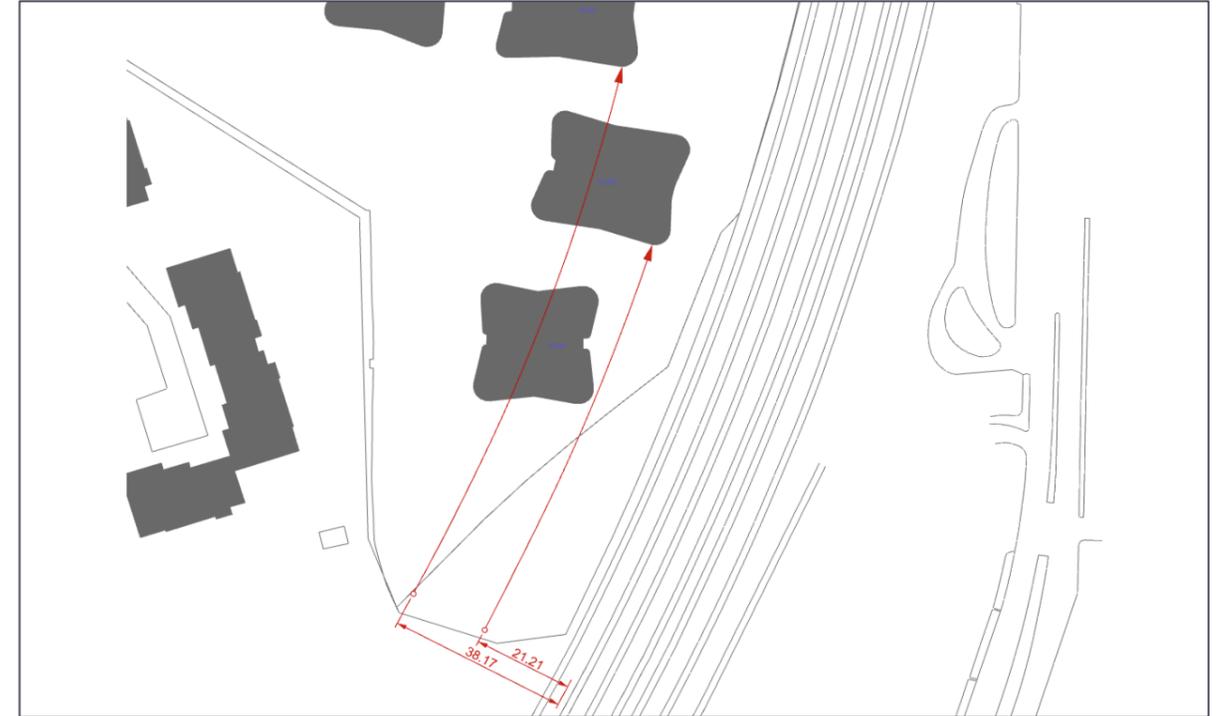
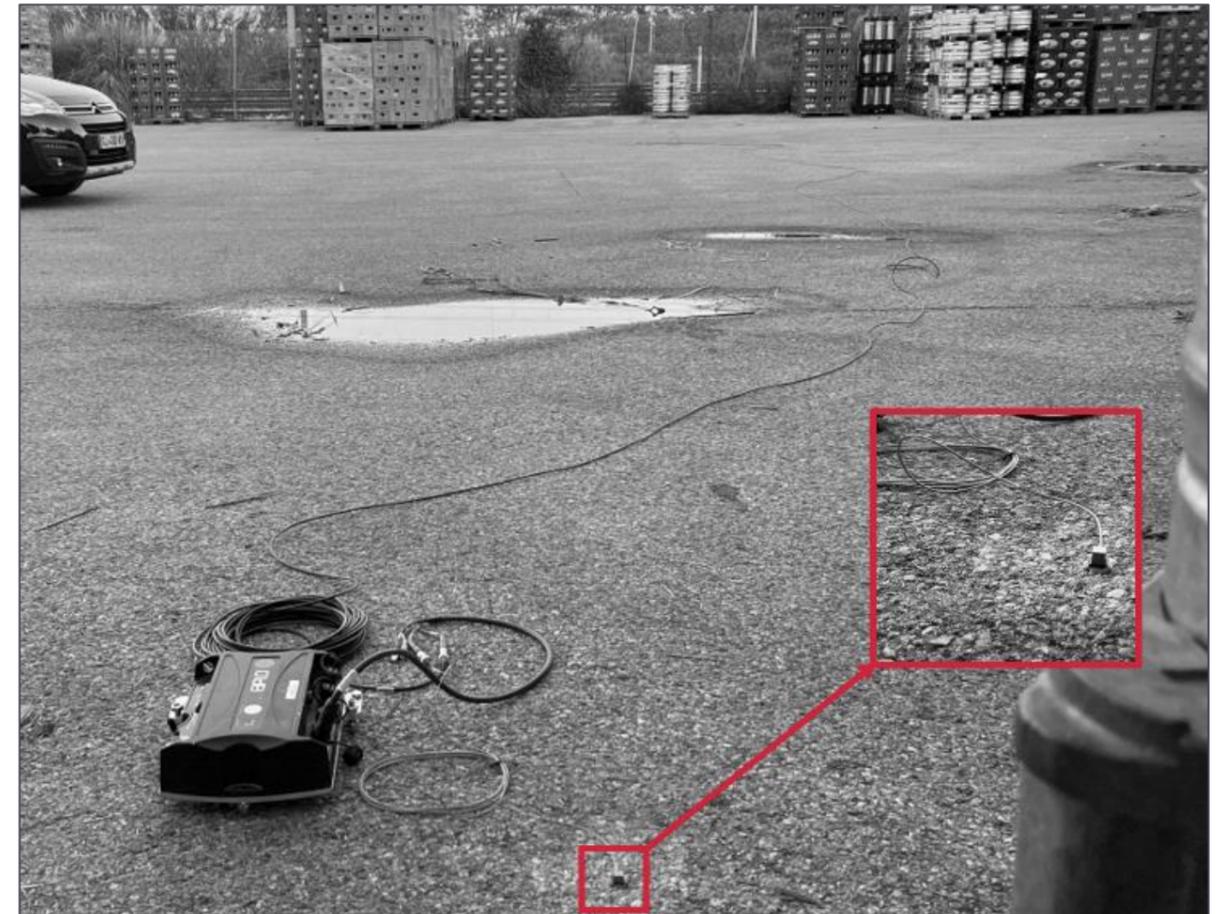


Figure 9 : Photo du point de mesure 2 sur la parcelle sud (le plus éloigné de la voie ferrée)



4.0 ÉTUDE ET ANALYSE DES NIVEAUX VIBRATOIRES

4.1 Présentation des niveaux vibratoires mesurés

Les niveaux vibratoires des trains ont été mesurés selon l'axe vertical Z pendant une durée de 24 heures, durant laquelle les niveaux vibratoires de 117 passages ont été analysés. Ils sont présentés en gris dans les figures des deux pages suivantes. La courbe verte représente le niveau vibratoire résiduel (en l'absence de passage de trains).

Les niveaux vibratoires mesurés et le calcul des indicateurs qui en découle correspond à une « photo » à un instant donné. Ils ne prennent pas en compte une éventuelle fluctuation du trafic ferroviaire sur l'année ou une évolution dans le futur.²

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.

4.2 Analyse fréquentielle du signal mesuré

L'énergie vibratoire des trains est majoritairement répartie entre 8 et 100 Hz avec des amplitudes maximales observées dans les bandes de tiers d'octave de 10, 20-25 et 50 Hz pour la parcelle nord, et 12,5, 20, et 40 Hz pour la parcelle sud.

Les niveaux vibratoires plus élevés en très basse fréquence (de 4 à 8 Hz) constatés pour certains événements dans la Figure 11 (point 2 de la parcelle nord) ne relève pas d'une amplification des vibrations au passage de certains trains, mais d'une augmentation du niveau de vibration ambiant sur une certaine plage horaire (entre 11h et 15h le samedi).

4.3 Analyse de l'atténuation entre les points de mesure

L'atténuation des vibrations est systématiquement constatée à partir de 31,5 Hz entre les points 1 (proches) et 2 (plus éloignés) des deux parcelles. Ceci suggère que la perception auditive des vibrations sera amoindrie dans les logements plus éloignés.

Ce constat est valable dans les fréquences plus basses pour la parcelle sud. Ceci suggère que la perception tactile des vibrations sera également diminuée aux emplacements plus éloignés pour cette parcelle.

En ce qui concerne la parcelle nord, des vibrations équivalentes ont été mesurées dans les bandes d'octaves de 20 et 25 Hz aux deux points. Ceci suggère que la perception tactile des vibrations risque d'être moins impactée par la distance.

4.4 Locaux considérés

Les études ont été effectuées pour les locaux du rez-de-chaussée suivants :

1. Bât B : chambre du logement est
2. Bât D : chambre du logement nord-est
3. Bât F, chambre du logement est
4. Bât G : chambre du logement est

Dans le cas où les indicateurs calculés dépassent les valeurs cibles du projet RIVAS, les locaux identiques des étages supérieurs sont considérés.

4.5 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 étant donné que les points de mesures ont été positionnés à l'aplomb des façades des futurs bâtiments les plus impactés (voir Figure 4 et Figure 8)
- Propagation du sol aux fondations : S'agissant de bâtiments de plus de 2 étages avec deux niveaux de sous-sol, la fonction de transfert moyenne moins 4 dB a été considérée³
- 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 10 à 40 Hz issue du maximum des données de l'étude RIVAS pour des planchers ayant une fréquence propre allant de 10 à 20 Hz, de 20 à 30 Hz, et de 30 à 40 Hz⁴.

Les fonctions de transfert susmentionnées sont présentées dans les Figures en page 11.

Les paragraphes ci-après 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.

² La responsabilité de Marshall Day Acoustics ne pourra être engagée en cas d'évolution du trafic ferroviaire.

³ Hypothèse issue du document « Deliverable D1.9 – Evaluating the mitigation measures developed in WP2-5 in terms of decrease of exposure and annoyance ».

⁴ Le maximum des trois courbes données par le projet RIVAS a été considéré dans l'analyse afin de prendre en compte la variation des portées structurelles rencontrée dans le projet.

Figure 10 : Niveaux de vitesse vibratoire maximums $L_{v_{max,1s}}$ non pondérés mesurés au point 1 de la parcelle nord lors du passage des trains

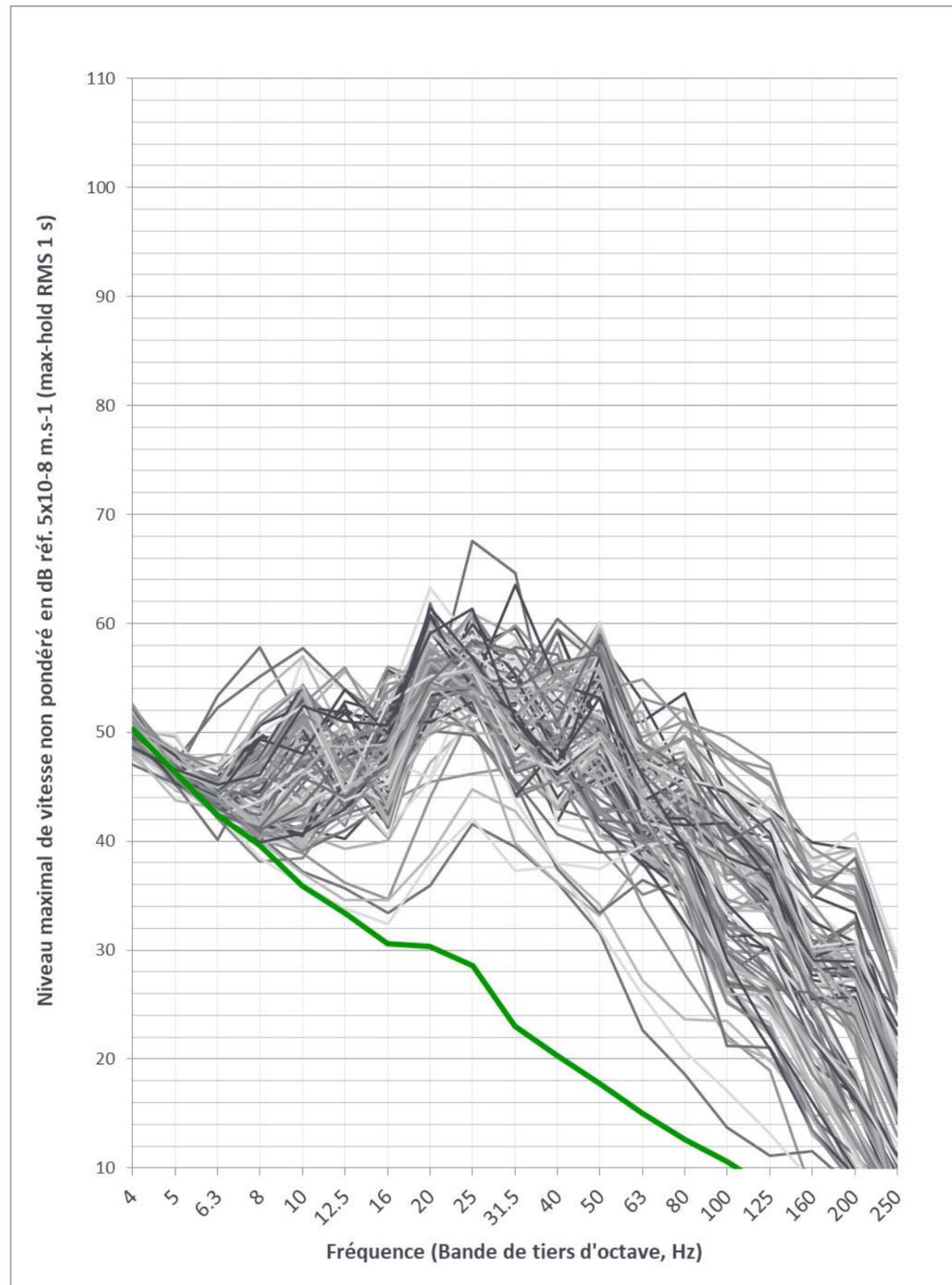


Figure 11 : Niveaux de vitesse vibratoire maximums $L_{v_{max,1s}}$ non pondérés mesurés au point 2 de la parcelle nord lors du passage des trains

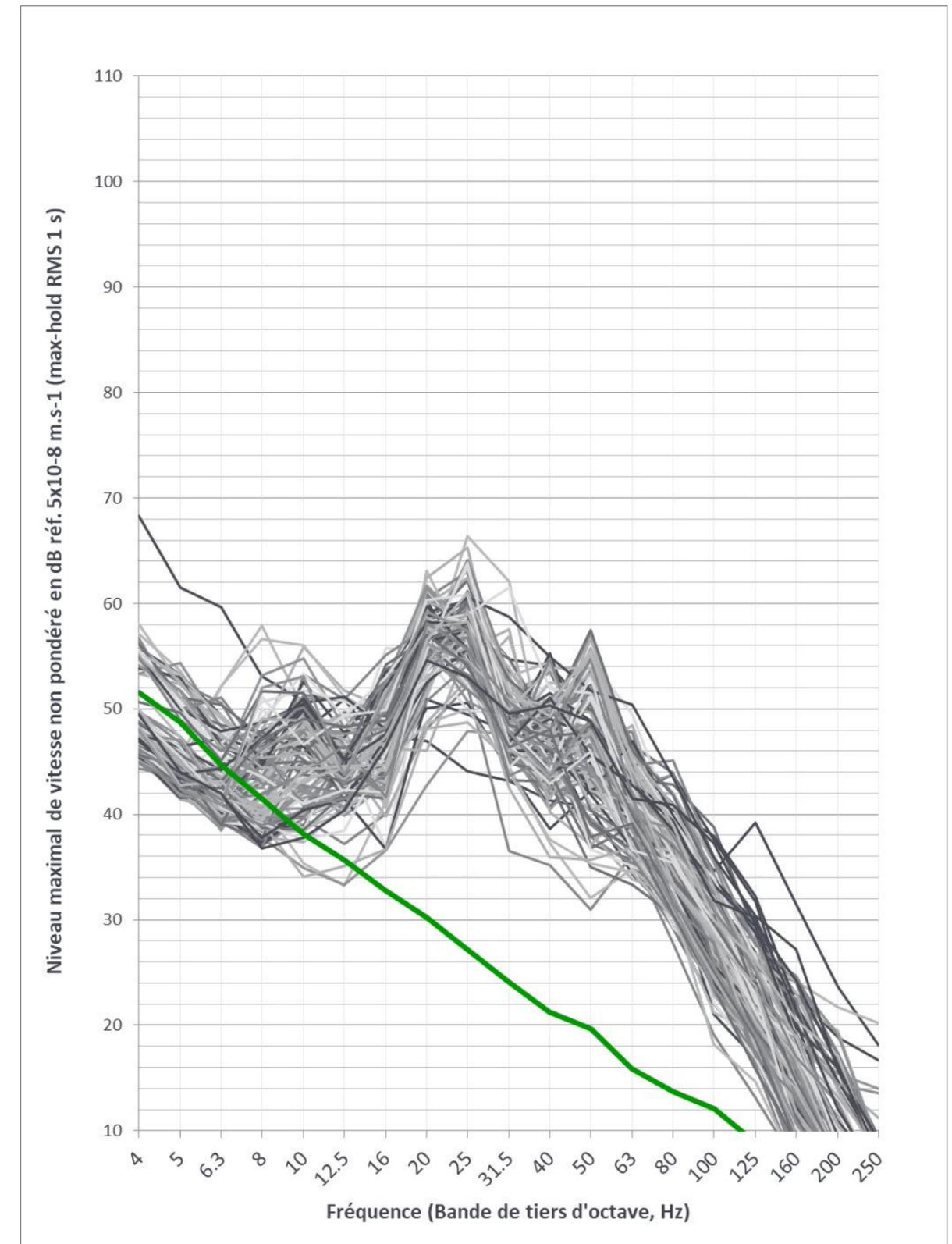


Figure 12 : Niveaux de vitesse vibratoire maximums $L_{v_{max,1s}}$ non pondérés mesurés au point 1 de la parcelle sud lors du passage des trains

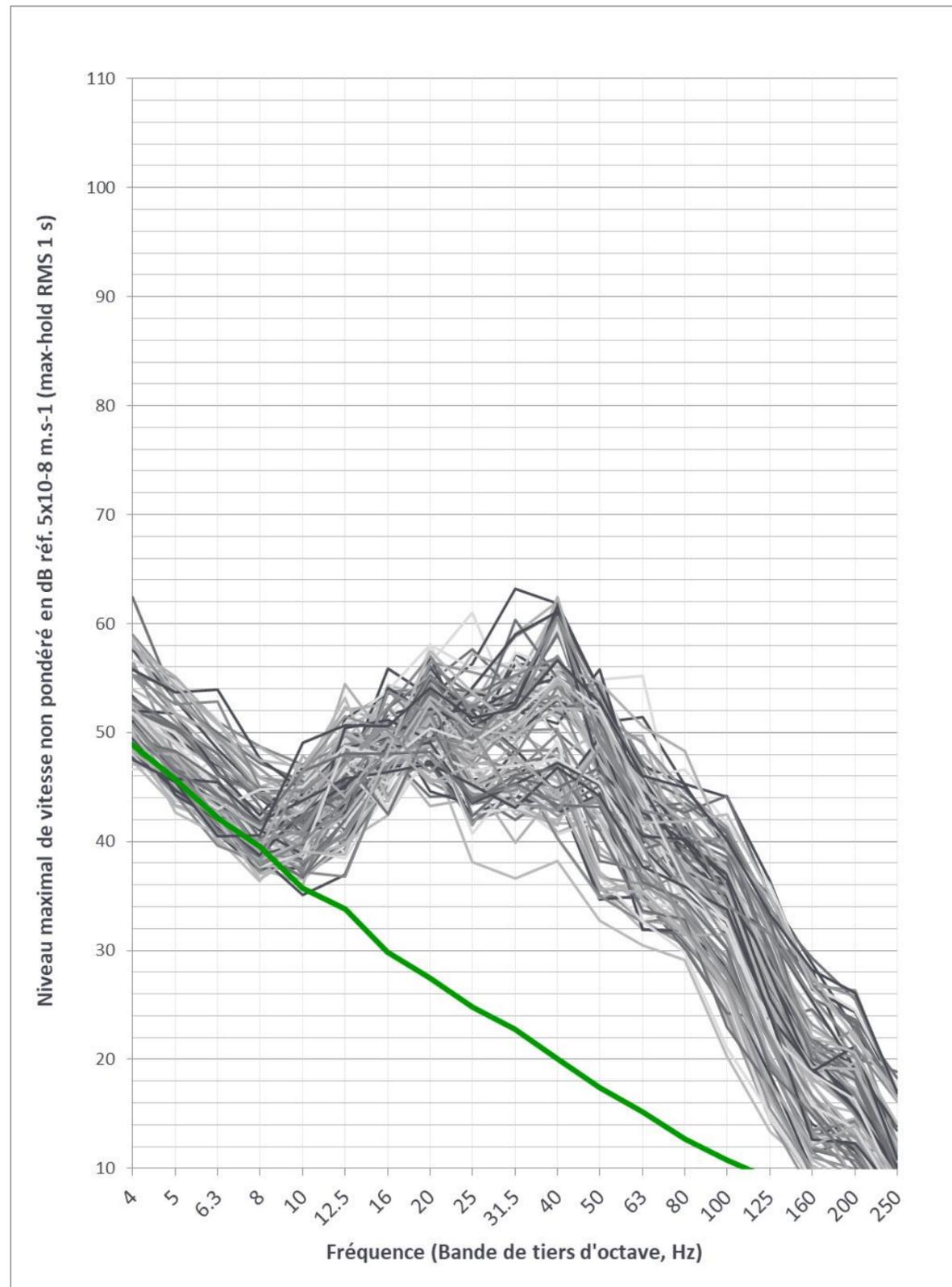


Figure 13 : Niveaux de vitesse vibratoire maximums $L_{v_{max,1s}}$ non pondérés mesurés au point 2 de la parcelle sud lors du passage des trains

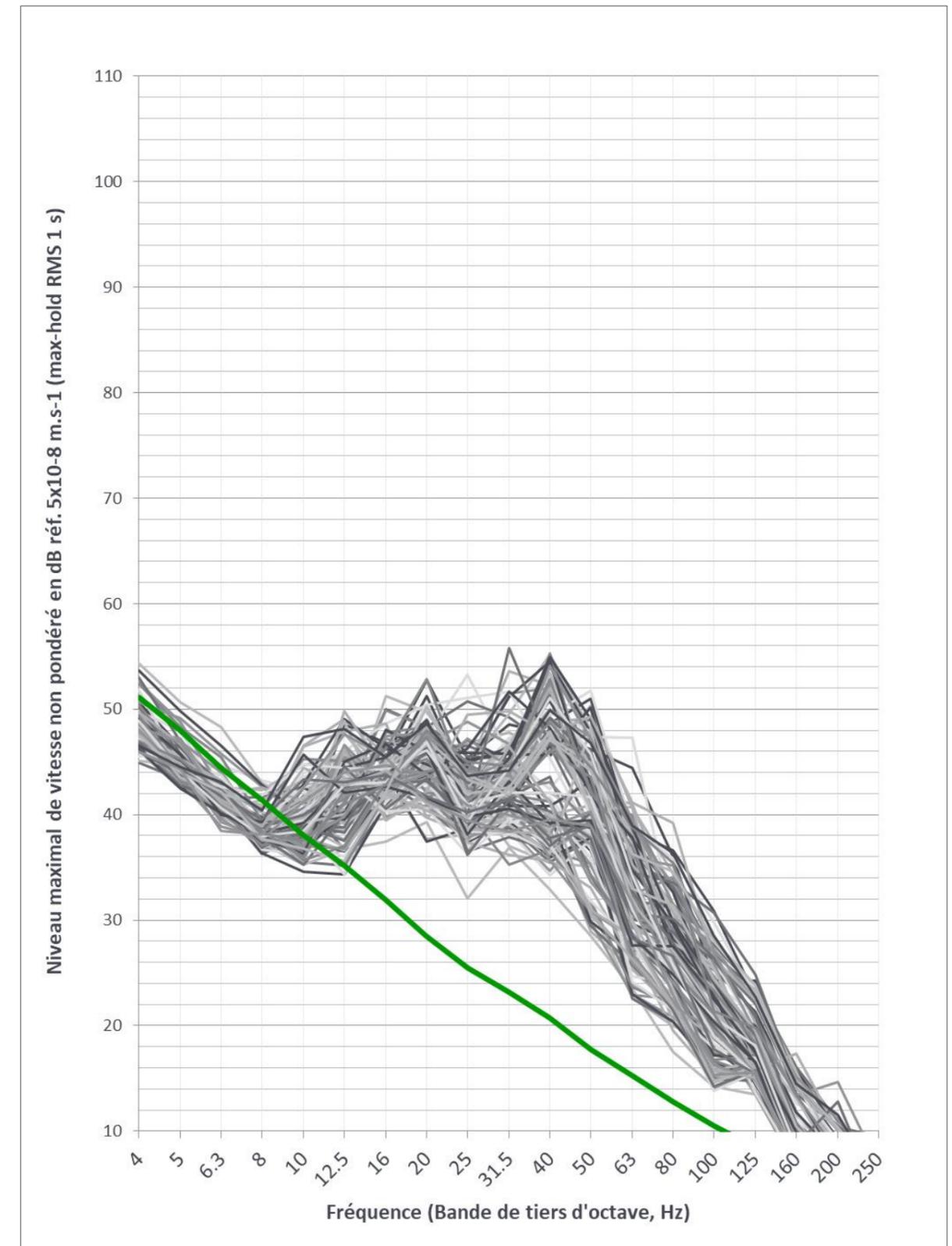


Figure 14 : Fonctions de transfert considérées (au rez-de-chaussée)

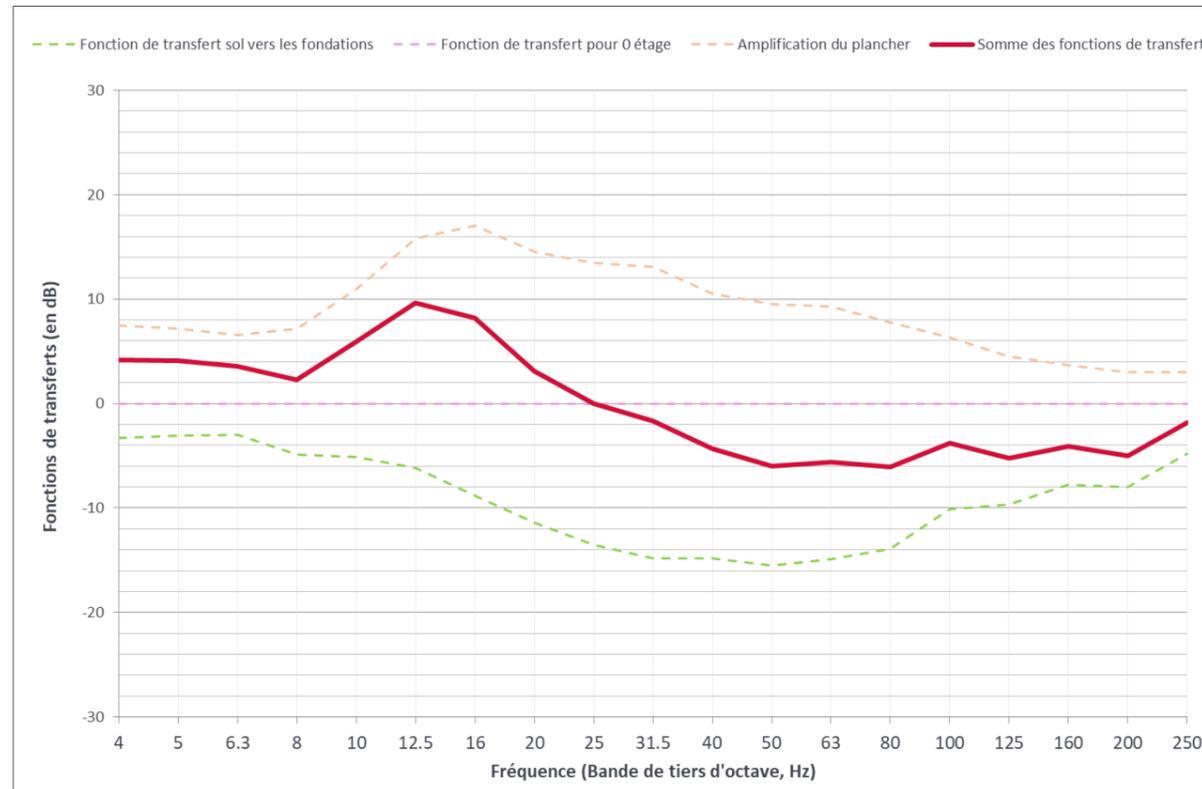


Figure 16 : Fonctions de transfert considérées (au 2^{ème} étage)

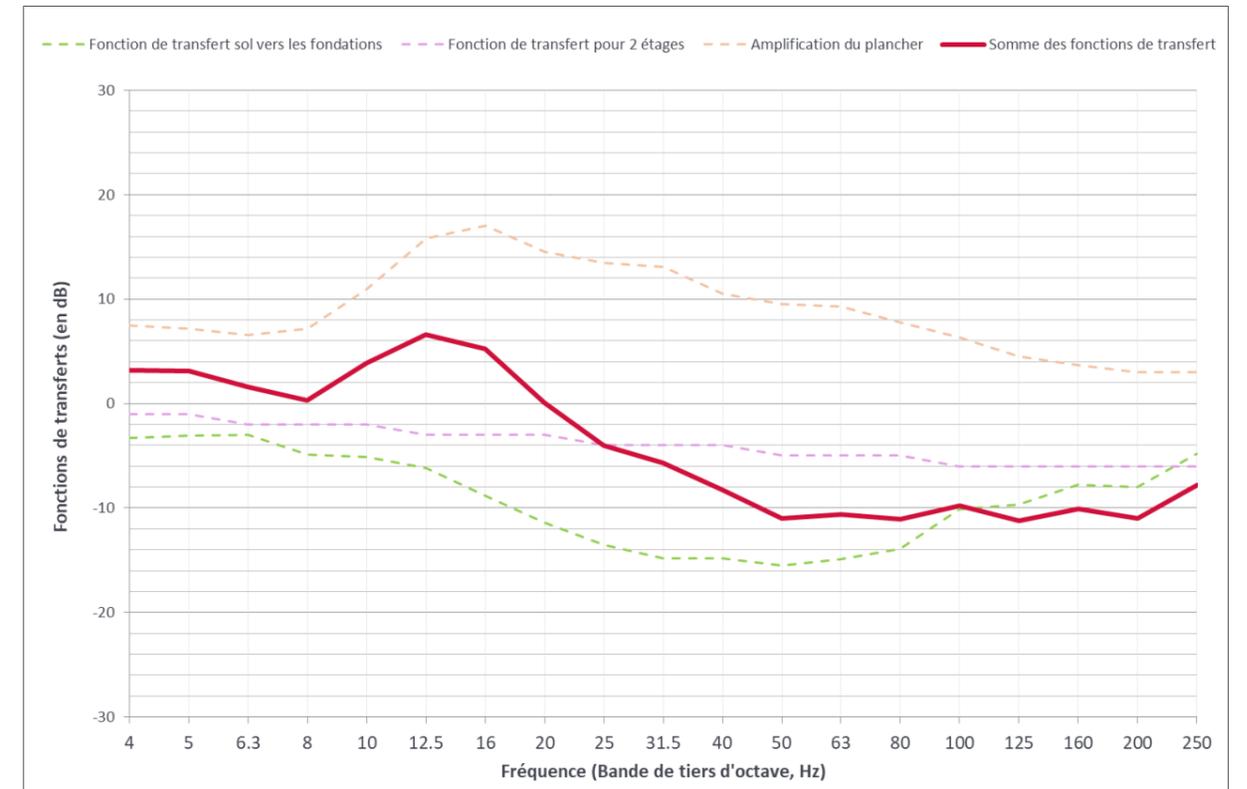


Figure 15 : Fonctions de transfert considérées (au 1^{er} étage)

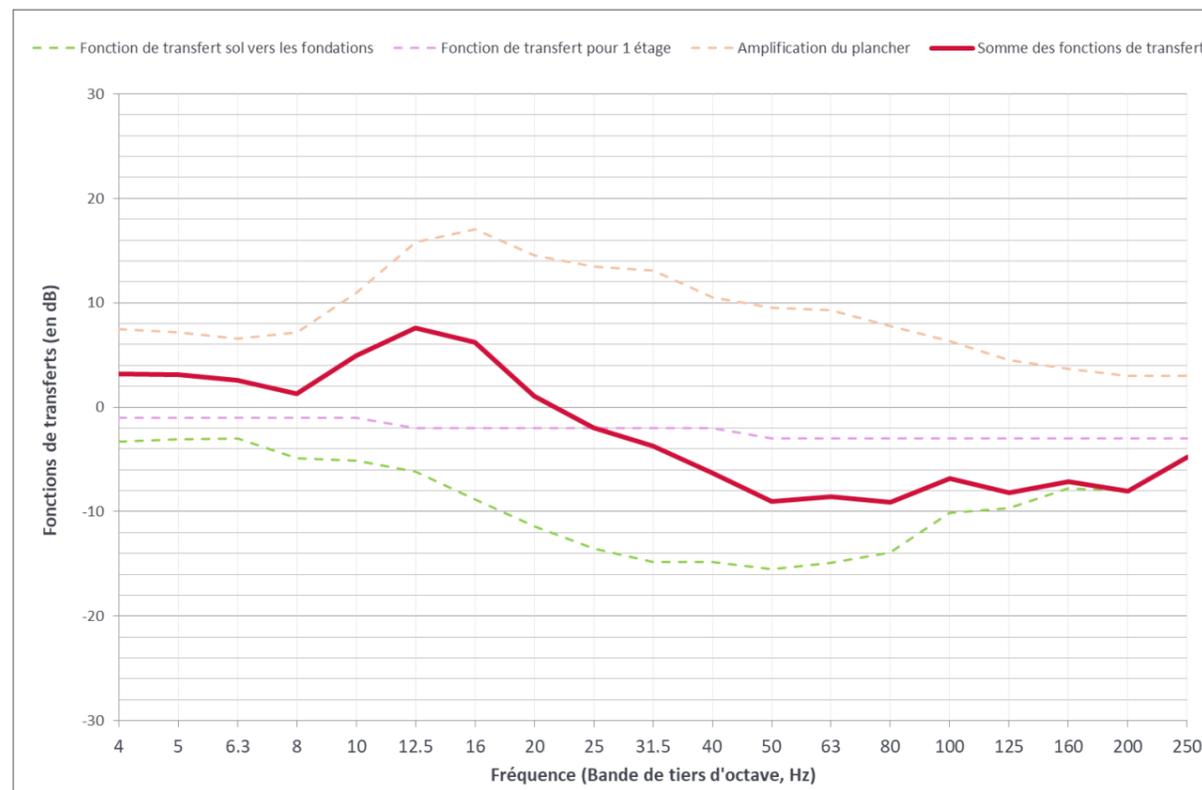
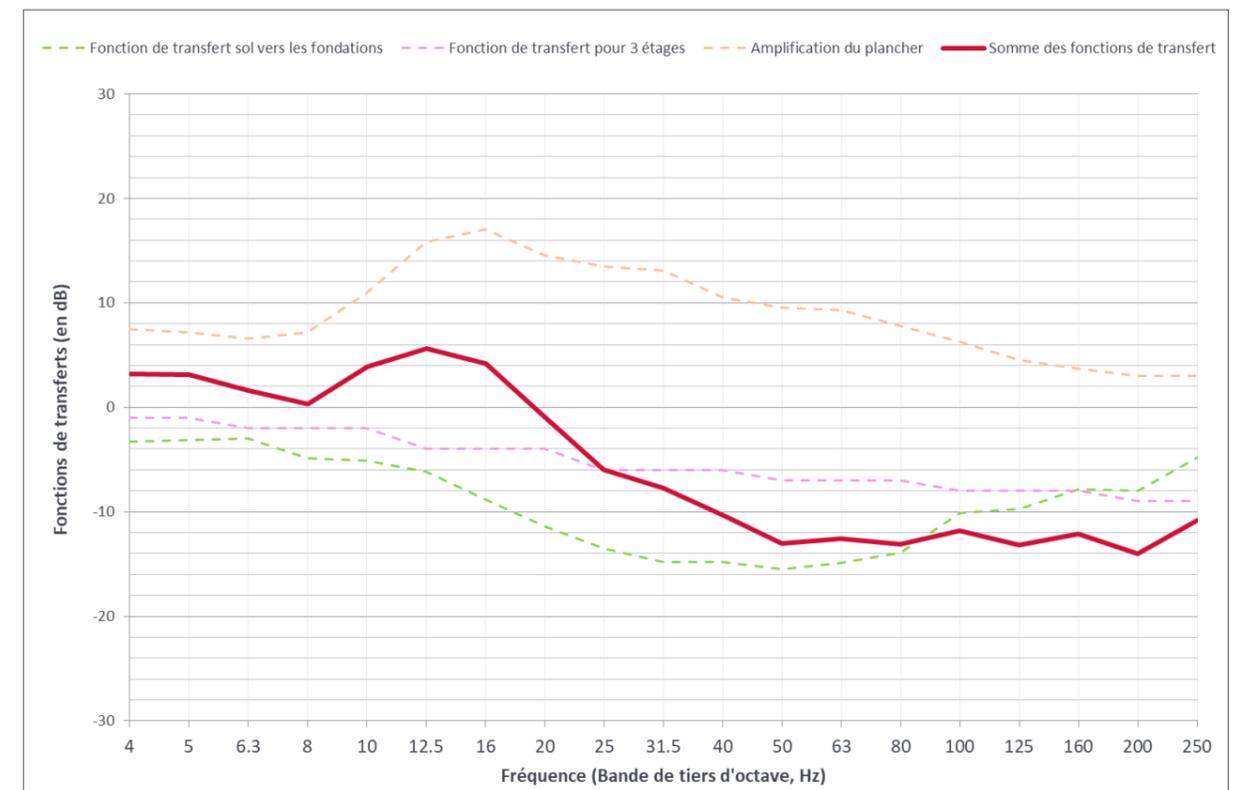


Figure 17 : Fonctions de transfert considérées (au 3^{ème} étage)



4.6 Analyse du risque – parcelle nord

4.6.1 Présentation des résultats

Afin d'étudier les risques liés aux vibrations émises par les trains, les analyses ont été réalisées dans une chambre du bâtiment D (ch1), et une chambre du bâtiment B (ch2).

Les indicateurs calculés dans la ch1 sont issus des données du point 1 ajustées des fonctions de transferts présentées au chapitre 4.5.

Les indicateurs calculés dans la ch2 sont issus des données du point 2 ajustés des fonctions de transferts présentées au chapitre 4.5.

L'emplacement de ces locaux est présenté dans les figures ci-dessous.

Figure 18 : Emplacement des locaux ch1, ch2 dans les bâtiments D (à gauche) et B (à droite)



Les niveaux vibratoires maximums (RMS 1s) calculés au niveau du plancher des chambres 1 et 2 lors du passage de trains sont présentés dans les figures en page 13 (pour les locaux du rez-de-chaussée). La courbe rouge représente la moyenne plus 1,8 fois l'écart type, soit le niveau maximum qui n'est dépassé que par 5 % des trains.

Norme ISO 10137

Les figures susmentionnées font apparaître les courbes de référence VC 1,4 et VC 2 de la norme ISO 10137 pour un logement en période nuit et jour respectivement.

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).

Tableau 4 : Comparaison des indicateurs calculés par rapport aux valeurs cibles du projet RIVAS pour la chambre 1

Local	Niveaux sonores		Niveaux vibratoires	
	Lp _{A,Smax}	Lp _{A,den,24h}	LV _{W,Smax}	LV _{W,eq,24h}
Chambre 1 (rdc)	41	10	69	44
Chambre 1 (r+1)	38	< 10	67	42
Chambre 1 (r+2)	35	< 10	66	41

Tableau 5 : Comparaison des indicateurs calculés par rapport aux valeurs cibles du projet RIVAS pour la chambre 2

Local	Niveaux sonores		Local	Niveaux sonores
	Lp _{A,Smax}	Lp _{A,den,24h}		
Chambre 2 (rdc)	33	10	69	44
Chambre 2 (r+1)	30	< 10	67	42
Chambre 2 (r+2)	28	< 10	66	41
Chambre 2 (r+3)	26	< 10	65	41

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.

Tableau 6 : Pourcentages de personnes susceptibles d'être modérément et très gênées

Local	Niveaux sonores				Niveaux vibratoires			
	Lp _{A,Smax}		Lp _{A,den,24h}		LV _{W,Smax}		LV _{W,eq,24h}	
	%HA*	%MHA**	%HA	%MHA	%HA	%MHA	%HA	%MHA
Chambre 1 (rdc)	7	13	1	1	6	12	2	3
Chambre 1 (r+1)	5	10	1	1	5	11	2	3
Chambre 1 (r+2)	4	8	0	1	5	9	2	3
Chambre 2 (rdc)	3	6	1	1	6	13	2	3
Chambre 2 (r+1)	3	5	1	1	6	11	2	3
Chambre 2 (r+2)	2	4	0	1	5	10	2	3
Chambre 2 (r+3)	2	3	0	1	5	9	1	2

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

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

4.6.2 Analyse – Chambre 1

Le passage de trains engendre des niveaux vibratoires sensiblement inférieurs aux seuils issus de la norme ISO 10137 pour des logements en période nuit (cf. Figure 20).

Les valeurs cibles pour les indicateurs Lp_{A,Smax} et LV_{W,Smax} sont dépassées de 3 décibels, ce qui correspond à 13 et 12 % de la population susceptible d'être gênée, dont 5 % très gênés par la perception audible et tactile de vibration lors du passage de trains. À partir du 2^{ème} étage, ces indicateurs sont inférieurs aux valeurs cibles (zone verte).

Ces perceptions (tactiles et auditives) ne sont toutefois pas assez fréquentes pour que les indicateurs LV_{W,eq,24h} et Lp_{A,den,24h} dépassent les valeurs cibles, et ce quel que soit l'étage considéré.

4.6.3 Analyse – Chambre 2

Du fait de la faible atténuation de vibrations due à la distance entre les points 1 et 2 de la parcelle nord (voir chapitre 4.3), le passage de trains dans ce local plus éloigné engendre tout de même des niveaux vibratoires comparables à ceux présentés pour la chambre 1. Ils sont sensiblement inférieurs aux seuils issus de la norme ISO 10137 (cf. Figure 21).

La valeur cible pour l'indicateur LV_{W,Smax} est dépassée de 3 décibels, ce qui correspond à 13 % de la population susceptible d'être gênée, dont 6 % très gênés par la perception tactile de vibration lors du passage de trains. À partir du 3^{ème} étage, cet indicateur est inférieur aux valeurs cibles (zone verte).

La perception tactile n'est cependant pas assez élevée et/ou fréquente pour que l'indicateur $L_{vW,eq,24h}$ dépasse la valeur cible, et ce quel que soit l'étage considéré.

De plus, les vibrations ne sont pas suffisamment élevées dans le spectre audible pour que les valeurs cibles des indicateurs $L_{pA,Smax}$ et $L_{pA,den,24h}$ soient dépassées.

4.7 Analyse du risque – parcelle sud

4.7.1 Présentation des résultats

Afin d'étudier les risques liés aux vibrations émises par les trains, les analyses ont été réalisées dans deux chambres des bâtiments F et G, dénommées « ch3 » et « ch4 » respectivement.

Les indicateurs calculés dans la ch3 sont issus des données du point 2 ajustées des fonctions de transferts présentées au chapitre 4.5.

Les indicateurs calculés dans la ch4 sont issus des données du point 1 ajustés des fonctions de transferts présentées au chapitre 4.5.

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

Figure 19 : Emplacement des locaux ch3 et ch4 dans les bâtiments F (à gauche) et G (à droite)



Les niveaux vibratoires maximums (RMS 1s) calculés au niveau du plancher des chambres 3 et 4 lors du passage de trains sont présentés dans les figures en page 15 (pour les locaux du rez-de-chaussée). La courbe rouge représente la moyenne plus 1,8 fois l'écart type, soit le niveau maximum qui n'est dépassé que par 5 % des trains.

Norme ISO 10137

Les figures susmentionnées font apparaître les courbes de référence VC 1,4 et VC 2 de la norme ISO 10137 pour un logement en période nuit et jour respectivement.

Projet européen RIVAS

Les indicateurs calculés sont présentés dans le Tableau 4. La couleur de chaque case correspond à la zone définie par le projet RIVAS.

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.

Tableau 7 : Comparaison des indicateurs calculés par rapport aux valeurs cibles du projet RIVAS

Local	Niveaux sonores		Local	Niveaux sonores
	$L_{pA,Smax}$	Niveaux vibratoires $L_{pA,den,24h}$		
Chambre 3 (rdc)	26	< 10	62	39
Chambre 4 (rdc)	35	12	67	43
Chambre 4 (r+1)	33	< 10	65	42

Tableau 8 : Pourcentages de personnes susceptibles d'être modérément et très gênées

Local	Niveaux sonores				Niveaux vibratoires			
	$L_{pA,Smax}$		$L_{pA,den,24h}$		$L_{vW,Smax}$		$L_{vW,eq,24h}$	
	%HA*	%MHA**	%HA	%MHA	%HA	%MHA	%HA	%MHA
Chambre 3 (rdc)	2	3	1	1	3	6	1	2
Chambre 4 (rdc)	4	7	1	1	5	11	2	3
Chambre 4 (r+1)	3	6	1	1	5	9	2	3

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

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

4.7.2 Analyse – Chambre 3

Le passage de trains n'engendre pas de vibrations supérieures aux seuils recommandés pour des logements, quel que soit la période considérée (cf. Figure 22).

Il en est de même pour l'ensemble des indicateurs RIVAS, en deçà des valeurs cibles.

4.7.3 Analyse – Chambre 4

Le passage de trains n'engendre pas de vibrations supérieures aux seuils recommandés pour des logements, quel que soit la période considérée (cf. Figure 23).

La valeur cible pour l'indicateur $L_{vW,Smax}$ est très légèrement dépassée (1 décibels), ce qui correspond à 11 % de la population susceptible d'être gênée, dont 5 % très gênés par la perception tactile de vibration lors du passage de trains. Cet indicateur est inférieur à la valeur cible (zone verte) à partir du 1^{er} étage.

La perception tactile n'est toutefois pas assez élevée et/ou fréquente pour que l'indicateur $L_{vW,eq,24h}$ dépasse la valeur cible, et ce quel que soit l'étage considéré.

De plus, les vibrations ne sont pas suffisamment élevées dans le spectre audible pour que les valeurs cibles des indicateurs $L_{pA,Smax}$ et $L_{pA,den,24h}$ soient dépassées.

Figure 20 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum $L_{v_{max,1s}}$ calculés sur le plancher de la chambre 1 (ch1 – rez-de-chaussée)

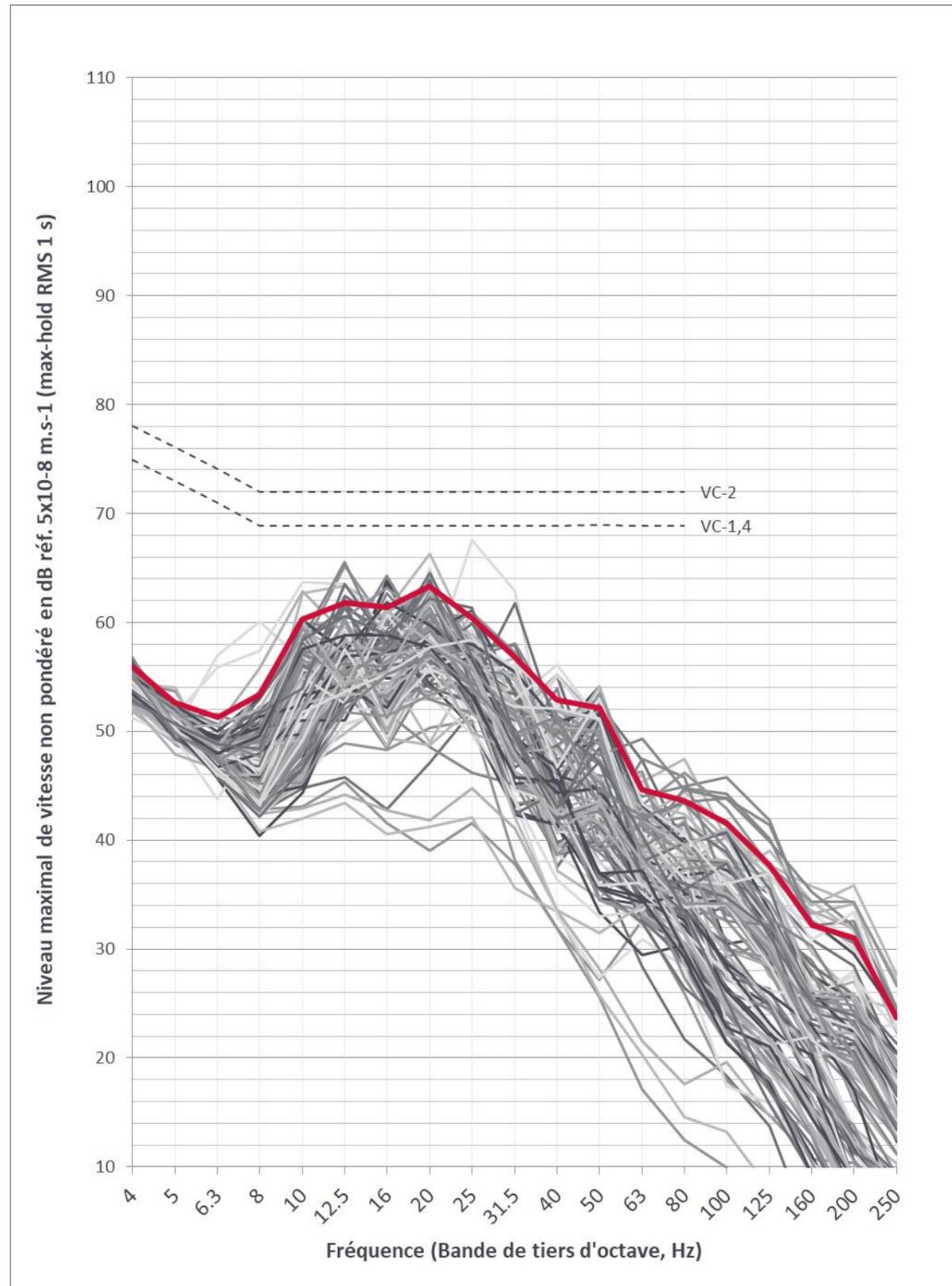


Figure 21 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum $L_{v_{max,1s}}$ calculés sur le plancher de la chambre 2 (ch2 – rez-de-chaussée)

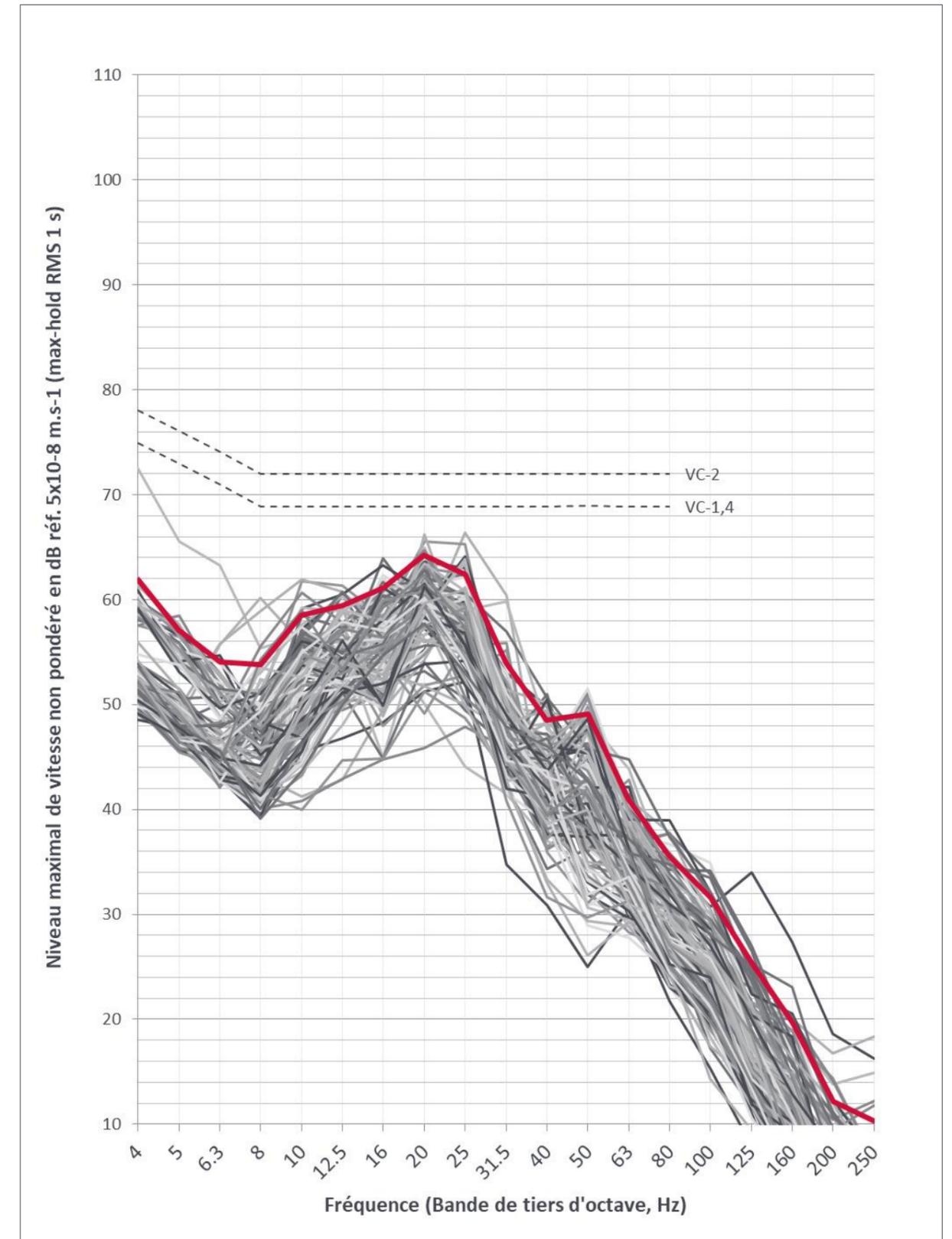


Figure 22 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum $L_{V_{max,1s}}$ calculés sur le plancher de la chambre 3 (ch3 – rez-de-chaussée)

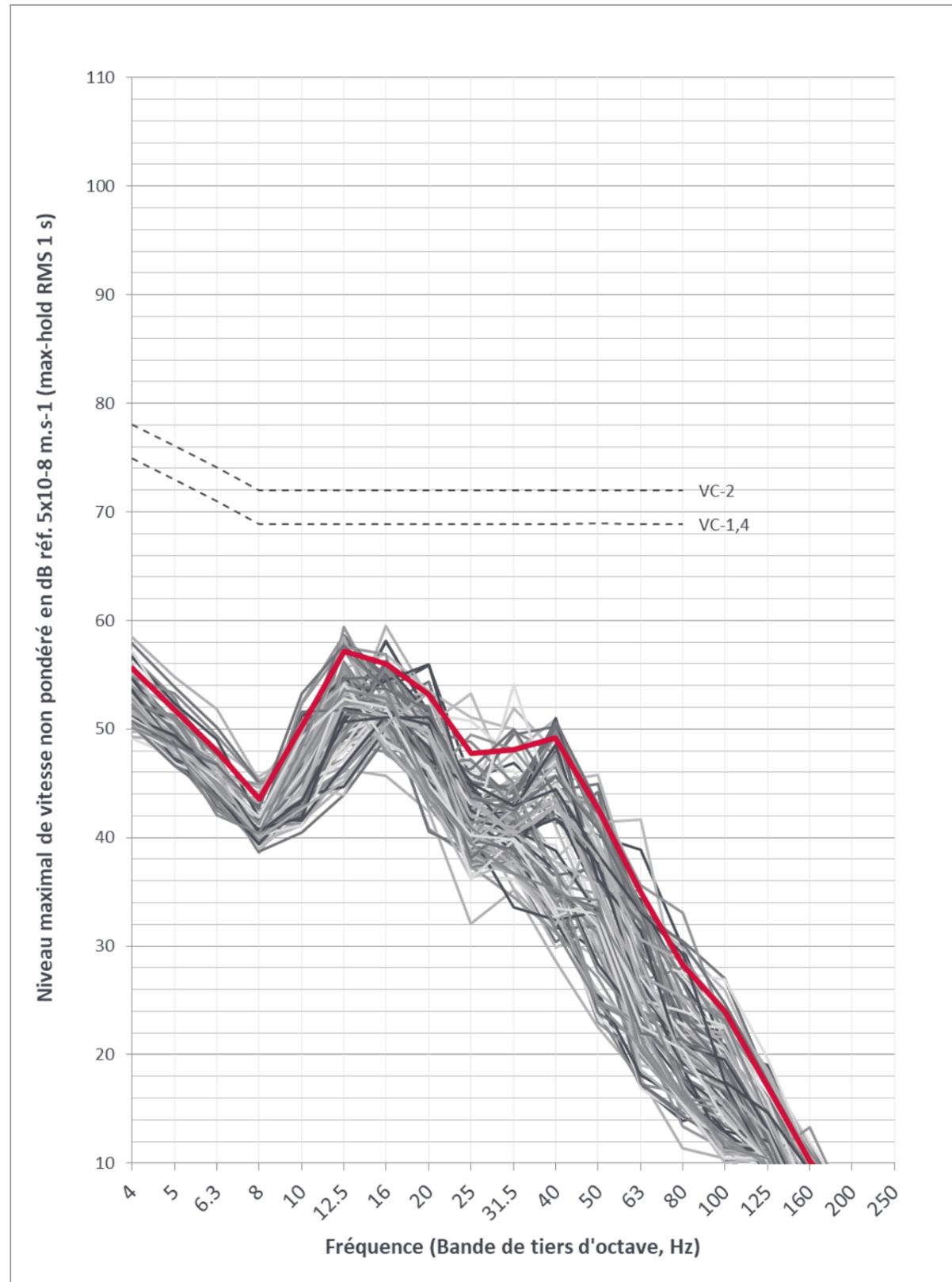
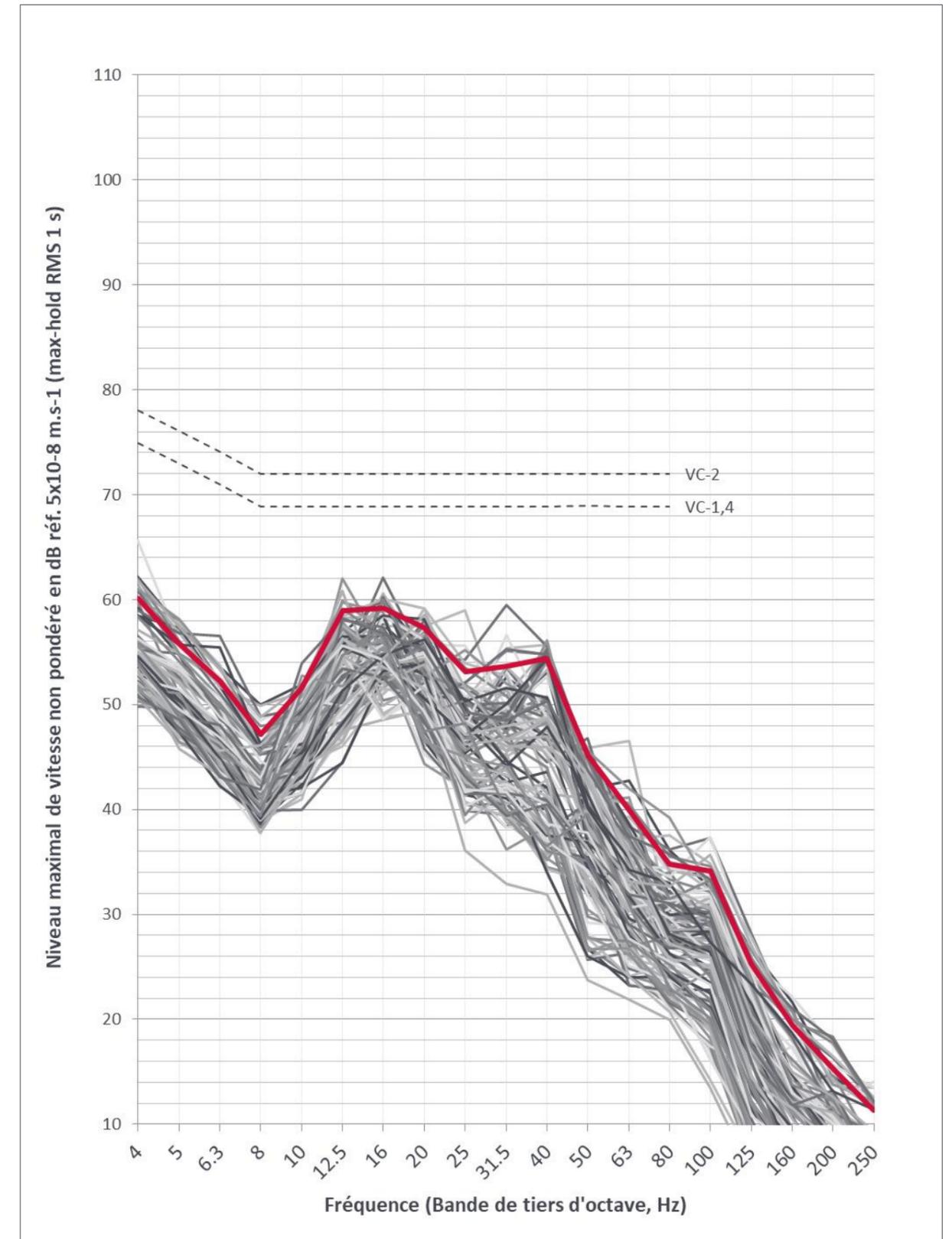


Figure 23 : Niveaux de vitesse vibratoire maximum $L_{V_{max,1s}}$ calculés sur le plancher de la chambre 4 (ch4 – rez-de-chaussée)



5.0 SYNTHÈSE

5.1 Rappel des hypothèses

Les résultats présentés dans ce document sont valables pour une fréquence de premier mode propre de flexion de plancher comprise entre 10 et 40 Hz.

Les indicateurs 24 h calculés selon le projet RIVAS ne tiennent pas compte des éventuelles fluctuations et/ou évolutions du trafic ferroviaire dans le futur.

Il n'a pas été possible d'identifier le passage de trains frets lors de notre déplacement sur site. Les indicateurs calculés sont donc susceptibles d'être plus élevées, et ce dans une proportion inconnue.

L'évaluation des risques qui suit s'entend pour un confort acoustique courant. Si un standing élevé est souhaité, le risque est alors accru.

5.2 Conclusion

L'analyse des indicateurs calculés révèle que le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception tactile de vibrations générées par le passage de trains est :

- Modéré dans les locaux du RDC, R+1 et R+2 des bâtiments les plus proches de la voie ferrée dans la parcelle nord (bâtiments B, C, et D)
- Modéré dans les locaux du RDC des bâtiments les plus proches de la voie ferrée dans la parcelle sud (bâtiments G et H)
- Faible dans les autres locaux du projet

De plus, l'analyse des indicateurs calculés révèle que le risque d'apparition d'une gêne associée à la perception auditive de vibrations générées par le passage de trains est :

- Modéré dans les locaux du RDC et du R+1 du bâtiment le plus proche de la voie ferrée (bâtiment D)
- Faible dans les autres locaux du projet

Dans tous les cas, la gêne cumulative associée à la fréquence de passage de trains est faible.

ANNEXE A GLOSSAIRE

Bruit	Son jugé indésirable
Décibel (dB)	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. $\text{dB} = 20 \times \log(P/P_0)$
Pondération A	Correction des niveaux sonores reflétant la sensibilité de l'oreille humaine moyenne
Fréquence	Nombre d'oscillations par seconde d'une onde acoustique. Unité : Hertz (Hz)
Hertz (Hz)	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
Bande d'octave	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
Tr	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
L_w	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
L_p	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 $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$
L_{eq}	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)
L_{max}	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)
Vibration	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)
Amplitude	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 ²
Amortissement	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
Raideur dynamique	Réponse fréquentielle de la force par rapport au déplacement
Fréquence	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)

Réponse en fréquence	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
Harmonique	Fréquence qui est un multiple entier d'une fréquence donnée
Hertz (Hz)	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
Fréquence propre ou naturelle	Fréquence à laquelle oscille un système en évolution libre
Crête-Crête	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
PPV	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
Résonance	Un système est dit en résonance lorsque la fréquence de l'excitation est la même que sa fréquence propre
Amortissement critique	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
Vitesse RMS	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
L_a	Niveau d'accélération vibratoire, habituellement référencé par rapport à 10^{-9} m/s^2 . Parfois donné en « g », avec $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
L_v	Niveau de vitesse vibratoire, habituellement référencé par rapport à $5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$
L_d	Niveau de déplacement vibratoire, habituellement référencé par rapport à 10^{-11} m