

Etude d'impact vibratoire autour de la double station de terminus au Pôle de Bobigny Pablo Picasso de la ligne T1

Rapport VIBRATEC 1496.001.RA.01.B pour le compte de

SEGIC



CONTACTS VIBRATEC

Pierre DELAGE
Christophe MALICZAK
Dominique FANTACCIONE
Romain AUGEZ

28, chemin du petit Bois
BP 36
69131 Ecully Cedex
France

Tel : 04 72 86 65 65
Fax : 04 72 86 65 66
vibratec@vibratec.fr

www.vibratec.fr

DESCRIPTIF DU DOCUMENT

REFERENCES

Proposition VIBRATEC réf.	1496.001.PR.01.B du 28/03/2011
Commande réf.	99 du 16/05/2011

MODIFICATIONS ET MISES A JOUR

Date de la révision	Indice de la révision	Nombre de pages
02.08.11	A	63
12.01.12	B	65

DIFFUSION

Société	Destinataire	Copie (s)
SEGIC	M ^{me} Catherine DUPUY	1
VIBRATEC	Documentation	1

RESPONSABLES

Romain AUGEZ	Christophe MALICZAK
Responsable Technique	Chef de Projet

Ce document et les informations qu'il contient sont confidentiels. Ils ne peuvent être communiqués à des tiers sans l'accord de VIBRATEC et de son client.

RESUME

Dans le cadre du réaménagement des lignes de tramway du secteur de la gare routière de Bobigny et du changement de matériel roulant, la RATP a souhaité qu'une étude d'impact vibratoire et acoustique soit menée.

Un groupement entre SEGIC et VIBRATEC a été mis en œuvre (avec VIBRATEC comme sous-traitant de SEGIC) avec SEGIC en charge de l'impact acoustique aérien et VIBRATEC en charge de l'impact vibratoire et de l'impact acoustique solidien.

L'étude menée par VIBRATEC s'articule en six phases :

Phase 1 : Etude environnementale de l'existant

La phase 1 a mis en évidence que les niveaux vibratoires les plus élevés mesurés sont dus au passage du tramway actuel (zones 1 et 3) et au passage des métros (zone 5, pour laquelle il n'y a actuellement pas de tramway).

Les niveaux maximaux mesurés en pied de bâtiment sont égaux à :

- Zone 1 : 56 dBv (référence 5.10^{-8} m/s),
- Zone 3 : 53.8 dBv (référence 5.10^{-8} m/s) (NB : pour des raisons pratiques, ce niveau a été mesuré en façade du bâtiment),
- Zone 5 : 60.0 dBv (référence 5.10^{-8} m/s), dû au métro.

Phase 2 : Mesure de la transmissibilité du sol entre la future voie et le seuil des bâtiments adjacents

La transmissibilité du sol est usuellement exprimée en dB/m, c'est-à-dire sous forme d'un taux de décroissance des ondes dans le sol par bande de tiers d'octave.

Les valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur que les taux de décroissance faibles de la base de données VIBRATEC pour des sites urbains pour la zone 2.

Pour les autres zones, les taux de décroissance mesurés sont plus forts.

Ainsi, pour avoir une estimation conservative, le taux de décroissance mesuré sur le site n° 2 est utilisé pour tous les sites.

Phase 3 : Mesure des transferts vibratoires des bâtiments les plus proches (seuils vers dalles)

Pour estimer la propagation à l'intérieur des bâtiments, trois fonctions de transfert ont été mesurées pour les deux zones pour lesquels des riverains ont accepté de donner accès à leur appartement (zones 1 et 3) :

- $\frac{\text{accélération}(\text{fondation})}{\text{accélération}(\text{seuil})}$,
- $\frac{\text{accélération}(\text{chambre})}{\text{accélération}(\text{seuil})}$,
- $\frac{\text{pression acoustique}(\text{chambre})}{\text{accélération}(\text{seuil})}$.

Ces fonctions de transfert seront utilisées en phase 6 pour l'estimation des niveaux vibratoires et acoustiques solidiens à l'intérieur des bâtiments. NB : les transferts sont réalisés à partir d'une source artificielle (masse tombante ou marteau d'impact).

Il est à noter que des mesures accélérométriques et acoustiques complémentaires ont été réalisées pour la zone 3 au passage du tramway dans la configuration actuelle. Les niveaux mesurés dépassent les recommandations usuelles.

Phase 4 : Mesure d'efforts injectés par le nouveau matériel roulant

Comme indiqué en introduction de ce chapitre, le réaménagement des voies de tramway s'accompagne d'une modification du type de matériel roulant.

Des mesures au passage ont donc été réalisées dans le sud-ouest de Paris, sur la ligne T2, entre les stations « Porte d'Issy » et « Porte de Versailles ».

Après avoir vérifié que le type de pose du site de mesure est le même que celui qui est prévu à Bobigny (pose directe), les niveaux vibratoires au passage sont mesurés sur la plate-forme et à 3 mètres de la file externe.

Pour des passages à 40 km/h environ, le niveau mesuré sur plate-forme est de l'ordre de 80 à 82 dBv (référence 5.10^{-8} m/s). Le niveau mesuré à 3 mètres est compris entre 62 et 65 dBv (référence 5.10^{-8} m/s).

La signature vibratoire mesurée est conforme à la forme de spectre attendue : l'énergie vibratoire au passage se répartit entre deux pics principaux à 31.5 Hz et 250 Hz.

Phase 5 : Mesure des propriétés acoustiques chez des riverains

Les temps de réverbération des chambres de riverain caractérisées en phase 3 sont mesurés pour avoir un ordre de grandeur des propriétés d'absorption acoustique.

Phase 6 : Estimation des niveaux de bruit solidien dans les étages

En combinant :

- les niveaux d'excitation vibratoire du futur matériel roulant CITADIS mesuré sur la ligne T2 (source) en phase 4,
- les transmissibilités mesurées in situ entre la plate-forme et le seuil des bâtiments (transfert dans le sol) en phase 2,
- les transferts vibro-acoustiques mesurés entre le seuil du bâtiment et l'intérieur des locaux lors de la phase 3 (réponse du bâtiment),

il est possible d'estimer le niveau vibratoire et le niveau de bruit solidien à l'intérieur de l'appartement des riverains.

Les niveaux estimés sont très faibles. Ils sont notamment beaucoup plus faibles que ceux mesurés actuellement (qui combinent le bruit solidien et le bruit aérien).

Les niveaux vibratoires et acoustiques calculés sont très faibles car les fonctions de transfert entre le seuil du bâtiment et les fondations sont très faibles.

Des calculs complémentaires sont réalisés en ne prenant pas en compte les fonctions de transfert entre le seuil et les fondations (approche conservative), les niveaux globaux de vitesse vibratoires (10-400 Hz) sont calculées à 51 et 53 dBv (réf $5 \cdot 10^{-8}$ m/s), ce qui est proche des valeurs mesurées (pour la zone 3, voir page 46-47). Ces valeurs sont inférieures au seuil de sensibilité humain de 66 dBv.

Les niveaux acoustiques solidiens sont calculés à 56 dB lin et 44 dB lin.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	8
2. PRESENTATION DU SITE ET DU MATERIEL DE MESURE	9
2.1. PRESENTATION DU SITE DE MESURE	9
2.1.1. Zone 1	10
2.1.2. Zone 2	12
2.1.3. Zone 3	14
2.1.4. Zone 4	16
2.1.5. Zone 5	17
2.1.6. Résumé des mesures effectuées par site	18
2.2. PRESENTATION DU MATERIEL ROULANT	18
2.3. LISTE DU MATERIEL DE MESURE	19
3. RAPPEL DES VALEURS DE REFERENCE DE NIVEAUX VIBRATOIRES DANS LE SOL	19
4. PHASE 1 : ETUDE ENVIRONNEMENTALE DE L'EXISTANT	20
4.1. DEMARCHE TECHNIQUE	20
4.2. ZONE 1	21
4.3. ZONE 3	23
4.4. ZONE 5	25
5. PHASE 2 : MESURE DE LA TRANSMISSIBILITE DU SOL ENTRE LA FUTURE VOIE ET LE SEUIL DES BATIMENTS ADJACENTS	28
5.1. DEMARCHE TECHNIQUE	28
5.2. TAUX DE DECROISSANCE PAR ZONE	29
5.2.1. Zone 1	30
5.2.2. Zone 2	33
5.2.3. Zone 3	36
5.2.4. Zone 4	38
5.2.5. Zone 5	39
5.2.6. Synthèse des mesures de décroissances	40
6. PHASE 3 : MESURE DES TRANSFERTS VIBRATOIRES DES BATIMENTS LES PLUS PROCHE (SEUILS VERS DALLES)	41
6.1. ZONE 1	41

6.2. ZONE 3	43
7. PHASE 4 : MESURE D'EFFORTS INJECTES PAR LE NOUVEAU MATERIEL ROULANT	49
7.1. DEMARCHE TECHNIQUE	49
7.2. VERIFICATION DU TYPE DE POSE AVANT MESURE AU PASSAGE	51
7.3. MESURES AU PASSAGE	52
8. PHASE 5 : MESURE DES PROPRIETES ACOUSTIQUES CHEZ DES RIVERAINS	56
8.1. RIVERAIN ZONE 1	56
8.2. RIVERAIN ZONE 3	57
9. PHASE 6 : ESTIMATION DES NIVEAUX VIBRATOIRES	58
9.1. ESTIMATION DES NIVEAUX VIBRATOIRES AU SEUIL	58
9.2. ESTIMATION DES NIVEAUX VIBRATOIRES ET ACOUSTIQUES SOLIDIENS A L'INTERIEUR	60
10. CONCLUSION	63

**Etude d'impact vibratoire autour de la double station de terminus
au Pôle de Bobigny Pablo Picasso de la ligne T1**

Rapport VIBRATEC 1496.001.RA.01.B pour le compte de SEGIC

1. INTRODUCTION

La société SEGIC-Ingénierie est en charge de l'étude d'impact vibratoire et acoustique autour de la future double station de terminus au pôle Bobigny Pablo Picasso de la ligne T1.

Cette prolongation de ligne interviendra en même temps qu'un changement de matériel roulant et la RATP souhaite avoir une vue claire de l'impact des modifications sur cette zone.

VIBRATEC est en charge de l'étude d'impact vibratoire.

L'étude demandée s'articule en six phases :

- Phase 1 : Etude environnementale de l'existant,
- Phase 2 : Mesure de la transmissibilité du sol entre la future voie et le seuil des bâtiments adjacents,
- Phase 3 : Mesure des transferts vibratoires des bâtiments les plus proches (seuils vers dalles),
- Phase 4 : Mesure d'efforts injectés par le nouveau matériel roulant,
- Phase 5 : Mesure des propriétés acoustiques chez des riverains,
- Phase 6 : Estimation des niveaux de bruit solide dans les étages.

Les mesures se sont déroulées du 28 juin au 1er juillet 2011 sur le site de Bobigny Pablo Picasso, à Bobigny (93).

2. PRESENTATION DU SITE ET DU MATERIEL DE MESURE

2.1. PRESENTATION DU SITE DE MESURE

Les essais ont eu lieu au niveau de la rue Carnot (Zone 1 et 2), de la rue Pablo Picasso (Zones 4 et 5) et au niveau de la rue Maurice Thorez pour la zone 3 Nancy (voir Photo 1).

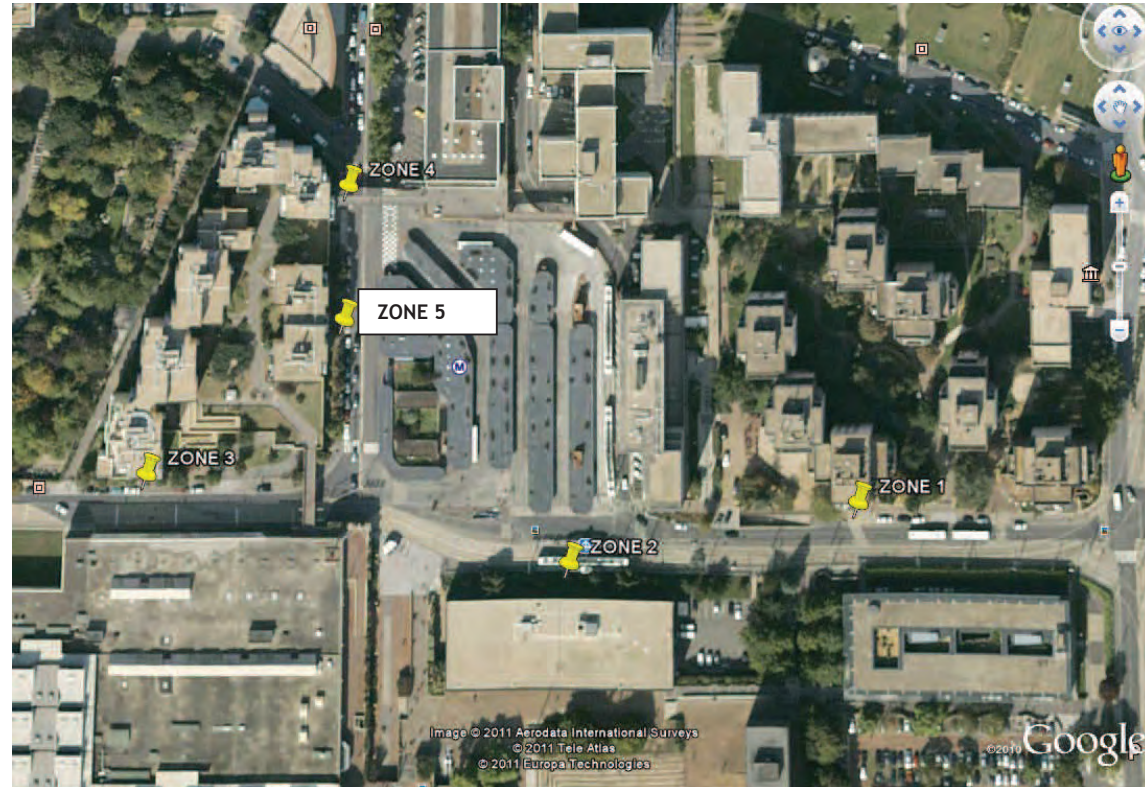


Photo 1 : Vue générale du site de mesure

2.1.1. Zone 1

Les mesures ont été réalisées face au 13 rue Carnot (voir Photo 2).

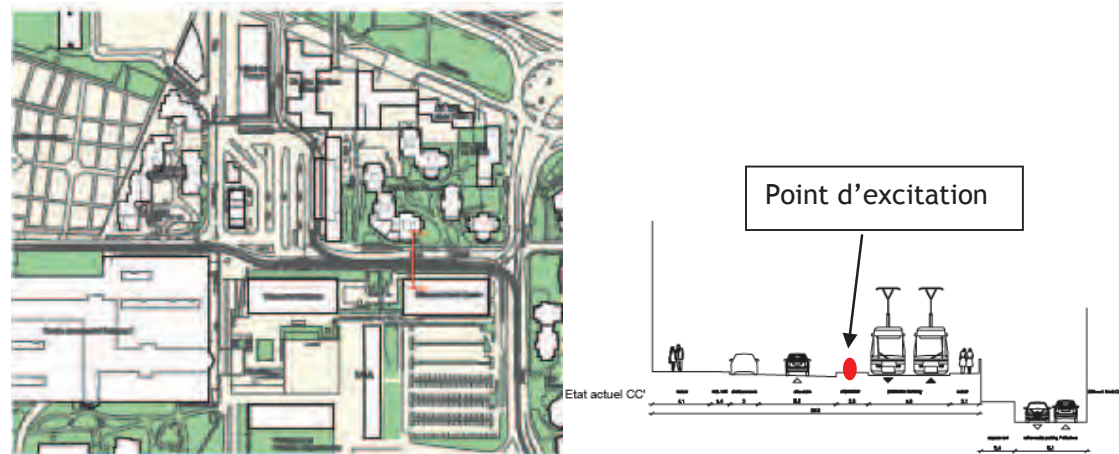


Photo 2 : Visualisation de la zone de mesure n° 1

Les mesures réalisées sur ce site sont les suivantes :

- Mesure des niveaux vibratoires existants avec comptage des véhicules en heures pleines (16h-17h),
- Mesure de la décroissance des vibrations dans le sol du séparateur de voie tram route vers le seuil du bâtiment avec excitation à la masse d'impact,
- Mesures de décroissance des vibrations dans le sol du séparateur voie tram route vers le seuil du bâtiment avec excitation par les passages du tramway de la ligne T1 : 2 passages,
- Mesure de transfert vibratoire et vibro-acoustique du seuil du bâtiment jusqu'à une chambre de l'appartement de M. et M^{me} TIRNATI, situé au 3^{ème} étage. Les fonctions de transfert sont obtenues à partir d'une excitation impulsionnelle (masse tombante).
- mesure de TR (Temps de réverbération) dans la chambre en question,

La distance entre le point de mesure sur le séparateur voie tram-route et le seuil du bâtiment est de 14 m.



2.1.2. Zone 2

Les mesures ont été réalisées sur la rue Carnot face à l'angle de la Trésorerie, du côté du centre commercial (voir Photo 3).



Photo 3 : Visualisation de la zone de mesure n° 2

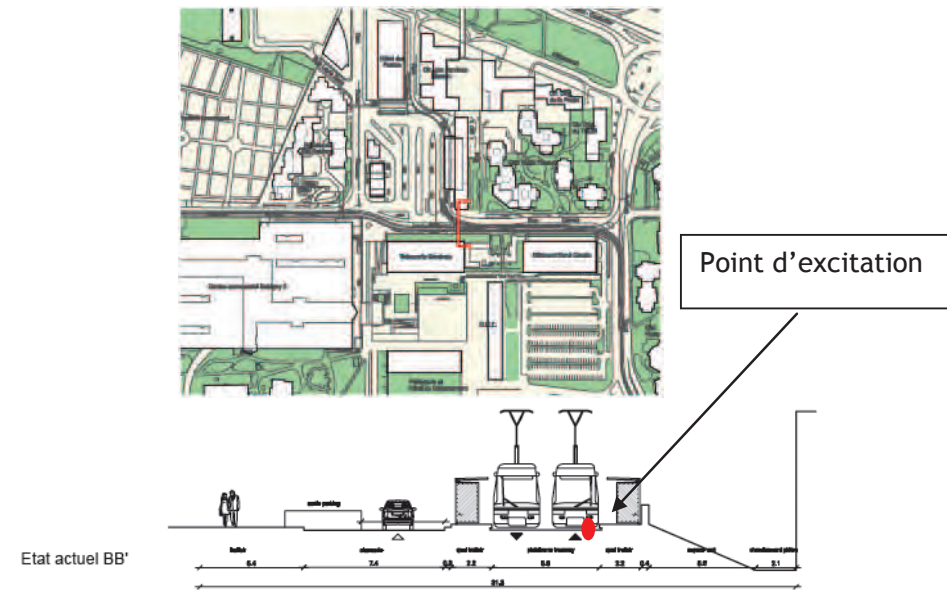
Les mesures réalisées sur ce site sont les suivantes :

- Mesure de la décroissance des vibrations dans le sol de la plate-forme actuelle du tramway jusqu'au seuil du bâtiment. Ces mesures sont réalisées à l'aide d'un marteau d'impact.

En l'absence d'autorisation pour rentrer dans la Trésorerie, le transfert vibratoire entre le seuil et l'intérieur du bâtiment n'a pas pu être mesuré. A défaut, un accéléromètre a été instrumenté en façade du bâtiment pour obtenir une estimation du transfert vibratoire entre le seuil et les fondations.

- Mesure de la décroissance des vibrations dans le sol de la plate-forme actuelle du tramway jusqu'à la façade du bâtiment avec excitation par les passages du tramway de la ligne T1 : 5 passages.

La distance entre le point de mesure sur la plate-forme et le seuil du bâtiment est de 15 m.



2.1.3. Zone 3

Les mesures ont été réalisées sur le Boulevard Maurice Thorez, face à l'angle de la résidence des Sablons au niveau de l'appartement de M. et M^{me} QUENUM (voir Photo 4).

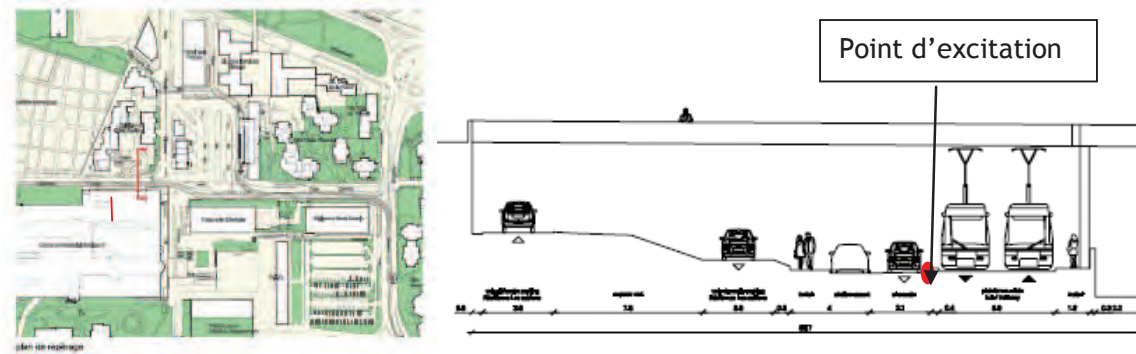


Photo 4 : Visualisation de la zone de mesure n° 3

Les mesures réalisées sur ce site sont les suivantes :

- Mesure des niveaux vibratoires existants avec comptage des véhicules en heures pleines(12h-13h),
- Mesure des niveaux vibratoires existants avec comptage des véhicules en heures creuses (00h-1h),
- Mesure de la décroissance des vibrations dans le sol du séparateur voie tram route vers le seuil du bâtiment avec une excitation à la masse d'impact,
- Mesures de la décroissance des vibrations dans le sol du séparateur voie tram route vers le seuil du bâtiment avec excitation par les passages du tramway de la ligne T1 : 4 passages,
- Mesure de transfert vibratoire et vibro-acoustique du seuil du bâtiment jusqu'à une chambre de l'appartement de M. et M^{me} QUENUM situé au 7^{ème} étage. Les fonctions de transfert sont obtenues à partir d'une excitation impulsionnelle (masse tombante).
- Mesure de TR (Temps de réverbération) dans la chambre en question.

La distance entre le point de mesure sur le séparateur et le seuil du bâtiment est de 11.5 m.



2.1.4. Zone 4

Les mesures ont été réalisées dans la rue Pablo Picasso face à l'angle de la poste (voir Photo 5).

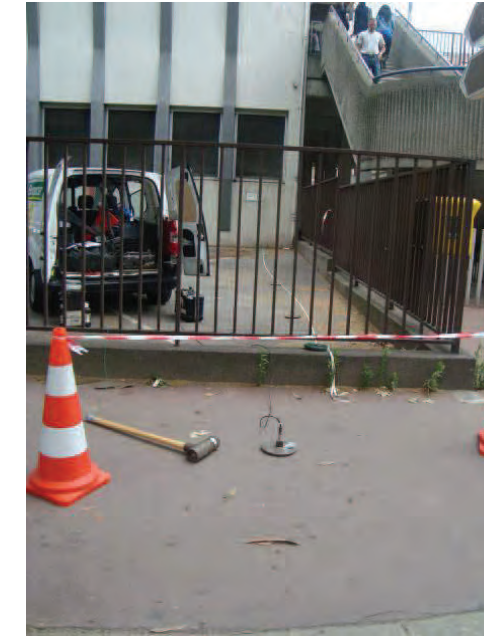
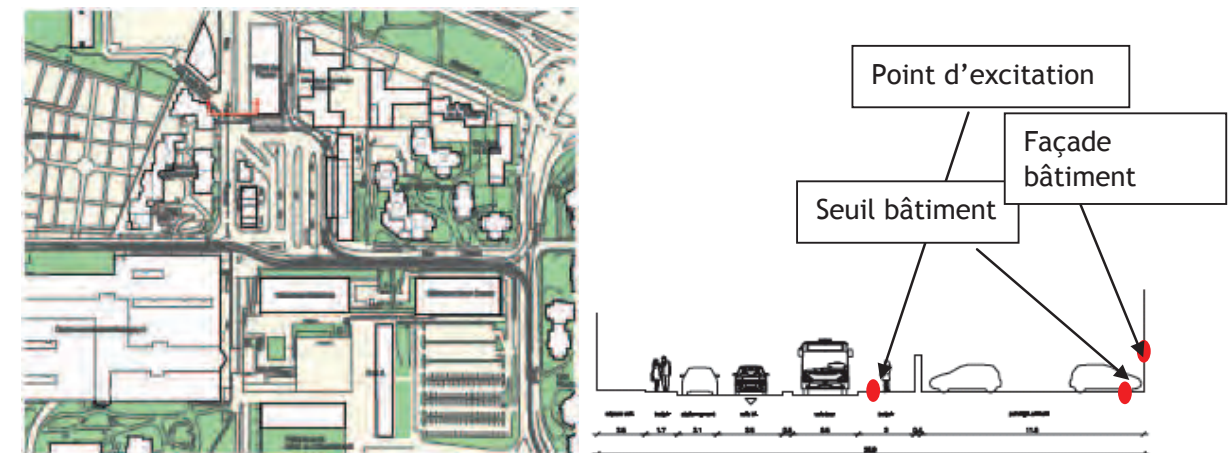


Photo 5 : Visualisation de la zone de mesure n°4

Les mesures réalisées sur ce site sont les suivantes :

- Mesure de décroissance des vibrations dans le sol du trottoir vers le seuil du bâtiment de la poste,
- Mesure du transfert vibratoire du seuil du bâtiment (accéléromètre positionné sur le sol) vers la façade (accéléromètre positionné sur la façade). Ces mesures sont réalisées à l'aide d'un marteau d'impact.

La distance entre le point de mesure sur le trottoir et le seuil du bâtiment est de 14 m.



2.1.5. Zone 5

Les mesures ont été réalisées face au 12 rue Pablo Picasso (voir Photo 6).

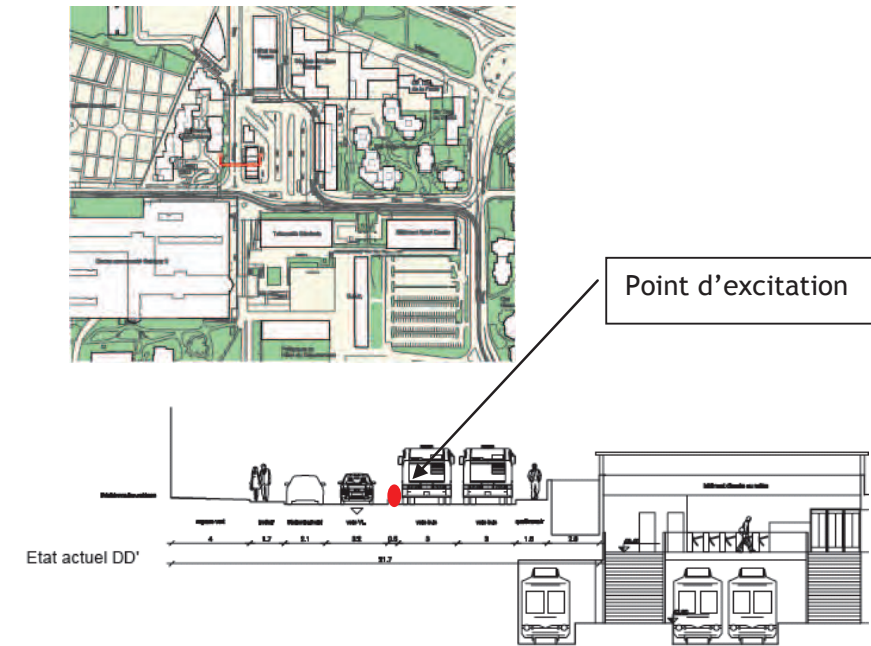


Photo 6 : Visualisation de la zone de mesure n°5

Les mesures réalisées sur ce site sont les suivantes :

- Mesure des niveaux vibratoires existants avec comptage des véhicules en heures pleines (15h-16h),
- Mesure des niveaux vibratoires existants avec comptage des véhicules en heures creuses (00h-1h),
- Mesure de la décroissance des vibrations dans le sol de la voie des bus vers le seuil du bâtiment. Ces mesures sont réalisées à l'aide d'un marteau d'impact.

La distance entre le point de mesure sur le trottoir et le seuil du bâtiment est de 12.5 m.



2.1.6. Résumé des mesures effectuées par site

Le Tableau 1 présente la synthèse des mesures effectuées sur les 5 zones du site Pablo Picasso.

	Mesure vibratoire existant	Décroissance de la future voie jusqu'au seuil au marteau d'impact / Distance	Mesures additionnelles: Mesure au passage avec tramway ligne 1	Transferts acoustique et vibratoire du seuil vers habitation
Zone 1	Heure Pleine	Oui / 14m	oui 2 passages	Oui / 2ème étage
Zone 2	non	Oui / 15m	oui 5 passages	Non
Zone 3	Heure pleine et heure creuse	Oui / 11.5 m	oui 4 passages	Oui / 7ème étage
Zone 4	non	Oui / 14m	non	Non
Zone 5	Heure pleine et heure creuse	Oui / 12.5 m	non	Non

Tableau 1

2.2. PRESENTATION DU MATERIEL ROULANT

Les tramways circulant sur la ligne T1 sont de type TW90-TW94 à 3 bogies. Au passage, l'émergence vibratoire est principalement concentrée autour du tiers d'octave 63 Hz.

Les tramways circulant sur l'extension de la ligne T2 sont des rames doubles de Citadis 302.

Le spectre de vitesse vibratoire typique du matériel Citadis est une émergence vibratoire en basse fréquence autour de 31 Hz, et en haute fréquence autour de 250 Hz.

2.3. LISTE DU MATERIEL DE MESURE

Le matériel de mesure utilisé pour les essais est présenté dans le Tableau 2.

Désignation	Type	Numéro de série Vibrattec
Système d'acquisition	Pulse BRUEL & KJAER	Vibrattec N° 3
Amplificateur de charge	Nexus 2622 BRUEL & KJAER	N° 1
Accéléromètres	ENDEVCO 7701A-1000	ACC184
		ACC186
		ACC220
Accéléromètre	SURVITEC ICP	ACCEI 305
Microphones	BRUEL & KJAER 4189-A-021	MIC039
		MIC048
Marteau de choc	Masse PCB	N° 1

Tableau 2 : Matériel de mesure utilisé lors des essais

Fréquence d'échantillonnage :

- 1600 Hz pour les signaux temporelles correspondant aux mesures d'accélération,
- pour les signaux temporelles correspondant aux mesures acoustiques,

3. RAPPEL DES VALEURS DE REFERENCE DE NIVEAUX VIBRATOIRES DANS LE SOL

En préalable de l'analyse, il est utile de rappeler les 2 valeurs suivantes, qui permettent de situer la sévérité des niveaux vibratoires mesurés vis-à-vis des nuisances vibratoires transmises aux futurs bâtiments.

○ Seuil de sensibilité du corps humain - norme ISO 2631

La valeur seuil de 0.1 mm/s, soit 66 dBv dans la bande [8-250] Hz (pour une vitesse de référence de 5×10^{-8} m/s), est souvent utilisée comme limite à ne pas dépasser au seuil des bâtiments pour ne pas générer de nuisances perceptibles chez les riverains.

Cette valeur se rapproche du seuil de sensibilité du corps humain aux vibrations, qui est estimé autour de 0.1 mm/s dans la bande [8-80] Hz environ.

○ Valeurs susceptibles de dégrader des bâtiments - circulaire du 23 juillet 1986

La circulaire du 23 juillet 1986 définit des valeurs seuils de vitesse vibratoire à ne pas dépasser pour assurer l'intégrité mécanique des constructions.

Pour les classes de construction les plus sensibles, un seuil de 2 à 4 mm/s en fonction de la bande de fréquence est défini, soit 92 à 98 dBv.

N.B. : nous nous placerons dans le cas le plus défavorable, soit une limite à ne pas dépasser de 0.1 mm/s (66 dBv) (seuil de perception humaine).

4. PHASE 1 : ETUDE ENVIRONNEMENTALE DE L'EXISTANT

Ce paragraphe présente les mesures de l'état vibratoire existant.

4.1. DEMARCHE TECHNIQUE

Les mesures ont eu lieu au seuil des bâtiments dans les 3 rues principales du site, soit :

- devant la zone n°1 (13 rue Carnot) en heure pleine (16h-17h),
- devant la zone n°3 (boulevard Maurice Thorez) en heures pleines (11h-12h) et heures creuses (0h-1h),
- devant la zone n°5 rue Pablo Picasso en heures pleines (15h-16h) et creuses (0h-1h).

La durée d'acquisition est de 20 à 30 minutes. La vitesse vibratoire est obtenue par intégration de l'accélération mesurée.

Les événements sont identifiés à l'aide d'un tracé de suivi temporel de vitesse vibratoire (constante d'intégration de 1 s) (voir exemple pour Zone 3 en Figure 1).

Les événements les plus importants sont ensuite exportés et traités pour calculer un niveau efficace de vitesse vibratoire dans la bande 10-400 Hz (constante d'intégration de 0.125 s).

4.2. ZONE 1

Les événements les plus importants correspondent aux passages des tramways sur la voie la plus proche du bâtiment. Le comptage des véhicules est présenté dans le Tableau 4.

Les spectres de vitesse vibratoire pour les 5 passages mesurés sont présentés dans le Tableau 3.

Comptage	Zone 1
Tram voie proche	5
Tram voie opposée	4
Voiture	55
BUS	12

Tableau 4 : Comptage des véhicules pendant la mesure en heures pleines

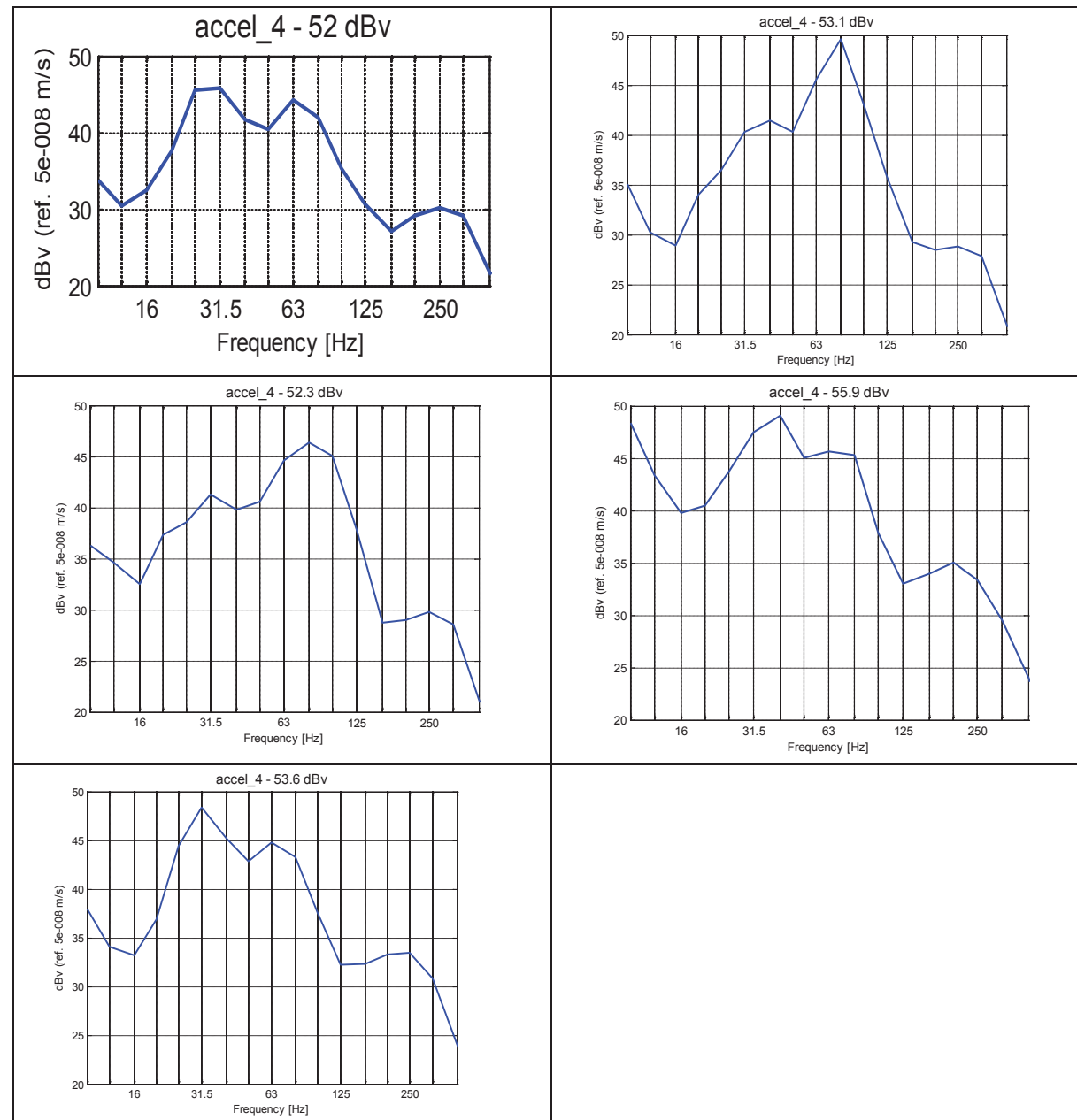


Tableau 3 : Spectre de vitesse vibratoire (dBv réf 5.10^{-8} m/s) au passage des tramways en pied de bâtiment zone 1

L'émergence vibratoire est concentré autour de 31 Hz et de 63 Hz. Parmi les 5 passages, le niveau global efficace maximal mesuré est égal à 56 dBv.

4.3. ZONE 3

Mesures en heures pleines : La Figure 1 présente le suivi temporel de la vitesse vibratoire au niveau du trottoir devant le bâtiment. Les événements les plus importants correspondent également à des passages de tramways. Les niveaux globaux efficaces sont présentés pour l'accéléromètre sur le trottoir et pour l'accéléromètre collé en pied de façade (le capteur n'a pas pu être disposé directement au sol). Le Tableau 5 présente le comptage des véhicules.

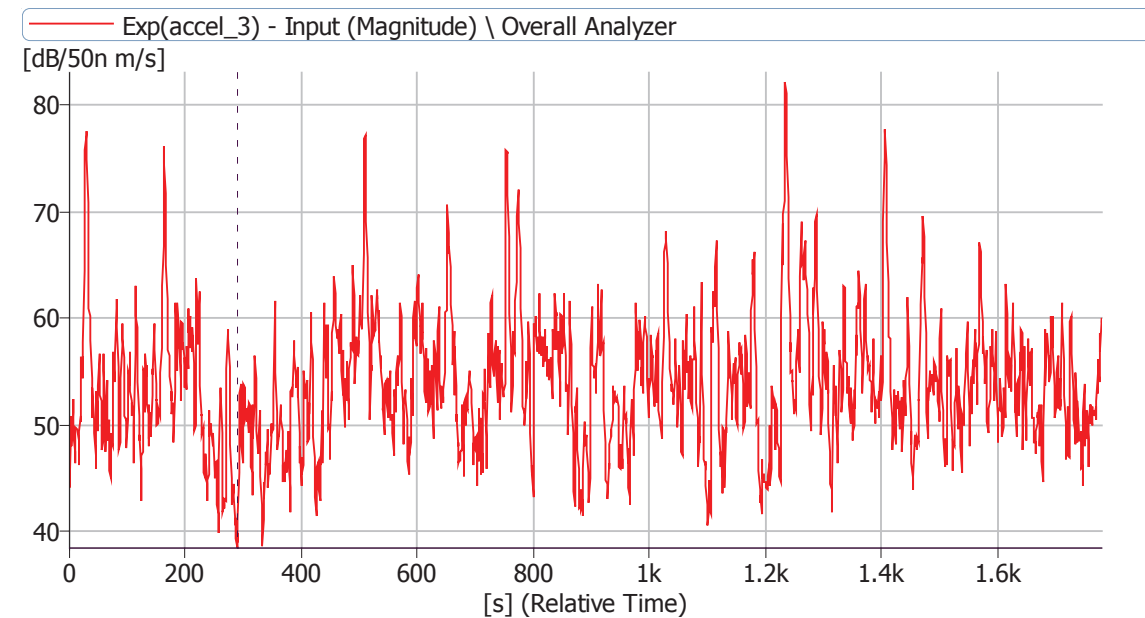


Figure 1 : Zone 3 Suivi temporel de vitesse vibratoire sur 30 minutes (dBv réf. 5×10^{-8} m/s)

Les spectres de vitesse vibratoire pour les premiers événements (passage de tram) sont présentés en Figure 2 et en Figure 3.

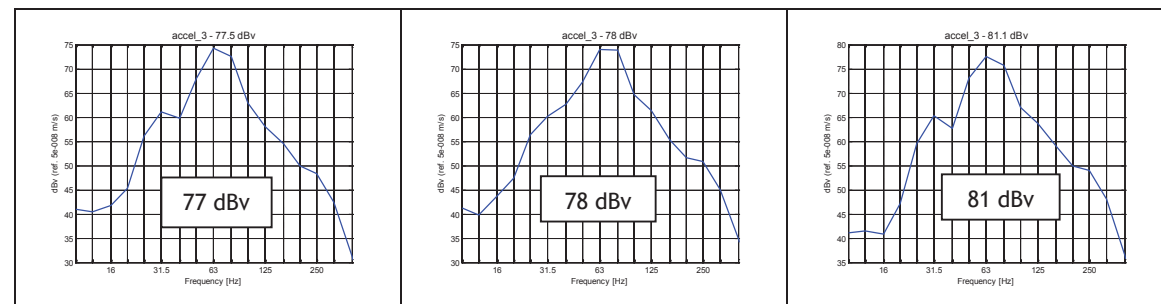


Figure 2 : Accéléromètre posé sur le trottoir Spectre de vitesse vibratoire (dBv réf 5×10^{-8} m/s) au passage de 3 tramways

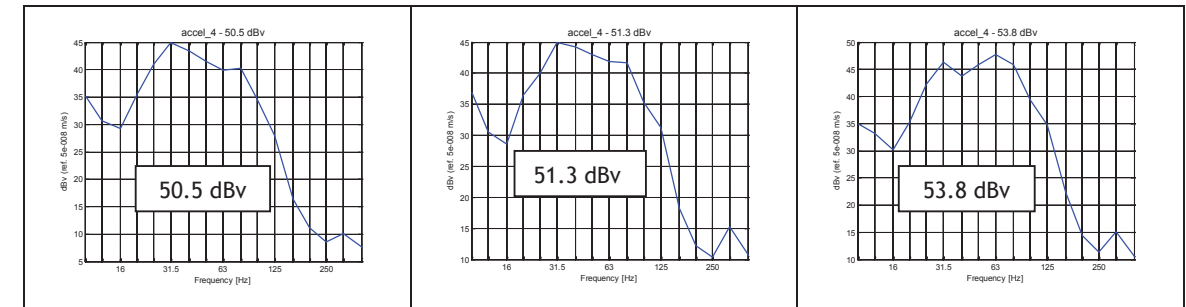


Figure 3 : Accéléromètre en façade Spectre de vitesse vibratoire (dBv ref $5 \cdot 10^{-8}$ m/s) au passage de 3 tramways

Comptage	Zone 3
Tram voie proche	6
Tram voie opposé	5
Voiture	60
BUS	15
Camion	1
Bus sur voie tram	6

Tableau 5 : Comptage véhicule pendant la mesure en heures pleines

Mesures en heures creuses : les mesures ont été réalisées après l'arrêt des métros et tramways. En conséquence, il n'y a pas d'évènement particulièrement émergeant. On peut toutefois considérer que les niveaux relevés en heures pleines sont aussi importants en heures creuses lorsque les Tramways et métros sont encore sur le réseau, soit jusqu'à 0h et à partir de 5h le matin.

Comptage	Zone 3 Heure creuse
Tram voie proche	0
Tram voie opposée	0
Voiture	8
BUS	1
Camion	1

Tableau 6 : Comptage véhicule pendant la mesure en heures creuses

4.4. ZONE 5

Mesures en heures pleines : La Figure 4 présente le suivi temporel de la vitesse vibratoire au pied du bâtiment. Les événements les plus importants correspondent également à des passages de métro. Le comptage des véhicules est présenté dans le Tableau 8.

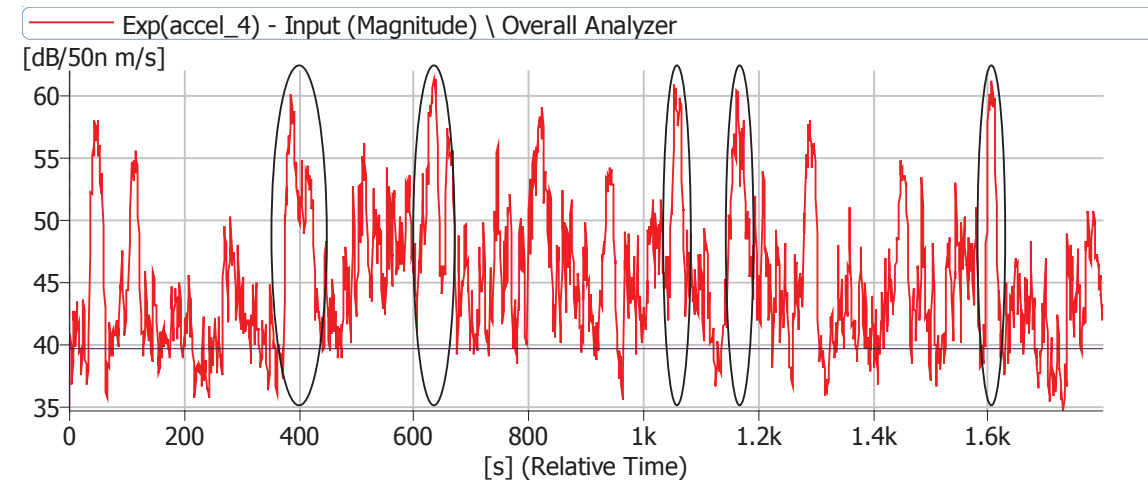


Figure 4 : Zone 5 Suivi temporel de vitesse vibratoire sur 30 minutes (dBv réf. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s)

Les spectres de vitesse vibratoire pour ces 5 passages sont présentés dans le Tableau 7.

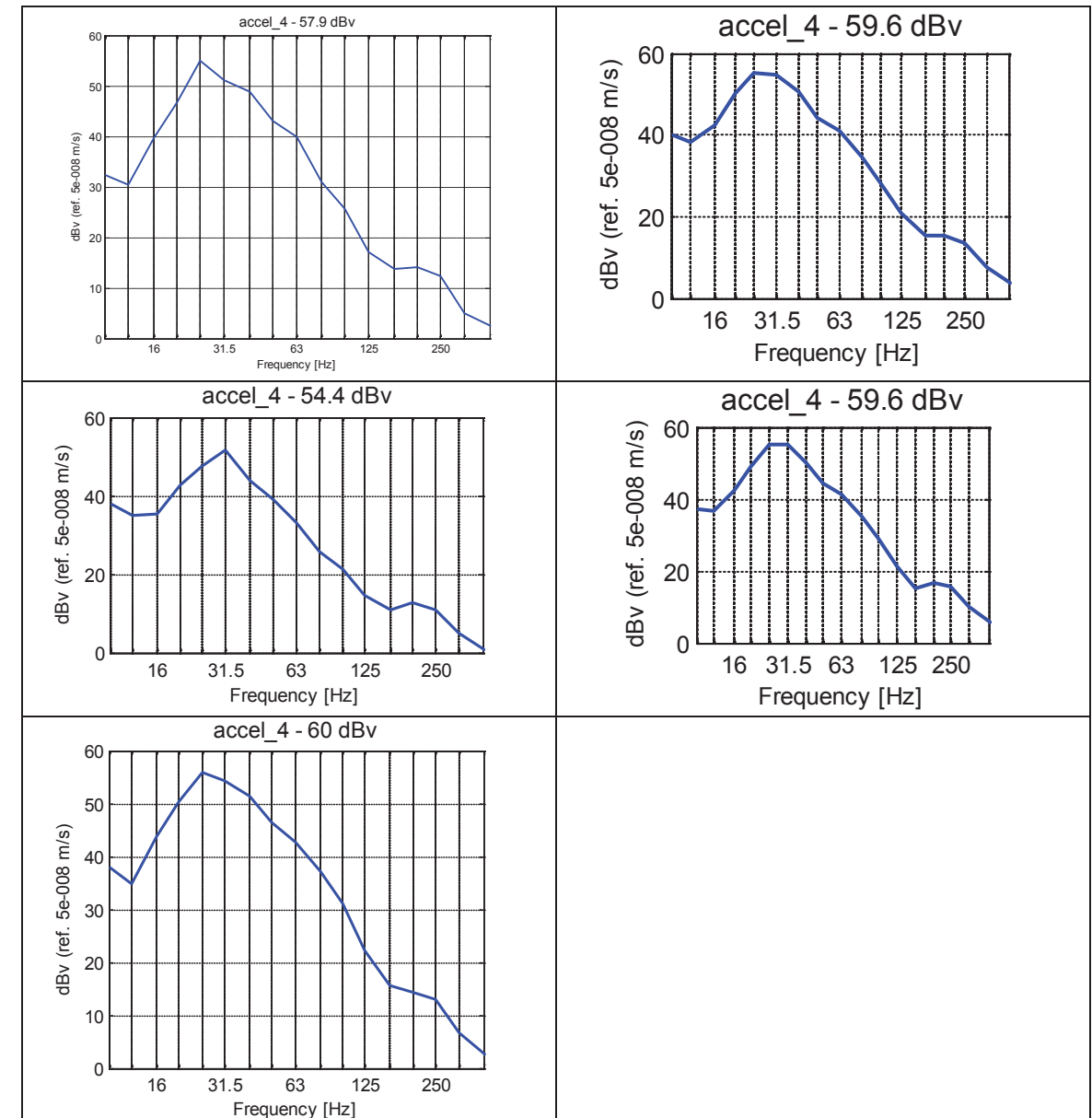


Tableau 7 : Spectre de vitesse vibratoire (dBv réf 5×10^{-8} m/s) au passage des métros en pied de bâtiment en zone 5

L'émergence vibratoire est concentré autour de 31 Hz. Parmi les 5 passages, le niveau global efficace maximal est mesuré à 60 dBv.

Comptage	Zone 5
Méto	?
Voiture	120
BUS	5
Camion	1
Scoter/moto	6

Tableau 8 : Comptage véhicule pendant la mesure en heures pleines

Mesures en heures creuses : (Identique Zone 3) les mesures ont été réalisées après l'arrêt des métros et tramways. En conséquence, il n'y a pas d'évènements particulièrement émergents. On peut toutefois considérer que les niveaux relevés en heures pleines sont aussi importants en heures creuses lorsque les Tramways et métros sont encore sur le réseau, soit jusqu'à 0h et à partir de 5h le matin.

Comptage	Zone 5 Heure creuse
Méto	0
Voiture	8
BUS	3

Tableau 9 : Comptage véhicule pendant la mesure en heures creuses

5. PHASE 2 : MESURE DE LA TRANSMISSIBILITE DU SOL ENTRE LA FUTURE VOIE ET LE SEUIL DES BATIMENTS ADJACENTS

5.1. DEMARCHE TECHNIQUE

L'étude de la décroissance verticale des ondes vibratoires dans le sol est réalisée pour la bande de fréquences [10-400] Hz, en tiers d'octave.

La décroissance spatiale des vibrations dans le sol est caractérisée au moyen d'accéléromètres et d'un moyen d'excitation artificielle (impact généré par une masse de choc instrumentée avec un capteur d'effort).



Photo 7 : Exemple de mesure de décroissance site n°4 : moyen d'excitation et accéléromètres

On mesure successivement les Fonctions de Réponse en Fréquence (FRF) entre un point de référence (situé à 50 cm de l'impact) et un maillage de 4 à 8 accéléromètres.

Les mesures sont contrôlées en termes de cohérence des signaux.

A partir du jeu de Fonctions de Réponses en Fréquence mesurées, il est possible de tracer les décroissances spatiales. Une régression linéaire est ainsi calculée afin d'obtenir le taux de décroissance correspondant à chaque bande de tiers d'octave (cf. Figure 5).

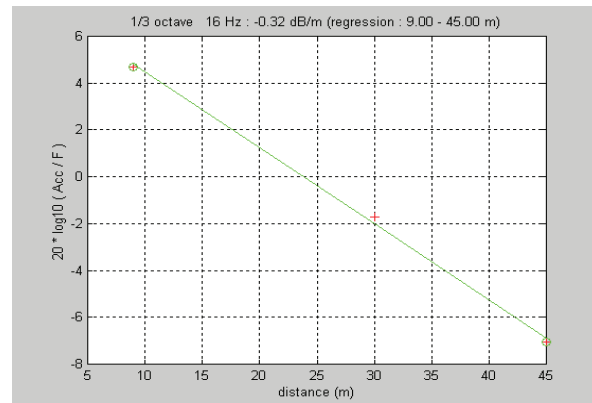


Figure 5 : exemple de décroissance spatiale

5.2. TAUX DE DECROISSANCE PAR ZONE

NB :

Pour les zones 1, 2 et 3, des mesures vibratoires au passage du tramway ont été réalisées, en utilisant les mêmes positions d'accéléromètres que pour les mesures de taux de décroissance. Ces mesures permettent de caractériser l'atténuation des vibrations dans le sol causées par l'excitation du tramway actuel. Ces mesures sont présentées à la suite des taux de décroissance.

La démarche technique concernant le post traitement des mesures est décrite au paragraphe 7 relatif à la phase 4 : Mesure au passage.

5.2.1. Zone 1

Taux de décroissance

La décroissance est mesurée entre le séparateur voie tram-route et le seuil du bâtiment au moyen de 4 accéléromètres.

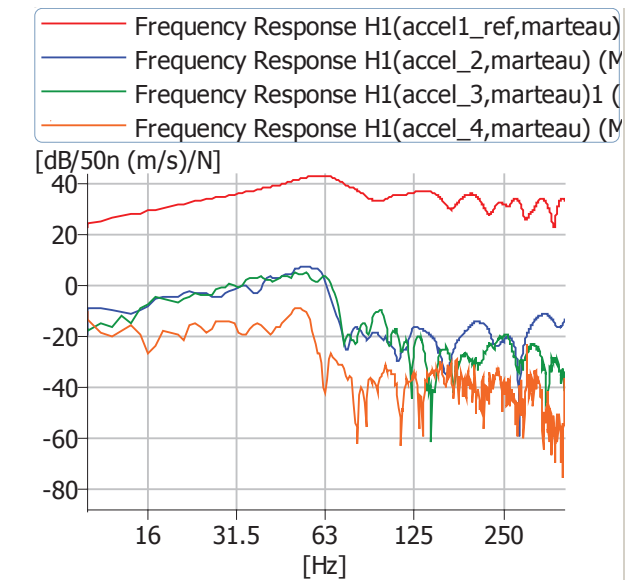


Figure 6 : FRF (vitesse/effort) mesurées au droit de la section n° 1 (en dBv)

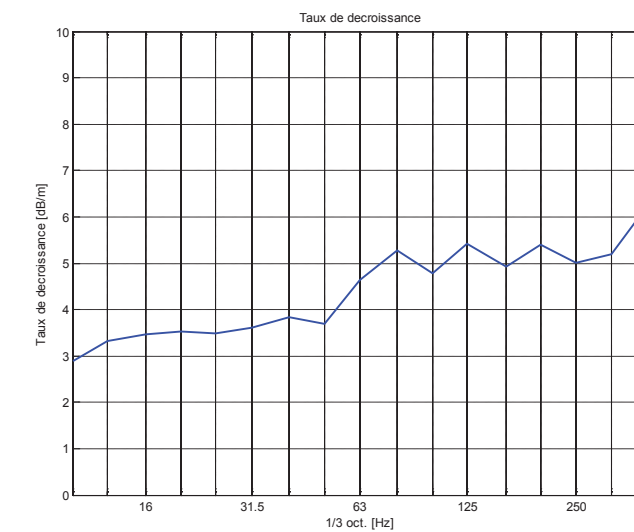
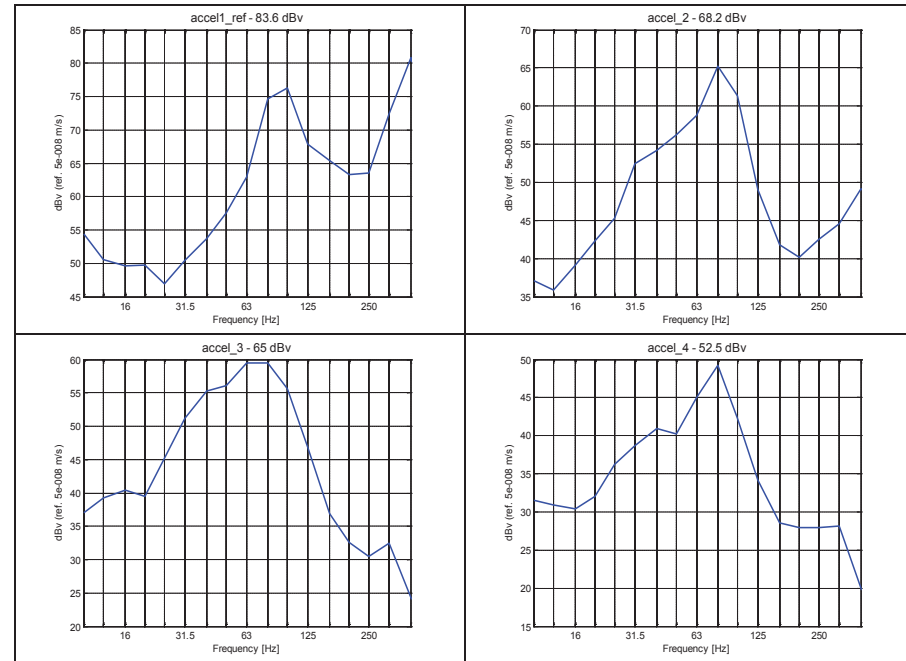


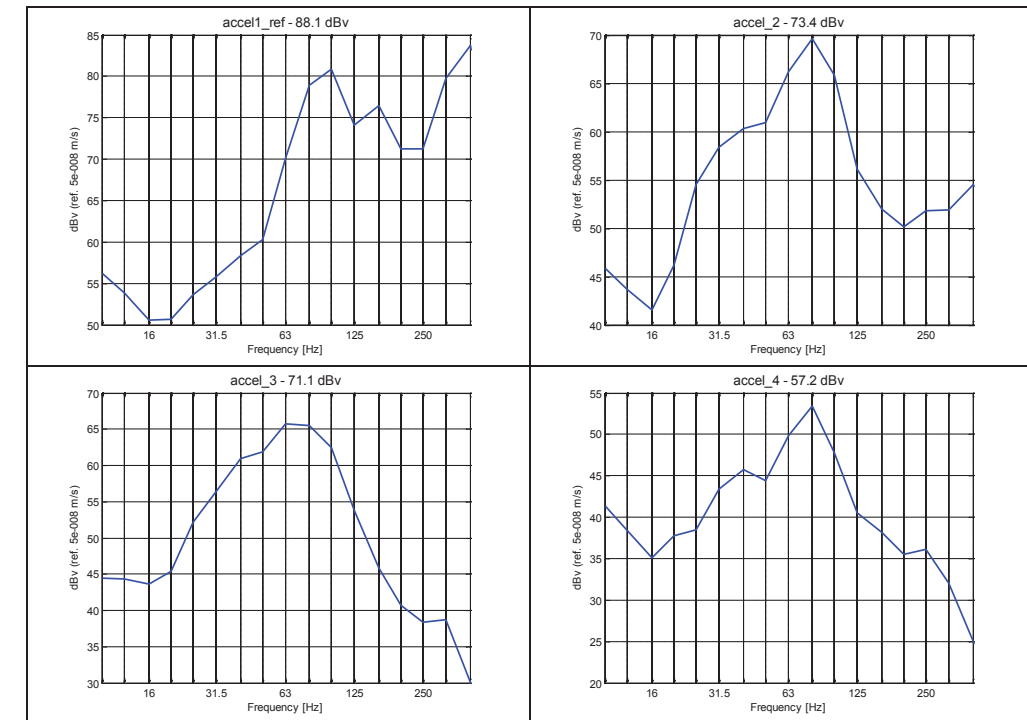
Figure 7 : Taux de décroissance mesuré au droit de la section 1 (dB/m)

Mesures au passage

Les Tableaux 10 et 11 présentent 2 mesures au passage de tramway devant le site n°1.



**Tableau 10 : Mesure au passage n°1. Vitesse de passage : 22 km/h
Position des accéléromètres: Accel_1 à 2.60m, Accel_2 à 8,60m, Accel_3 à 12,30m et Accel_4 à 16,30m**



**Tableau 11 : Mesure au passage n°2. Vitesse de passage : 24 km/h
Position des accéléromètres: Accel_1 à 2.60 m, Accel_2 à 8.60 m, Accel_3 à 12.30 m et Accel_4 à 16.30 m.**

Le niveau de vitesse vibratoire global efficace [10-400] Hz à 2.60 m de la file externe est compris entre 84 dBv et 88 dBv. Le niveau est au maximum des 2 passages à 57 dBv en seuil de bâtiment (inférieur au seuil de sensibilité humaine).

5.2.2. Zone 2

Taux de décroissance

La décroissance est mesurée entre la plate-forme et le seuil du bâtiment au moyen de 4 accéléromètres.

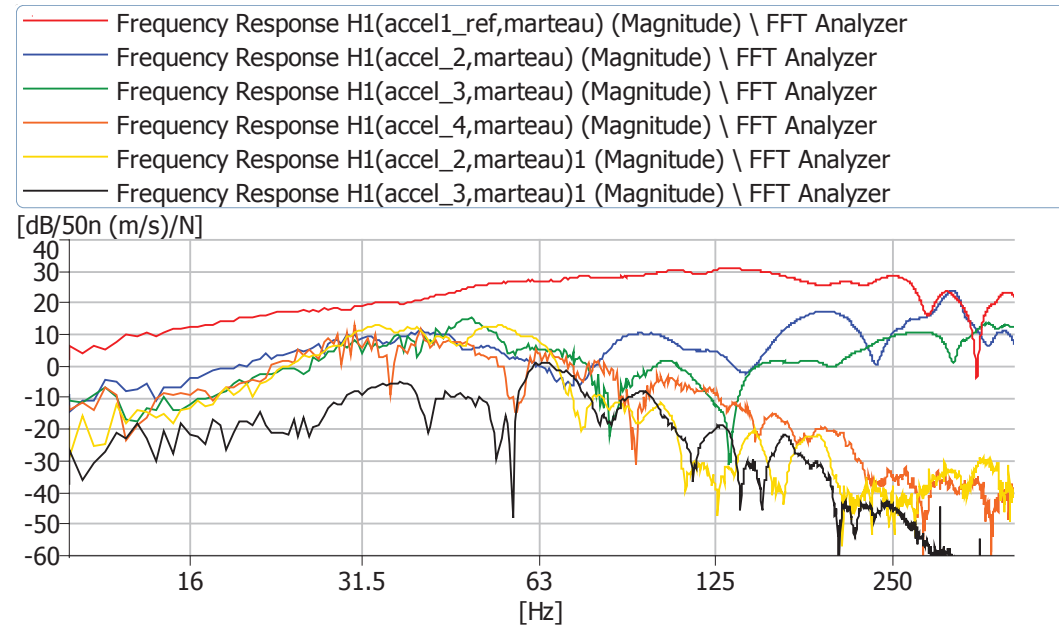


Figure 8 : FRF (vitesse/effort) mesurées au droit de la section n° 2 (en dBv)

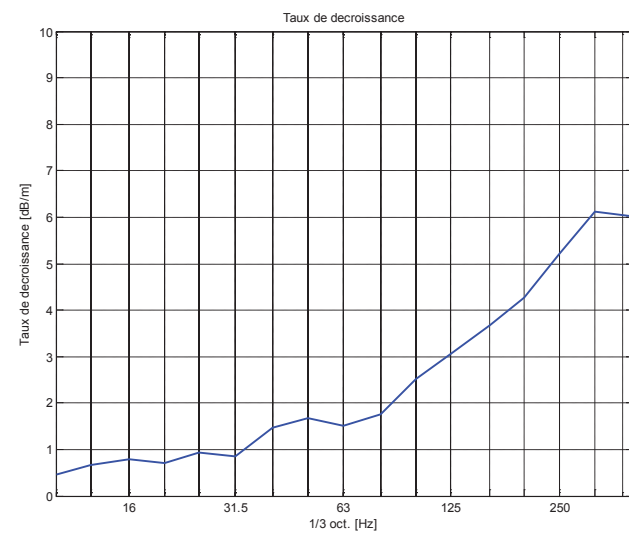


Figure 9 : Taux de décroissance mesuré au droit de la section 2 (dB/m)

Mesures au passage

Le Tableau 12 et le Tableau 13 présentent 2 mesures au passage de tramway devant le site n° 2.

NB : Les positions des accéléromètres n° 2, n° 3 et n° 4 sont différentes pour les 2 passages.

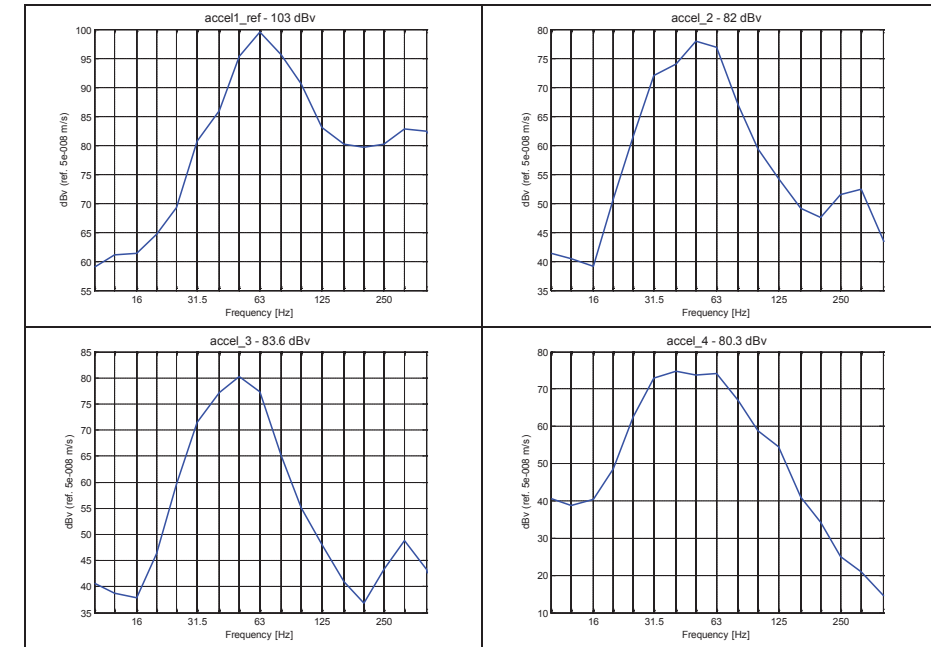


Tableau 12 : Mesure au passage n° 1. Vitesse de passage : 17 km/h
Position des accéléromètres: Accel_1 à 0.6 m, Accel_2 à 3 m, Accel_3 à 6 m et Accel_4 à 9 m

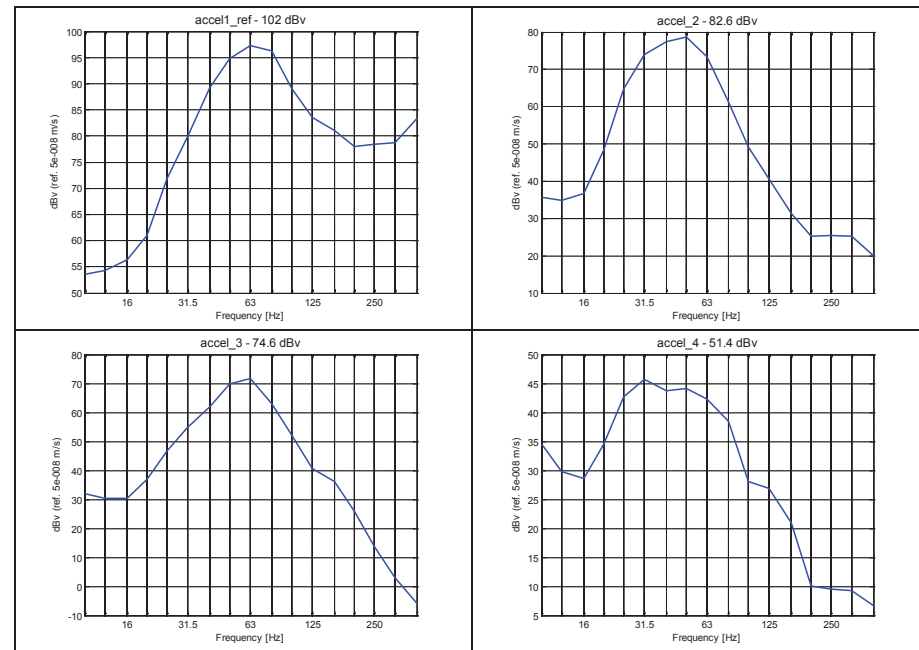


Tableau 13 : Mesure au passage n°2. Vitesse de passage : 14 km/h
Position des accéléromètres : Accel_1 à 0.6 m, Accel_2 à 12 m, Accel_3 à 15 m et
Accel_4 sur la façade du bâtiment

Commentaires :

Le niveau de vitesse vibratoire global efficace [10-400] Hz à 0.60 m de la file externe est compris entre 102 dBv et 103 dBv.

Ce niveau vibratoire est très élevé : il traduit le fait que les états de surface au niveau du rail et des roues sont dégradés.

Le niveau mesuré au seuil du bâtiment est de 74 dBv : cette valeur dépasse le seuil de sensibilité humain. Effectivement, sur cette zone de mesure n° 2, lors du passage du tramway, même à 15 m de la voie, les vibrations sont clairement ressenties par les pieds.

Le niveau de vitesse vibratoire mesuré sur la façade de bâtiment est égal à 51.4 dBv : l'atténuation mesurée entre l'accéléromètre n° 3 et l'accéléromètre n° 4 est due au fait que les ondes de surface, support de l'énergie vibratoire, passent d'un milieu moyennement rigide (le sol en surface) à un milieu très raide (les fondations du bâtiment).

5.2.3. Zone 3

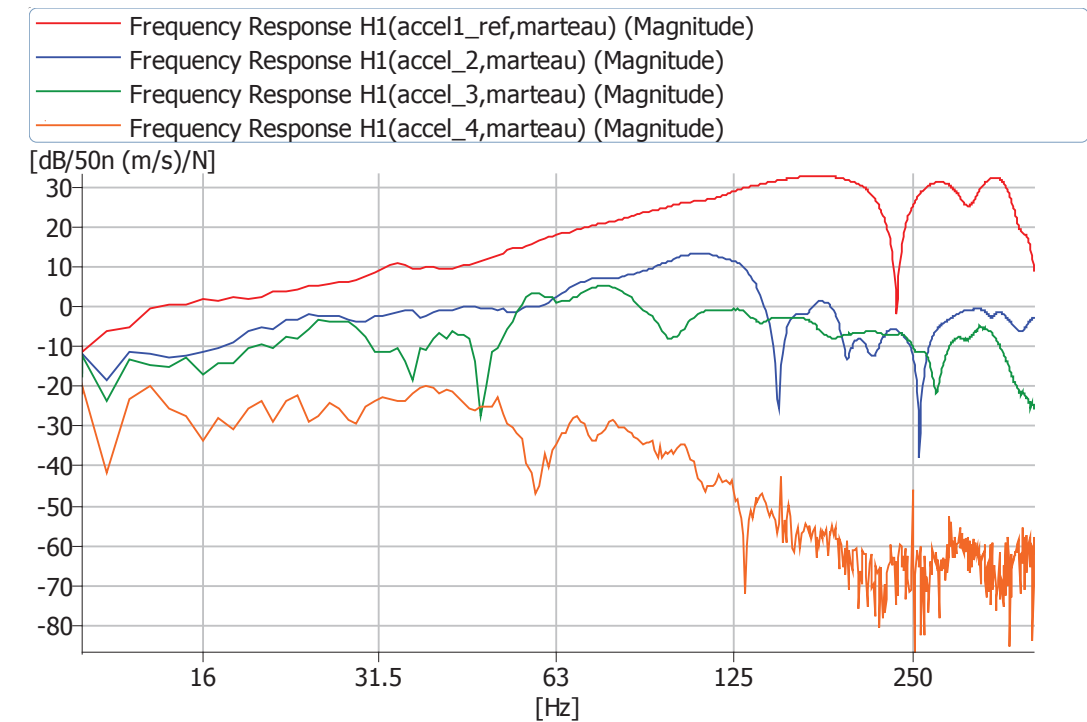


Figure 10 : FRF (vitesse/effort) mesurées au droit de la section n° 3 (en dBv)

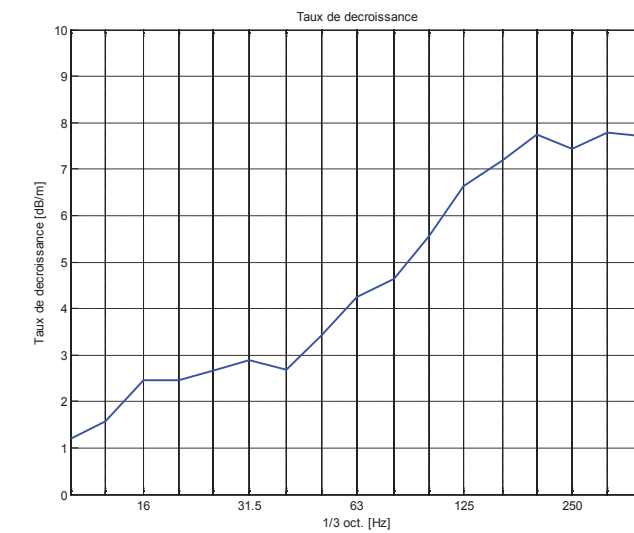


Figure 11 : Taux de décroissance mesuré au droit de la section 3 (dB/m)

Mesures au passage

Les Tableau 14 et Tableau 15 présentent 2 mesures au passage de tramway devant le site n° 3.

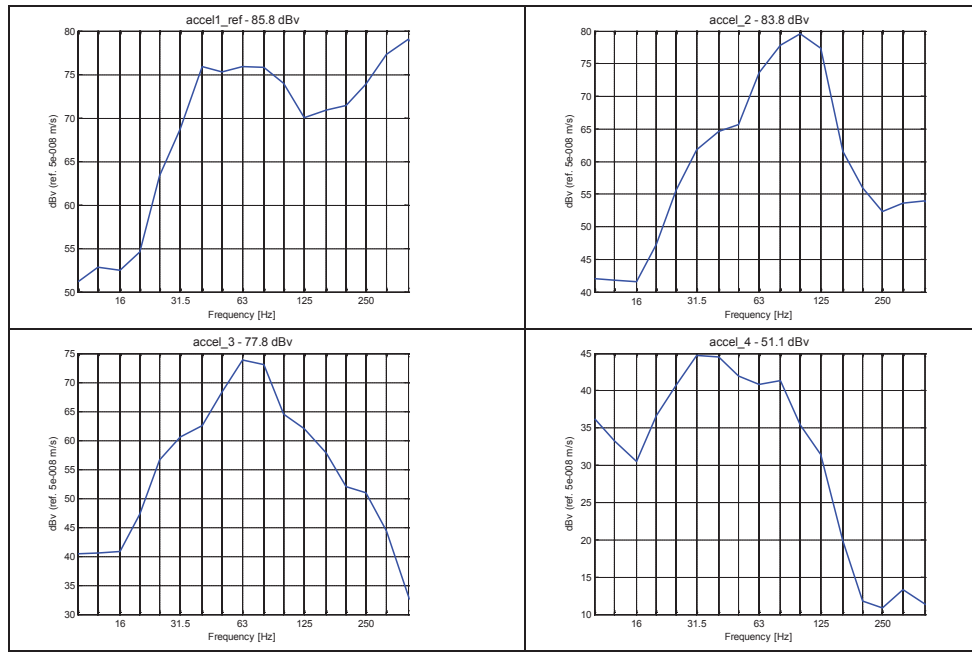


Tableau 14 : Mesure au passage n° 1. Vitesse de passage : 32 km/h
 Position des accéléromètres: Accel_1 à 0.6 m, Accel_2 à 3.5 m, Accel_3 à 5.7 m et Accel_4 sur la façade du bâtiment (11.5 m)

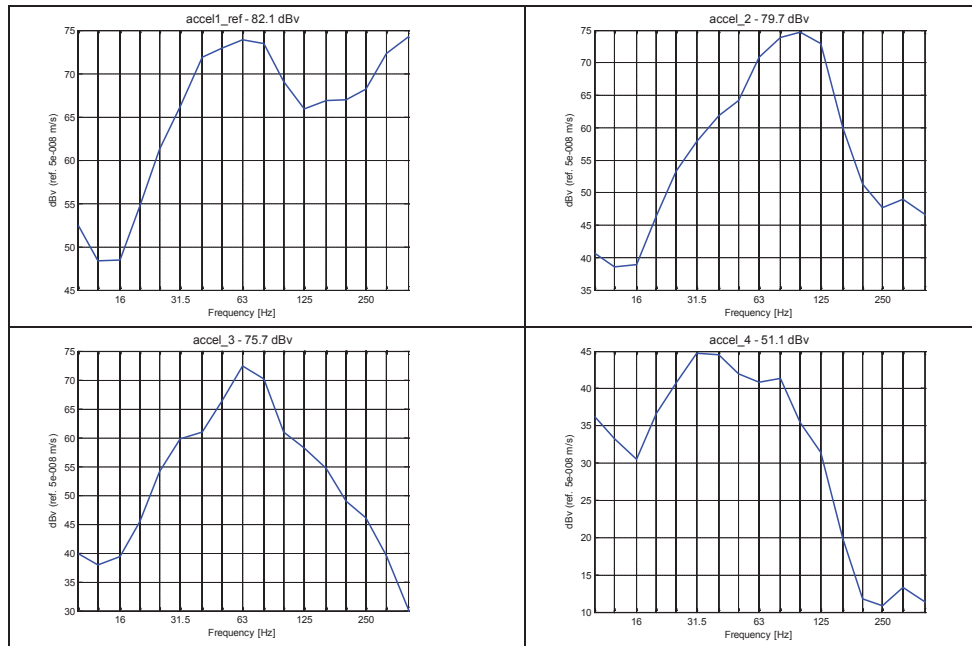


Tableau 15 : Mesure au passage n° 2. Vitesse de passage : 30 km/h
 Position des accéléromètres: Accel_1 à 0.6 m, Accel_2 à 3.5 m, Accel_3 à 5.7 m et Accel_4 sur la façade du bâtiment (11.5 m)

Commentaire :

Le niveau de vitesse vibratoire globale efficace (10-400)Hz à 0.6 m est compris entre 82.5 dBv et 85 dBv. Le niveau en façade de bâtiment à 11.5 m est de 51.1 dBv. L'excitation est principalement concentrée autour du tiers d'octave 63 Hz.

5.2.4. Zone 4

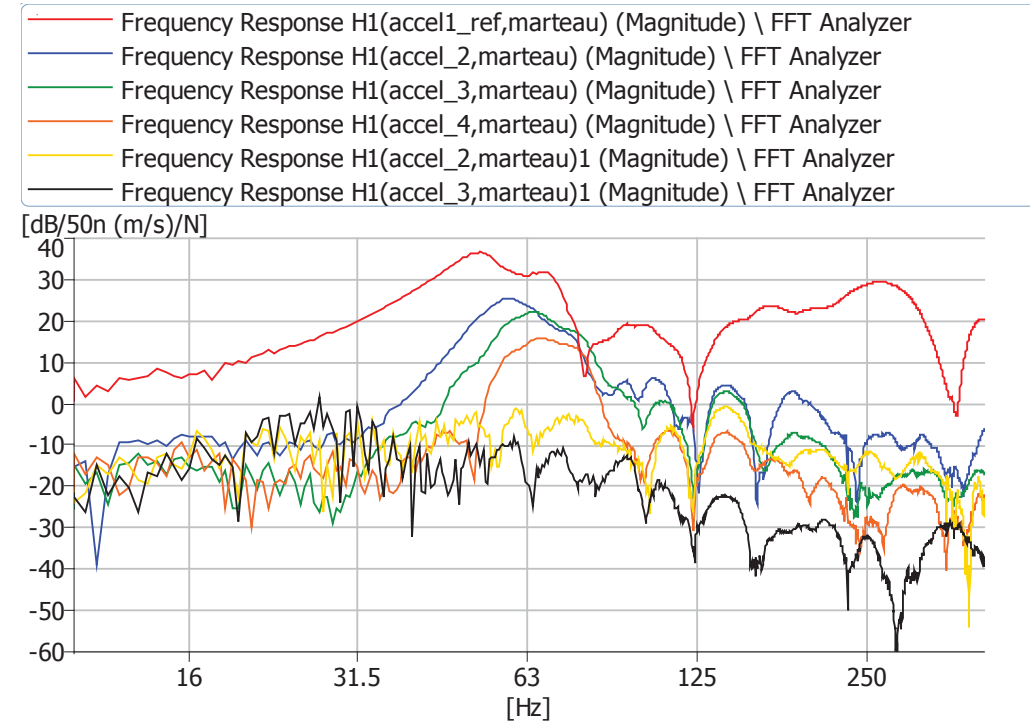


Figure 12 : FRF (vitesse/effort) mesurées au droit de la section n° 4 (en dBv)

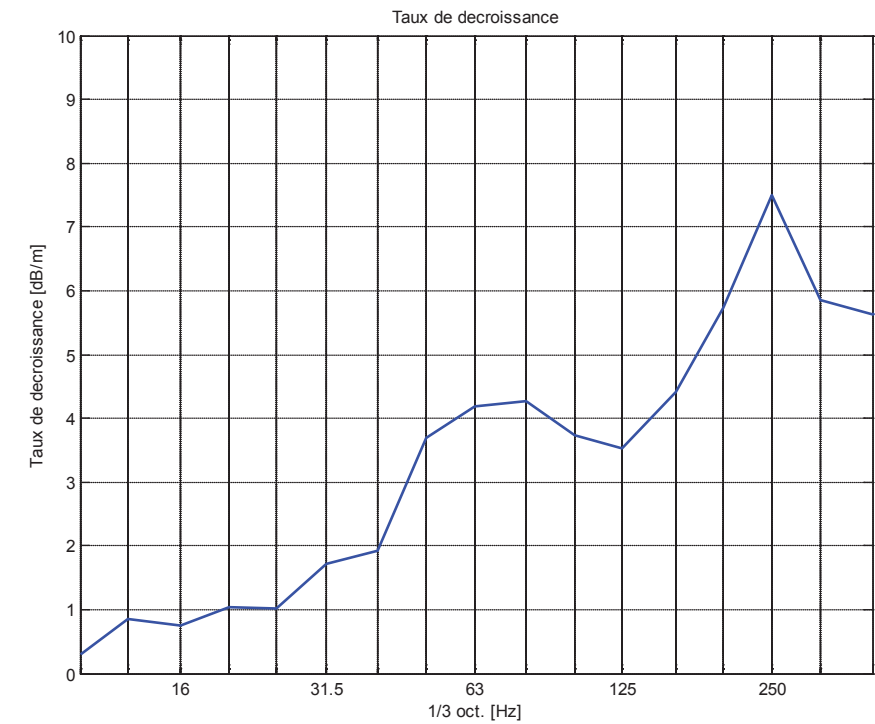


Figure 13 : Taux de décroissance mesuré au droit de la section 4 (dB/m)

5.2.5. Zone 5

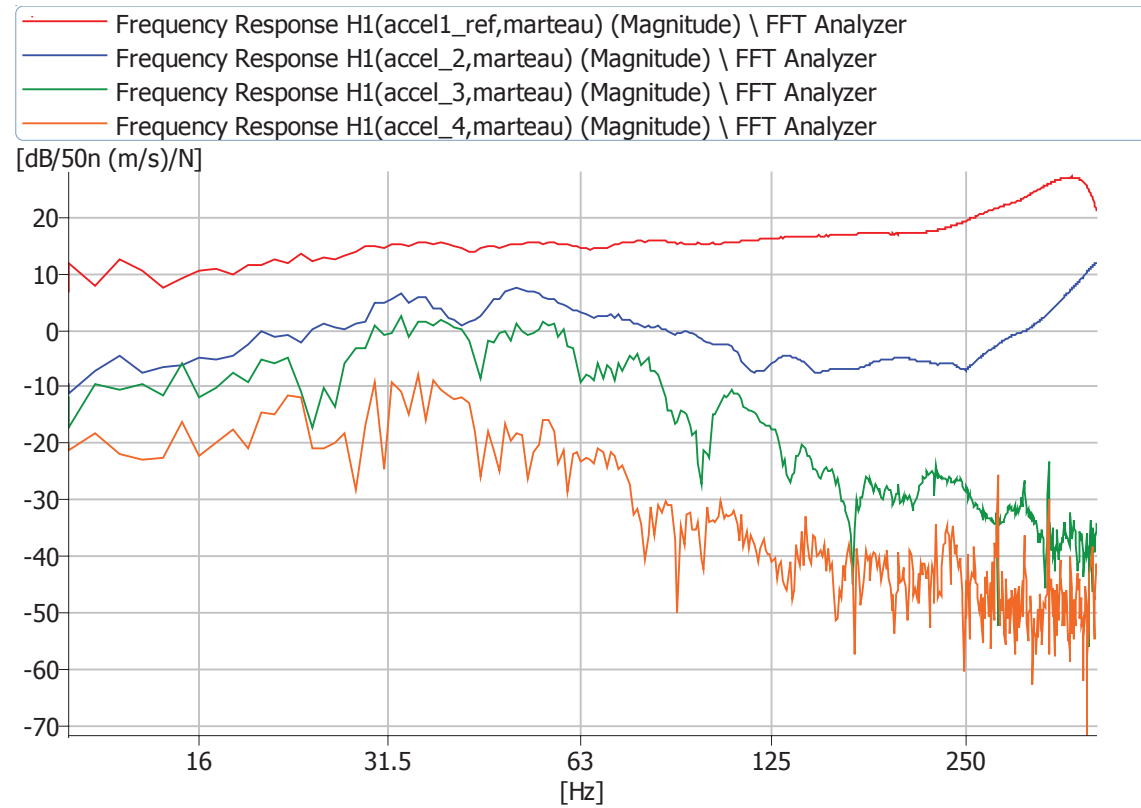


Figure 14 : FRF (vitesse/effort) mesurées au droit de la section n° 5 (en dBv)

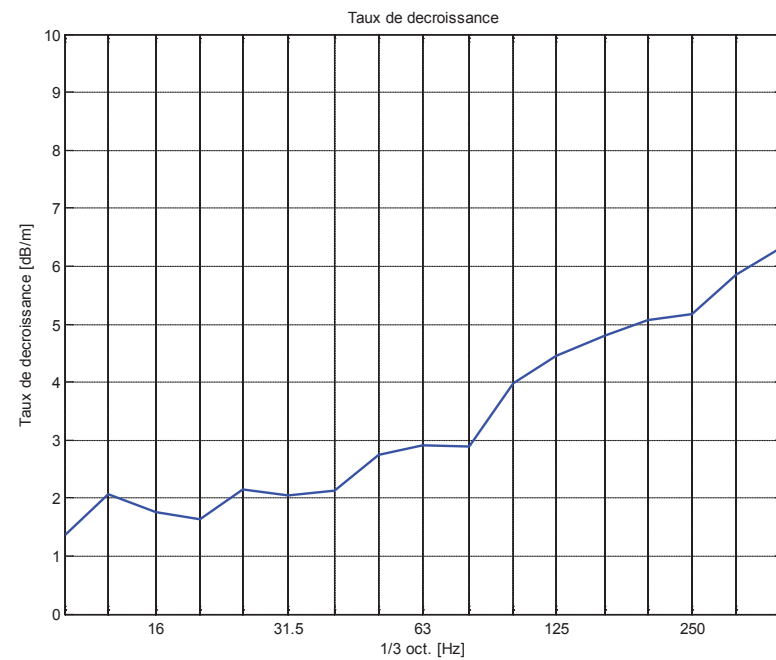


Figure 15 : Taux de décroissance mesuré au droit de la section 5 (dB/m)

5.2.6. Synthèse des mesures de décroissances

Les taux de décroissance dans le sol mesurés sur l'ensemble des zones sont synthétisés sur la Figure 16.

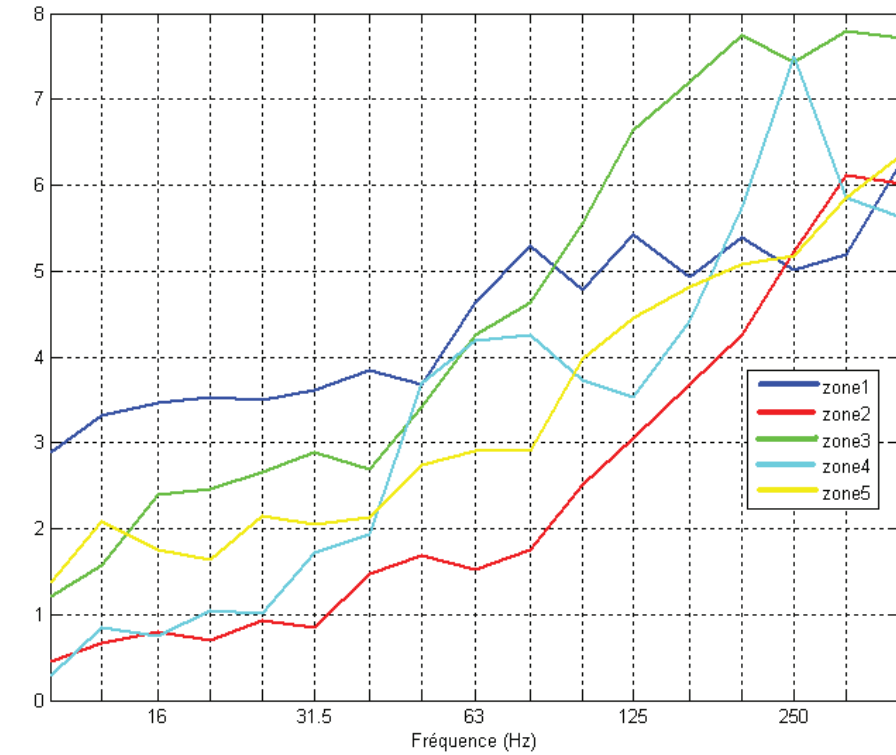


Figure 16 : 5 courbes de Taux de décroissance (dB/m)

Le taux de décroissance mesuré au niveau de la zone n° 2 a des valeurs proches des ordres de grandeur mesurés par VIBRATEC dans les zones périurbaines. Pour les fréquences inférieures à 31.5 Hz, les valeurs mesurées sont faibles et inférieures à 1 dB/m. Au-delà de cette fréquence, les taux de décroissances augmentent avec la fréquence, atteignent un taux d'environ 1-2 dB/m vers 63 Hz, et augmentent jusqu'à 5-7 dB/m vers 250-400 Hz.

Les taux de décroissances mesurés sur les autres sites présentent des valeurs plus importantes qui peuvent s'expliquer par les aménagements urbains de surface (transition de revêtement, plaques d'égout, etc.) qui introduisent des ruptures d'impédance vibratoire.

Pour obtenir des résultats dimensionnants, les estimations de niveaux vibratoires et acoustiques dans les habitations seront calculées à partir du taux de décroissance de la zone 2.

6. PHASE 3 : MESURE DES TRANSFERTS VIBRATOIRES DES BATIMENTS LES PLUS PROCHES (SEUILS VERS DALLES)

La réalisation de cette mesure est directement dépendante de l'accessibilité à l'intérieur des bâtiments. Seuls 2 riverains ont permis de réaliser cette mesure (Zone 1 et Zone 3).

Ces mesures ont été réalisées avec une masse tombante de 100 kg au seuil du bâtiment.

Ces mesures de transferts sont utiles en phase 6 pour l'estimation des niveaux acoustiques et vibratoires chez les riverains.

6.1. ZONE 1

La Photo 8 présente l'emplacement de la masse tombante et des capteurs au seuil du bâtiment. La Photo 9 présente l'emplacement des capteurs (Micro+accéléromètre) dans la chambre du riverain au 3^{ème} étage.

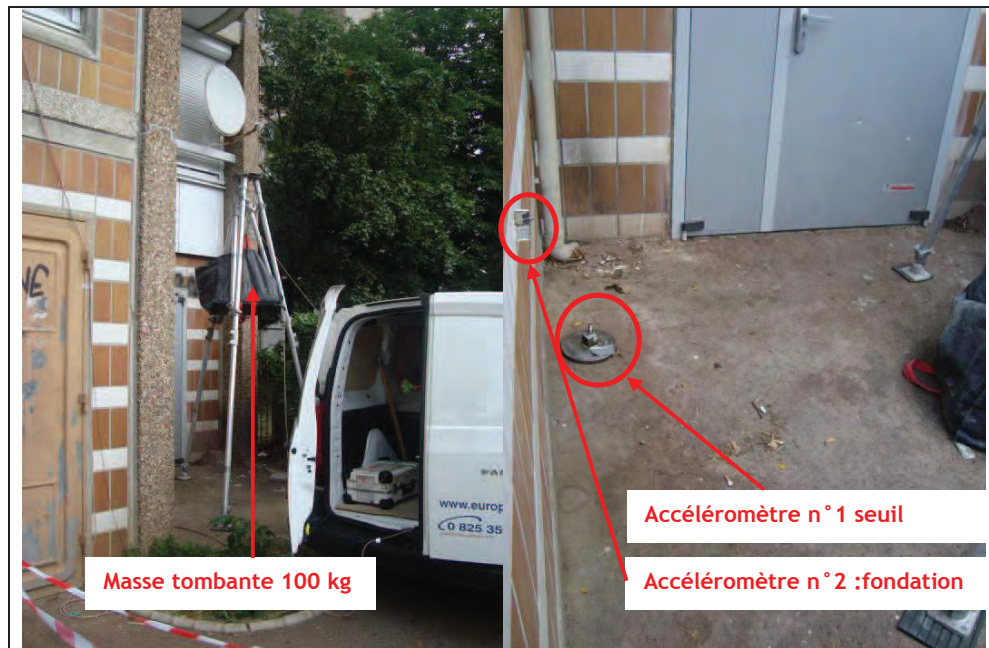


Photo 8 : Mesure de transfert seuil bâtiment

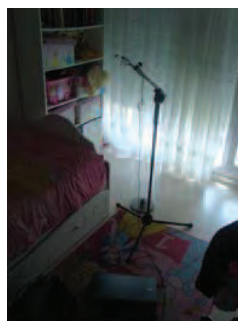


Photo 9 : Accéléromètre n°3 chambre riverain et microphone

La Figure 17 présente :

- la fonction de transfert (rapport des accélérations) entre les accéléromètres n°2 (fondation) et l'accéléromètre n°1 (au seuil) en rouge,
- la fonction de transfert entre les accéléromètres n°4 (chambre) et l'accéléromètre n°1 (au seuil) en bleu.

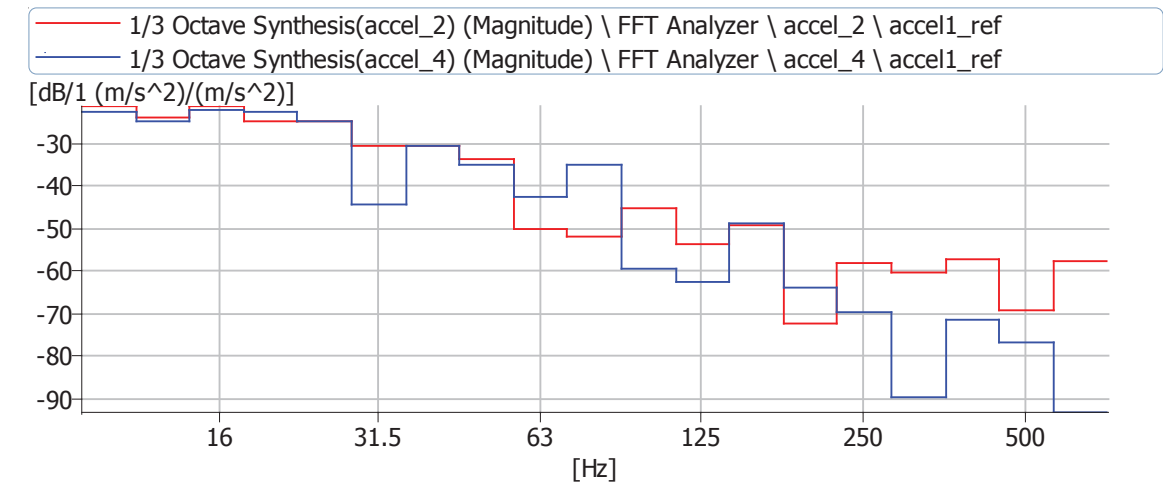


Figure 17 : Transfert vibratoire (rapport des accélérations)
accéléromètres n°2 (fondation) et l'accéléromètre n°1 (au seuil)
accéléromètres n°4 (chambre) et l'accéléromètre n°1 (au seuil)

La Figure 18 présente la fonction de transfert (pression acoustique/accélération) entre le micro (chambre) et l'accéléromètre n°1 (au seuil) en rouge.

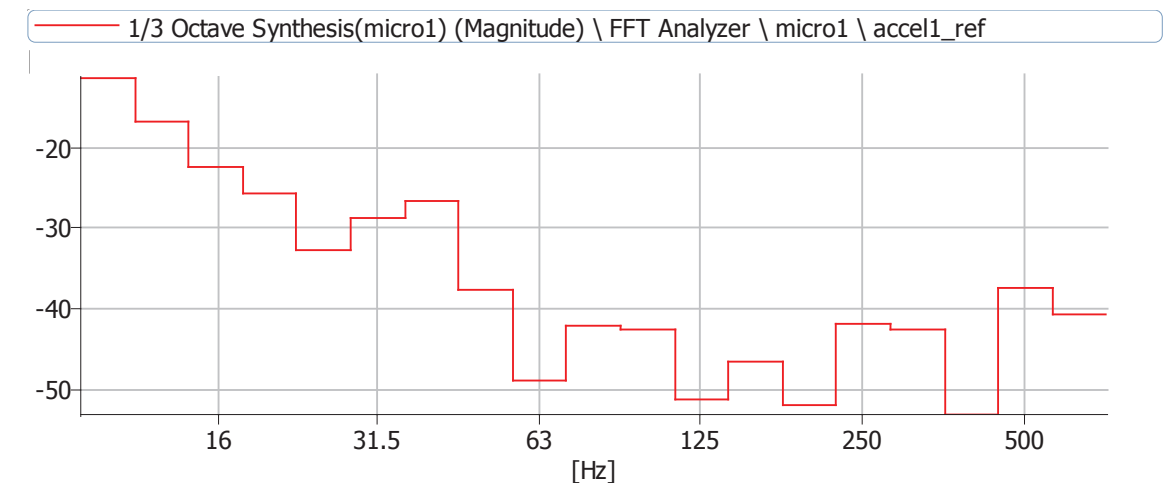


Figure 18 : Transfert vibro-acoustique en dB (réf 400 Pa/(m/s)) (Pression/accélération)

6.2. ZONE 3

La Photo 10 présente l'emplacement de la masse tombante et des capteurs au seuil du bâtiment. La Photo 11 présente l'emplacement des capteurs (Micro+accéléromètre) dans la chambre du riverain au 7^{ème} étage.

NB : des mesures vibratoires et acoustique au passage du tramway ont également été réalisées, en utilisant les mêmes positions d'accéléromètres. Ces mesures permettent de connaître le niveau vibratoire au 7^{ème} étage au passage d'un tramway. La démarche technique concernant le post traitement des mesures est décrite au paragraphe 7 relatif à la phase 4 : Mesure au passage.

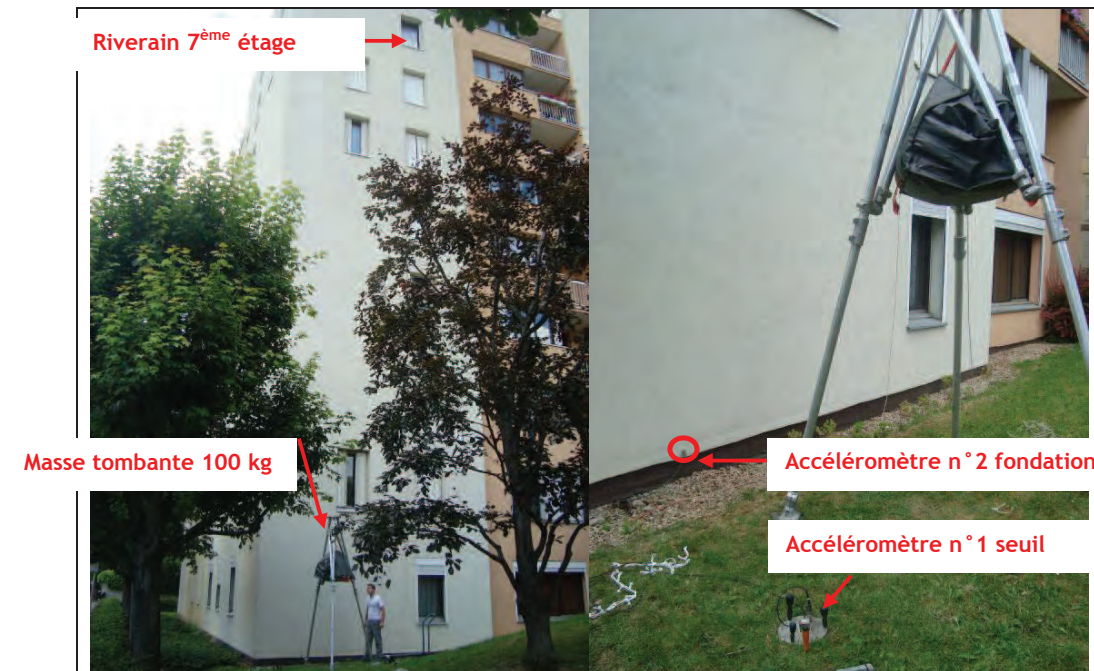


Photo 10 : Mesure de transfert seuil bâtiment

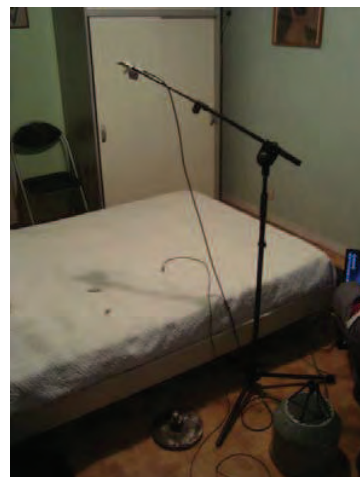


Photo 11 : Accéléromètre n°3 « chambre riverain » et microphone

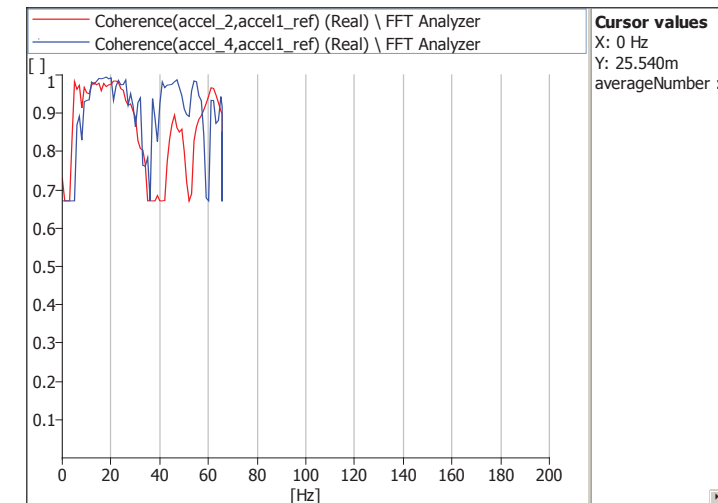


Figure 19 : fonction de cohérence relative à la mesure de transfert entre le seuil et la chambre en zone 3. Transfert entre **accéléromètres n°2 (fondation) et l'accéléromètre n°1 (au seuil)**

accéléromètres n°4 (chambre) et l'accéléromètre n°1 (au seuil)

La Figure 20 présente :

- la fonction de transfert (rapport des accélérations) entre les accéléromètres n°2 (fondation) et l'accéléromètre n°1 (au seuil) en rouge,
- la fonction de transfert entre les accéléromètres n°4 (chambre) et l'accéléromètre n°1 (au seuil) en bleu.

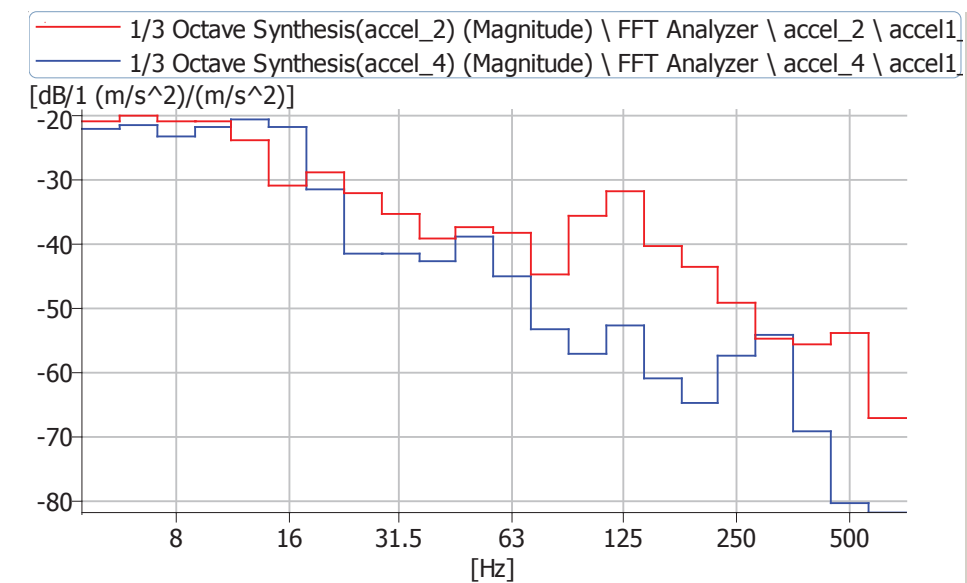


Figure 20 : Transfert vibratoire (rapport des accélérations) **accéléromètres n°2 (fondation) et l'accéléromètre n°1 (au seuil)** **accéléromètres n°4 (chambre) et l'accéléromètre n°1 (au seuil)**

La Figure 21 présente la fonction de transfert (pression acoustique/accélération) entre le micro (chambre) et l'accéléromètre n°1 (au seuil) en rouge.

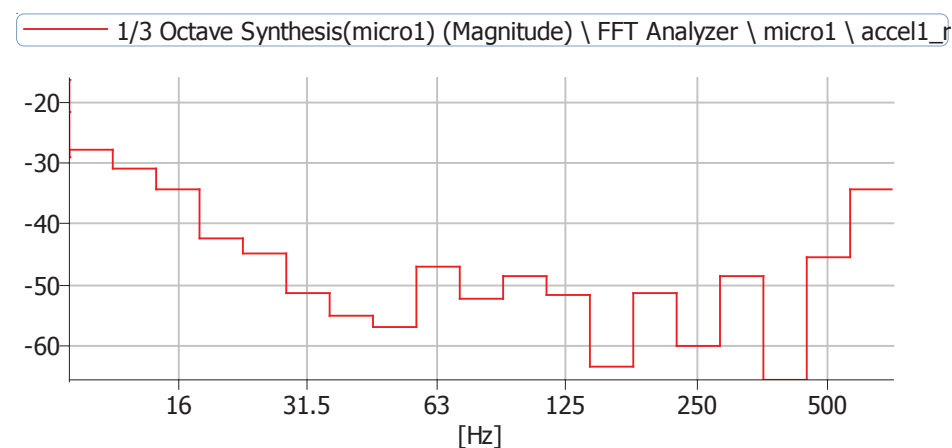


Figure 21 : Transfert vibro-acoustique en dB(réf 400 Pa/(m/s)) (Pression/accélération)

Mesure au passages

Le Tableau 16 et le Tableau 17 présentent les spectres de vitesse vibratoire (dBv réf 5×10^{-8} m/s) et les spectres acoustiques (dBA réf 2×10^{-5} Pa) pour 2 passages du tramway existant de la plate-forme jusqu'à la chambre du 7^{ème} étage.

Au dessus de chaque spectre est présenté le niveau global efficace (10-400 Hz pour la vibration) et (10-5000 Hz pour l'acoustique).

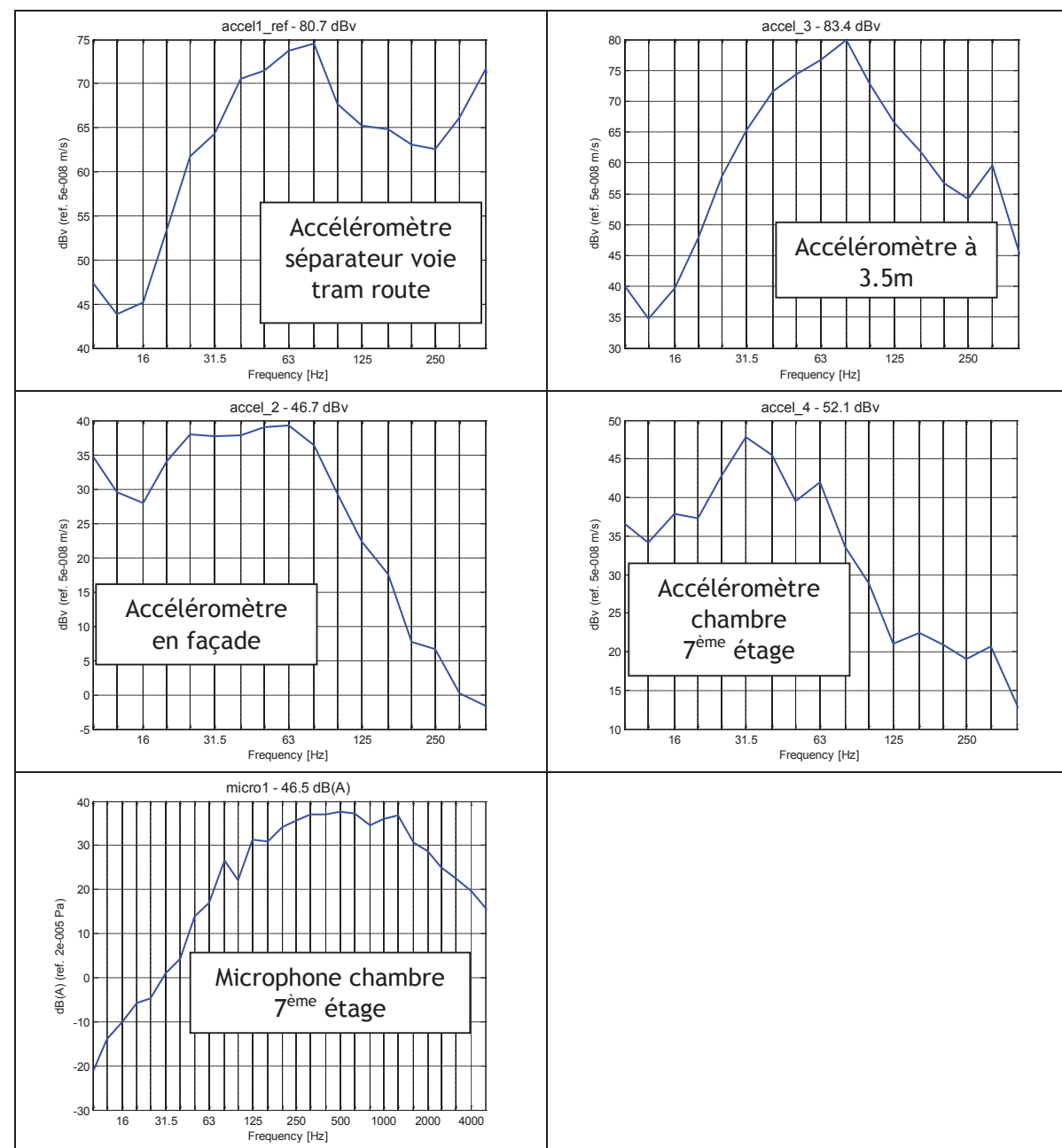
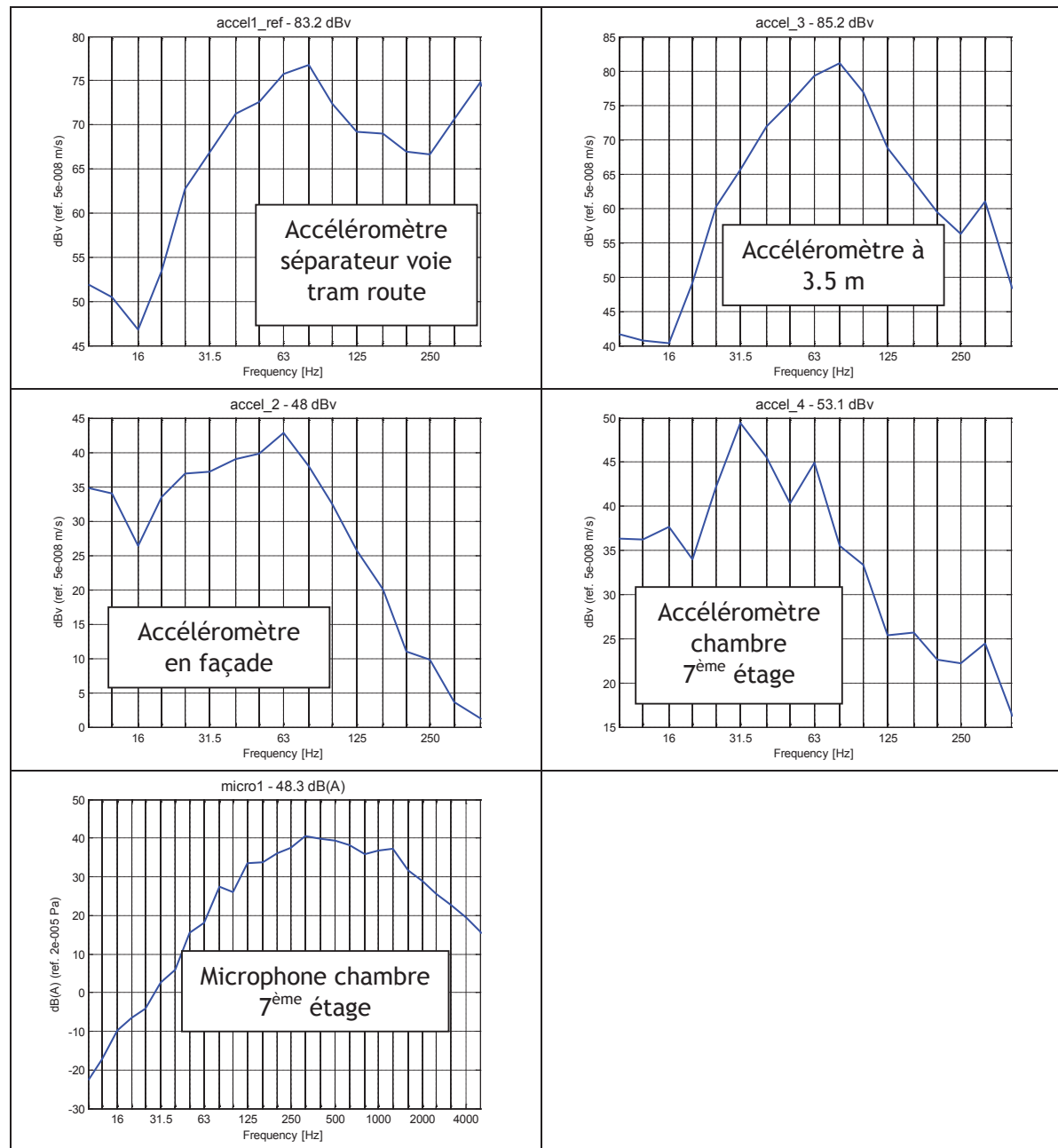


Tableau 16 : Mesures au passage. Spectre de vitesse vibratoire (dBv réf 5×10^{-8} m/s)
Spectre acoustique (dBA réf 2×10^{-5} Pa)



**Tableau 17 : Mesures au passage. Spectre de vitesse vibratoire (dBv réf 5 x 10⁻⁸ m/s)
Spectre acoustique (dBA réf 2 x 10⁻⁵ Pa)**

Commentaires :

Les mesures montrent que :

- les niveaux vibratoires ne dépassent pas le seuil de sensibilité humaine (66 dBv) pour l'accéléromètre en façade et l'accéléromètre au 7^{ème} étage,
- le niveau global au passage est plus élevé dans la chambre qu'au niveau de la façade. Ceci est causé par une émergence vibratoire autour de 31 Hz, liée probablement à un mode de plancher,
- la pression acoustique au 7^{ème} étage est mesurée autour de 48.5 dBA (composition solido-aérienne).

NB :

Les niveaux de bruit limites en dB(A) à l'intérieur de locaux lors du passage d'un train (bruit maximal) sont définis en termes de bruit maximal au passage en dBA par les valeurs du tableau suivant :

	Habitat	Bureaux	Commerce
Jour	35	45	55
Nuit	30		

Tableau 18 : Niveaux de bruit limites (bruit maximal) en dBA au passage d'un train

Des niveaux plus forts peuvent être acceptés si le bruit ambiant est en permanence plus important : ainsi l'OMS propose, dans un document intitulé *Résumé d'orientation des Directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement*, les critères suivants :

« Pour éviter les troubles du sommeil, le niveau sonore équivalent ne devrait pas excéder 30 dBA pour le bruit de fond continu (LpA_{eq}), et des niveaux de bruit excédant 45 dBA (LpAF_{max}) devraient être évités. »

Ainsi, dans la configuration existante, même ce second critère est dépassé.

7. PHASE 4 : MESURE D'EFFORTS INJECTES PAR LE NOUVEAU MATERIEL ROULANT

7.1. DEMARCHE TECHNIQUE

Ces mesures ont été réalisées sur la ligne T2 entre les stations « Porte d'Issy » et « Porte de Versailles » sur laquelle circulent les futures rames. La section de mesure est située sur la ligne droite entre la station « Porte d'Issy » et le virage à 90° qui amène sur la station « Porte de Versailles », voir Photo 12.

La consigne de vitesse à respecter est de 45 km/h maximum.



Photo 12 : Emplacement des mesures au passage

L'instrumentation (voir Photo 13 et Photo 14) se compose de :

- 1 accéléromètre sur plate-forme (60 cm de la file externe) en direction verticale,
- 1 accéléromètre à 3 m de la file externe, en direction verticale.

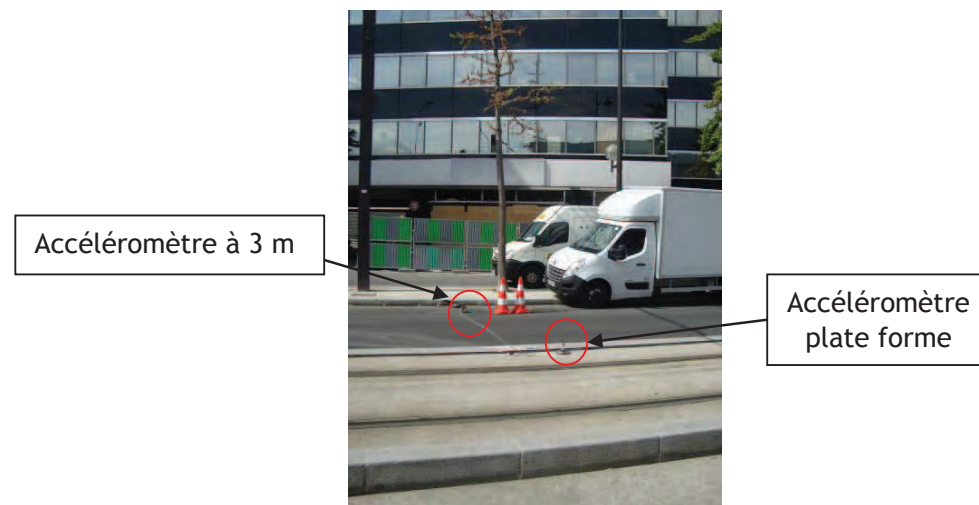


Photo 13 : Instrumentation pour mesure au passage



Photo 14 : Accéléromètre plate-forme

Conformément à la norme ISO 3095, l'évolution du niveau global en fonction du temps est tracée. Elle permet de déterminer la période T de moyennage nécessaire au calcul du niveau global au passage (T : temps entre le point situé 10 dB en dessous du pic correspondant au passage du 1^{er} bogie et celui situé 10 dB en dessous du passage du dernier bogie) (voir Figure 22).

Concernant la présentation des résultats, les spectres de vitesses vibratoires sont tracés par bande de tiers d'octave. Les niveaux vibratoires globaux au passage sont calculés dans la bande fréquentielle [10-400] Hz. Les vitesses vibratoires sont exprimées en dBv.

Le niveau de vitesse vibratoire Lv est défini par la formule suivante :

$$L_v = 20 \log (V/V_0),$$

V étant la vitesse vibratoire RMS mesurée dans la bande [10-400] Hz et V₀ étant la vitesse de référence (5.10⁻⁸ m/s).

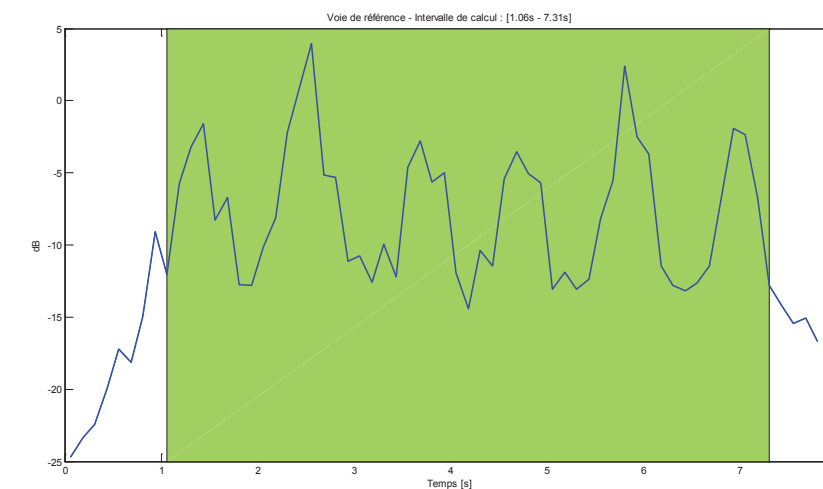


Figure 22 : Définition de l'intervalle de mesure au passage d'un tram ligne T2

7.2. VERIFICATION DU TYPE DE POSE AVANT MESURE AU PASSAGE

Avant les mesures au passage, une vérification de la pose a été effectuée au moyen d'une mesure d'impédance de la plate forme et d'une mesure de réceptance sur le rail.

La mesure d'impédance (choc à la masse d'impact sur la plate-forme et réponse sur la plate-forme) est présentée Figure 23 en N/(m/s).

Les impédances sont généralement comparées à la valeur d'impédance d'une dalle béton de 30 cm : $1,6 \times 10^6$ N/(m/s).

On considère une impédance :

- Très faible en dessous de 10^5 N/(m/s)
- Faible entre 10^5 et 10^6 N/(m/s)
- Moyenne de 10^6 à 10^7 N/(m/s)
- Forte au dessus de 10^8 N/(m/s)

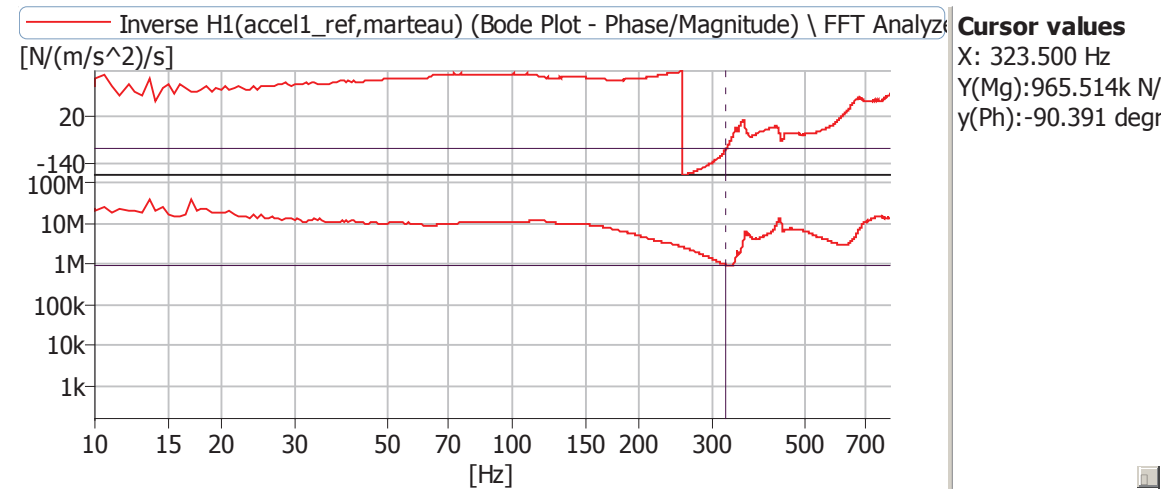


Figure 23 : Impédance (N/m/s) plate-forme

L'impédance est comprise entre 10 et 30×10^6 N/(m/s).

Le premier mode de plate-forme est mesuré autour de 320 Hz.

La Figure 24 présente la mesure de réceptance exprimée en m/N (choc et réponse sur le rail). Cette mesure permet de donner la raideur approximative de la pose de voie, qui se situe ici à 160×10^6 N/m et la fréquence de découplage du rail sur la plate-forme, qui se situe ici autour de 170 Hz.

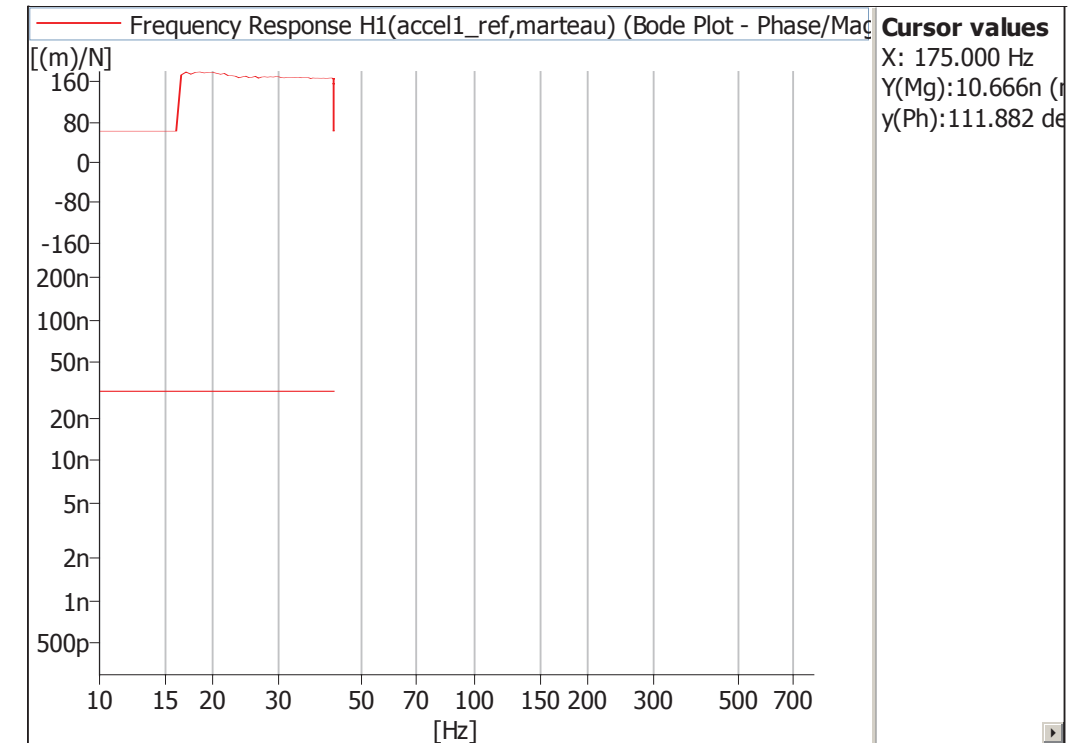


Figure 24 : Réceptance de la voie (m/s)

Ces 3 critères (valeur d'impédance de plate-forme, raideur de pose, et découplage du rail sur plate-forme) permettent de conclure que la section de mesure est réalisée au droit d'une pose relativement rigide sans singularité spécifique.

7.3. MESURES AU PASSAGE

Le Tableau 19 présente les niveaux globaux de vitesse vibratoire au niveau des 2 points de mesure, sur la bande fréquentielle [10-400] Hz pour l'ensemble des passages mesurés. Les spectres de vitesse vibratoire en 1/3 octave sont présentés pour chacun des passages dans les Tableau 20 à Tableau 25.

Lv Pass-By en dBv [10-400] Hz (référence dB 5 x 10 ⁻⁸ m/s) Porte d'Issy-Porte de Versailles			
Passage n°	Vitesse passage (km/h)	Accéléromètre plate-forme	Accéléromètre à 3 m de la file externe
1	26	78.8	60.2
2	41	81	63.3
3	41	82.4	62.6
4	37	82	63.7
5	40	83.2	64.7
6	40	83.2	62.6

Tableau 19 : Synthèse des niveaux globaux efficaces de vitesse vibratoire au passage

Commentaires :

- le spectre de vitesse vibratoire est typique du matériel Citadis avec une émergence vibratoire en basse fréquence autour de 31 Hz, et en haute fréquence autour de 250 Hz,
- les niveaux de vitesse vibratoire sur plate-forme à retenir pour ces mesure sont compris entre 81 dBv et 83 dBv,
- les niveaux de vitesse vibratoire à 3 m à retenir pour ces mesures sont compris entre 62 dBv et 64 dBv,
- en mettant de côté le passage n°1 où la vitesse de passage est faible, les niveaux sont homogènes.

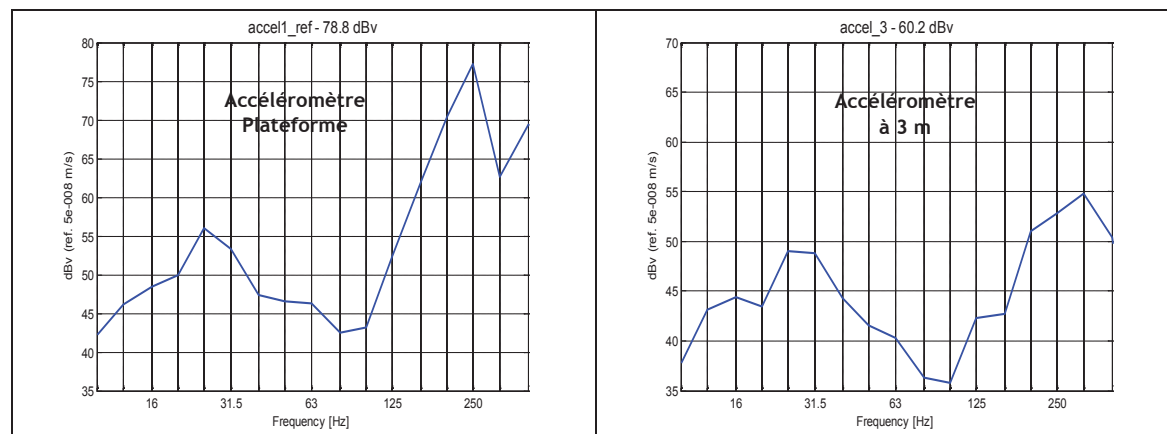


Tableau 20 : Tram n° 1 : Vitesse de passage 26 km/h

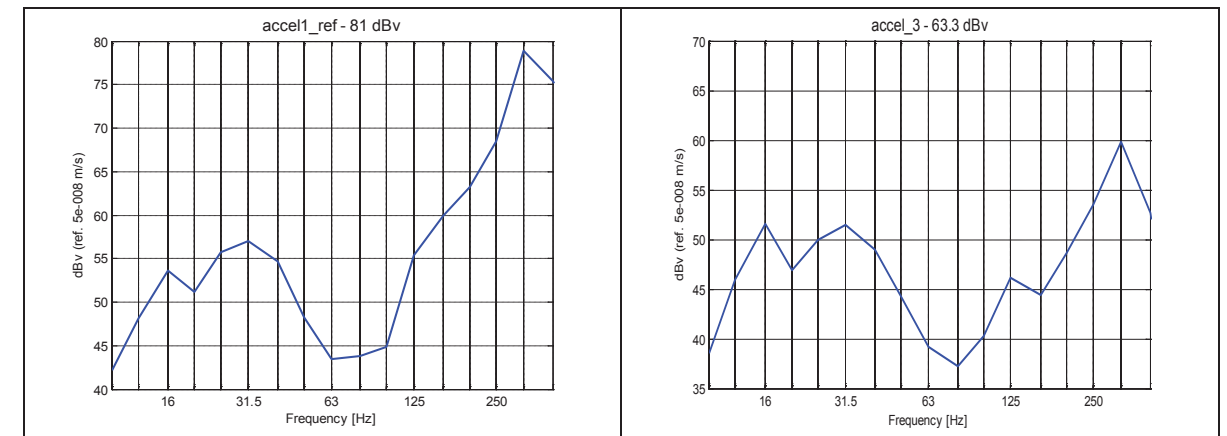


Tableau 21 : Tram n° 2 : Vitesse de passage 41 km/h

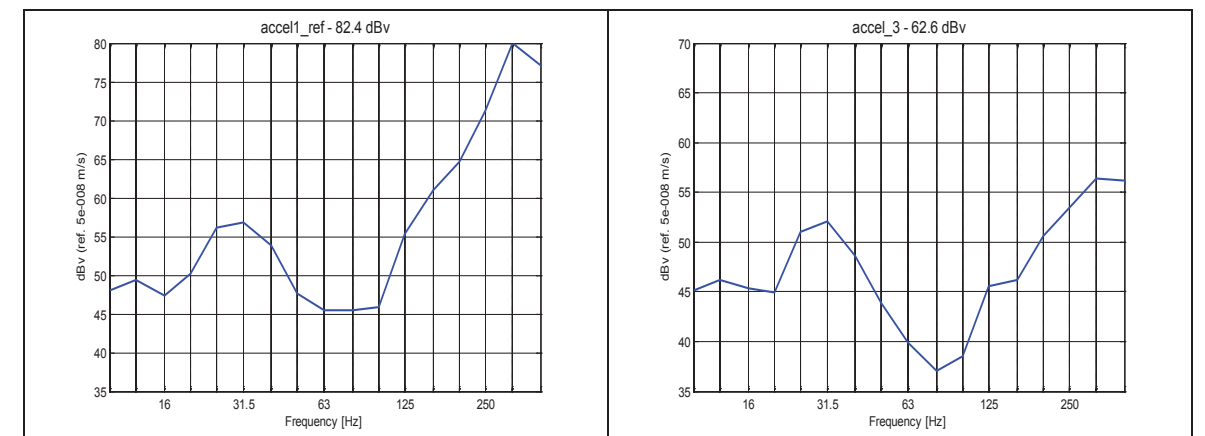


Tableau 22 : Tram n° 3 : Vitesse de passage 41 km/h

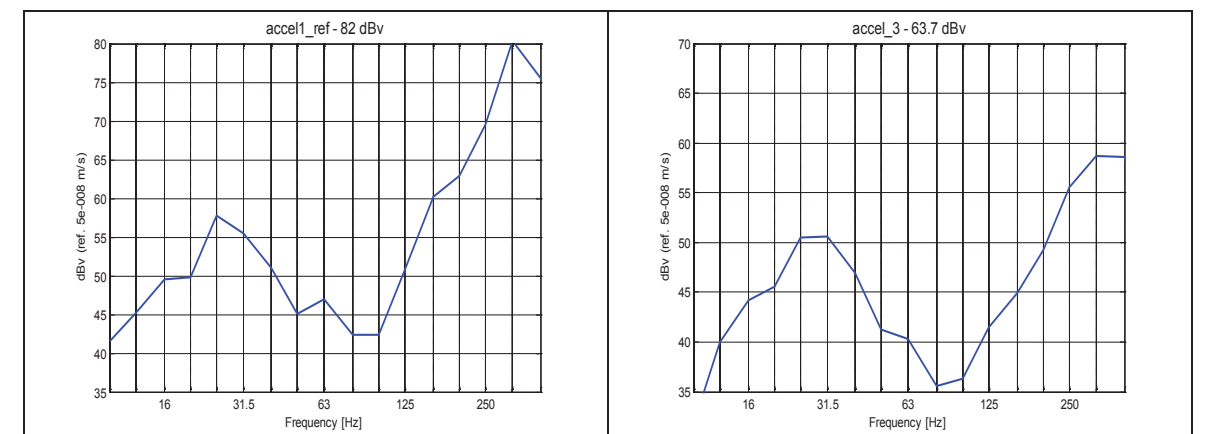


Tableau 23 : Tram n° 4 : Vitesse de passage 37 km/h

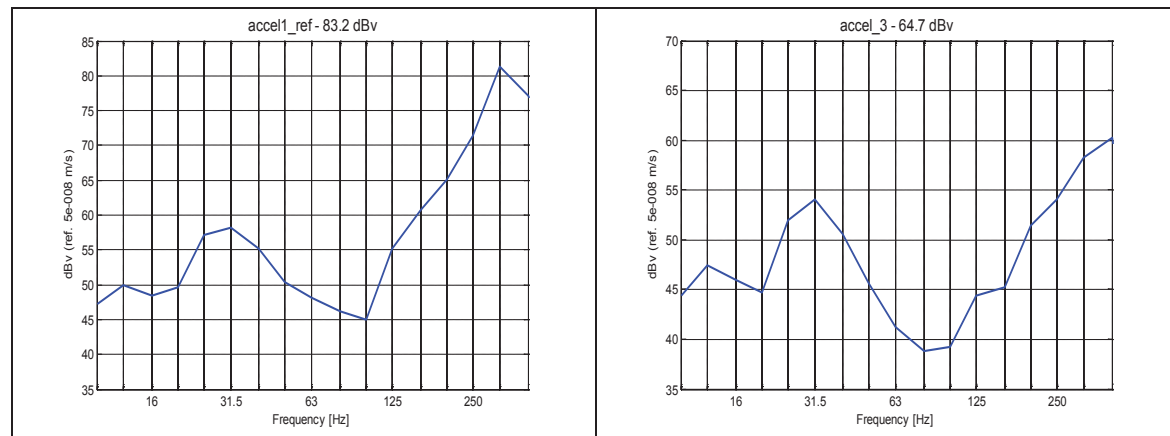


Tableau 24 : Tram n° 5 : Vitesse de passage 40 km/h

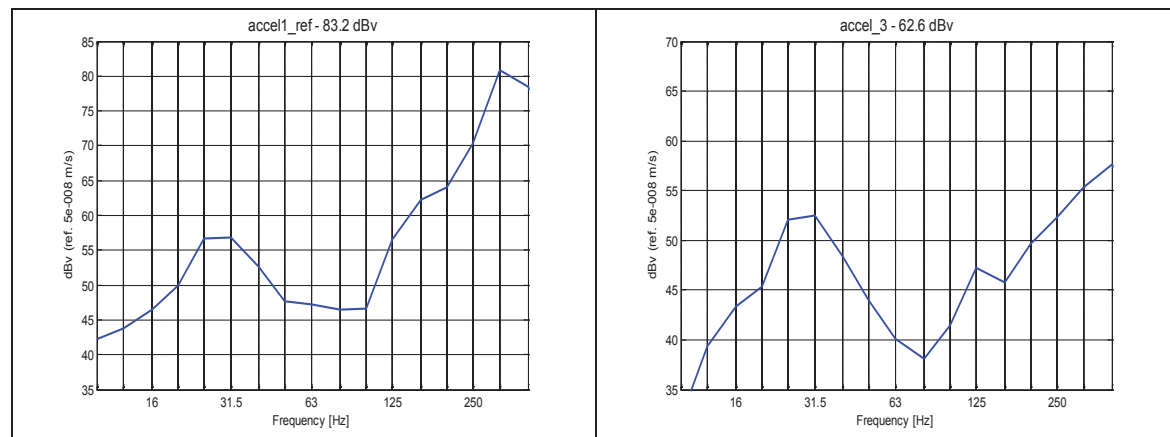


Tableau 25 : Tram n° 6 : Vitesse de passage 40 km/h

8. PHASE 5 : MESURE DES PROPRIETES ACOUSTIQUES CHEZ DES RIVERAINS

Ce paragraphe présente les mesures de temps de réverbération réalisées chez les riverains des zones 1 et 3. La méthode utilisée est la méthode de la source arrêtée. Le temps de réverbération est calculé à partir de la moyenne de 2 configurations source-2 microphones.

8.1. RIVERAIN ZONE 1

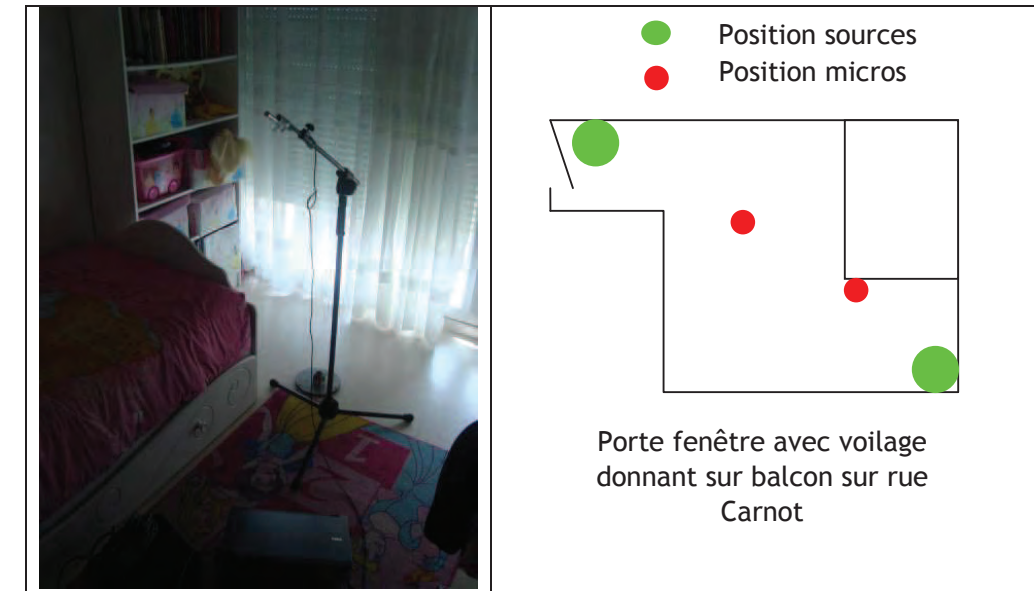


Tableau 26 : Mesure du temps de réverbération riverain Zone 1

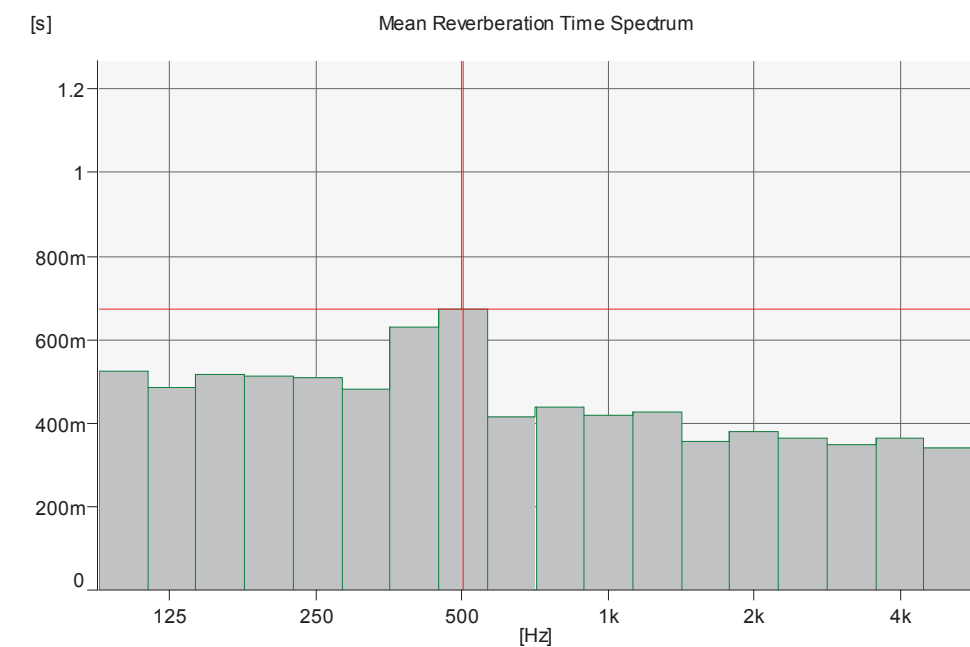


Figure 25 : Temps de réverbération. Moyenne de 2 configurations Source-Micro

8.2. RIVERAIN ZONE 3

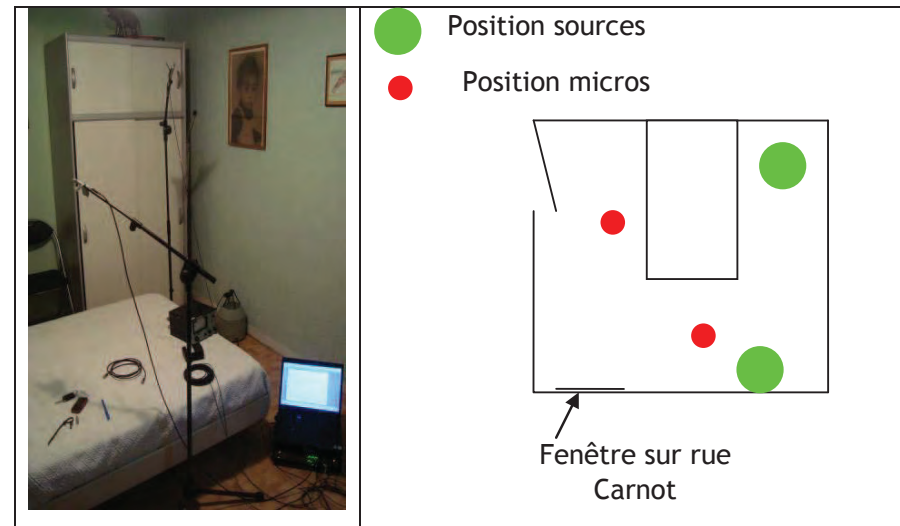


Tableau 27 : Mesure de réverbération riverain Zone 1

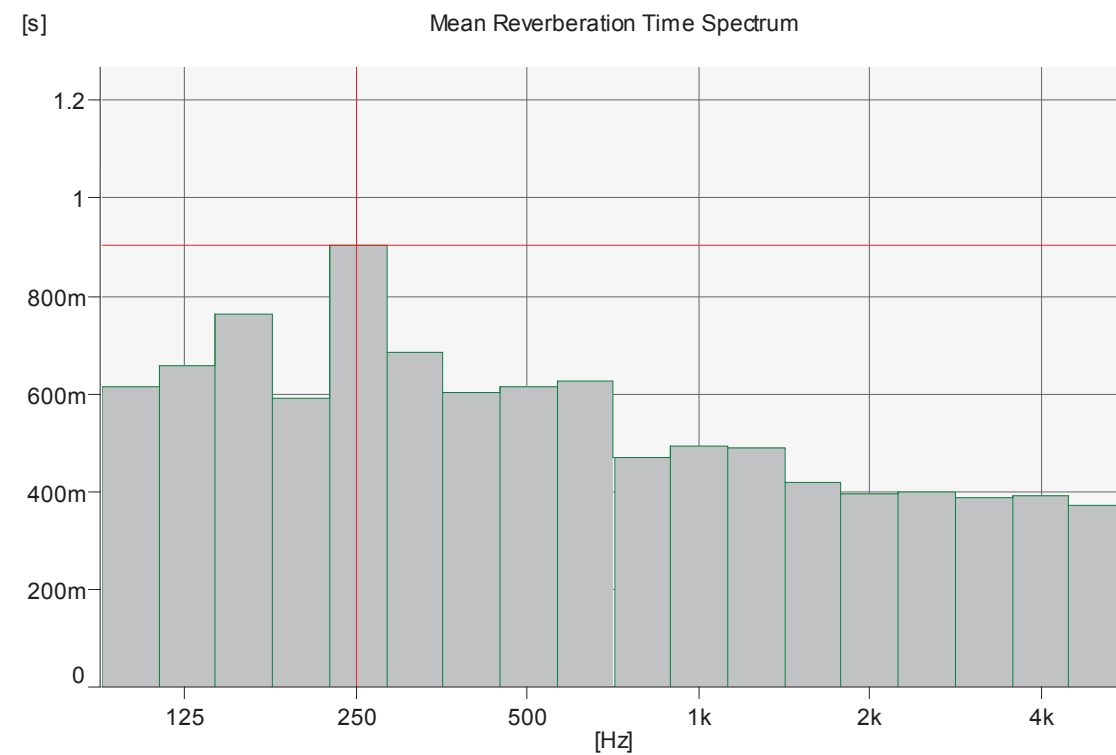


Figure 26 : Temps de réverbération. Moyenne de 2 configurations Source-Micro

NB : Ces mesures devaient être utilisées si la fonction de transfert vibro-acoustique (pression dans la chambre/accélération au seuil du bâtiment) ne pouvait être réalisée. Le transfert ayant été mesuré, les résultats de TR ne sont pas utilisés dans cette étude.

9. PHASE 6 : ESTIMATION DES NIVEAUX VIBRATOIRES

9.1. ESTIMATION DES NIVEAUX VIBRATOIRES AU SEUIL

A partir des différentes mesures, on estime un niveau vibratoire prévisionnel dans le futur bâtiment. La démarche est la suivante :

Le niveau vibratoire au pied d'un bâtiment peut se calculer à partir de la formule suivante :

$$L_{\text{PIED DE BAT}} = \text{Niveau d'excitation} - \text{distance(voie/bâtiment)} * \text{Taux de décroissance}$$

Le niveau d'excitation choisie est celui correspondant au passage n°5, où l'émergence vibratoire à 31 Hz est la plus élevée.

Lv Pass-By en dBv [10-400] Hz (référence dB 5×10^{-8} m/s)			
Porte d'Issy-Porte de Versailles			
Passage n°	Vitesse passage (km/h)	Accéléromètre plate-forme	Accéléromètre à 3 m de la file externe
5	40	83.2	64.7

Tableau 28 : Niveau de vitesse vibratoire au passage du tram T2 Porte d'Issy

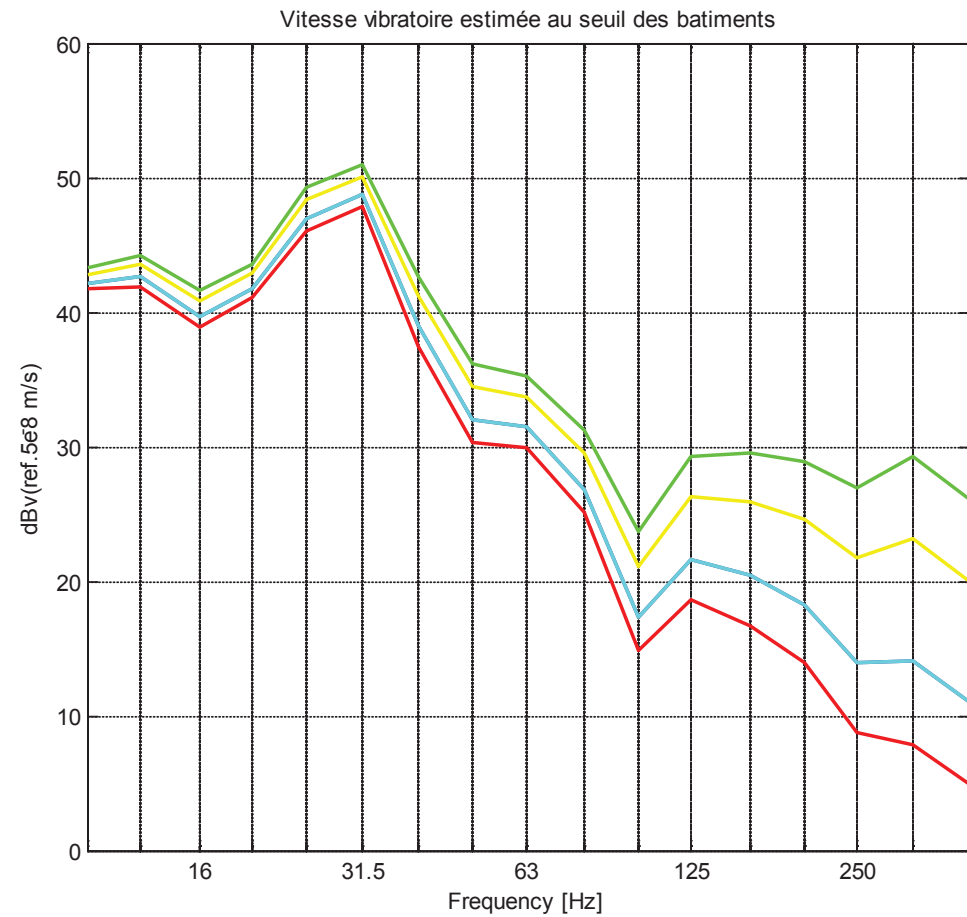


Figure 27 : spectres de vitesse vibratoire estimée au pied des bâtiments (Zone 1, Zone 2, Zone 3, Zone 4 et Zone 5)

Les niveaux globaux efficaces [10-400] Hz correspondant à ces spectres sont :

- Zone 1 et Zone 4 : 52.9 dBv
- Zone 2 : 52 dBv
- Zone 3 : 55.1 dBv
- Zone 5 : 54.2 dBv

Ces niveaux sont tous inférieurs au seuil de sensibilité humaine pris à 66 dBv.

NB :

Actuellement, avec l'excitation du matériel roulant actuel (excitation principale à 63 Hz) et l'état de la voie actuel, le niveau de vitesse vibratoire au seuil du bâtiment :

- en zone 1, le niveau global efficace au seuil est de 57 dBv
- en zone 2, le niveau global efficace au seuil est de 74 dBv
- en zone 3, le niveau global efficace en façade du bâtiment est égal à 51 dBv

9.2. ESTIMATION DES NIVEAUX VIBRATOIRES ET ACOUSTIQUES SOLIDIENS A L'INTERIEUR

Le niveau vibratoire à l'intérieur des appartements de la Zone 1 et de la Zone 3 sont estimés à partir de la formule suivante :

$$L_{\text{INTERIEUR}} = L_{\text{PIED DE BAT}} + \text{FRF (intérieur/extérieur)}$$

NB : Le niveau au pied du bâtiment est issue du paragraphe 9.1. Les FRF intérieur/extérieur sont issues de la phase 3.

Le Tableau 29 et le Tableau 30 présentent les niveaux vibratoires et acoustiques estimés dans les appartements de la zone 1 et de la zone 3.

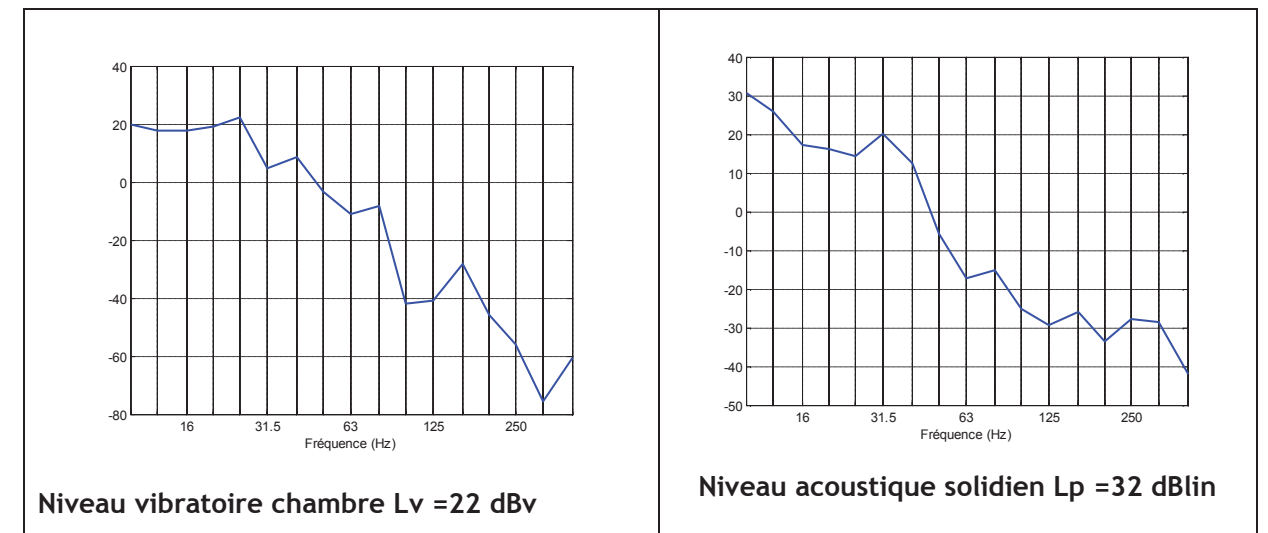


Tableau 29 : Niveau vibratoire et acoustique estimé dans l'appartement au niveau de la zone 1

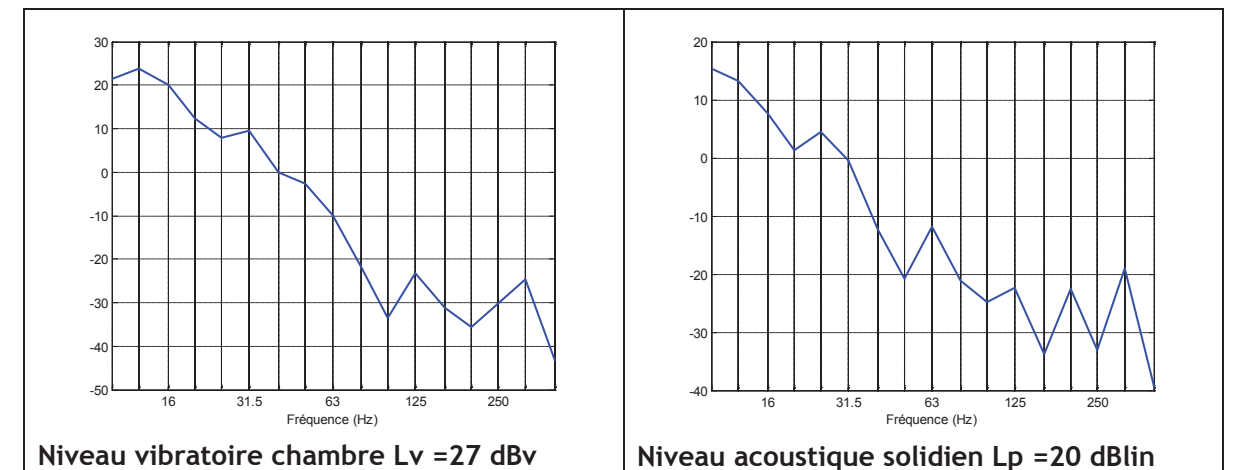


Tableau 30 : Niveau vibratoire et acoustique estimé dans l'appartement au niveau de la zone 3

Commentaires :

Les niveaux vibratoires et acoustiques solidiens calculés à partir du niveau d'excitation vibratoire généré par le passage de tramway et des fonctions de transfert mesurées in situ sont très faibles par rapport aux recommandations normatives usuelles dans un contexte urbain.

Ainsi, si on fait l'hypothèse que le niveau vibratoire source est maintenu à une valeur suffisamment faible (avec des rugosités faibles pour le rail et la roue), l'impact vibratoire du futur tramway (niveau vibratoire dans le bâtiment et bruit d'origine solidienne) pourra être considéré comme négligeable.

Calculs additionnels :

Les niveaux vibratoires et acoustiques calculés sont très faibles car les fonctions de transfert entre le seuil du bâtiment et les fondations sont très faibles. Des calculs complémentaires sont réalisés ci-dessous afin d'obtenir des valeurs plus cohérentes. En l'absence d'autres mesures de transfert seuil bâtiment, seule la fonction de transfert entre la fondation et la pièce mesurée est considérée.

La Figure 28 présente les fonctions de transfert vibratoire entre les fondations et la pièce en zone 1 et 3.

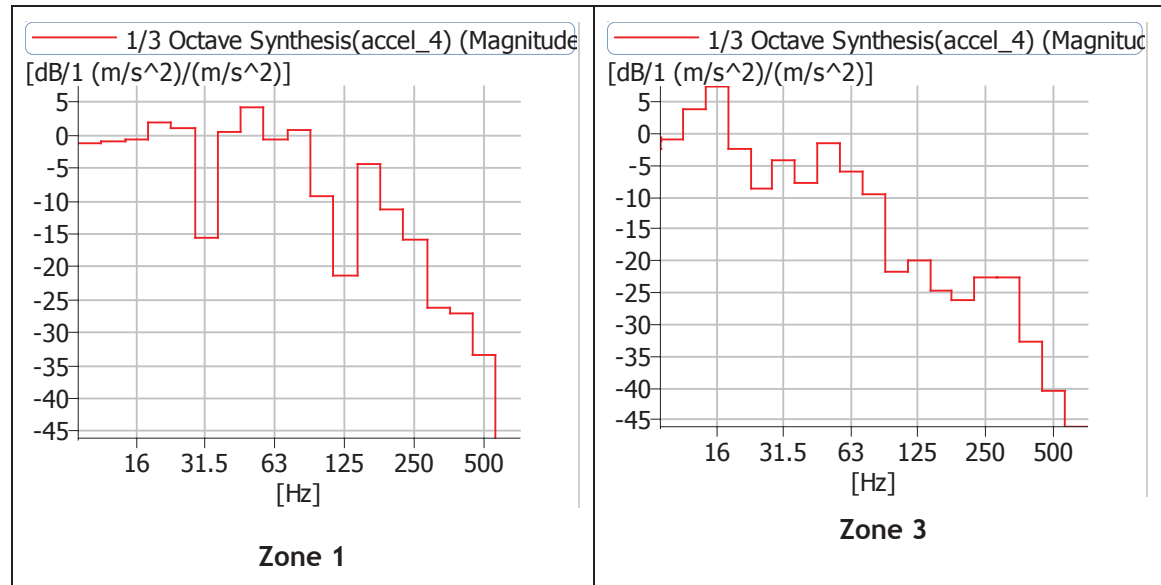


Figure 28 : fonctions de transfert vibratoire entre les fondations et les chambre de la zone 1 et 3.

Le Tableau 31 et le Tableau 32 présentent les niveaux vibratoires et acoustiques estimés dans les appartements de la zone 1 et de la zone 3, sans prendre en compte le transfert entre le seuil et les fondations.

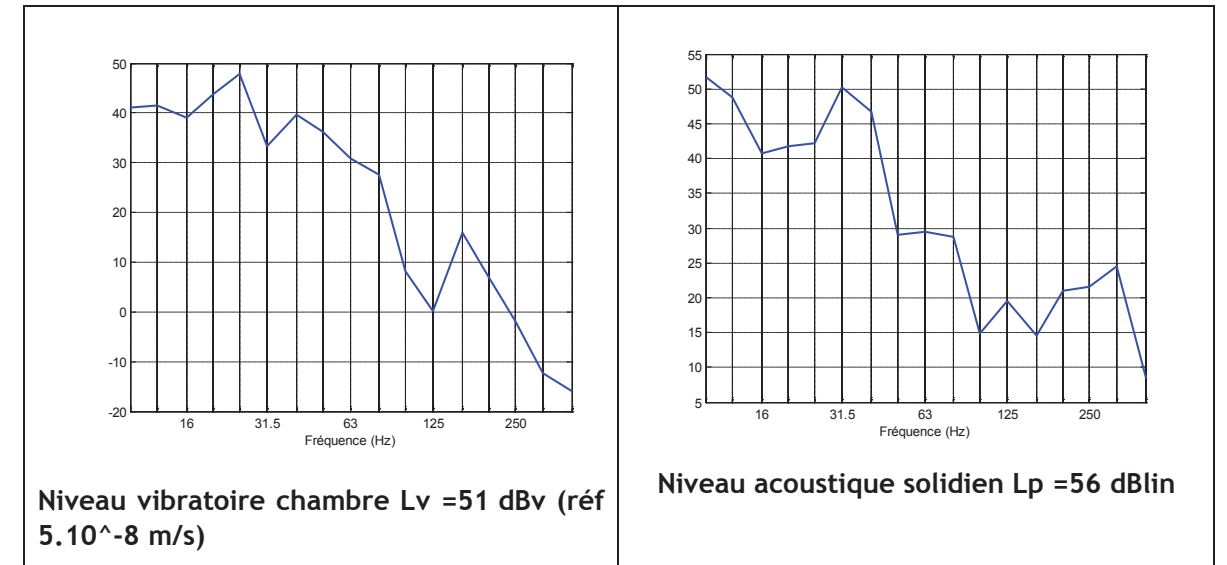


Tableau 31 : Niveau vibratoire et acoustique estimé dans l'appartement au niveau de la zone 1

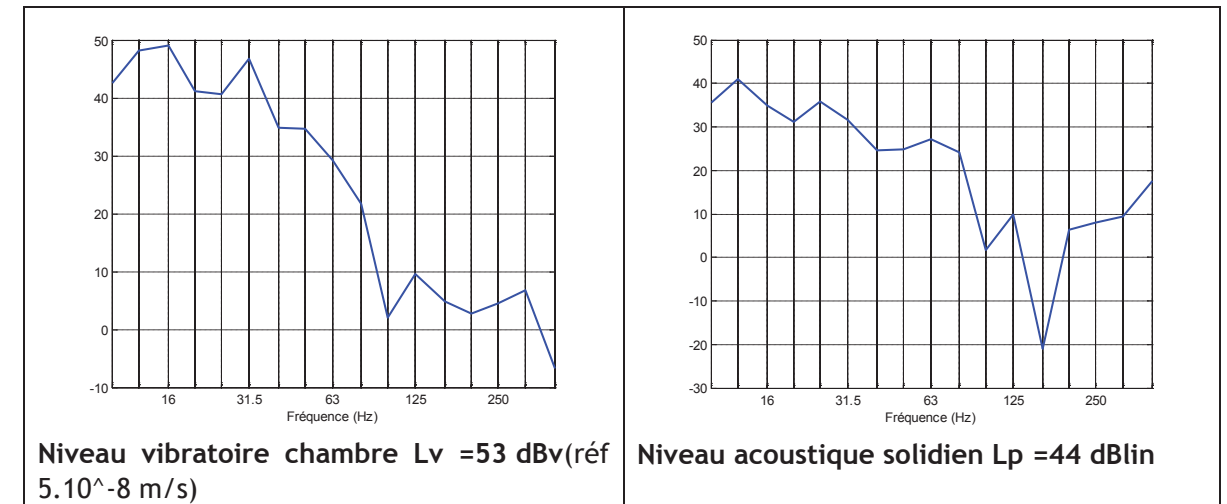


Tableau 32 : Niveau vibratoire et acoustique estimé dans l'appartement au niveau de la zone 3

Commentaires :

En prenant pas en compte les fonctions de transfert entre le seuil et les fondations (approche conservative), les niveaux globaux de vitesse vibratoires (10-400 Hz) sont calculées à 51 et 53 dBv (réf 5.10⁻⁸ m/s), ce qui est proche des valeurs mesurées (pour la zone 3, voir page 46-47). Ces valeurs sont inférieures au seuil de sensibilité humain de 66 dBv.

Les niveaux acoustiques solidiens sont calculés à 56 dB lin et 44 dB lin.

10. CONCLUSION

Dans le cadre du réaménagement des lignes de tramway du secteur de la gare routière de Bobigny et du changement de matériel roulant, la RATP a souhaité qu'une étude d'impact vibratoire et acoustique soit menée.

Un groupement entre SEGIC et VIBRATEC a été mis en œuvre (avec VIBRATEC comme sous-traitant de SEGIC) avec SEGIC en charge de l'impact acoustique aérien et VIBRATEC en charge de l'impact vibratoire et de l'impact acoustique solidien.

L'étude menée par VIBRATEC s'articule en six phases :

Phase 1 : Etude environnementale de l'existant

La phase 1 a mis en évidence que les niveaux vibratoires les plus élevés mesurés sont dus au passage du tramway actuel (zones 1 et 3) et au passage des métros (zone 5, pour laquelle il n'y a actuellement pas de tramway).

Les niveaux maximaux mesurés en pied de bâtiment sont égaux à :

- Zone 1 : 56 dBv,
- Zone 3 : 53.8 dBv (NB : pour des raisons pratiques, ce niveau a été mesuré en façade du bâtiment),
- Zone 5 : 60.0 dBv, dû au métro.

Phase 2 : Mesure de la transmissibilité du sol entre la future voie et le seuil des bâtiments adjacents

La transmissibilité du sol est usuellement exprimée en dB/m, c'est-à-dire sous forme d'un taux de décroissance des ondes dans le sol par bande de tiers d'octave.

Les valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur que les taux de décroissance faibles de la base de données VIBRATEC pour des sites urbains pour la zone 2.

Pour les autres zones, les taux de décroissance mesurés sont plus forts.

Ainsi, pour avoir une estimation conservatrice, le taux de décroissance mesuré sur le site n° 2 est utilisé pour tous les sites.

Phase 3 : Mesure des transferts vibratoires des bâtiments les plus proches (seuils vers dalles)

Pour estimer la propagation à l'intérieur des bâtiments, trois fonctions de transfert ont été mesurées pour les deux zones pour lesquels des riverains ont accepté de donner accès à leur appartement (zones 1 et 3) :

- $\frac{\text{accélération}(\text{fondation})}{\text{accélération}(\text{seuil})}$,
- $\frac{\text{accélération}(\text{chambre})}{\text{accélération}(\text{seuil})}$,
- $\frac{\text{pression acoustique}(\text{chambre})}{\text{accélération}(\text{seuil})}$.

Ces fonctions de transfert seront utilisées en phase 6 pour l'estimation des niveaux vibratoires et acoustiques solidiens à l'intérieur des bâtiments.

Il est à noter que des mesures accélérométriques et acoustiques complémentaires ont été réalisés pour la zone 3 au passage du tramway dans la configuration actuelle. Les niveaux mesurés dépassent les recommandations usuelles.

Phase 4 : Mesure d'efforts injectés par le nouveau matériel roulant

Comme indiqué en introduction de ce chapitre, le réaménagement des voies de tramway s'accompagne d'une modification du type de matériel roulant.

Des mesures au passage ont donc été réalisées dans le sud-ouest de Paris, sur la ligne T2, entre les stations « Porte d'Issy » et « Porte de Versailles ».

Après avoir vérifié que le type de pose du site de mesure est le même que celui qui est prévu à Bobigny (pose directe), les niveaux vibratoires au passage sont mesurés sur la plate-forme et à 3 mètres de la file externe.

Pour des passages à 40 km/h environ, le niveau mesuré sur plate-forme est de l'ordre de 80 à 82 dBv. Le niveau mesuré à 3 mètres est compris entre 62 et 65 dBv.

La signature vibratoire mesurée est conforme à la forme de spectre attendue : l'énergie vibratoire au passage se répartit entre deux pics principaux à 31.5 Hz et 250 Hz.

Phase 5 : Mesure des propriétés acoustiques chez des riverains

Les temps de réverbération des chambres de riverain caractérisées en phase 3 sont mesurés pour avoir un ordre de grandeur des propriétés d'absorption acoustique.

Phase 6 : Estimation des niveaux de bruit solidien dans les étages

En combinant :

- les niveaux d'excitation vibratoire du futur matériel roulant CITADIS mesuré sur la ligne T2 (**source**) en phase 4,
- les transmissibilités mesurées in situ entre la plate-forme et le seuil des bâtiments (**transfert dans le sol**) en phase 2,
- les transferts vibro-acoustiques mesurés entre le seuil du bâtiment et l'intérieur des locaux lors de la phase 3 (**réponse du bâtiment**),

il est possible d'estimer le niveau vibratoire et le niveau de bruit solidien à l'intérieur de l'appartement des riverains.

Les niveaux estimés sont très faibles. Ils sont notamment beaucoup plus faibles que ceux mesurés actuellement (qui combinent le bruit solidien et le bruit aérien).

Les niveaux vibratoires et acoustiques calculés sont très faibles car les fonctions de transfert entre le seuil du bâtiment et les fondations sont très faibles.

Des calculs complémentaires sont réalisés en ne prenant pas en compte les fonctions de transfert entre le seuil et les fondations (approche conservative), les niveaux globaux de vitesse vibratoires (10-400 Hz) sont calculées à 51 et 53 dBv (réf $5 \cdot 10^{-8}$ m/s), ce qui est proche des valeurs mesurées (pour la zone 3, voir page 46-47). Ces valeurs sont inférieures au seuil de sensibilité humain de 66 dBv.

Les niveaux acoustiques solidiens sont calculés à 56 dB lin et 44 dB lin.