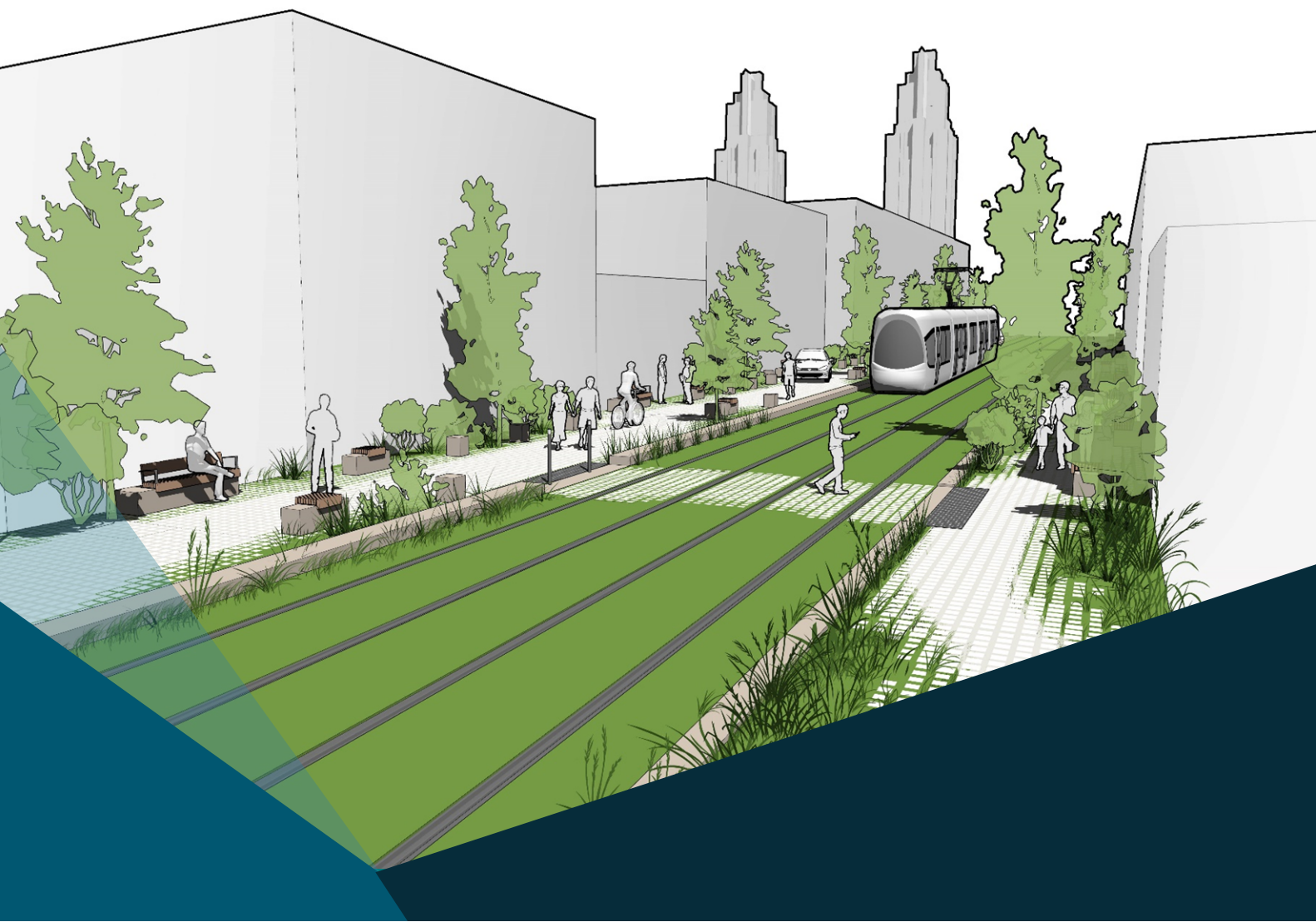




T6N – EXTENSION DE LA LIGNE T6 DE LYON

ETUDE D'IMPACT VIBRATOIRE

16 novembre 2021



SOMMAIRE

1 - PREAMBULE.....	4
2 - NOTIONS DE VIBRATIONS.....	5
2.1 - Vitesse particulière	5
2.2 - Echelle de niveaux vibratoires.....	5
2.3 - Phénomène vibratoire et généralités concernant les impacts bruits et vibrations..	6
3 - CONTEXTE NORMATIF ET REGLEMENTAIRE	7
3.1 - Rappel réglementaire.....	7
3.2 - Seuils applicables au projet.....	8
3.2.1 - Seuils vibratoires de perception tactile.....	8
3.2.2 - Perception auditive des vibrations – Bruit solidien	9
4 - IMPACT VIBRATOIRE DE L'INFRASTRUCTURE	10
4.1 - Objectif de l'étude d'impact vibratoire.....	10
4.2 - Méthodologie de l'évaluation de l'impact vibratoire.....	10
4.2.1 - Méthodologie de l'étude.....	10
4.2.2 - Identification de secteur à modéliser	11
4.2.3 - Modèles de réponses vibratoires sol-fondations-planchers.....	13
4.2.4 - Validation des modèles de réponses vibratoires sol-fondations-planchers	17
4.2.5 - Caractéristiques de la source d'excitation du tramway.....	18
4.2.6 - Caractéristiques vibratoires des solutions anti-vibratiles	20
4.3 - Résultats de calcul	21
4.4 - Analyse des résultats.....	25
4.4.1 - Analyse de risque de gêne tactile	25
4.4.2 - Analyse de risque de perception auditive	26
4.4.3 - Synthèse des risques de plaintes en exploitation.....	28
5 - CONCLUSION	30
6 - ANNEXES	32



1 - PREAMBULE

La ligne de tramway T6, mise en service en novembre 2019, relie le Sud Est de Lyon au groupement Est des Hospices civils de Bron. L'extension T6N consiste à étendre cette ligne au nord afin de desservir le campus universitaire de la Doua à Villeurbanne.

L'objet de ce document est de présenter l'étude d'impact vibratoire de l'infrastructure.

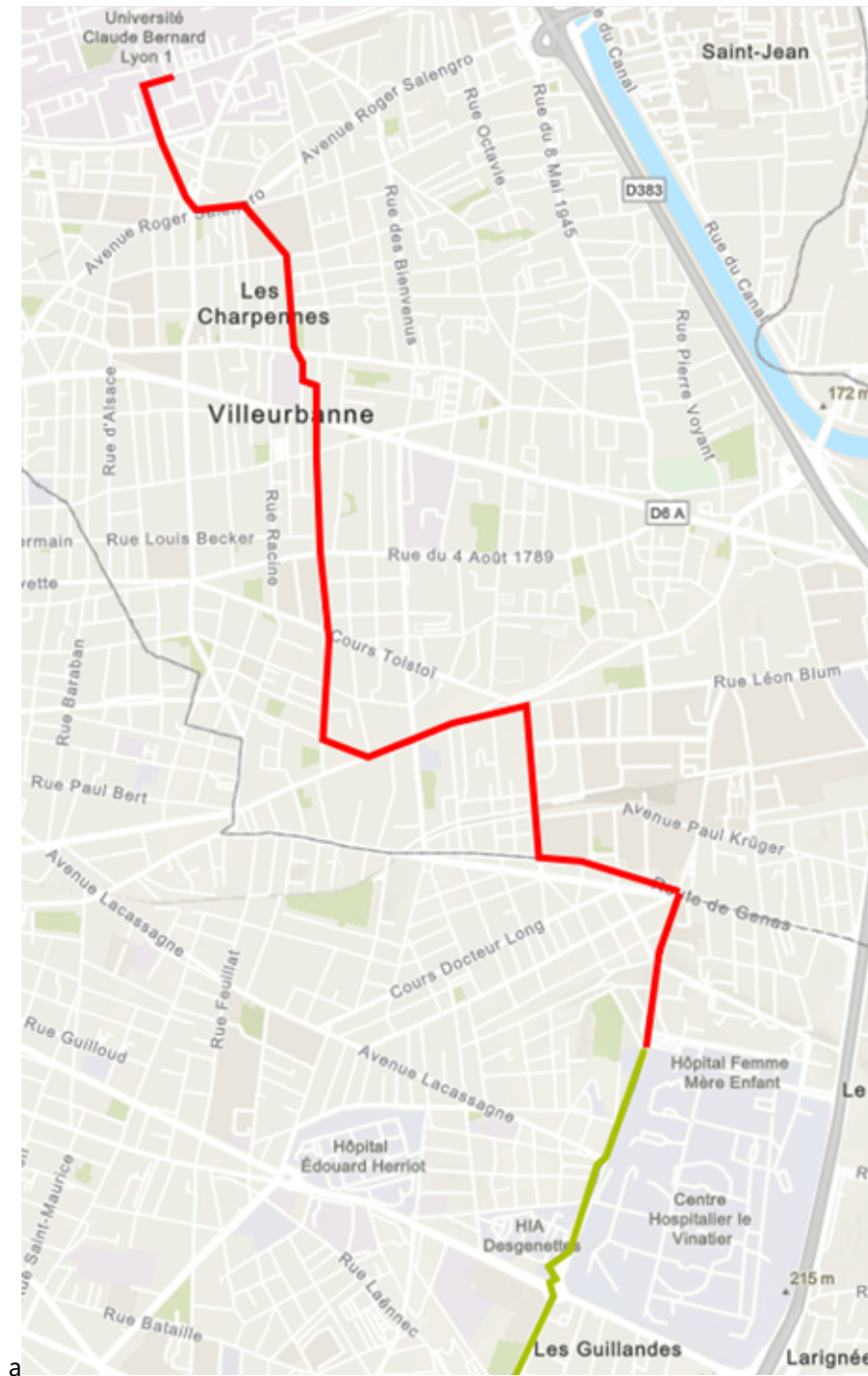


Figure 1 : Tracé de l'extension du T6N (en rouge) et du T6 existant (en vert)

2 - NOTIONS DE VIBRATIONS

2.1 - VITESSE PARTICULAIRE

La vitesse particulaire caractérise la vitesse de déplacement des particules d'un élément constructif (un plancher par exemple) autour de sa position d'équilibre. Elle constitue une grandeur pertinente pour décrire les phénomènes vibratoires, notamment son expression sous forme de moyenne RMS, notée V_{rms} , mesurée en un point et exprimée en mm/s ou en dBv. Le seuil de perception humaine tactile est de l'ordre de 0,1 mm/s, soit 66 dBv sur la gamme de fréquences 8 à 80 Hz.

Le niveau de vitesse vibratoire est aussi exprimé en dBv par la relation suivante :

L_v , niveau de vitesse vibratoire en dB par rapport à la référence 5×10^{-8} m/s,

$$L_v = 10 \log \frac{V_{rms}^2}{V_{ref}^2}, \quad V_{rms}, \text{ niveau de vitesse vibratoire RMS en mm/s, et}$$

V_{ref} , niveau de vitesse vibratoire de référence fixé à 5×10^{-8} m/s.

2.2 - ECHELLE DE NIVEAUX VIBRATOIRES

La figure suivante propose une échelle vibratoire indiquant les niveaux vibratoires en vitesse et en accélérations correspondant aux impacts potentiels sur les structures et sur les activités humaines. Par exemple, des niveaux vibratoires correspondant à une V_{rms} comprise entre 0,5 et 1,6 mm/s sont susceptibles de faire vibrer le mobilier d'un bureau ou d'une habitation et peuvent donc rendre plus difficile la réalisation de certaines tâches (lire sur un écran par exemple).

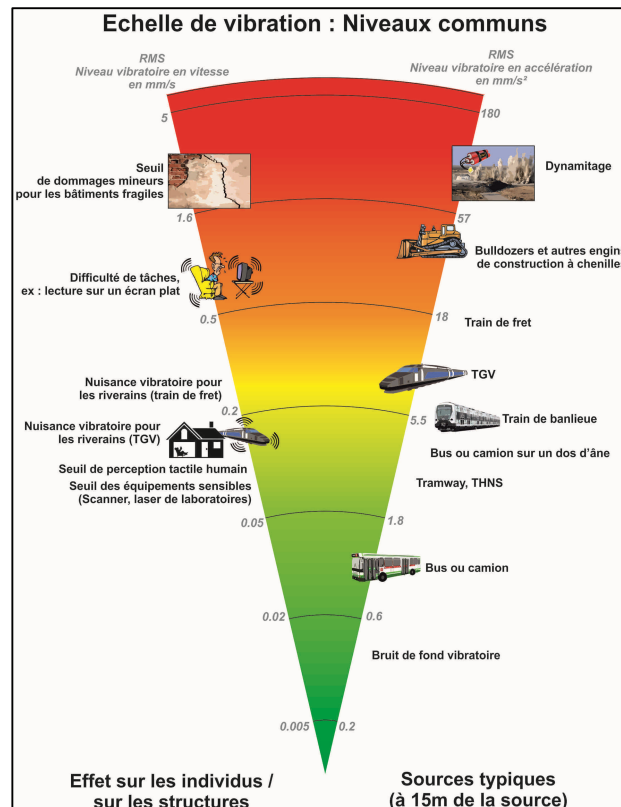


Figure 2 : Échelle de niveaux vibratoires (SOURCE : Egis/ACOUSTB)

2.3 - PHENOMENE VIBRATOIRE ET GENERALITES CONCERNANT LES IMPACTS BRUITS ET VIBRATIONS

Les ondes vibratoires se transmettent à travers le sol jusqu'à l'intérieur des bâtiments, ce qui peut générer un bruit de grondement appelé bruit solidien (bruit généré par la vibration des structures du bâtiment, par opposition au bruit aérien qui se transmet par les ouvertures du bâtiment).

Le chemin suivi par les ondes générées au passage du métro depuis le rail jusqu'à l'intérieur des bâtiments est illustré dans le schéma suivant :

- | | | |
|---|---|----------------------------------|
| 1. Efforts dynamiques d'un train au passage ; | } | Émission |
| 2. Transmission de la voie (rail + semelle + ballast + résilient) ; | | |
| 3. Transmission du sol ; | | |
| 4. Interface sol / structure ; | } | Propagation |
| 5. Interface structure / plancher RDC (nuisance tactile) ; | | |
| 6. Interface plancher RDC / Plancher R+n (nuisance tactile) ; | } | Réception (nuisance potentielle) |
| 7. Régénération acoustique (nuisance sonore). | | |

La figure suivante reprend ces diverses étapes de manière schématique.

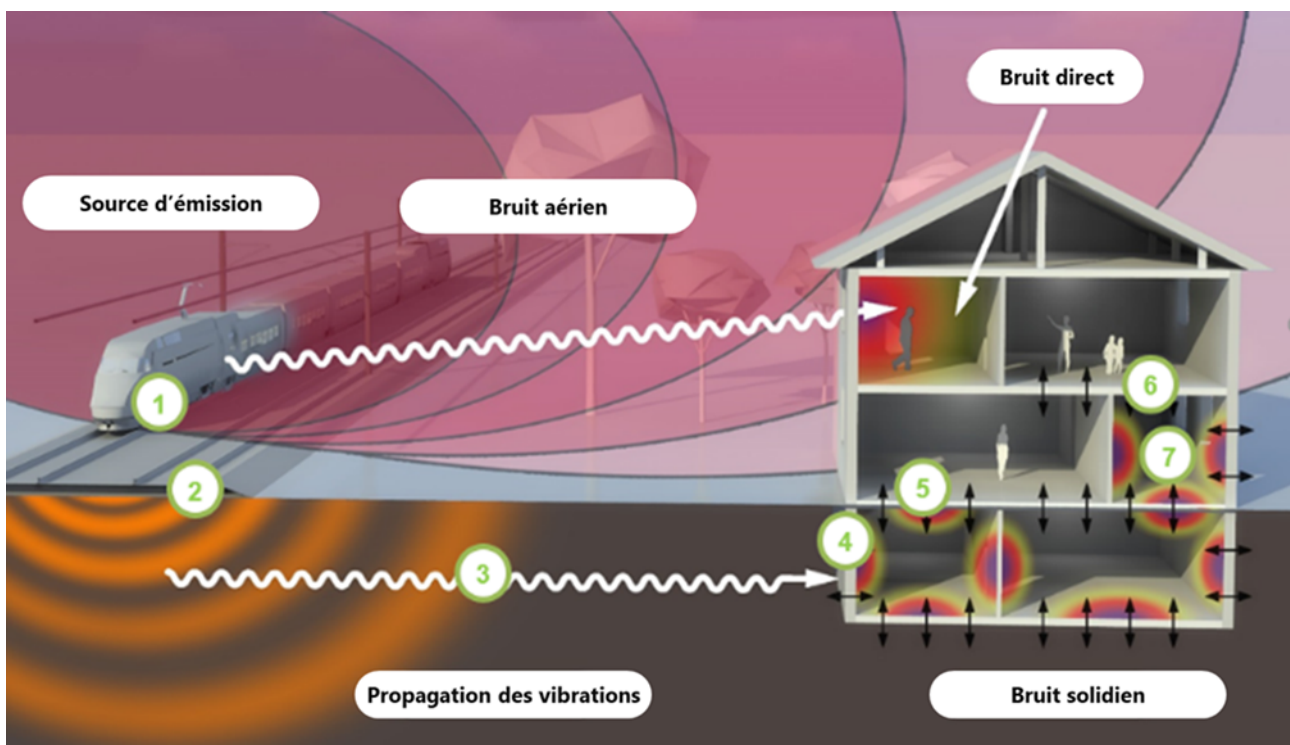


Figure 3 : Phénomènes vibro-acoustiques au passage d'un train (SOURCE : Egis/ACOUSTB)

3 - CONTEXTE NORMATIF ET REGLEMENTAIRE

En France, il n'existe pas de texte réglementaire fixant un seuil de niveau vibratoire à ne pas dépasser au voisinage d'une ligne de tramway ; Une proposition de définition de valeurs limites de risque d'apparition d'une gêne liée aux vibrations est présentée ci-dessous.

3.1 - RAPPEL REGLEMENTAIRE

Les textes suivants ont servi de cadre pour établir le protocole détaillé dans cette note :

- Circulaire du 23/07/86 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement
- NF E90-020-1 de 2015 « Vibrations et chocs mécaniques - Méthode de mesurage et d'évaluation - Partie 1 : mesurages et évaluation des réponses des structures aux vibrations générées par les activités humaines. »
- NF E90-020-3 de Décembre 2018, Vibrations et chocs mécaniques - Méthodes de mesurage et d'évaluation - Partie 3 : Mesurage et évaluation de l'exposition aux vibrations des individus habitant ou séjournant d'une manière temporaire à l'intérieur d'une construction
- ISO 14837-1 de 2006 « Vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires – Partie 1 : directives générales. »
- ISO 14837-31 de 2017, relative aux vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires qui définit les conditions de mesurage in-situ.
- XP ISO/TS 14837-31 de Février 2018, Vibrations mécaniques - Vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires - Partie 31 : lignes directrices de mesurages in situ pour l'évaluation de l'exposition des individus dans les bâtiments
- ISO 4866 de 2010 « Mechanical vibration and shock – Vibration of fixed structures – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their structures »
- ISO 2631-1 de 1997 « Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements »
- ISO 2631-2 de 2003 « Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz) »
- ISO 5348:2021 de Janvier 2021, Vibrations et chocs mécaniques - Fixation mécanique des accéléromètres
- Guide américain FTA-VA-90-1003-mai 2006 Transit Noise & Vibration Impact Assessment relatif aux critères de perception et exposition des individus riverains d'infrastructures ferroviaires et les risques de perturbations aux équipements sensibles.
- Directives de l'OMS 1999 relatives au bruit dans l'environnement et dans les logements.

3.2 - SEUILS APPLICABLES AU PROJET

3.2.1 - Seuils vibratoires de perception tactile

Concernant le risque d'apparition d'une gêne liée à la perception tactile des vibrations, il n'existe pas en France de texte réglementaire fixant des seuils de gêne. Il est proposé de prendre comme valeur limite applicable les seuils définis dans la norme ISO 10137 de 2007 relative aux vibrations dans les bâtiments, qui reprend les seuils définis dans la norme ISO 2631-2 de 1989 (valeurs RMS de vitesse vibratoire moyennées sur le passage d'une circulation) :

TYPOLOGIE	PERIODES	NIVEAU VIBRATOIRE	
		VITESSE	NIVEAU VIBRATOIRE VITESSE
		[mm/s]	[dBv] (réf $5 \cdot 10^{-8}$ m/s)
EQUIPEMENTS SENSIBLES	Jour	0,10	66
	Nuit	0,10	66
BATIMENTS RESIDENTIELS	Jour	0,20	72
	Nuit	0,14	69
BUREAUX CALMES	Jour	0,20	72
	Nuit	0,20	72
BUREAUX STANDARDS	Jour	0,40	78
	Nuit	0,40	78
ATELIERS	Jour	0,80	84
	Nuit	0,80	84

Figure 4 : Niveaux vibratoires définis dans la norme ISO 2631-2 de 1989

La valeur limite la plus contraignante est fixée à 69 dBv dans les bâtiments résidentiels et à 66 dBv dans les bâtiments abritant des équipements sensibles.

Dans le cadre de cette étude, le SYTRAL a choisi de fixer la valeur limite de vitesse vibratoire admissible sur le plancher à l'intérieur des bâtiments d'habitations et le Théâtre National Populaire (TNP) est fixée à 66 dBv (réf. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s) pour la gamme de fréquence 8 à 125 Hz. Cette valeur concerne uniquement le risque de gêne liée à la perception tactile des vibrations.

L'extension de la ligne passe à proximité du site de Bron des Hospices Civils de Lyon et plus particulièrement d'un futur centre d'imagerie médicale. A ce stade du projet, les niveaux vibratoires requis pour garantir le fonctionnement des équipements médicaux prévus dans ce bâtiment ne sont pas connus. Afin de faciliter l'insertion du tramway à proximité de ce bâtiment potentiellement sensible aux vibrations, un traitement anti-vibratile de type dalle flottante doit être envisagé. Afin d'affiner ce traitement, la maîtrise d'ouvrage du bâtiment d'imagerie sera contactée au démarrage de la phase PRO afin que les équipements médicaux, ainsi que les éventuels traitements anti-vibratiles prévus (massif de désolidarisation, désolidarisation partielle ou complète des fondations du bâtiment) soient connus et pris en compte par l'équipe de maîtrise d'œuvre du T6N.



3.2.2 - Perception auditive des vibrations – Bruit solide

Les bruits solidiens induits par l'excitation vibratoire d'un bâtiment ne font pas l'objet d'une réglementation particulière en France. Néanmoins, il est possible de s'appuyer sur les travaux de l'OMS pour encadrer les effets du bruit sur la qualité de vie et ainsi définir des valeurs de référence à considérer dans le cadre d'une étude d'impact vibratoire.

Dans son rapport « Guidelines for community noise », l'OMS donne des valeurs de référence à ne pas dépasser lorsque l'on cherche à limiter les effets du bruit sur le sommeil. Les valeurs pertinentes dans le cadre de cette étude sont les valeurs suivantes $L_{A,max}$ de niveau de bruit maximum au passage d'une rame, à l'intérieur d'une chambre à coucher :

- **30 dB(A)** : Aucune perturbation du sommeil ;
- **35 dB(A)** : Perturbation des phases de sommeil ;
- **42 dB(A)** : Eveil au milieu de la nuit ou trop tôt le matin.

De plus, des valeurs de bruit $L_{A,max}$ au passage supérieures à 40 dB(A) sont susceptibles d'interférer avec le repos et la convalescence.

En se basant sur ces valeurs de références, le seuil de niveau global de bruit solide à l'intérieur des bâtiments voisins du projet est fixé à 30 dB(A). Afin de prendre en compte les composantes spectrales du bruit solide, les niveaux sonores seront également confrontés au gabarit de la figure suivante.

Ce gabarit est construit sur la base du seuil de l'audition défini par la norme ISO 389-7 jusqu'à 80 Hz et fixé à 30 dB pour les autres tiers d'octave.

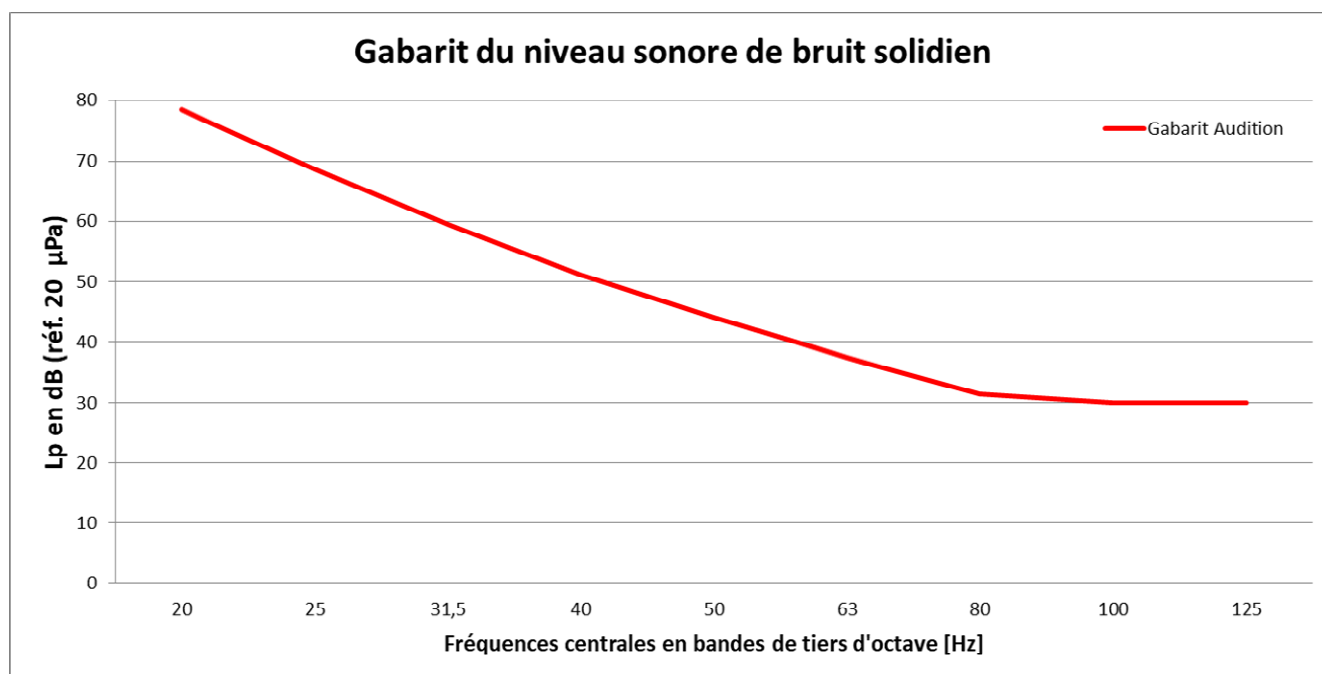


Figure 5 : Gabarit des niveaux de pression retenu

4 - IMPACT VIBRATOIRE DE L'INFRASTRUCTURE

4.1 - OBJECTIF DE L'ETUDE D'IMPACT VIBRATOIRE

Le but de cette étude est d'estimer les niveaux vibratoires et de bruit de grondement (bruit solidien généré par les vibrations) à l'intérieur des bâtiments à proximité de l'infrastructure.

4.2 - METHODOLOGIE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT VIBRATOIRE

4.2.1 - Méthodologie de l'étude

La méthodologie suivie pour évaluer l'impact vibratoire du projet en phase exploitation peut être résumée comme suit :

- Définitions des valeurs cibles de niveau de vitesse vibratoire et de pression acoustiques (bruit solidien) admissible dans les bâtiments riverains par type de bâtiment : résidence et bâtiments où les occupants sont susceptibles de dormir, établissements d'enseignement, de santé, lieux institutionnels et culturels, bureaux, autres locaux sensibles tels que les studios, auditoriums, etc... :
 - ▶ Valeur cible concernant le niveau vibratoire au passage ;
 - ▶ Valeur cible concernant le bruit solidien au passage.
- Identification des zones sensibles :
 - ▶ Découpage du projet en tronçons homogènes du point de vue des vibrations ;
 - ▶ Présence de bâtiments sensibles, d'activités sensibles ou d'installations sensibles du point de vue des vibrations (bâtiments proches d'un virage, équipement sensibles à l'intérieur du bâtiment, ...).
- Caractérisation vibratoire des zones sensibles :
 - ▶ Mesures de caractérisation de l'interface sol-fondation-plancher des zones identifiées.
- Modèle de réponse vibratoire sol-fondation-plancher pour chaque famille de bâtiments :
 - ▶ Modélisation statistique de l'interface sol-fondation-plancher d'après les résultats du projet RIVAS¹ ;
 - ▶ Validation des modèles sol-fondation-plancher à partir des mesures de caractérisation.
- Résultats de calcul à l'intérieur du bâtiment :
 - ▶ Application de la source d'excitation du matériel roulant qui sera utilisé ;
 - ▶ Calculs des niveaux de vitesses vibratoire et de pression acoustique d'après les modèles de réponse établis (statistique et in-situ).
- Détermination des traitements anti-vibratoires à mettre en œuvre sous les rails de la ligne de tramway.

¹ RIVAS : Railway Induced Vibration Abatement Solutions, Definition of appropriate procedures to predict exposure in buildings and estimate annoyance, Deliverable D1.6.



4.2.2 - Identification de secteur à modéliser

a - Nature du bâti et de la distance au tracé

Le tracé a été divisé en secteurs homogènes, en fonction de :

- La distance entre les bâtiments et le projet T6N ;
- La famille de construction (type de bâtiment et nombre d'étage) ;
- Les sections homogènes de circulations du tramway (ligne droite) ;
- Le type d'occupation de la construction.

Huit secteurs homogènes sont ainsi définis, ils sont repérés sur la figure ci-dessous.



Le long du tracé, quatre typologies de bâtiments ont été identifiées :

Figure 6 : Découpage du tracé en tronçon homogène

- Typologie 1 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers béton ;

- Typologie 2 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers bois ;
- Typologie 3 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif \leq R+4 avec fondations superficielles et planchers béton ;
- Typologie 4 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif \leq R+4 avec fondations superficielles et planchers bois.

L'identification de ces quatre typologies le long du tracé a été effectuée à l'aide de visites sur site et d'une estimation de la date de construction des bâtiments. Le Tableau 1 synthétise les typologies de bâtiments pour chaque secteur du tracé et l'éloignement aux voies.

TYPLOGIE DE BATIMENTS	DISTANCE RAILS/PIED DE BATI	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
TYPOLOGIE 1	Entre 12m et 20 m	X		X		X	X	X	X
	Entre 9 m et 12 m		X	X	X			X	
	Entre 7 m et 9 m				X	X		X	
	< 7 m		X	X	X	X	X	X	
TYPOLOGIE 2	Entre 12m et 20 m	X			X				
	Entre 9 m et 12 m				X				
	Entre 7 m et 9 m								
	< 7 m							X	
TYPOLOGIE 3	Entre 12m et 20 m	X							
	Entre 9 m et 12 m	X				X	X		
	Entre 7 m et 9 m	X					X	X	
	< 7 m	X	X		X	X	X	X	
TYPOLOGIE 4	Entre 12m et 20 m	X							
	Entre 9 m et 12 m	X					X		
	Entre 7 m et 9 m	X			X		X		
	< 7 m	X	X	X	X		X	X	

Tableau 1 : Répartition des typologies de bâtiments sur les secteurs homogènes du tracé

b - Identification des bâtiments particuliers

En plus de ces quatre typologies, deux bâtiments particuliers ont été mis en avant : le Théâtre National Populaire de Villeurbanne et le Quai 43, un bâtiment sur pilotis, sur le campus de la Doua de l'université Claude Bernard Lyon 1.

Ces deux bâtiments ont fait l'objet de mesures de caractérisation vibratoires afin de prendre en compte leurs spécificités constructives.



4.2.3 - Modèles de réponses vibratoires sol-fondations-planchers

a - Secteurs homogènes

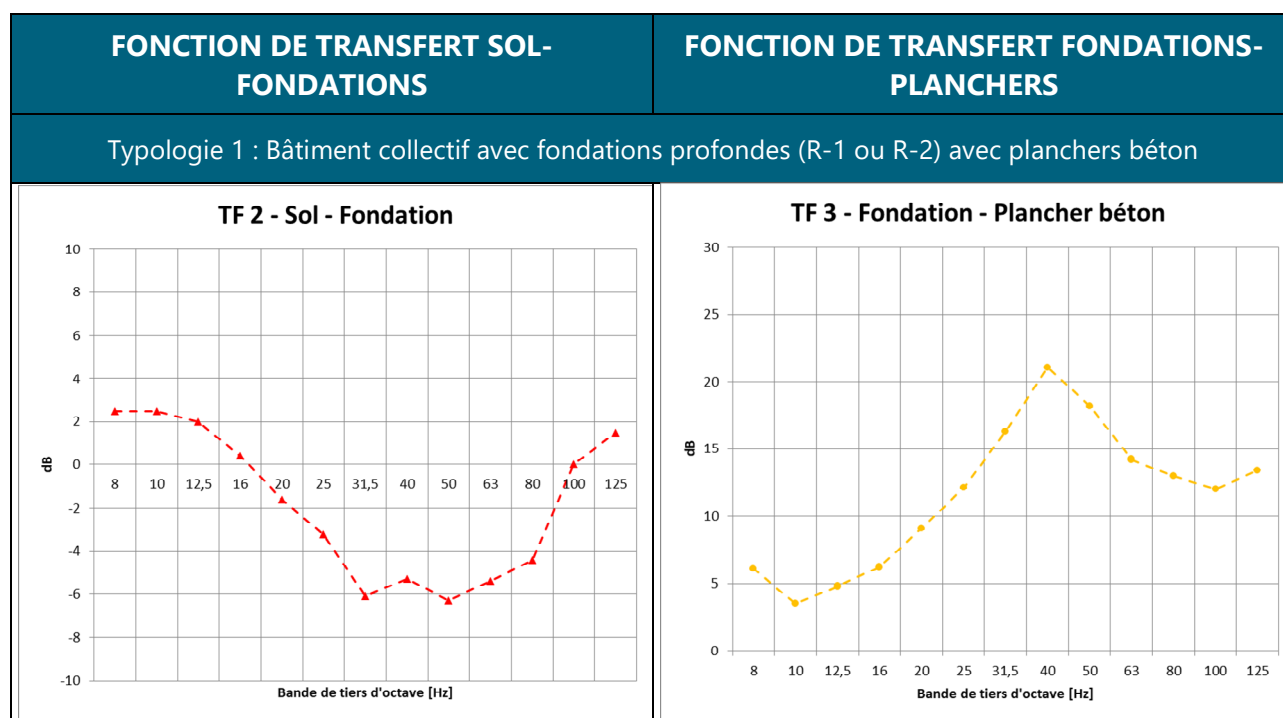
Les modèles de réponses vibratoires sol-plancher sont élaborés d'après les résultats du projet européen RIVAS², et appliqué aux différentes typologies de bâtiments rencontrés le long du trajet du tramway.

Les valeurs du niveau vibratoire sur le plancher des bâtiments et du niveau de bruit dans une pièce du 1^{er} étage ont été calculées en prenant en compte une atténuation sol-fondation égale à la valeur moyenne RIVAS + un écart-type pour les amplifications sol-fondations (TF2), et d'autre part une amplification fondation-plancher (TF3) égale à la valeur moyenne RIVAS pour des planchers dont la fréquence propre est comprise entre 35 et 45 Hz pour les planchers béton et une fréquence propre comprise entre 30 et 40 Hz pour les planchers bois.

Le bruit solidien est calculé en ajoutant 7 dB au spectre par bande de tiers d'octave du niveau de vitesse vibratoire en centre de plancher. La formule suivante est appliquée : $L_p = L_v + 7 \text{ dB}$ pour chaque bande de tiers d'octave comprise entre 20 Hz et 125 Hz.

L'utilisation des fonctions de transfert fondation-plancher de RIVAS en prenant en compte la valeur moyenne + un écart-type assure statistiquement que 68% des amplifications fondation-plancher mesurées sont inférieures à la valeur estimée par le calcul.

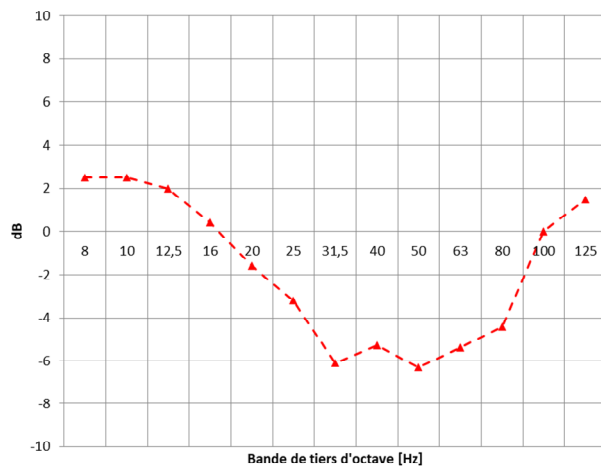
Les valeurs des fonctions de transfert définies dans RIVAS et retenues pour ce projet sont rappelées ci-après (source : RIVAS 2012 wp1 D1.6v04).



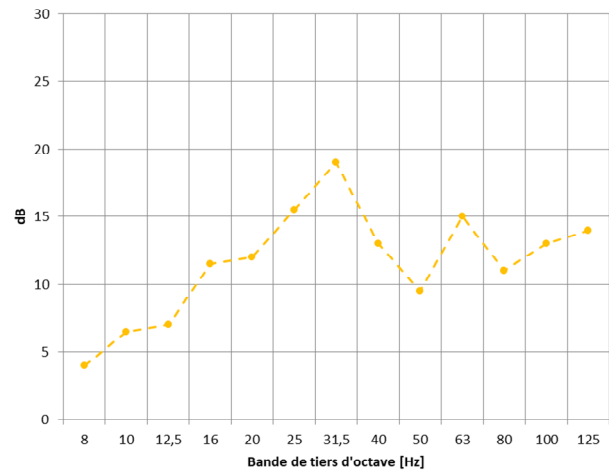
² RIVAS : Railway Induced Vibration Abatement Solutions, Definition of appropriate procedures to predict exposure in buildings and estimate annoyance, Deliverable D1.6.

Typologie 2 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers bois

TF 2 - Sol - Fondation

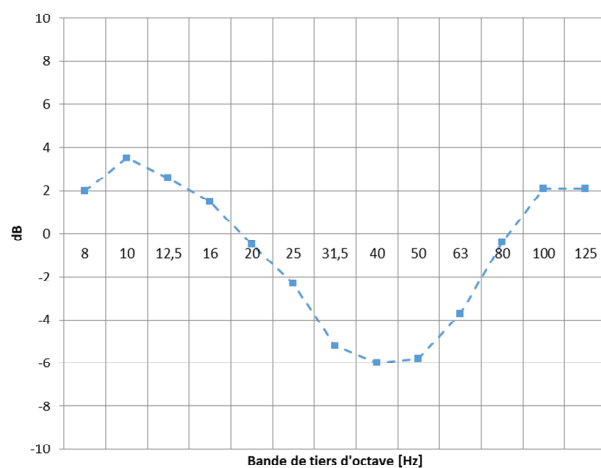


TF 3 - Fondation - Plancher bois

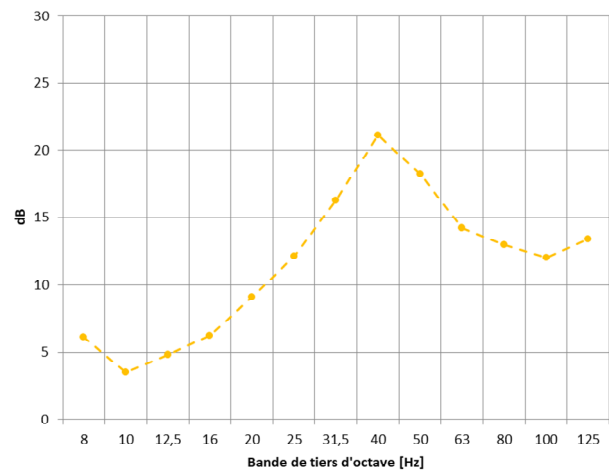


Typologie 3 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielles et planchers béton

TF 2 - Sol - Fondation

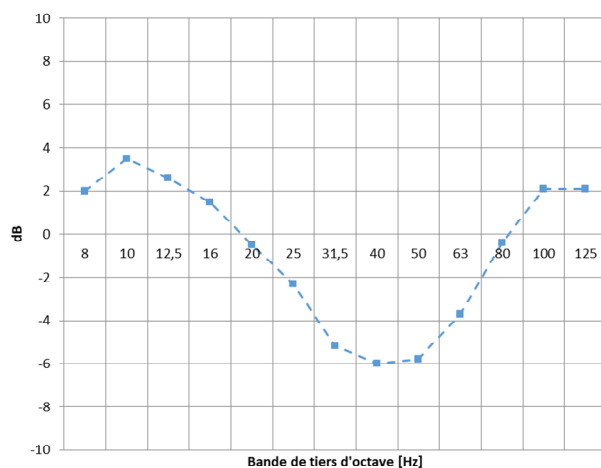


TF 3 - Fondation - Plancher béton



Typologie 4 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielles et planchers bois

TF 2 - Sol - Fondation



TF 3 - Fondation - Plancher bois

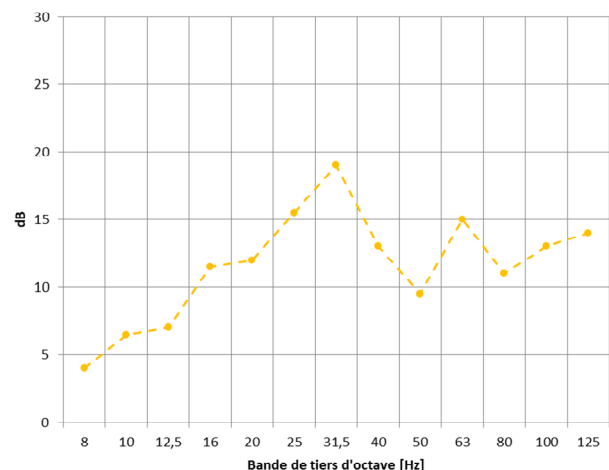
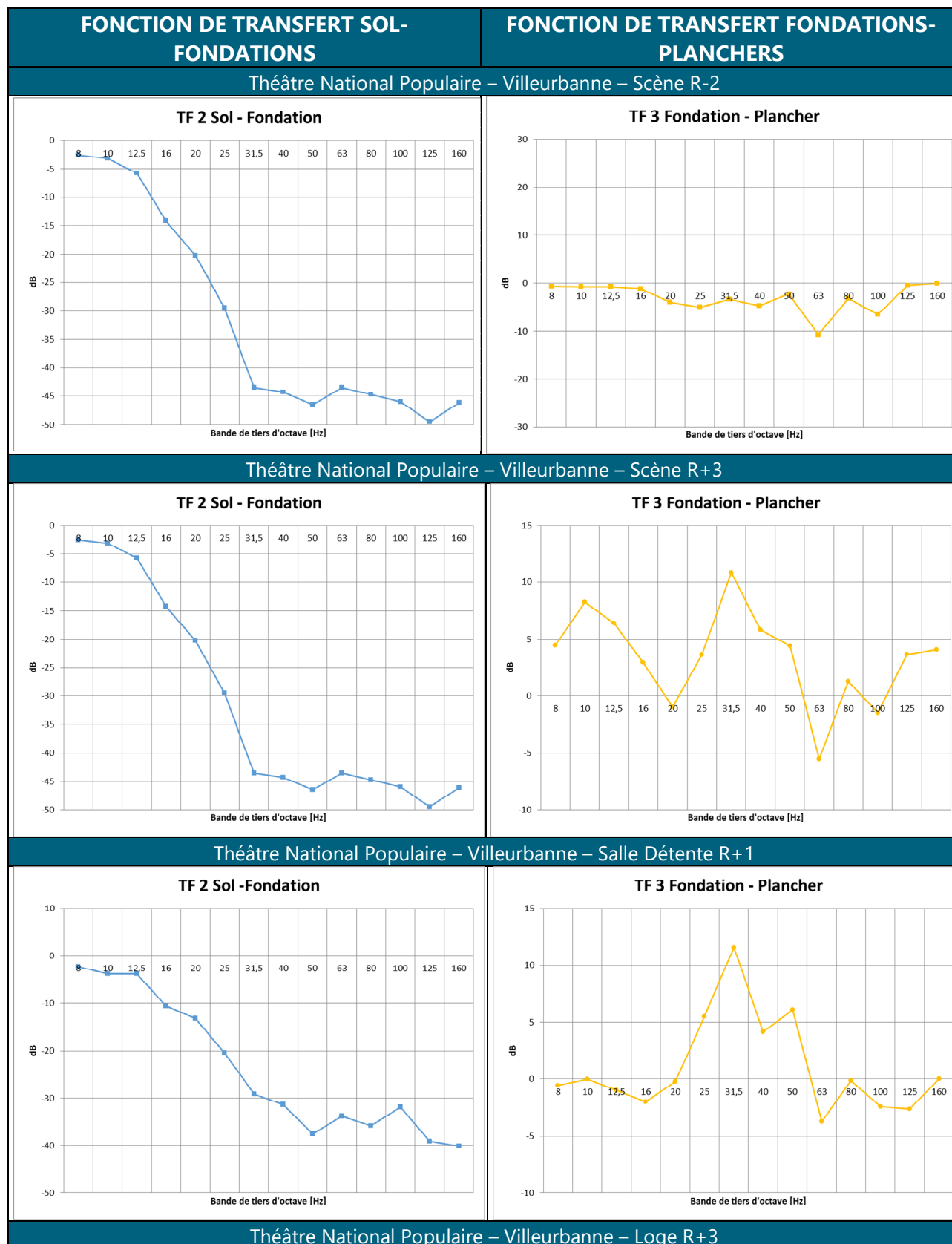
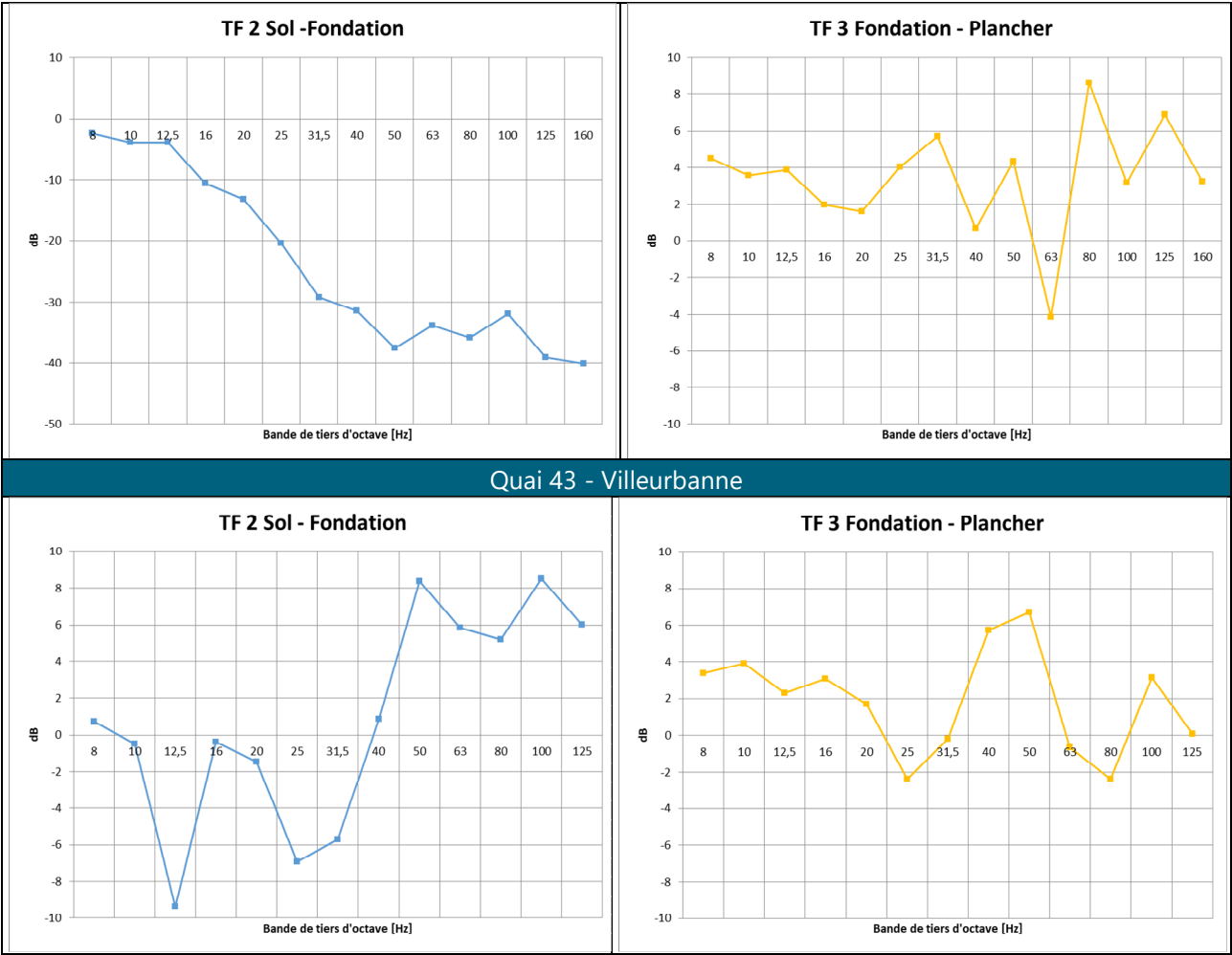


Tableau 2 : Fonctions de transferts sol-fondations et fondations-planchers retenues

b - Points particuliers

Pour les deux bâtiments singuliers repérés le long du tracé, les deux campagnes de mesures ont permis de caractériser les fonctions de transfert sol-fondations et fondation-planchers.





Quai 43 - Villeurbanne

TF 2 Sol - Fondation

Bande de tiers d'octave [Hz]	dB
8	1
10	-1
12.5	-9
16	-1
20	-1.5
25	-7
31.5	-5.5
40	1
50	8.5
63	6
80	5
100	8.5
125	6

TF 3 Fondation - Plancher

Bande de tiers d'octave [Hz]	dB
8	3.5
10	4
12.5	2.5
16	3
20	1.5
25	-2.5
31.5	0
40	5.5
50	6.5
63	-1
80	-2.5
100	3.5
125	0

Tableau 3 : Tableau 4 : Fonctions de transferts sol-fondations et fondations-planchers retenues pour les bâtiments singuliers



4.2.4 - Validation des modèles de réponses vibratoires sol-fondations-planchers

Afin de caractériser un échantillon des bâtiments mitoyens du projet, deux campagnes de mesures vibratoires ont été organisées en juin et août 2021. L'intégralité des résultats de ces mesures (localisation des points, niveaux vibratoires et fonctions de transferts mesurées), ainsi que les conditions de mesures sont disponibles dans le rapport de mesures disponible en annexe.

Les figures ci-dessous présentent les fonctions de transferts sol – plancher (TF23) des bâtiments mesurés et de leurs équivalents estimés par la méthode RIVAS. La grande majorité des constructions mesurées sont des immeubles en béton avec fondations profondes similaires à la typologie 1.

Ces superpositions permettent de vérifier que les fonctions de transferts du projet RIVAS sont toujours supérieures aux fonctions de transferts mesurées. Par conséquent, les hypothèses de modélisations sont cohérentes avec les typologies de bâtiments présents le long du tracé. Les modèles sont donc validés.

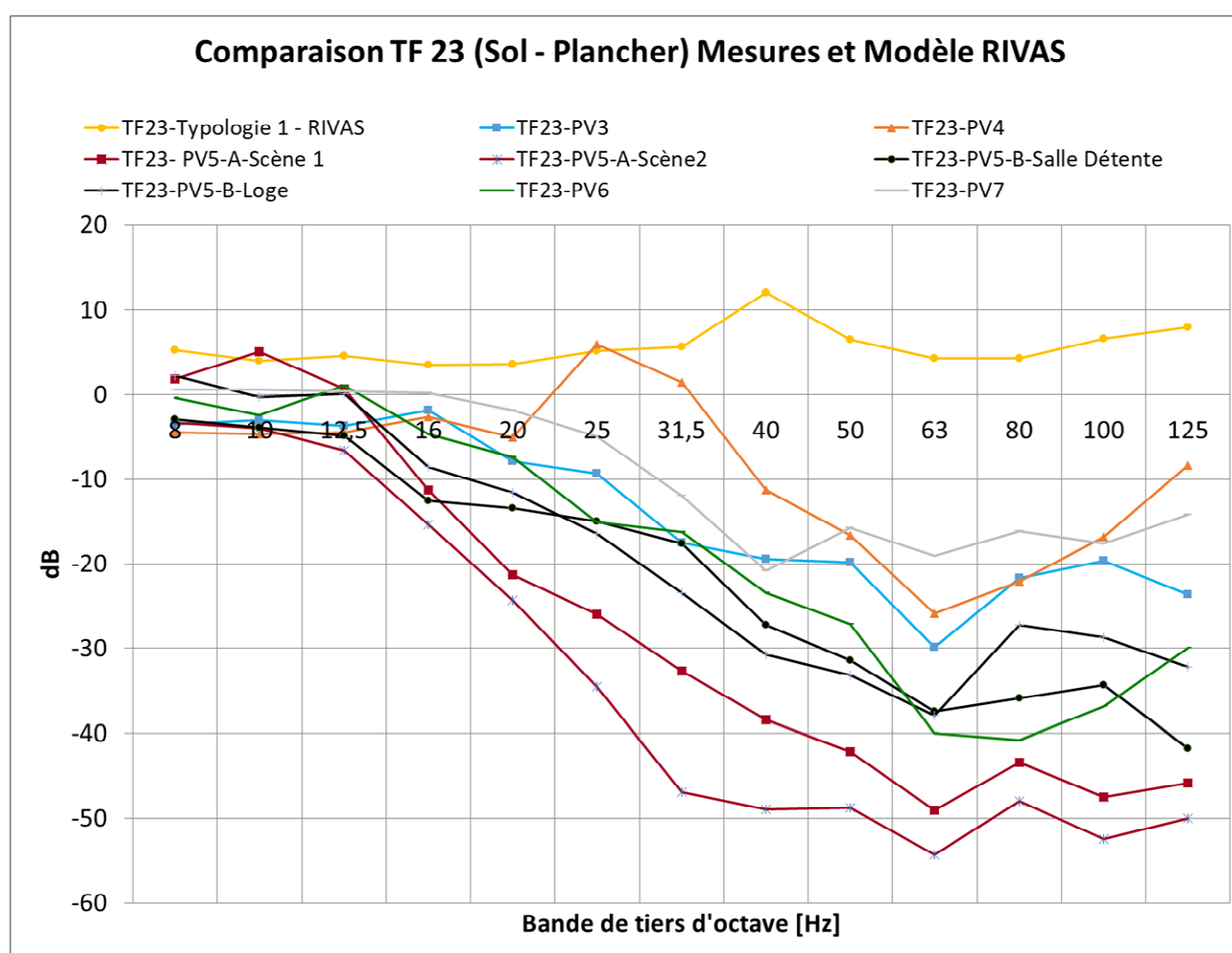


Figure 7 : Comparaison des fonctions de transfert TF23 (Sol-plancher) mesurées et estimées pour la typologie 1

4.2.5 - Caractéristiques de la source d'excitation du tramway

Les spectres de vitesse vibratoire retenus pour l'étude (en ligne droite et en virage) proviennent de campagnes de mesures réalisées par ACOUSTB au passage du matériel roulant Citadis 302. Ces mesures ont été réalisées sur une infrastructure en condition d'exploitation courante en 2021.

a - Type de tramway de l'infrastructure

Le matériel roulant de l'extension de la ligne T6 est le même que celui de la ligne existante. Il s'agit de rame Citadis 302 de 30 mètres composé de 5 éléments et avec un plancher bas.



Figure 8 : Rames CITADIS 302 de la ligne T6 (Source : SYTRAL)

La réponse vibratoire de ce type de tramway est identique pour des rames mesurant 30 m ou 40 m tant que la technologie de la rame est identique. Les résultats de cette étude resteront donc valables même si des rames Citadis 402 circulent sur la ligne.

b - En ligne droite

En circulation en ligne droite, à une vitesse d'environ 30 km/h, les spectres vibratoires retenus pour des distances entre le rail et les bâtiments comprises entre 7 m et 20 m sont les suivants :

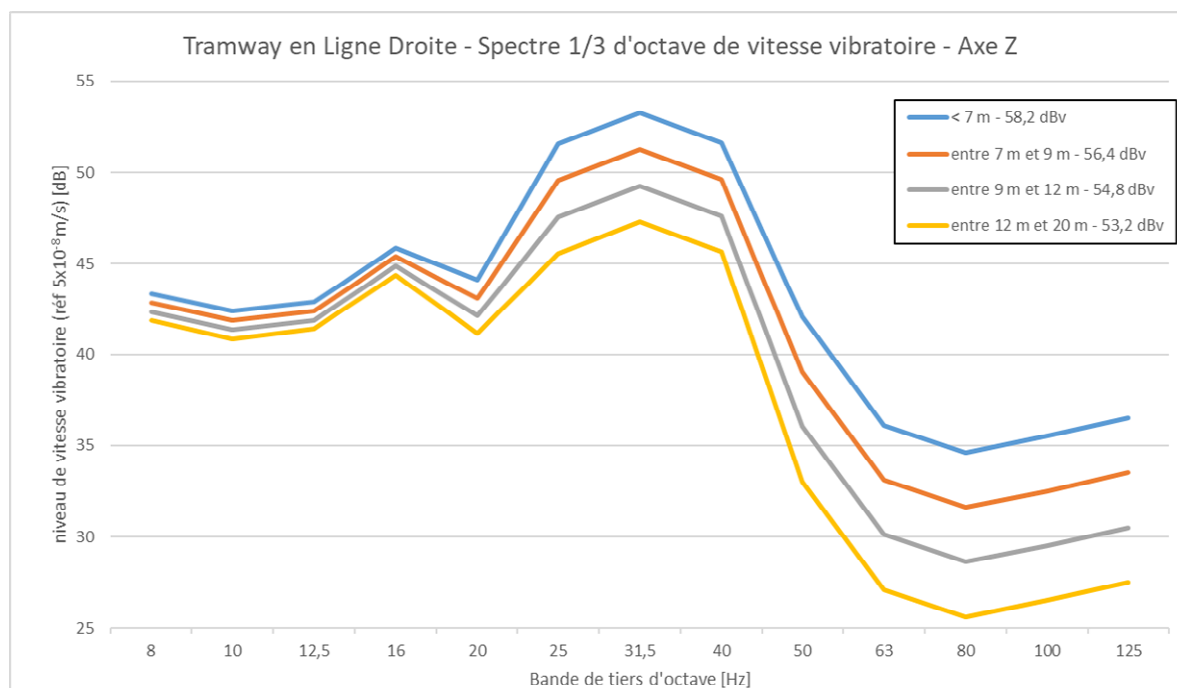


Figure 9 : Valeur de vitesse vibratoire prévisionnelle en ligne droite, CITADIS 302 à 30 km/h

NIVEAUX LV														
FRÉQUENCE [HZ]/ DISTANCE RAILS-BÂTI	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	GLOBAL [DBV]
< 7 M	43	42	43	46	44	52	53	52	42	36	35	36	37	58
ENTRE 7 M ET 9 M	43	42	42	45	43	50	51	50	39	33	32	33	34	56
ENTRE 9 M ET 12 M	42	41	42	45	42	48	49	48	36	30	29	30	31	55
ENTRE 12 M ET 20 M	42	41	41	44	41	46	47	46	33	27	26	27	28	53

Tableau 5 : Valeur de vitesse vibratoire prévisionnelle en ligne droite, CITADIS 302 à 30 km/h

c - En virage

A proximité d'un virage, les modes d'excitations vibratoires du sol sont modifiés (contribution des ondes transversales) et la propagation vibratoire l'est également. En particulier, l'atténuation vibratoire mesurée pour une distance comprise entre 7m et 20 m est négligeable pour la gamme de fréquence dominante comprise entre 16 et 31,5 Hz.

Par conséquent, un seul spectre vibratoire du matériel roulant est retenu pour toutes les configurations de virages et de distance rail-bâti du projet.

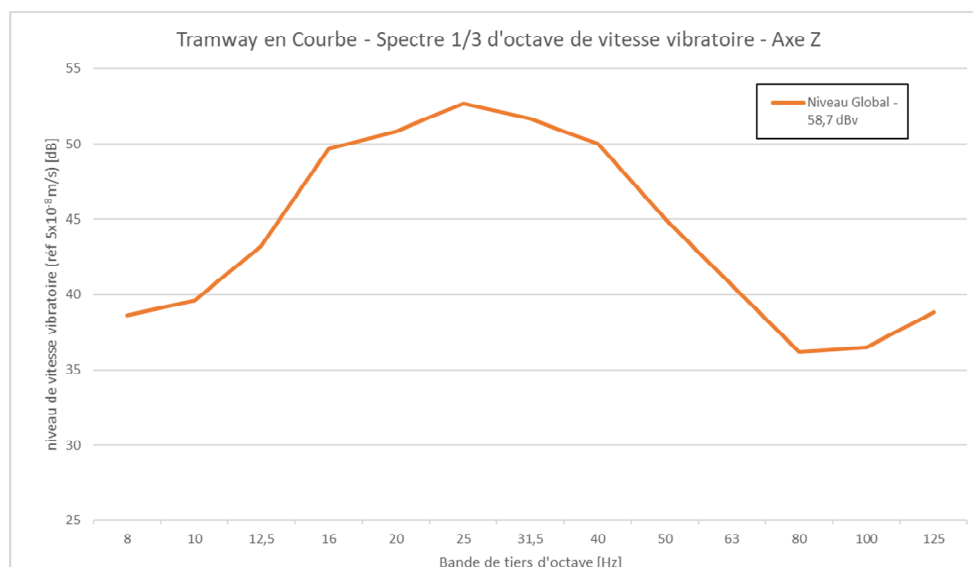


Figure 10 : Valeur de vitesse vibratoire prévisionnelle en virage, CITADIS 302

NIVEAUX LV														
FREQUENCE [HZ]	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	GLOBAL [DBV]
EN VIRAGE	39	40	43	50	51	53	52	50	45	41	36	37	39	59

Tableau 6 : Valeur de vitesse vibratoire prévisionnelle en virage, CITADIS 302

4.2.6 - Caractéristiques vibratoires des solutions anti-vibratiles

Trois types de traitements anti-vibratiles sont prévus le long du tracé du projet : deux types de dalles flottantes (dite « -20 dB » et « -16 dB ») et une pose sur semelle résiliente (dite « - 8 dB »).

Le tableau suivant indique les gains prévisionnels en dB apportés pour chacun de ces traitements.

GAIN [DB]														
FREQUENCE [HZ]	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	
SEMELLE RESILIENTE « - 8 DB »	0	-1,5	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	2	5	2	-6	
DALLE FLOTTANTE « -16 DB »	-2	-2	-2	1	4	-2	-9	-12	-13	-15	-20	-21	-22	
DALLE FLOTTANTE « -20 DB »	-2	-2	1	4	-2	-9	-12	-13	-15	-20	-21	-22	-22	

Tableau 7 : Gain par insertion des solutions anti-vibratiles



4.3 - RESULTATS DE CALCUL

Afin d'alléger la lecture de ce rapport, les tableaux ci-dessous synthétisent les résultats obtenus pour chaque typologie de bâtiments identifiés, de distance bati/rails et du type de traitement anti-vibratile le long du tracé de la ligne de tramway T6N. L'ensemble des résultats de calculs détaillés sont disponibles en Annexe.

Les quatre tableaux ci-dessous ne prennent pas en compte les poses de voies prévues par le projet en fonction des distances bâti/rails. Ce nouveau filtre de lecture est néanmoins bien pris en compte dans le Tableau 12 et le Tableau 13 de la section 4.4.3 - Synthèse des risques de plaintes en exploitation du chapitre d'Analyses et dans les préconisations de traitement.

Ce premier tableau ci-dessous regroupe le niveau de vitesse maximal sur une bande d'octave, évalué par le calcul. Les valeurs **en orange** sont les niveaux vibratoires dépassant le seuil de 66 dBv – seuil de perception tactile des vibrations.

NIVEAUX DE VITESSE VIBRATOIRE MAXIMUM LV EN DBV ESTIMES SUR PLANCHER									
TYPOLOGIE DE BATIMENTS	DISTANCE RAILS/PIED DE BATI	LIGNE DROITE				VIRAGE			
		TYPE DE POSE				TYPE DE POSE			
		CLAS.	- 8 DB	-16 DB	-20 DB	CLAS.	- 8 DB	-16 DB	-20 DB
TYPOLOGIE 1	20m>d>12m	58	55	49	52	-	-	-	-
	9m <d<12m	60	57	51	52	62	59	58	57
	7m <d<9m	62	59	53	53	62	59	58	57
	d < 7 m	64	61	55	53	62	59	58	57
TYPOLOGIE 2	20m>d>12m	54	51	52	55	-	-	-	-
	9m <d<12m	56	53	53	56	-	-	-	-
	7m <d<9m	-	-	-	-	-	-	-	-
	d < 7 m	60	57	55	57	59	56	60	61
TYPOLOGIE 3	20m>d>12m	57	54	50	53	-	-	-	-
	9m <d<12m	59	56	52	53	-	-	-	-
	7m <d<9m	61	58	54	54	61	58	60	58
	d < 7 m	63	60	56	54	61	58	60	58
TYPOLOGIE 4	20m>d>12m	55	52	53	56	-	-	-	-
	9m <d<12m	57	54	54	57	-	-	-	-
	7m <d<9m	59	56	54	57	59	56	61	62
	d < 7 m	61	58	56	58	59	56	61	62

Typologie 1 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers béton ;

Typologie 2 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers bois ;

Typologie 3 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielle et planchers béton ;

Typologie 4 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielle et planchers bois.

Note : toutes les configurations calculées ne sont pas présentes sur le tracé (cf. Tableau 12 et le Tableau 13)

Tableau 8 : Niveaux de vitesses vibratoires L_v calculés sur le plancher avec une circulation du tramway en ligne droite et en virage

NIVEAUX DE VITESSE VIBRATOIRE MAXIMUM LV EN DBV ESTIMES SUR PLANCHER

TYPOLOGIE DE BATIMENTS	PIECE/ETAGE	LIGNE DROITE				VIRAGE			
		TYPE DE POSE				TYPE DE POSE			
		CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB	CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB
TNP	Scène R+3	52	51	50	50	-	-	-	-
	Loge R+3	50	50	49	49	-	-	-	-
	Salle Détente R+1	46	46	44	44	-	-	-	-
	Scène R-2	45	45	43	43	-	-	-	-
QUAI 43	Salle TD R+1	62	59	55	58	61	58	62	62

Tableau 9 : Niveaux de vitesses vibratoires L_v calculés sur le plancher avec une circulation du tramway en ligne droite et en virage pour les bâtiments singuliers du tracé



Ce second tableau regroupe les niveaux de pression globaux du bruit solidien calculés en fonction des types de pose de la voie, de la typologie des bâtiments, de l'éloignement aux voies et selon une circulation en ligne droite ou en virage. Les valeurs **en orange** sont celles dépassant le seuil de 30 dB(A) – seuil de bruit solidien fixé.

NIVEAUX DE PRESSION GLOBAL LP EN DB(A) RAYONNES PAR LE PLANCHER									
TYPOLOGIE DE BATIMENTS	DISTANCE RAILS/PIED DE BATI	LIGNE DROITE				VIRAGE			
		TYPE DE POSE				TYPE DE POSE			
		CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB	CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB
TYPOLOGIE 1	20m>d>12m	33	30	20	18	-	-	-	-
	9m <d<12m	35	33	22	20	41	38	26	24
	7m <d<9m	37	35	24	23	41	38	26	24
	d < 7 m	40	38	26	25	41	38	26	24
TYPOLOGIE 2	20m>d>12m	29	27	17	15	-	-	-	-
	9m <d<12m	31	30	19	17	-	-	-	-
	7m <d<9m	-	-	-	-	-	-	-	-
	d < 7 m	36	35	23	21	38	37	24	21
TYPOLOGIE 3	20m>d>12m	33	31	20	18	-	-	-	-
	9m <d<12m	35	34	22	20	-	-	-	-
	7m <d<9m	38	36	24	22	41	40	27	24
	d < 7 m	40	39	26	24	41	40	27	24
TYPOLOGIE 4	20m>d>12m	30	29	18	15	-	-	-	-
	9m <d<12m	32	32	20	17	-	-	-	-
	7m <d<9m	35	35	22	19	39	39	25	22
	d < 7 m	38	37	24	21	39	39	25	22

Typologie 1 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers béton ;

Typologie 2 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers bois ;

Typologie 3 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielle et planchers béton ;

Typologie 4 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielle et planchers bois.

Note : toutes les configurations calculées ne sont pas présentes sur le tracé (cf. Tableau 12 et le Tableau 13)

Tableau 10 : Niveaux de pression rayonnés L_p calculés sur le plancher avec une circulation du tramway en ligne droite et en virage

NIVEAUX DE PRESSION GLOBAL LP EN DB(A) RAYONNES PAR LE PLANCHER

TYPOLOGIE DE BATIMENTS	PIECE/ETAGE	LIGNE DROITE				VIRAGE			
		TYPE DE POSE				TYPE DE POSE			
		CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB	CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB
TNP	Scène R+3	< 20	< 20	< 20	< 20	-	-	-	-
	Loge R+3	< 20	< 20	< 20	< 20	-	-	-	-
	Salle Détente R+1	< 20	< 20	< 20	< 20	-	-	-	-
	Scène R-2	< 20	< 20	< 20	< 20	-	-	-	-
QUAI 43	Salle TD R+1	40	38	26	24	40	39	26	24

Tableau 11 : Niveaux de pression rayonnés L_p calculés sur le plancher avec une circulation du tramway en ligne droite et en virage pour les bâtiments singuliers du tracé



4.4 - ANALYSE DES RESULTATS

4.4.1 - Analyse de risque de gêne tactile

a - Secteurs homogènes

Compte-tenu des niveaux vibratoires estimés sur planchers, les risques de gêne tactile au passage des tramways sont faibles. Le critère qui dimensionnera les solutions techniques retenues est le niveau sonore rayonné par les planchers car il est le plus contraignant.

Les niveaux vibratoires calculés (cf. Tableau 8) en pose classique sont compris entre 54 et 64 dBv pour une circulation en ligne droite et entre 59 et 62 dBv en courbe. **Ces niveaux sont toujours inférieurs au seuil tactile de 66 dBv.**

Avec la mise en œuvre de la semelle résiliente dite « -8 dB », les niveaux vibratoires calculés sont compris entre 51 et 61 dBv en circulation en ligne droite et entre 56 et 59 dBv en courbe. **Le seuil tactile n'est donc jamais dépassé, quel que soit la distance par rapport à la voie.**

De façon similaire, avec l'utilisation de dalle flottante (« -16 dB » ou « -20 dB ») **aucun dépassement du seuil de perception tactile n'est observé.** Les niveaux vibratoires calculés sont compris entre 49 et 58 dBv en ligne droite et entre 57 et 62 dBv en courbe. Il est à noter que les niveaux vibratoires avec dalles flottantes peuvent parfois très légèrement augmenter par rapport aux niveaux observés avec la pose sur semelle résiliente. Cette augmentation limitée (maximum 2 dB sans dépassé le seuil de perception) du niveau vibratoire s'explique par le gain positif en basse fréquence induit par la dalle flottante et qui apparaît entre 16 et 20 Hz, selon le type de dalle. Comme cette augmentation en basse fréquence (non audible) reste limitée, mais que l'effet sur le bruit rayonné est significatif (cf. paragraphe 4.4.2 -) l'utilisation de ce type de traitement reste justifiée.

b - Bâtiments particuliers

Pour le TNP et le Quai 43, les niveaux vibratoires estimés sur les planchers sont inférieurs au seuil de perception tactile, par conséquent les risques de gêne tactile au passage des tramways sont faibles. Pour ces bâtiments également, le critère dimensionnant est le niveau sonore rayonné par les planchers.

4.4.2 - Analyse de risque de perception auditive

a - Sections homogènes

En pose classique sans traitement anti-vibratile, les niveaux sonores rayonnés par les planchers sont compris entre 29 et 40 dB(A) en ligne droite et entre 38 et 41 dB(A) en courbe. Plus précisément, pour une distance bâti-voies supérieures à 12 m, les niveaux calculés varient entre 29 et 33 dB(A) en fonction du type de bâtiment. Le seuil de 30 dB(A) est dépassé pour les typologies 1 et 3, notamment à 40 Hz qui est la fréquence de résonance des planchers béton et une bande d'octave caractéristiques du tramway. Ces dépassements globaux restent limités à 3 dB, le risque de plainte est donc modéré. Pour les distances voies-bâti inférieures à 12 m, les niveaux sonores varient entre 35 et 41 dB(A). Ces niveaux ne permettent pas de garantir un confort acoustique suffisant compte-tenu de la destination des locaux (principalement des logements). Le risque de plainte est fort pour les bâtiments à moins de 12 m des voies, ces sections du tracé requièrent donc un traitement anti-vibratile.

La pose sur semelle résiliente (« -8 dB »), permet une diminution de 2 à 3 dB des niveaux sonores globaux rayonnés par les planchers. En ligne droite, ces niveaux sonores sont compris entre 27 et 43 dB(A). En virages ils sont compris entre 37 et 43 dB(A). Ce traitement est prévu pour les sections du tracé dont l'éloignement aux bâtiments est compris entre 9 et 12 m. A ces distances et en ligne droite, les niveaux sonores estimés varient entre 30 et 34 dB(A). A l'exception de la typologie 2 qui présente un niveau sonore rayonné égale au seuil, les niveaux sonores des typologies 1, 3 et 4 le dépassent de 1 à 4 dB. Comme pour la pose classique, les dépassements du seuil de l'audition se font principalement à partir de 40 Hz, fréquence caractéristique du tramway et d'excitation des planchers béton. De plus, l'efficacité de la semelle résiliente est limitée au-dessus de 63 Hz (cf. Tableau 7), les niveaux rayonnés à ces fréquences ont donc tendance à être légèrement amplifiés. Par conséquent, pour les bâtiments situés entre 9 et 12 m des voies et sur les sections en ligne droite avec une pose sur semelle résiliente, le risque de plainte est modéré.

Pour les sections en virage et avec une pose sur semelle résiliente, le niveau sonore rayonné global est compris entre 38 et 40 dB(A). Ces niveaux sont trop importants pour garantir le confort acoustique de logements. Ces niveaux sonores rayonnés dépassent le seuil de l'audition à partir de 40 Hz et sur toutes les bandes d'octaves suivante de façon significative. Les passages des rames risquent donc d'être identifiables, le risque de plainte en virage pour ces configurations est donc fort.

En pose sur dalle flottante « -16 dB » (prévue pour une distance bâti-voies entre 7 et 9 m), un effet significatif sur les niveaux sonores rayonnés par les planchers est calculé. En ligne droite, les niveaux sonores sont compris entre 15 et 26 dB(A), et pour les virages ils sont compris entre 24 et 27 dB(A). Ce traitement permet de passer sous le seuil global de 30 dB(A) pour tous les typologies situées à moins de 9 m des voies. D'un point de vue fréquentiel, les niveaux de pression rayonné estimés sont supérieurs au gabarit de l'audition pour les typologies 1 et 3 en particulier à 40 Hz et au-dessus de 100 Hz. Comme énoncé précédemment, cette augmentation est cohérente avec le comportement vibratoire des planchers béton (cf. § 4.2.3 -) qui a tendance à accentuer ces fréquences. Néanmoins, ces dépassements étant limités et les niveaux globaux étant inférieurs au seuil fixé de plusieurs dB, les risques de plaintes sont faibles.

En pose sur dalle « -20 dB » (prévue pour une distance bâti-voies inférieure à 7m), une diminution supplémentaire par rapport à la dalle flottante « -16 dB » d'environ 1 – 2 dB des niveaux de pression globaux rayonnés par les planchers est calculée. Ce gain s'explique par l'efficacité de ce type de pose entre 31,5 Hz et 63 Hz qui sont les gammes de fréquences excitatrices de ce type de tramway et des planchers bétons (fréquence de résonance 40 Hz) et planchers bois (fréquences de résonances à 31,5 et 63 Hz). Les niveaux sonores des typologies 1 et 3 dépassent le seuil de l'audition à 40 Hz et au-dessus de 100 Hz, néanmoins ces dépassements sont très légers et les niveaux globaux significativement inférieurs au seuil global recommandé par l'OMS. Le risque de plaintes est avec cette pose de voie est donc faible.



b - Bâtiments particuliers

Le Théâtre National Populaire est situé à moins de 7 m des voies, le type de pose prévu est donc une dalle flottante « -20 dB ». Les niveaux sonores rayonnés dans les deux salles de spectacles (au R+3 et au R-2), ainsi que dans les espaces plus proches des voies (Salle détente R+1 et Loge R+3) sont inférieurs à 20 dB. Par conséquent, les risques de plaintes sont faibles.

Dans le cas du bâtiment Quai 43, la section du tracé en ligne droite est située à moins de 7 m du bâtiment (donc en pose « -20 dB ») et le virage entre 7 et 9 m (donc pose « -16 dB »). Dans ces deux configurations, les niveaux sonores rayonnés sont inférieurs à 30 dB(A). Ce bâtiment est composé de bureaux administratifs de l'université Claude Bernard Lyon 1 et de salles de TD, compte-tenu des niveaux sonores rayonnés faibles, le risque de plainte est faible.

Enfin, les besoins vibratoires des équipements qui seront utilisés dans l'extension du service de radiologie des HCL sont à ce jour inconnus. Pour fonctionner correctement, certains équipements d'imagerie médicale peuvent nécessiter des niveaux vibratoires très bas. Il est donc nécessaire de provisionner une dalle flottante sur la section à proximité de ce bâtiment. La maîtrise d'ouvrage de ce nouveau service sera interrogée au début de la phase PRO à propos des équipements de laboratoire et de leurs traitements anti-vibratiles (utilisation éventuelle de massifs de désolidarisation pour les équipements les plus sensibles) afin d'optimiser la solution anti-vibratile dans ce secteur.

4.4.3 - Synthèse des risques de plaintes en exploitation

Afin de simplifier les analyses de risque de gêne tactile et de perception auditive en exploitation de l'infrastructure, le tableau ci-dessous récapitule les risques de plaintes des occupants des bâtiments repérés le long du tracé en fonction du type de pose retenue et pour une circulation en ligne droite ou en virage.

Les cases contenant un ensemble vide « Ø » désignent des situations qui ne sont pas rencontrées dans le projet puisque à ce stade du projet, les types de poses de voies prévus en fonction des distances voies-bâti sont :

- > 12 m : Pose classique ;
- Entre 9 m et 12 m : Semelle résiliente « - 8 dB » ;
- Entre 7 m et 9 m : Dalle flottante « -16 dB » ;
- < 7 m : Dalle flottante « -20 dB ».

SYNTHESE DES RISQUES DE PLAINTES									
TYPOLOGIE DE BATIMENTS	DISTANCE RAILS/PIED DE BATI	LIGNE DROITE				VIRAGE			
		TYPE DE POSE				TYPE DE POSE			
		CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB	CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB
TYPOLOGIE 1	20m>d>12m	Mod.	Faible	Faible	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	9m <d<12m	Ø	Mod.	Faible	Faible	Ø	Fort	Faible	Faible
	7m <d<9m	Ø	Ø	Faible	Faible	Ø	Ø	Faible	Faible
	d < 7 m	Ø	Ø	Ø	Faible	Ø	Ø	Ø	Faible
TYPOLOGIE 2	20m>d>12m	Faible	Faible	Faible	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	9m <d<12m	Ø	Faible	Faible	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	7m <d<9m	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø
	d < 7 m	Ø	Ø	Ø	Faible	Ø	Ø	Ø	Faible
TYPOLOGIE 3	20m>d>12m	Mod.	Mod.	Faible	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	9m <d<12m	Ø	Mod.	Faible	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	7m <d<9m	Ø	Ø	Faible	Faible	Ø	Ø	Faible	Faible
	d < 7 m	Ø	Ø	Ø	Faible	Ø	Ø	Ø	Faible
TYPOLOGIE 4	20m>d>12m	Faible	Faible	Faible	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	9m <d<12m	Ø	Mod.	Faible	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	7m <d<9m	Ø	Ø	Faible	Faible	Ø	Ø	Faible	Faible
	d < 7 m	Ø	Ø	Ø	Faible	Ø	Ø	Ø	Faible

Typologie 1 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers béton ;

Typologie 2 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers bois ;

Typologie 3 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielle et planchers béton ;

Typologie 4 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielle et planchers bois.

Tableau 12 : Tableau de synthèse des risques de plainte



SYNTHESE DES RISQUES DE PLAINTES									
TYPOLOGIE DE BATIMENTS	PIECE/ETAGE	LIGNE DROITE				VIRAGE			
		TYPE DE POSE				TYPE DE POSE			
		CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB	CLAS.	-8 DB	-16 DB	-20 DB
TNP	Scène R+3	Ø	Ø	Ø	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	Loge R+3	Ø	Ø	Ø	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	Salle Détente R+1	Ø	Ø	Ø	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
	Scène R-2	Ø	Ø	Ø	Faible	Ø	Ø	Ø	Ø
QUAI 43	Salle TD R+1	Ø	Ø	Ø	Faible	Ø	Ø	Faible	Faible

Tableau 13 : Tableau de synthèse des risques de plainte, bâtiments singuliers

5 - CONCLUSION

L'impact vibratoire du projet d'extension T6 est évalué en découpant le tracé en tronçons homogènes regroupant cinq typologies de bâtiment de structures R-2 à R+8. Les bâtiments impactés par le projet sont principalement des logements. De plus, trois bâtiments singuliers tels qu'un futur centre d'imagerie dépendant des Hospices Civils de Lyon, le Théâtre National Populaire et un bâtiment universitaire sur pilotis sont situés à moins de 20 m des rails.

Le projet présente un risque de plaintes lié au bruit de grondement dans les logements (bruit solidien rayonné par les planchers et les cloisons) au passage du tramway en exploitation. Pour réduire ce risque de plaintes, un dimensionnement des traitements de la voie est effectué en prenant en compte le niveau de bruit solidien. En effet, la valeur limite de perception tactile de 66 dB_v (sur les bandes d'octaves 8 à 125 Hz) est rarement atteinte, c'est donc le bruit solidien qui est dimensionnant.

A ce stade du projet, trois solutions anti-vibratiles proposées sont :

- une pose sur semelle résiliente dite « -8 dB », si la distance rails-bâtiments est comprise entre 9 et 12 m ;
- une dalle flottante « -16 dB » si la distance rails-bâtiments est comprise entre 7 et 9 m ;
- une dalle flottante « -20 dB » si la distance rails-bâtiments est inférieure à 7 m.

Ces traitements sont cohérents pour les spectres vibratoires retenus et pour les sections en ligne droite du projet. Néanmoins, l'atténuation vibratoire dans le sol au passage des rames est différente dans le cas de virage. Compte-tenu de la densité de bâtiment d'habitations et des virages particulièrement serrés le long du projet, il est nécessaire de renforcer les traitements, dans ces cas particuliers, selon les principes suivants :

- un traitement via la pose de semelle résiliente dite « -8dB » en ligne droite pour les bâtiments situés entre 9 et 12 m ;
- un traitement via la pose de dalle flottante « -16 dB » en virage pour les bâtiments situés entre 9 et 12 mètres ; ce traitement en virage pourra être optimisé par une mesure in situ au cas par cas ;
- un traitement via la pose de dalle flottante « -16 dB » en ligne droite et en virage pour les bâtiments situés entre 7 et 9 mètres ;
- un traitement via la pose de dalle flottante « -20 dB » en virage et en ligne droite pour les bâtiments situés à une distance inférieure à 7 mètres.

Ces traitements permettent de réduire le risque de plaintes liées à la gêne sonore et vibratoire dans les logements, les locaux d'imagerie de l'hôpital, le bâtiment universitaire ainsi que dans le théâtre.



Le tableau ci-dessous précise les types de traitements à retenir en fonction de la typologie des bâtiments (Bâtiment collectif avec fondations profondes planchers bois ou béton, bâtiment individuel ou de petits collectifs avec fondations superficielles et planchers bois ou béton, bâtiment béton sur pilotis).

SYNTHESE DES TRAITEMENTS EN FONCTION DE LA DISTANCE BATIMENT-VOIES			
TYPOLOGIE DE BATIMENTS	DISTANCE RAILS/PIED DE BATI	LIGNE DROITE	VIRAGE
TYPOLOGIE 1, 2, 3, 4	20m > d > 12m	Pose Classique	-
	9m < d < 12m	Pose Semelle Résiliente « -8 dB »	Pose Dalle Flottante « -16 dB »*
	7m < d < 9m	Pose Dalle Flottante « -16 dB »	Pose Dalle Flottante « -16 dB »
	d < 7 m	Pose Dalle Flottante « -20 dB »	Pose Dalle Flottante « -20 dB »
TNP	d < 7 m	Pose Dalle Flottante « -20 dB »	Pose Dalle Flottante « -20 dB »
QUAI 43	d < 7 m	Pose Dalle Flottante « -20 dB »	Pose Dalle Flottante « -16 dB »

Typologie 1 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers béton ;

Typologie 2 : Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers bois ;

Typologie 3 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielles et planchers béton ;

Typologie 4 : Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielles et planchers bois.

* Note : ce traitement en virage pourra être optimisé par une mesure in situ au cas par cas.

Tableau 14 : Synthèse des traitements anti-vibratiles en fonction de la distance bâtiment – rail

Enfin, le tracé passe à proximité d'un futur centre d'imagerie des Hospices Civils de Lyon. Les contraintes vibratoires des équipements prévus dans ce bâtiment sont à ce jour inconnues. Par conséquent, il est nécessaire de provisionner un traitement de cette section avec une dalle flottante « -20 dB » et de se rapprocher de la maîtrise d'ouvrage du centre afin de connaître les équipements prévus ainsi que leurs éventuels traitements anti-vibratiles (massif de désolidarisation par équipement). De cette façon, le traitement anti-vibratile pour le centre d'imagerie pourra être optimisé.

6 - ANNEXES

Cf. document dédié

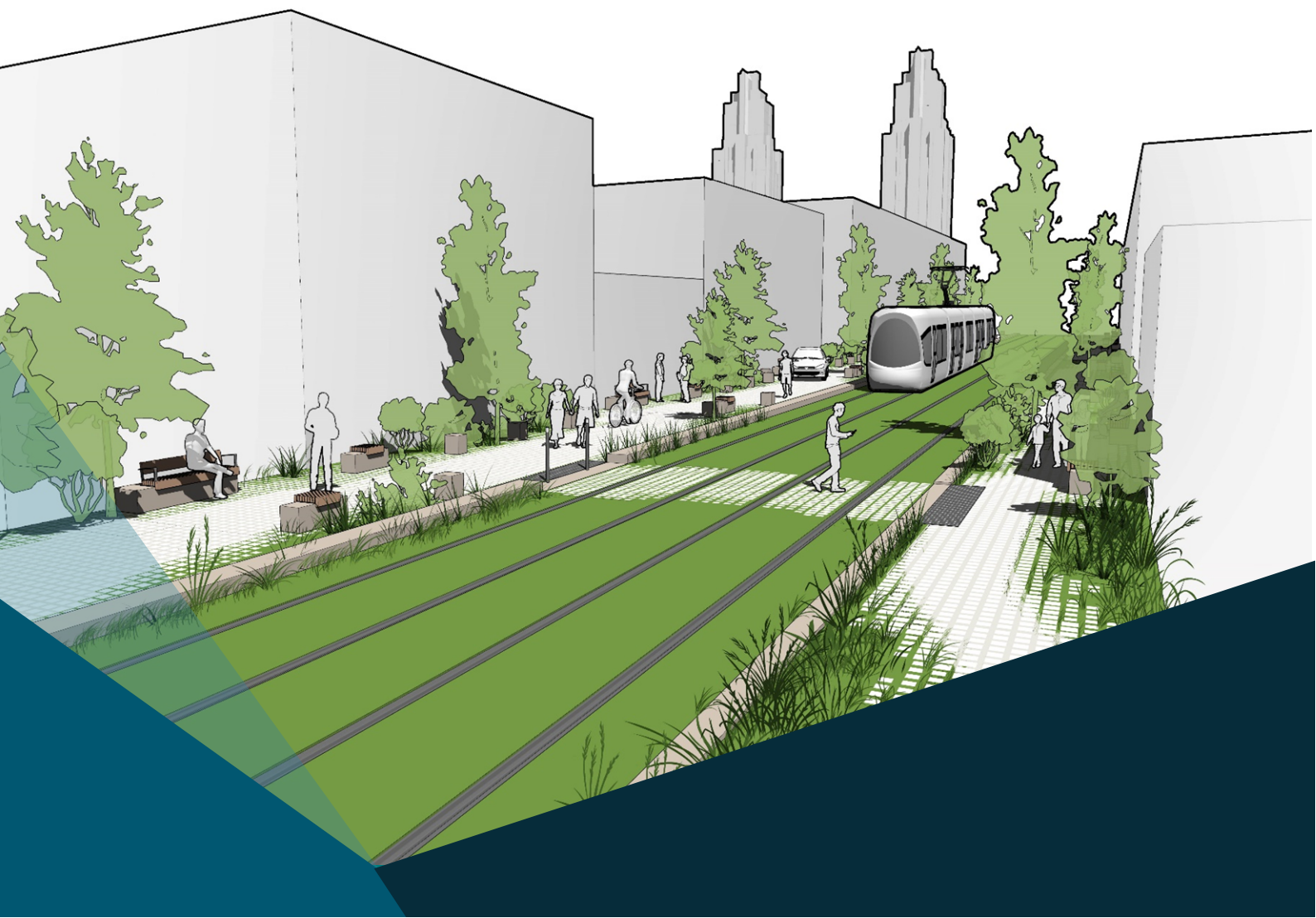




T6N – EXTENSION DE LA LIGNE T6 DE LYON

ETUDE D'IMPACT VIBRATOIRE - ANNEXES

23 juillet 2021



SOMMAIRE

1 - PREAMBULE.....	7
2 - NOTIONS DE VIBRATIONS.....	8
2.1 - Vitesse particulière.....	8
2.2 - Echelle de niveaux vibratoires.....	8
2.3 - Phénomène vibratoire et généralités concernant les impacts bruits et vibrations..	9
3 - CONTEXTE NORMATIF ET REGLEMENTAIRE	10
3.1 - Rappel réglementaire.....	10
3.2 - Seuils applicables au projet.....	11
3.2.1 - Seuils vibratoires de perception tactile.....	11
3.2.2 - Perception auditive des vibrations – Bruit solidien	12
4 - CAMPAGNE DE MESURES VIBRATOIRES	13
4.1 - Objectifs de la campagne	13
4.2 - Méthodologie de mesure.....	13
4.3 - Localisation des mesures	14
4.3.1 - PV 1- Maison du Petit Monde - Bron	14
4.3.2 - PV 2 – Pharmacie Place Grand Clément - Villeurbanne	14
4.3.3 - PV 3 – 62 Avenue Saint-Exupéry - Villeurbanne	15
4.3.4 - PV4 – 51 Avenue Saint-Exupéry – Villeurbanne	15
4.3.5 - PV5-A – TNP – Villeurbanne.....	16
4.3.6 - PV5-B – TNP - Villeurbanne	16
4.3.7 - PV6 – Rue Jean Bourgey – Villeurbanne	17
4.3.8 - PV7 – Avenue Roger Salengro – Villeurbanne	17
4.3.9 - PV8 – Quai 43 - Villeurbanne.....	18
4.4 - Caractéristiques des sources et matériel de mesures	19
4.4.1 - Source d’excitation.....	19
4.4.2 - Chaînes d’acquisition	20
4.5 - Traitement des mesures.....	20
5 - RESULTATS DES MESURES.....	21
5.1 - Niveaux Vibratoires.....	21
5.1.1 - PV 1- Maison du Petit Monde - Bron	21
5.1.2 - PV 2 – Pharmacie Place Grand Clément - Villeurbanne	21
5.1.3 - PV 3 – 62 Avenue Saint-Exupéry - Villeurbanne.....	22



5.1.4 - PV 4 – 51 Avenue Saint-Exupéry – Villeurbanne	22
5.1.5 - PV 5 - A – TNP – Villeurbanne	23
5.1.6 - PV 5 - B – TNP - Villeurbanne	23
5.1.7 - PV 6 – Rue Jean Bourgey – Villeurbanne	23
5.1.8 - PV 7 – Avenue Roger Salengro – Villeurbanne	24
5.1.9 - PV 8 – Quai 43 - Villeurbanne	24
5.1.10 - Tableau de synthèse des niveaux vibratoires mesurés.....	25
5.2 - Fonction de transfert mesurées	28
5.2.1 - PV 1- Maison du Petit Monde - Bron	28
5.2.2 - PV 2 – Pharmacie Place Grand Clément - Villeurbanne	28
5.2.3 - PV 3 – 62 Avenue Saint-Exupéry - Villeurbanne	29
5.2.4 - PV 4 – 51 Avenue Saint-Exupéry – Villeurbanne	29
5.2.5 - PV 5 - A – TNP – Villeurbanne	29
5.2.6 - PV 5 -B – TNP - Villeurbanne	30
5.2.7 - PV 6 – Rue Jean Bourgey – Villeurbanne	30
5.2.8 - PV 7 – Avenue Roger Salengro – Villeurbanne	30
5.2.9 - PV 8 – Quai 43 - Villeurbanne	31
5.2.10 - Tableau de synthèse des fonctions de transfert mesurées	32
6 - ANNEXES	34
6.1 - Annexe 1 : Glossaire	34
6.2 - Annexe 2 : Fiches synthèses des mesures	39
1 - LIGNE DROITE	49
1.1 - Typologie 1 – Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers béton.....	49
1.1.1 - Pose classique	49
1.1.2 - Pose avec semelle résiliente.....	50
1.1.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »	50
1.1.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »	51
1.2 - Typologie 2 – Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers bois.....	52
1.2.1 - Pose classique	52
1.2.2 - Pose avec semelle résiliente.....	53
1.2.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »	53
1.2.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »	54
1.3 - Typologie 3 – Bâtiment individuel/Bâtiment collectif ≤ R+4 avec fondations superficielles et planchers béton	55
1.3.1 - Pose classique	55
1.3.2 - Pose avec semelle résiliente.....	56
1.3.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »	56
1.3.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »	57

1.4 - Typologie 4 - Bâtiment individuel/Bâtiment collectif \leq R+4 avec fondations superficielles et planchers bois	58
1.4.1 - Pose classique	58
1.4.2 - Pose avec semelle résiliente.....	59
1.4.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »	59
1.4.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »	60
2 - VIRAGE	62
2.1 - Typologie 1 – Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers béton.....	62
2.1.1 - Pose classique	62
2.1.2 - Pose avec semelle résiliente.....	63
2.1.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »	63
2.1.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »	64
2.2 - Typologie 2 – Bâtiment collectif avec fondations profondes (R-1 ou R-2) avec planchers bois	65
2.2.1 - Pose classique	65
2.2.2 - Pose avec semelle résiliente.....	66
2.2.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »	66
2.2.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »	67
2.3 - Typologie 3 – Bâtiment individuel/Bâtiment collectif \leq R+4 avec fondations superficielles et planchers béton	68
2.3.1 - Pose classique	68
2.3.2 - Pose avec semelle résiliente.....	69
2.3.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »	69
2.3.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »	70
2.4 - Typologie 4 - Bâtiment individuel/Bâtiment collectif \leq R+4 avec fondations superficielles et planchers bois	71
2.4.1 - Pose classique	71
2.4.2 - Pose avec semelle résiliente.....	72
2.4.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »	72
2.4.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »	73
3 - BATIMENTS PARTICULIERS	74
3.1 - Théâtre National Populaire (TNP) – Villeurbanne.....	74
3.1.1 - R+3 - Scène 1	74
3.1.2 - R-2 – Scène 2	75
3.1.3 - R+3 – Loge	75
3.1.4 - R+1 – Salle détente	76
3.2 - Quai 43 (Université Claude Bernard Lyon 1) – Villeurbanne.....	77



3.2.1 - Ligne droite 77

3.2.2 - Virage 78

ANNEXE 1 – RAPPORT DE MESURES VIBRATOIRES



1 - PREAMBULE

La ligne de tramway T6, mise en service en novembre 2019, relie le sud Est de Lyon au groupement Est des Hospices civils de Bron. L'extension T6N consiste à étendre cette ligne au nord afin de desservir le campus universitaire de la Doua à Villeurbanne.

Le bureau d'études ACOUSTB a été missionné pour réaliser les études d'impact acoustique et vibratoire de cette extension. L'objet de ce document est de présenter les résultats des campagnes de mesures vibratoires réalisées le 28 juin 2021 et du 23 au 25 août 2021.

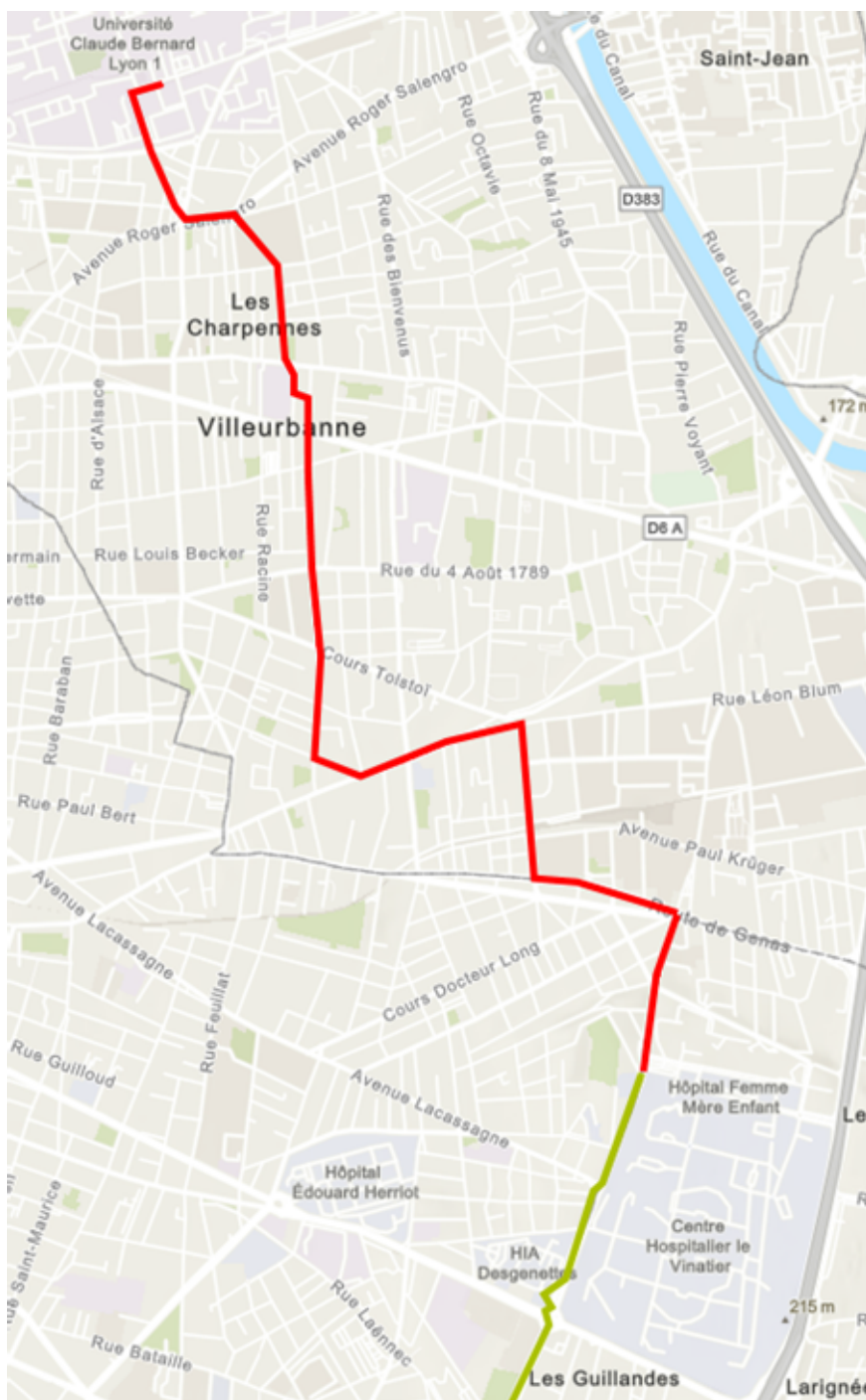


Figure 1 : Tracé de l'extension du T6N (en rouge) et du T6 (en vert)

2 - NOTIONS DE VIBRATIONS

2.1 - VITESSE PARTICULAIRE

Une des grandeurs pertinentes pour décrire un phénomène vibratoire est la vitesse particulière en moyenne RMS, notée V_{rms} , mesurée en un point et exprimée en mm/s ou en dBv. Le seuil de perception humaine tactile est de l'ordre de 0,1 mm/s, soit 66 dBv sur la gamme de fréquences 8 à 80 Hz.

Le niveau de vitesse vibratoire est aussi exprimé en dBv par la relation suivante :

L_v , niveau de vitesse vibratoire en dB par rapport à la référence 5×10^{-8} m/s,

$$L_v = 10 \log \frac{V_{rms}^2}{V_{ref}^2}, \quad V_{rms}, \text{ niveau de vitesse vibratoire RMS en m/s, et}$$

V_{ref} , niveau de vitesse vibratoire de référence fixé à 5×10^{-8} m/s.

2.2 - ECHELLE DE NIVEAUX VIBRATOIRES

La figure suivante propose une échelle vibratoire indiquant les niveaux vibratoires et correspondant aux impacts potentiels sur les structures et sur les activités humaines.

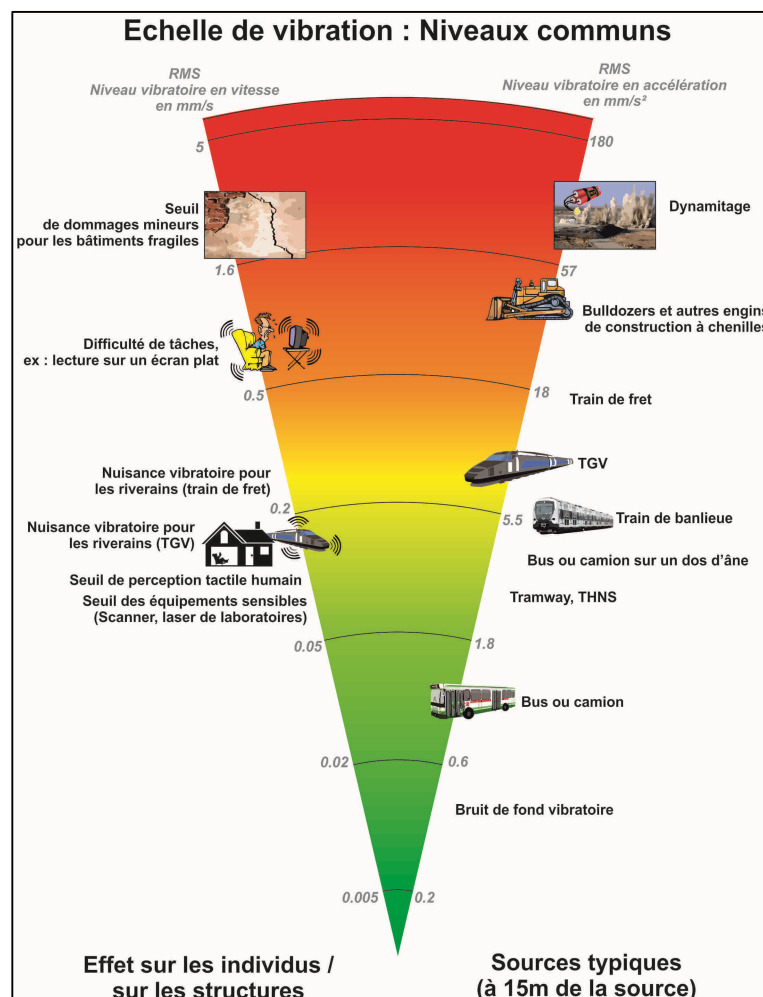
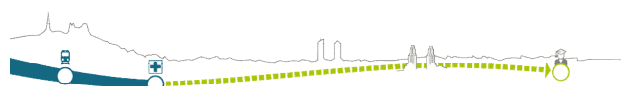


Figure 2 : Échelle de niveaux vibratoires (SOURCE : Egis/ACOUSTB)



2.3 - PHENOMENE VIBRATOIRE ET GENERALITES CONCERNANT LES IMPACTS BRUITS ET VIBRATIONS

Les ondes vibratoires se transmettent à travers le sol jusqu'à l'intérieur des bâtiments, ce qui peut générer un bruit de grondement appelé bruit solidien (bruit généré par la vibration des structures du bâtiment, par opposition au bruit aérien qui se transmet par les ouvertures du bâtiment).

Le chemin suivi par les ondes générées au passage du métro depuis le rail jusqu'à l'intérieur des bâtiments est illustré dans le schéma suivant :

- | | | |
|---|---|----------------------------------|
| 1. Efforts dynamiques d'un train au passage ; | } | Émission |
| 2. Transmission de la voie (rail + semelle + ballast + résilient) ; | | |
| 3. Transmission du sol ; | | |
| 4. Interface sol / structure ; | } | Propagation |
| 5. Interface structure / plancher RDC (nuisance tactile) ; | | |
| 6. Interface plancher RDC / Plancher R+n (nuisance tactile) ; | } | Réception (nuisance potentielle) |
| 7. Régénération acoustique (nuisance sonore). | | |

La figure suivante reprend ces diverses étapes de manière schématique.

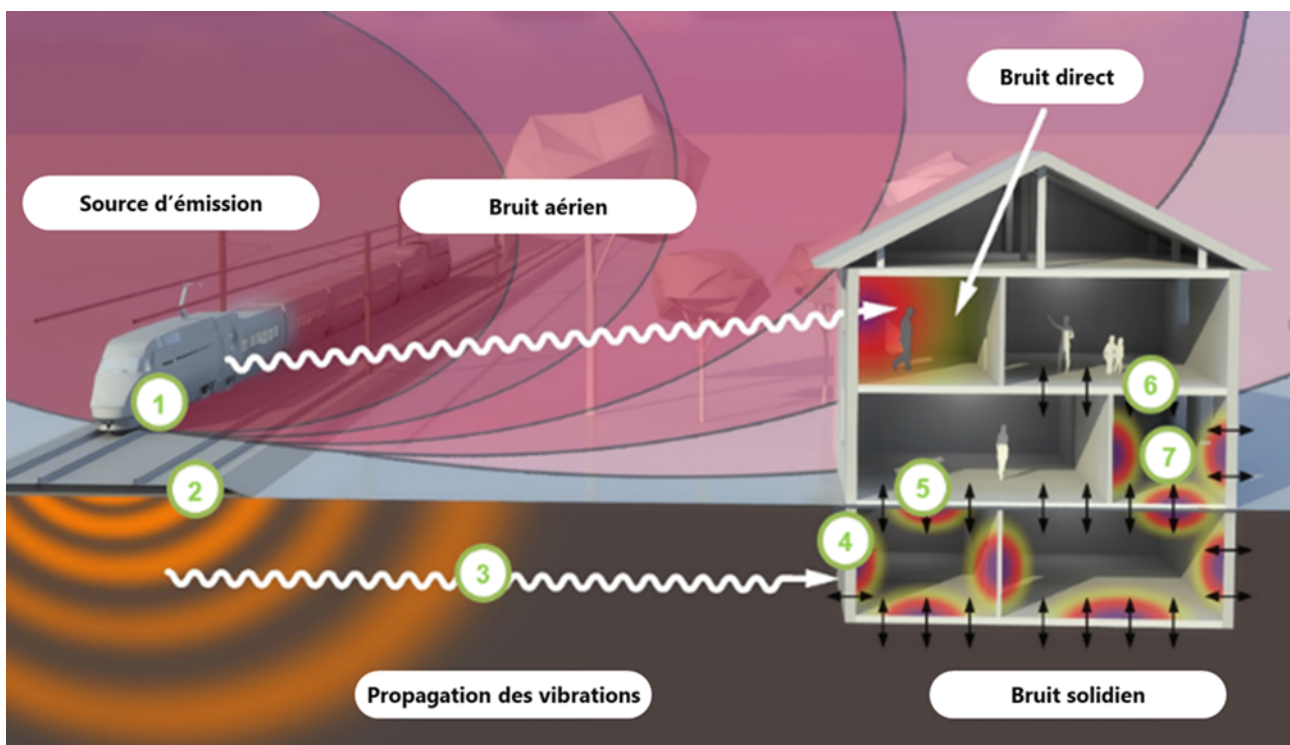


Figure 3 : Phénomènes vibro-acoustiques au passage d'un train (SOURCE : Egis/ACOUSTB)

3 - CONTEXTE NORMATIF ET REGLEMENTAIRE

En France, il n'existe pas de texte réglementaire fixant un seuil de niveau vibratoire à ne pas dépasser au voisinage d'une ligne de tramway ; Une proposition de définition de valeurs limites de risque d'apparition d'une gêne liée aux vibrations est présentée ci-dessous.

3.1 - RAPPEL REGLEMENTAIRE

Les textes suivants ont servi de cadre pour établir le protocole détaillé dans cette note :

- Circulaire du 23/07/86 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement
- NF E90-020-1 de 2015 « Vibrations et chocs mécaniques - Méthode de mesure et d'évaluation - Partie 1 : mesurages et évaluation des réponses des structures aux vibrations générées par les activités humaines. »
- ISO 14837-1 de 2006 « Vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires – Partie 1 : directives générales. »
- ISO 14837-31 de 2017, relative aux vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires qui définit les conditions de mesure in-situ.
- ISO 4866 de 2010 « Mechanical vibration and shock – Vibration of fixed structures – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their structures »
- ISO 2631-1 de 1997 « Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements »
- ISO 2631-2 de 2003 « Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz) »
- Guide américain FTA-VA-90-1003-mai 2006 Transit Noise & Vibration Impact Assessment relatif aux critères de perception et exposition des individus riverains d'infrastructures ferroviaires et les risques de perturbations aux équipements sensibles.
- Directives de l'OMS 1999 relatives au bruit dans l'environnement et dans les logements.



3.2 - SEUILS APPLICABLES AU PROJET

3.2.1 - Seuils vibratoires de perception tactile

Concernant le risque d'apparition d'une gêne liée à la perception tactile des vibrations, il n'existe pas en France de texte réglementaire fixant des seuils de gêne. Il est proposé de prendre comme valeur limite applicable les seuils définis dans la norme ISO 10137 de 2007 relative aux vibrations dans les bâtiments, qui reprend les seuils définis dans la norme ISO 2631-2 de 1989 (valeurs RMS de vitesse vibratoire moyennées sur le passage d'une circulation) :

TYPOLOGIE	PERIODES	NIVEAU VIBRATOIRE	
		VITESSE	NIVEAU VIBRATOIRE VITESSE
		[mm/s]	[dBv] (réf 5.10^{-8} m/s)
EQUIPEMENTS SENSIBLES	Jour	0,10	66
	Nuit	0,10	66
BATIMENTS RESIDENTIELS	Jour	0,20	72
	Nuit	0,14	69
BUREAUX CALMES	Jour	0,20	72
	Nuit	0,20	72
BUREAUX STANDARDS	Jour	0,40	78
	Nuit	0,40	78
ATELIERS	Jour	0,80	84
	Nuit	0,80	84

Figure 4 : Seuil de perception tactile définis dans la norme ISO 2631-2 de 1989

La valeur limite la plus contraignante est fixée à 69 dBv dans les bâtiments résidentiels et à 66 dBv dans les bâtiments abritant des équipements sensibles.

Dans le cadre de cette étude, la valeur limite de vitesse vibratoire admissible sur le plancher à l'intérieur des bâtiments d'habitations et le Théâtre National Populaire (TNP) est fixée à 66 dBv (réf. 5.10^{-8} m/s) pour la gamme de fréquence 8 à 125 Hz. Cette valeur concerne uniquement le risque de gêne liée à la perception tactile des vibrations.

3.2.2 - Perception auditive des vibrations – Bruit solide

L'Organisation Mondiale de la Santé, dans son rapport « Guidelines for community noise », donne des valeurs de référence à ne pas dépasser lorsque l'on cherche à limiter les effets du bruit sur le sommeil. Les valeurs pertinentes dans le cadre de cette étude sont les valeurs suivantes $L_{A,max,1s}$ de niveau de bruit maximum au passage d'une rame, à l'intérieur d'une chambre à coucher :

- **30 dB(A)** : Aucune perturbation du sommeil ;
- **35 dB(A)** : Perturbation des phases de sommeil ;
- **42 dB(A)** : Eveil au milieu de la nuit ou trop tôt le matin.

De plus, des valeurs de bruit $L_{A,max,1s}$ au passage supérieures à 40 dB(A) sont susceptibles d'interférer avec le repos et la convalescence.

Le bruit généré à l'intérieur des bâtiments au passage des rames sera comparé à ces valeurs de référence ainsi qu'au seuil de l'audition défini par la norme ISO 389-7 jusqu'à 80 Hz et fixé à 30 dB pour les autres tiers d'octave.

Dans le cadre de cette étude, les valeurs limites de niveaux de pressions admissible à l'intérieur de tous les bâtiments voisins du projet seront fixées par le gabarit suivant.

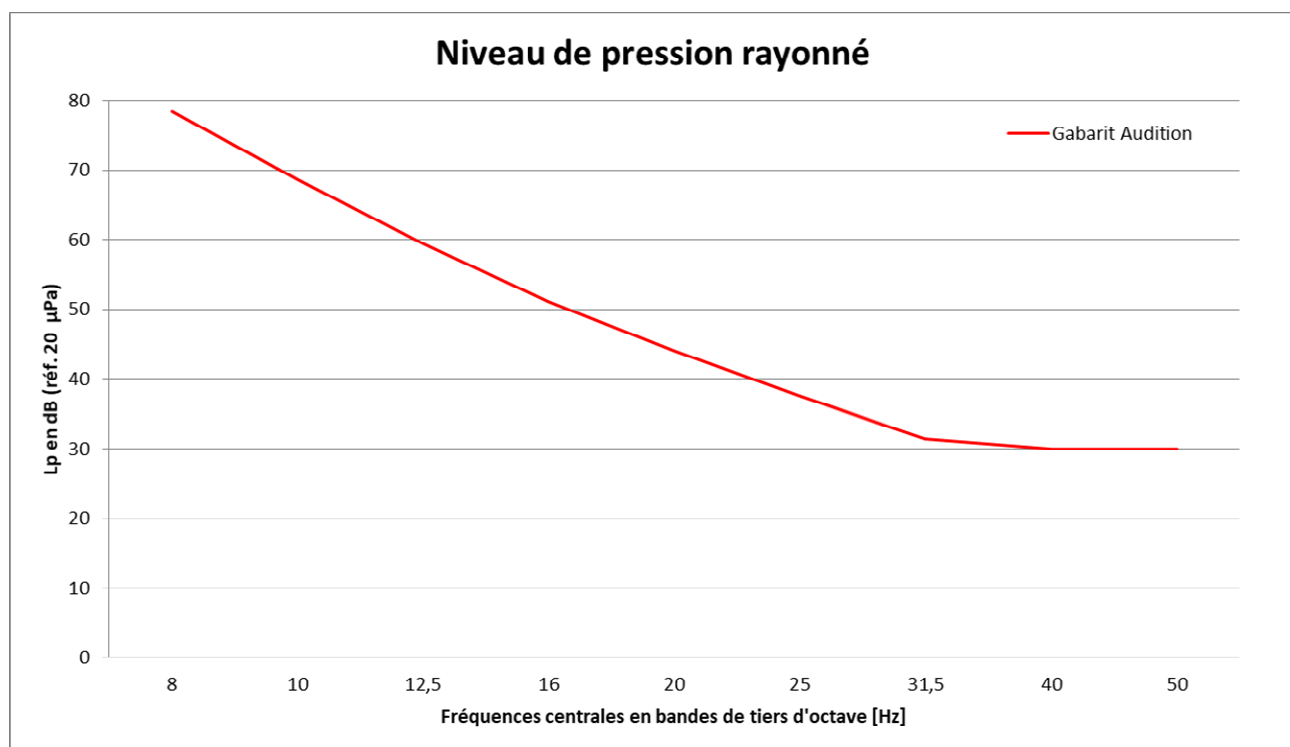


Figure 5 : Seuils des niveaux de pression retenus

4 - CAMPAGNE DE MESURES VIBRATOIRES

4.1 - OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE

Le 28 juin 2021 et du 23 au 25 août 2021, deux campagnes de mesures ont été réalisées pour caractériser les réactions vibratoires de bâtiments à proximité des virages du tracé.

L'objet de ce rapport est de présenter les résultats de mesures et les fonctions de transferts retenues pour l'étude d'impact vibratoire du projet.

4.2 - METHODOLOGIE DE MESURE

Le tramway n'étant pas en fonctionnement, les excitations vibratoires des bâtiments sont réalisées à l'aide d'une pilonneuse à une distance d'environ 7m du pied du bâti.

Les lignes de mesures composées de 4 à 6 capteurs ont été réparties entre la source d'excitation, le pied du bâti, les fondations et un étage du bâtiment, hors RDC.

Le schéma ci-dessous représente cette répartition de capteurs :

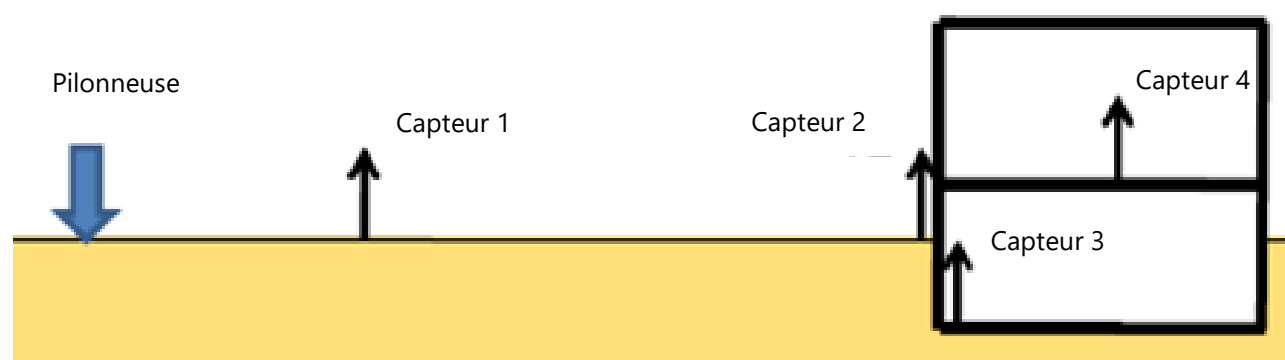
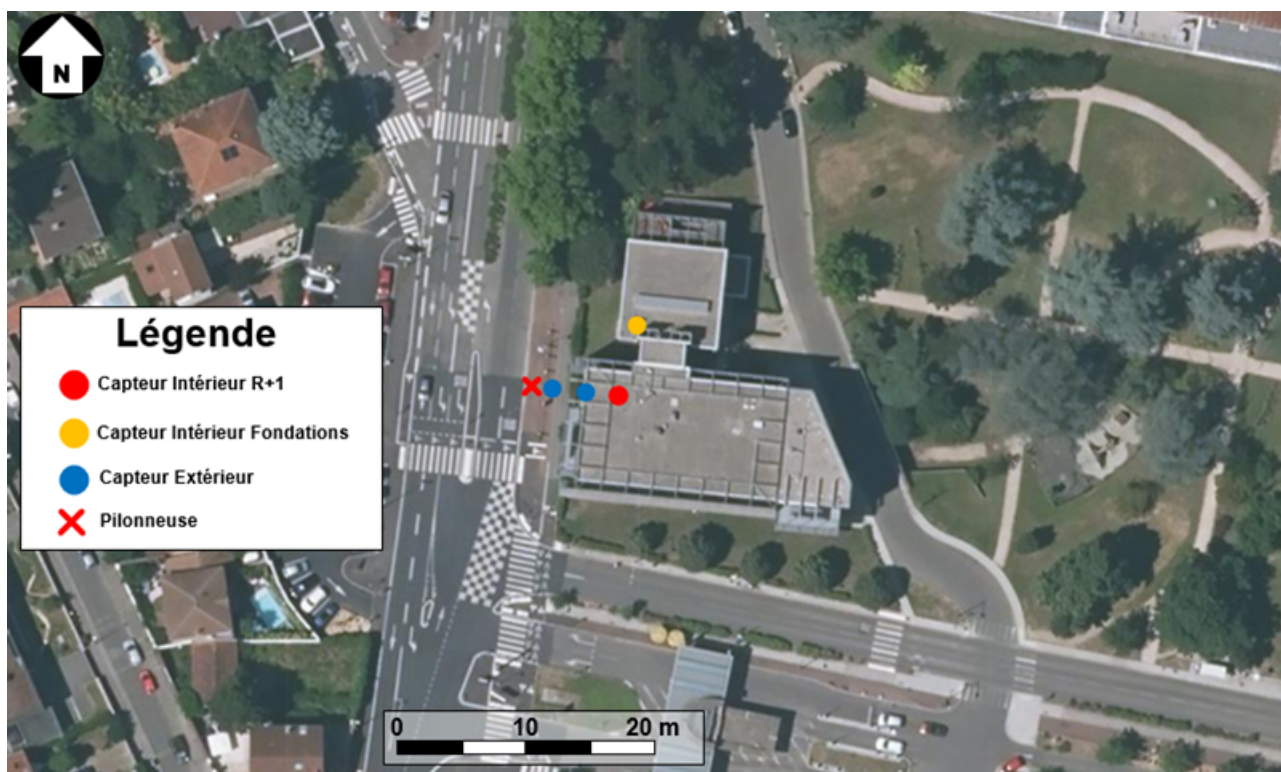


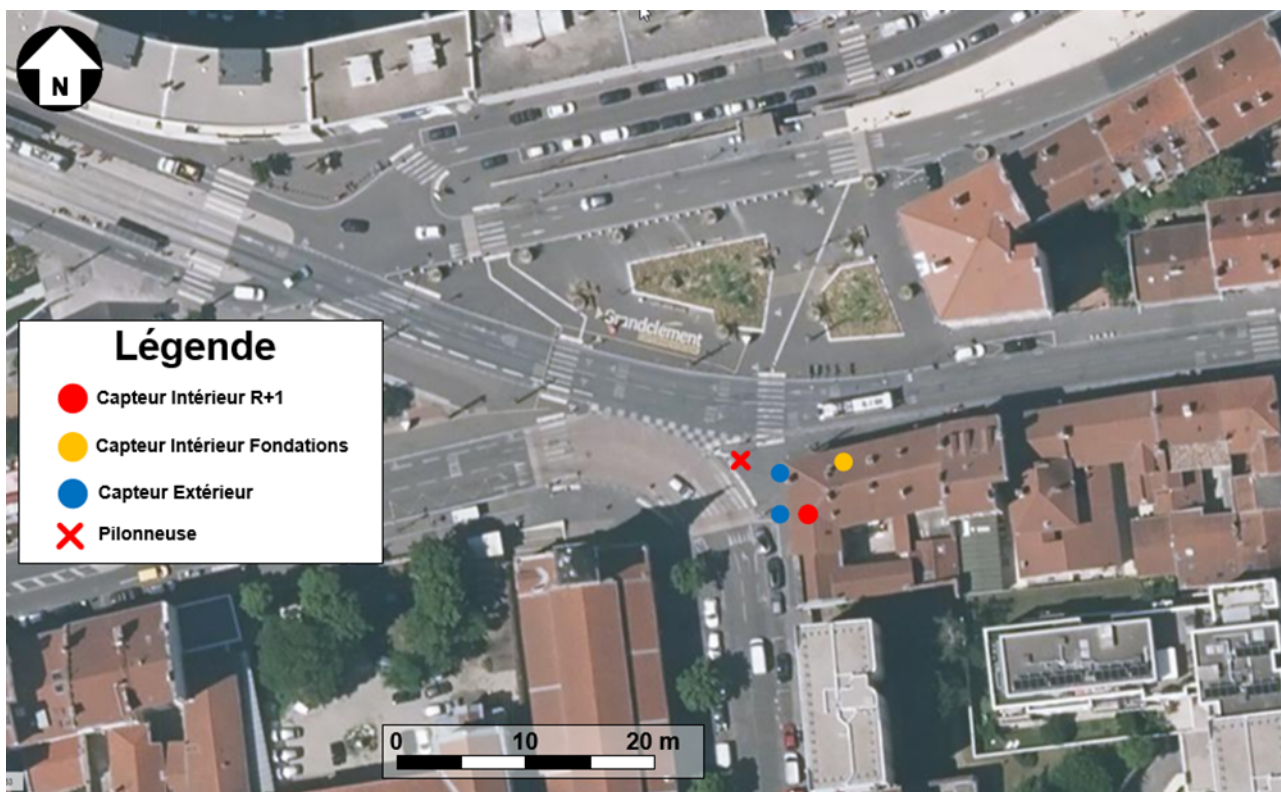
Figure 6 : Principe de position des capteurs

4.3 - LOCALISATION DES MESURES

4.3.1 - PV 1- Maison du Petit Monde - Bron



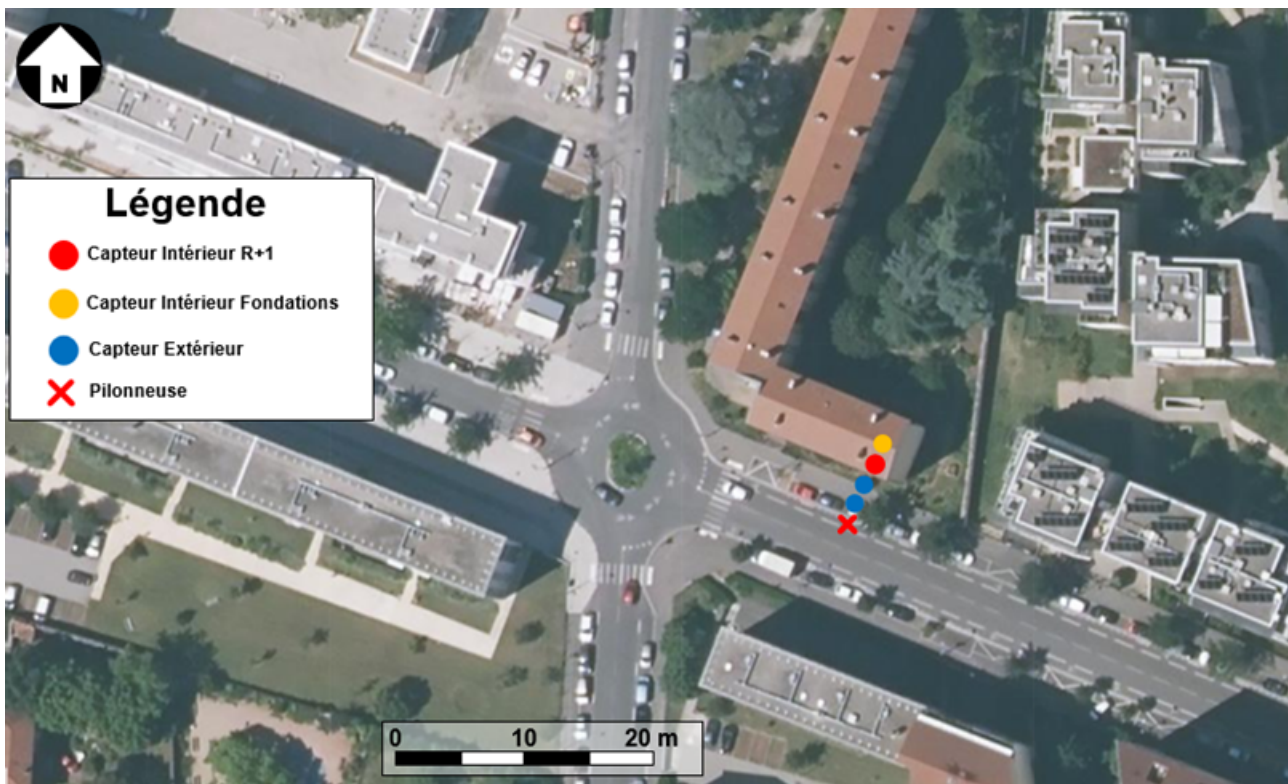
4.3.2 - PV 2 – Pharmacie Place Grand Clément - Villeurbanne



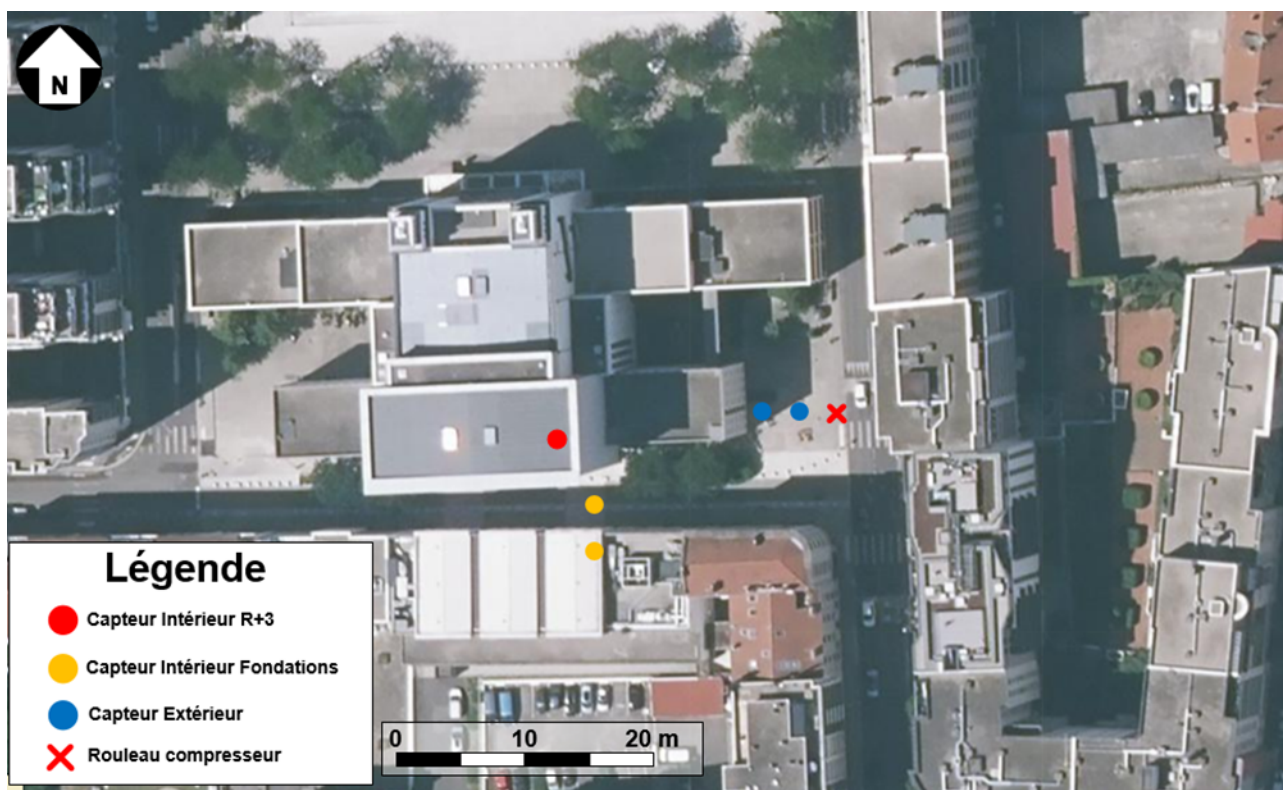
4.3.3 - PV 3 – 62 Avenue Saint-Exupéry - Villeurbanne



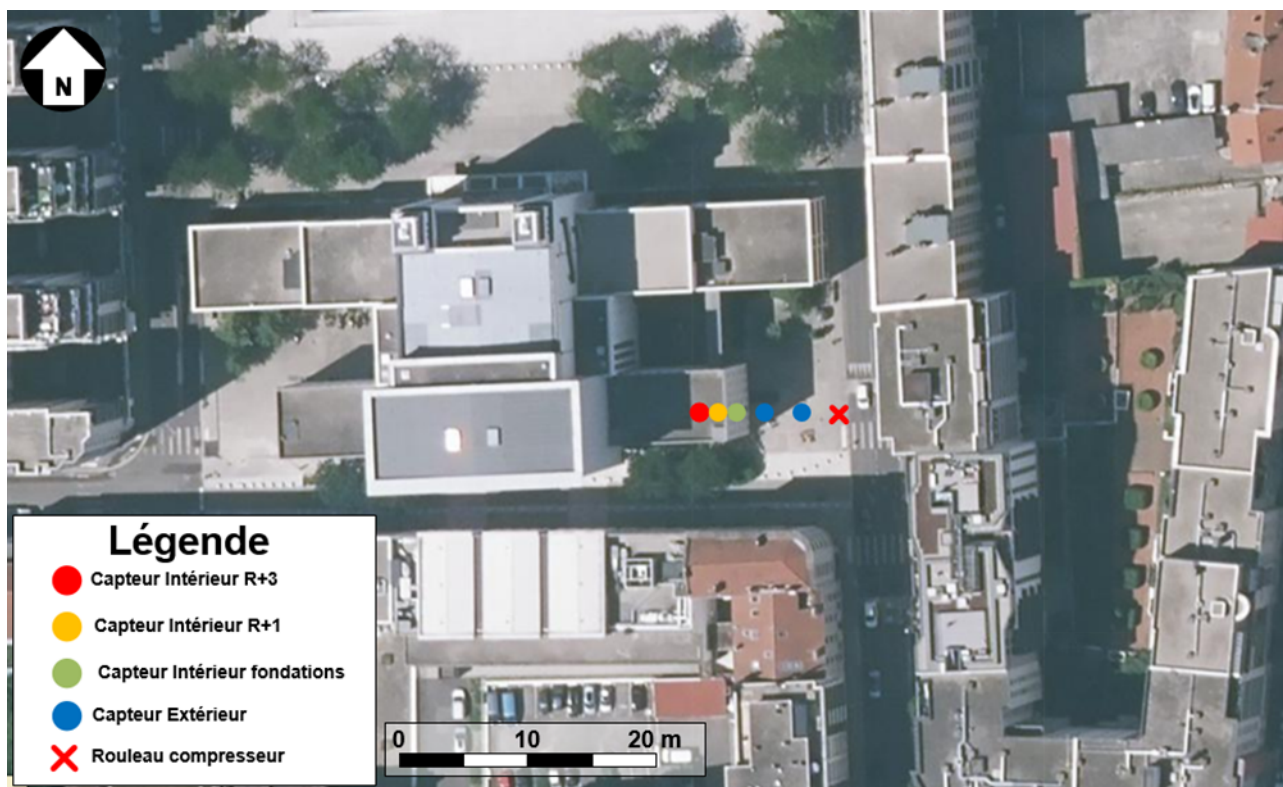
4.3.4 - PV4 – 51 Avenue Saint-Exupéry – Villeurbanne



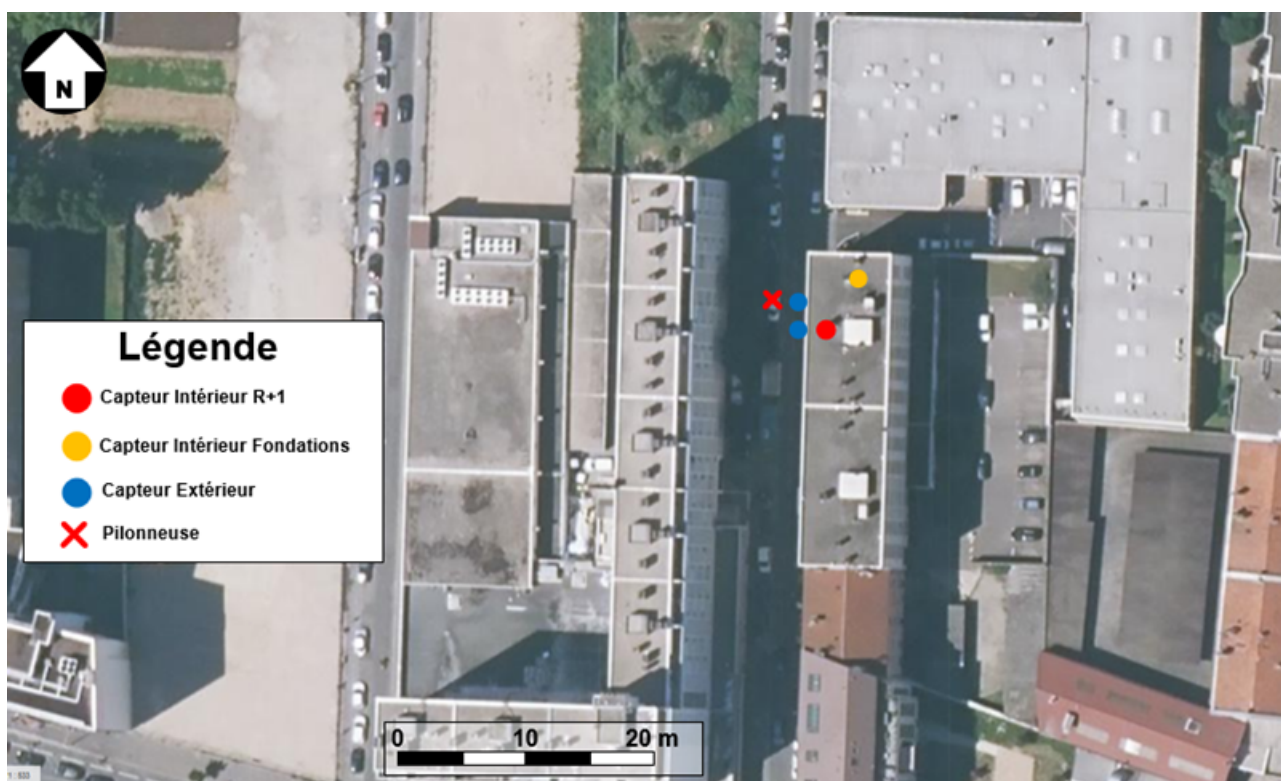
4.3.5 - PV5-A – TNP – Villeurbanne



4.3.6 - PV5-B – TNP - Villeurbanne



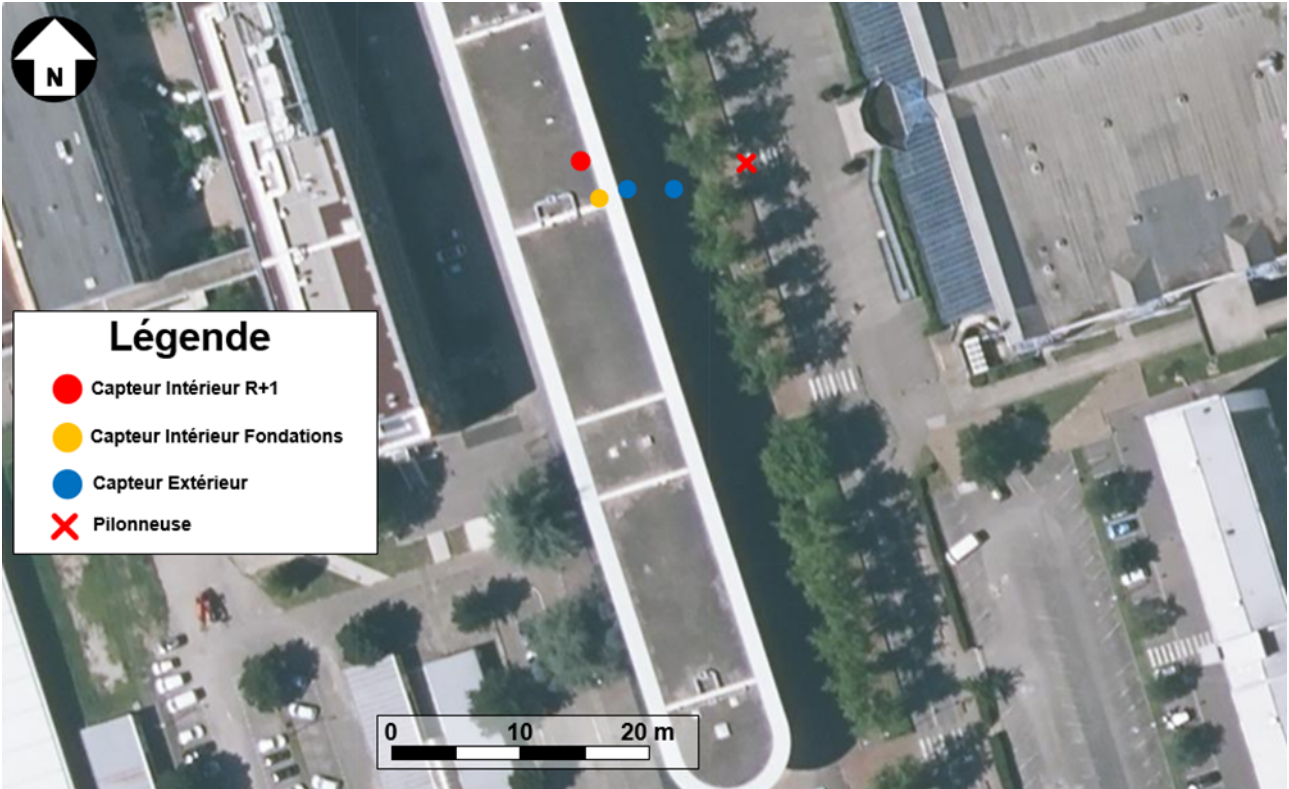
4.3.7 - PV6 – Rue Jean Bourgey – Villeurbanne



4.3.8 - PV7 – Avenue Roger Salengro – Villeurbanne



4.3.9 - PV8 – Quai 43 - Villeurbanne



4.4 - CARACTERISTIQUES DES SOURCES ET MATERIEL DE MESURES

4.4.1 - Source d'excitation

a - Pilonneuse

Pour toutes les mesures, sauf pour les mesures PV5-A et PV5-B, la source d'excitation utilisée est une pilonneuse à essence 4 temps.



Figure 7 : Illustration de pilonneuse

b - Rouleau compresseur duplex

En raison de sa structure imposante, la source d'excitation retenue pour les mesures PV5-A et PV5-B (Théâtre National Populaire de Villeurbanne) est un rouleau compresseur duplex.



Figure 8 : Rouleau compresseur duplex

4.4.2 - Chaînes d'acquisition

Deux chaînes d'acquisition comportant deux à quatre accéléromètres tri-axes SEQUOIA GEA, positionnés avec l'axe Y perpendiculaire à la ligne de tram et une carte d'acquisition quatre voies ont été déployées pour réaliser les mesures.

La sensibilité des capteurs est de 1V/g et l'échantillonnage est paramétré à 1024 Hz. La gamme d'intérêt pour les mesures de cette étude est [5,7 Hz ; 440 Hz] , ce qui correspond aux bandes de tiers d'octave centrées sur 6,3 Hz et 400 Hz.

Le traitement des données est effectué avec le logiciel Matlab.



Carte d'acquisition Sequoia

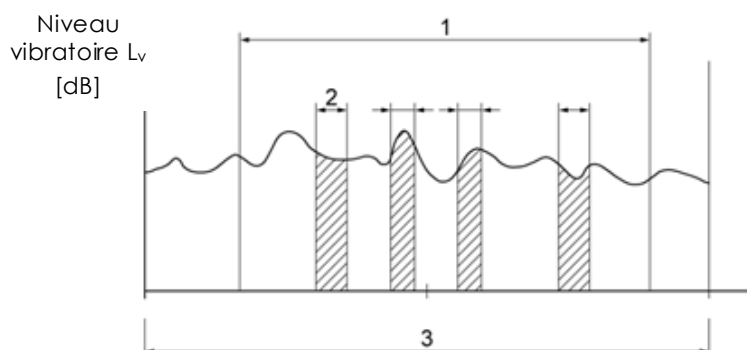
Capteur SEQUOIA GEA

Figure 9 : Photos du matériel de mesure

4.5 - TRAITEMENT DES MESURES

La vitesse particulière (unité [m/s]) est la grandeur physique retenue pour évaluer les vibrations des structures du bâtiment dans la plage de fréquences appartenant aux bandes de tiers d'octave de 6,3 Hz à 400 Hz. Elle est obtenue par intégration du signal d'accélération échantillonné à 1024 Hz avec les précautions nécessaires.

L'enregistrement complet du signal temporel est traité pour obtenir l'indicateur $I_{\text{veq}}(t)$ niveau énergétique équivalent sur l'intervalle t (t variable selon le phénomène étudié). Dans cette étude l'intervalle de mesure est fixe à une durée de 1 seconde correspondant au pic le plus élevé du niveau vibratoire pour chaque passage de train.



Légende

- 1 : Intervalle d'observation
- 2 : Intervalle de mesure d'un événement particulier
- 3 : Intervalle de référence incluant la période d'observation

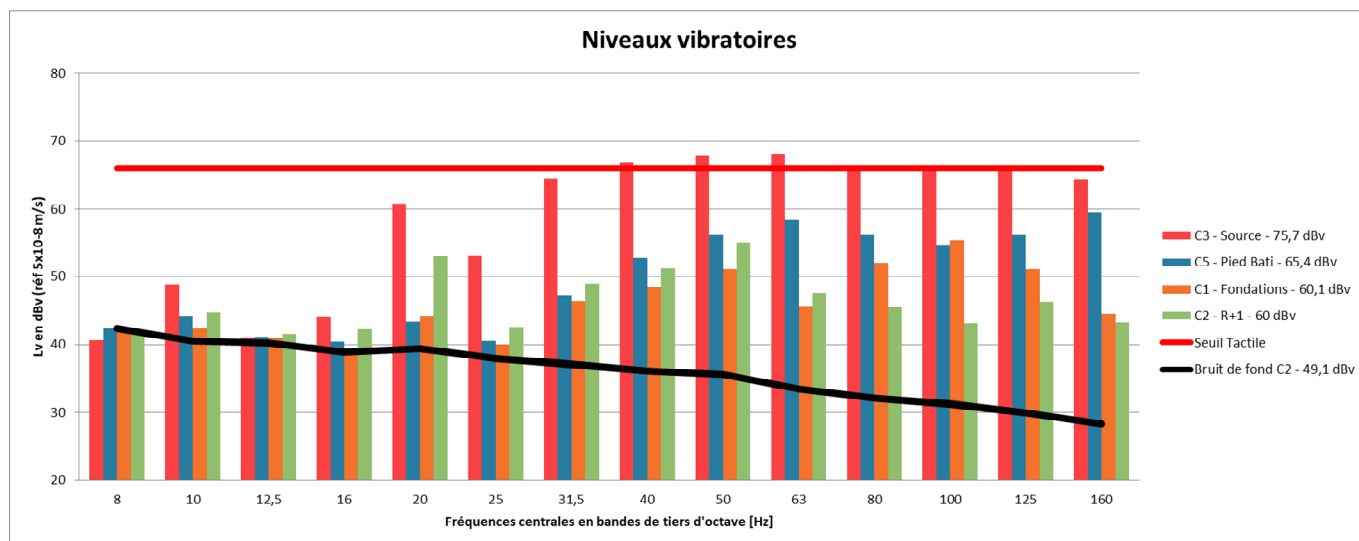
Figure 10 : Intervalle d'observation caractéristique de la situation vibratoire selon NF E90-020.



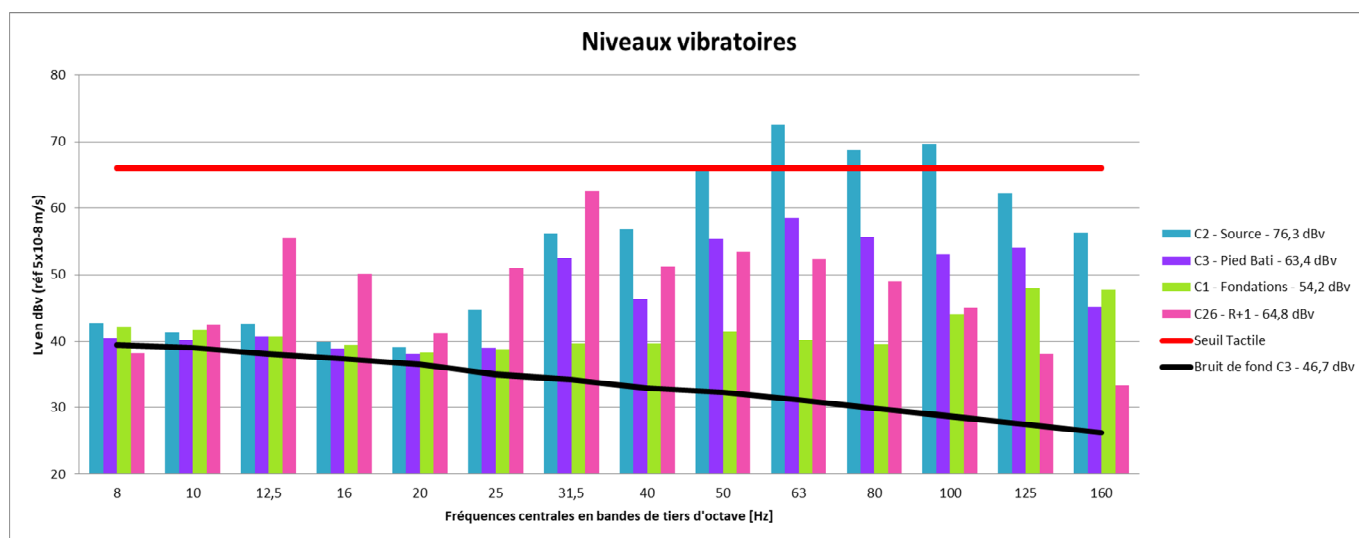
5 - RESULTATS DES MESURES

5.1 - NIVEAUX VIBRATOIRES

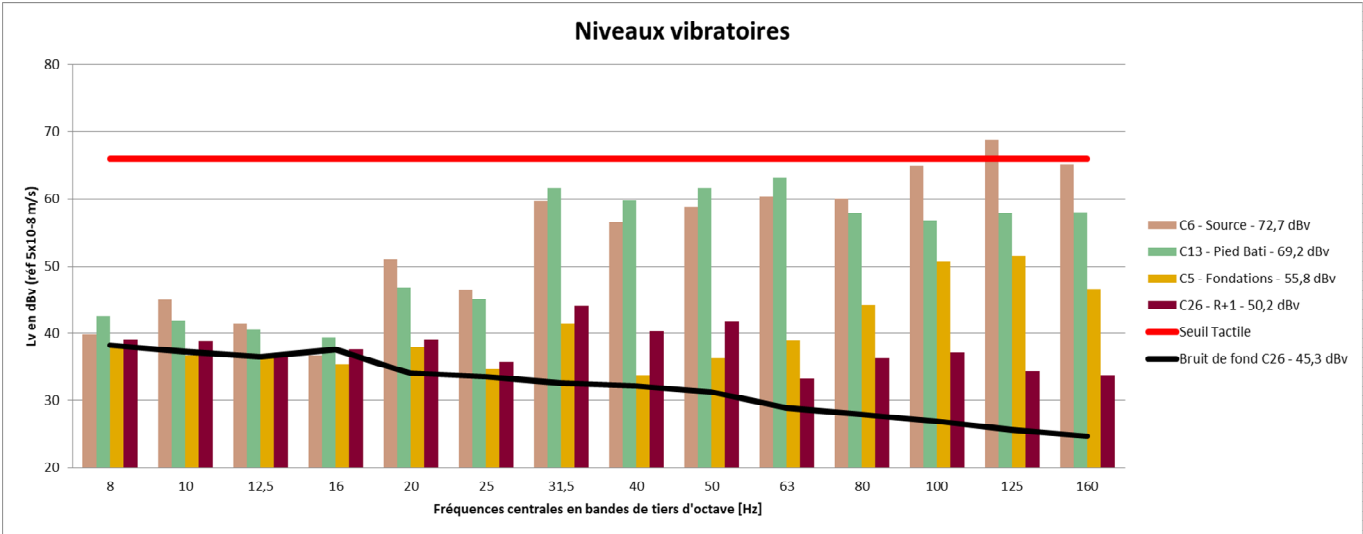
5.1.1 - PV 1- Maison du Petit Monde - Bron



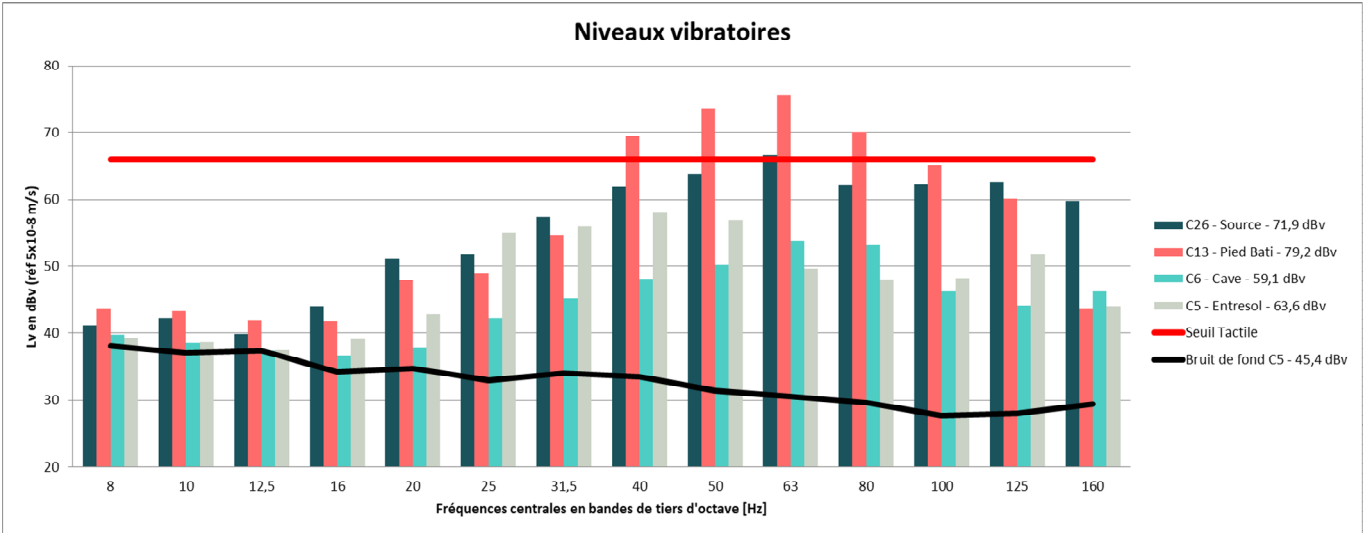
5.1.2 - PV 2 – Pharmacie Place Grand Clément - Villeurbanne



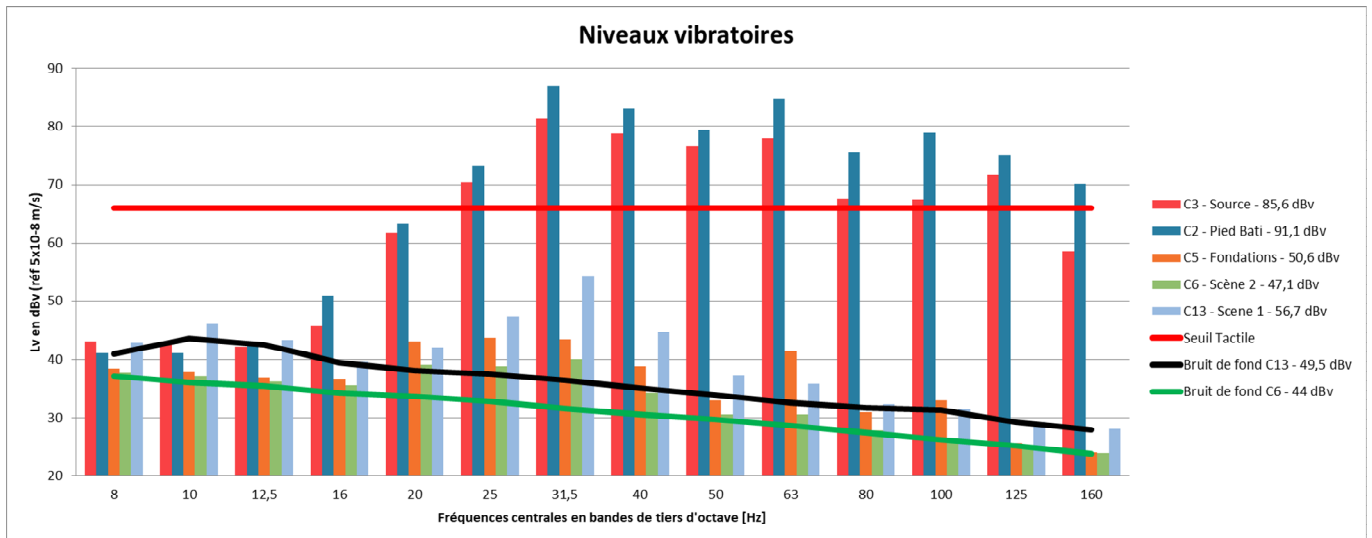
5.1.3 - PV 3 – 62 Avenue Saint-Exupéry - Villeurbanne



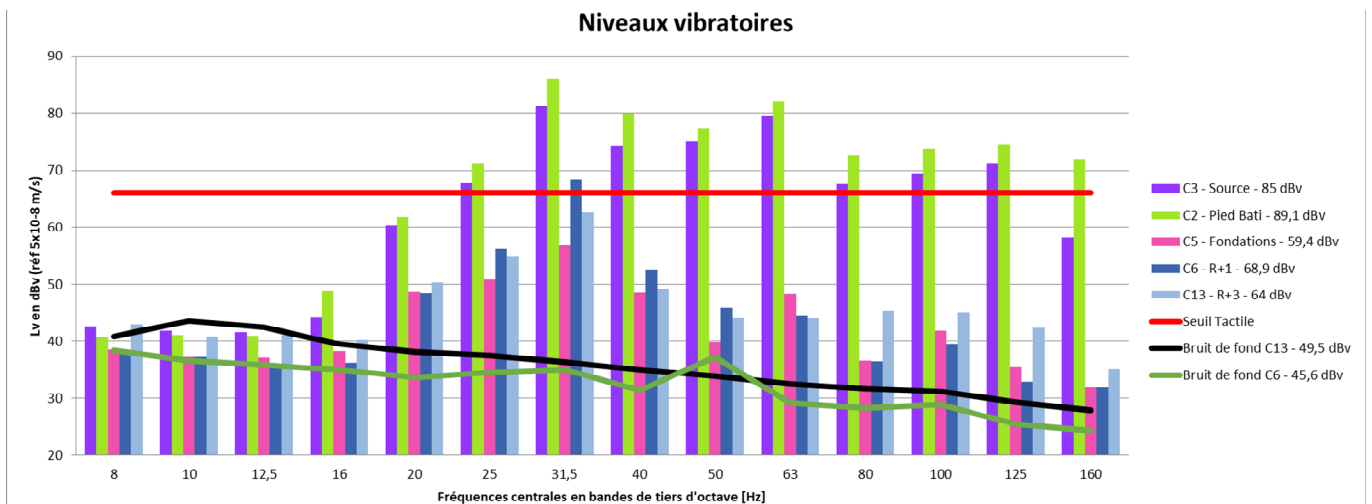
5.1.4 - PV 4 – 51 Avenue Saint-Exupéry – Villeurbanne



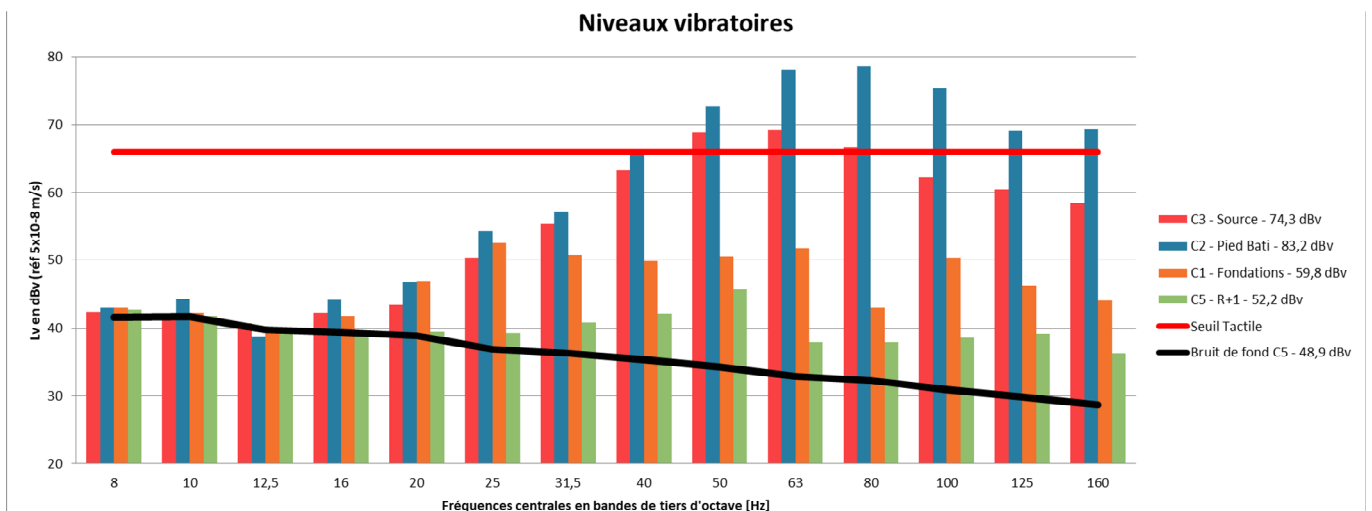
5.1.5 - PV 5 - A – TNP – Villeurbanne



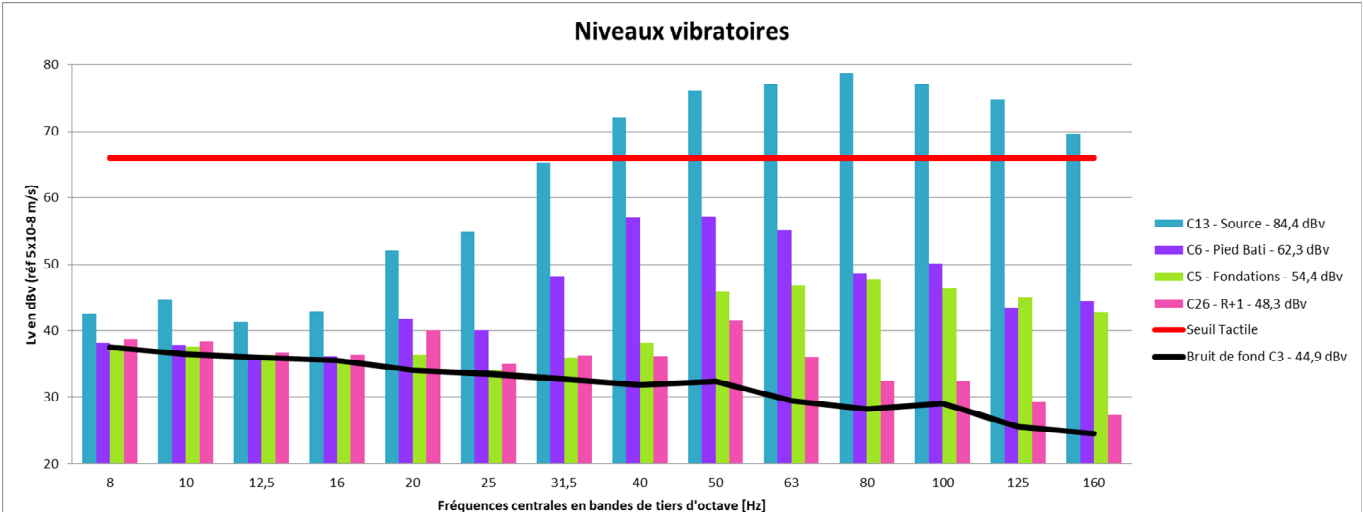
5.1.6 - PV 5 - B – TNP - Villeurbanne



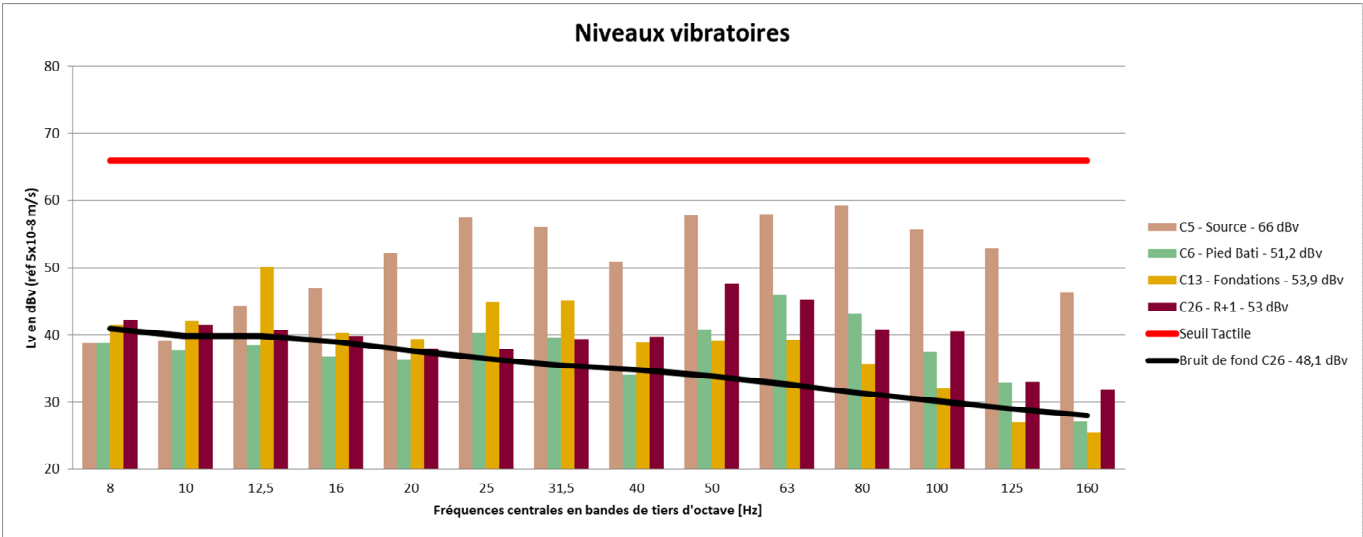
5.1.7 - PV 6 – Rue Jean Bourgey – Villeurbanne



5.1.8 - PV 7 – Avenue Roger Salengro – Villeurbanne



5.1.9 - PV 8 – Quai 43 - Villeurbanne



5.1.10 - Tableau de synthèse des niveaux vibratoires mesurés

NIVEAUX VIBRATOIRES L _v [DB _v] (REF. 5 10 ⁻⁸ M.S ⁻¹)															
FREQUENCE [HZ]		8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	GLOBAL [DB(A)]
PV 1	Source	40,6	48,9	41,0	44,1	60,7	53,2	64,4	66,9	67,9	68,1	66,0	66,4	66,3	75,4
	Pied Bâti	42,4	44,1	41,2	40,5	43,3	40,6	47,3	52,7	56,2	58,4	56,2	54,8	56,2	64,1
	Fondations R-1	42,2	42,4	40,9	39,4	44,2	40,0	46,4	48,5	51,1	45,6	52,0	55,4	51,0	60,0
	Chambre R+1	42,2	44,7	41,6	42,3	53,0	42,6	49,0	51,2	55,1	47,6	45,6	43,1	46,3	59,9
PV 2	Source	42,7	41,3	42,5	39,9	39,2	44,7	56,2	56,8	66,4	72,6	68,8	69,7	62,3	76,3
	Pied Bâti	40,5	40,3	40,8	38,9	38,1	39,0	52,6	46,4	55,4	58,6	55,7	53,1	54,0	63,4
	Cave R-1	42,2	41,6	40,8	39,4	38,3	38,8	39,7	39,6	41,4	40,2	39,6	44,0	47,9	53,1
	Salle Détente R+1	38,2	42,4	55,4	50,1	41,2	51,0	62,5	51,3	53,4	52,4	48,9	45,1	38,1	64,8
PV 3	Source	39,9	44,9	41,4	36,7	51,1	46,6	59,7	56,5	58,8	60,4	60,0	64,9	68,8	71,8
	Pied Bâti	42,6	41,8	40,5	39,5	46,8	45,1	61,6	59,8	61,6	63,1	57,9	56,8	58,0	68,9
	Fondations R-2	38,1	36,7	36,3	35,4	37,8	34,7	41,5	33,8	36,3	39,0	44,2	50,6	51,5	55,3
	Salon R+1	39,0	38,8	36,7	37,6	39,0	35,7	44,1	40,3	41,8	33,2	36,2	37,1	34,3	50,1
PV 4	Source	41,2	42,3	39,8	44,0	51,2	51,8	57,4	61,8	63,9	66,8	62,0	62,1	62,6	71,7
	Pied Bâti	43,7	43,3	41,9	41,7	47,9	48,9	54,6	69,4	73,6	75,6	70,1	65,1	60,1	79,2
	Cave R-1	39,7	38,5	37,4	36,6	37,9	42,3	45,3	48,1	50,2	53,8	53,2	46,3	44,1	58,9
	Chambre Entresol	39,2	38,6	37,5	39,1	42,8	54,9	56,0	58,1	57,0	49,7	48,0	48,2	51,8	63,6
PV 5-A	Source	43,1	42,6	42,1	45,7	61,7	70,4	81,5	78,7	76,7	78,1	67,5	67,4	71,7	85,6

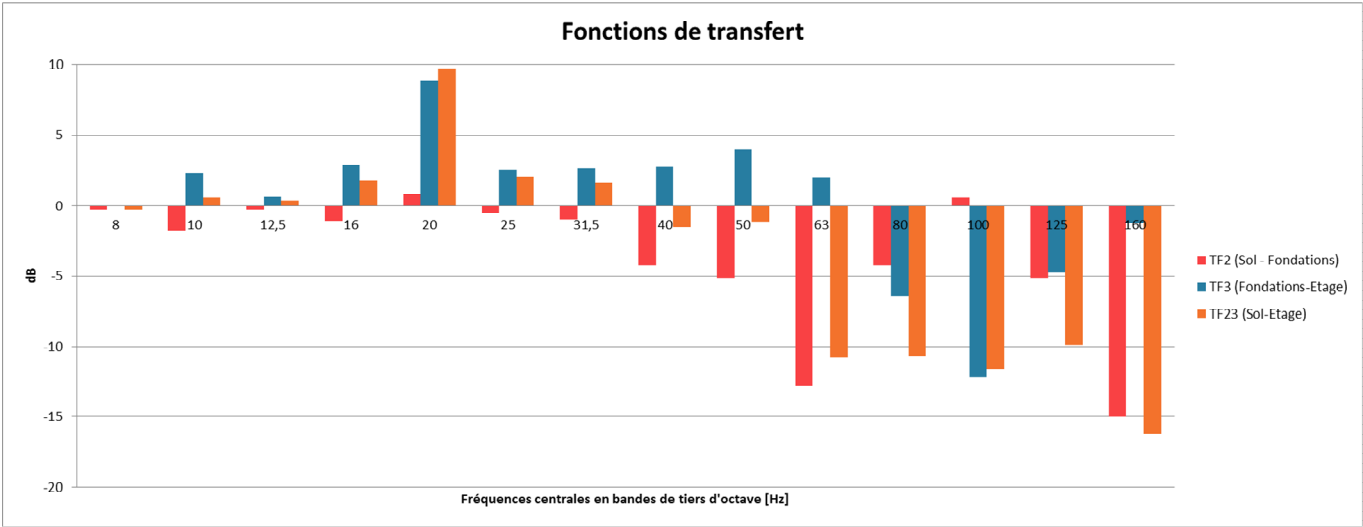
	Pied Bâti	41,0	41,0	42,7	50,9	63,3	73,3	87,0	83,2	79,4	84,9	75,7	78,9	75,1	91,0
	Fondations R-2	38,4	37,8	36,9	36,7	43,0	43,7	43,4	38,9	32,9	41,4	30,9	32,9	25,6	50,6
	Scène 2 R-2	37,7	37,1	36,2	35,6	39,0	38,8	40,1	34,2	30,6	30,6	27,7	26,4	25,1	47,1
	Scène 1 R+3	42,9	46,1	43,4	39,6	42,0	47,3	54,2	44,7	37,3	35,8	32,2	31,4	29,2	56,7
PV 5-B	Source	42,6	41,8	41,6	44,3	60,4	67,7	81,1	74,3	75,1	79,6	67,5	69,5	71,3	85,0
	Pied Bâti	40,8	41,1	41,0	48,8	61,9	71,2	86,1	79,9	77,4	82,1	72,5	73,8	74,6	89,0
	Fondations R-2	38,5	37,2	37,2	38,3	48,7	50,8	56,9	48,5	39,8	48,3	36,7	41,9	35,5	59,4
	R+1 Salle Détente	37,9	37,2	36,1	36,3	48,5	56,3	68,4	52,7	45,9	44,6	36,5	39,4	32,9	68,9
	R+3 Loge	43,0	40,8	41,1	40,2	50,3	54,8	62,6	49,2	44,2	44,1	45,3	45,0	42,4	64,0
PV 6	Source	42,3	41,2	40,8	42,2	43,4	50,3	55,3	63,3	68,9	69,3	66,6	62,2	60,4	74,2
	Pied Bâti	43,0	44,3	38,7	44,2	46,8	54,4	57,1	65,5	72,7	78,0	78,6	75,4	69,1	83,0
	Fondations R-1	43,0	42,2	40,2	41,8	46,9	52,5	50,7	49,8	50,5	51,8	43,0	50,3	46,3	59,7
	Bureau R+1	42,6	41,8	39,8	39,5	39,4	39,3	40,8	42,1	45,6	38,0	37,9	38,6	39,2	52,1
PV 7	Source	42,5	44,7	41,3	42,9	52,0	54,9	65,3	72,1	76,2	77,1	78,6	77,2	74,8	84,3
	Pied Bâti	38,2	37,8	36,3	36,2	41,8	40,0	48,2	57,0	57,2	55,1	48,7	50,1	43,5	62,2
	Fondations R-2	37,9	37,7	36,3	35,6	36,3	34,0	35,9	38,2	45,9	46,8	47,6	46,3	45,1	54,1
	Sanitaires R+1	38,8	38,4	36,7	36,4	40,0	35,0	36,3	36,1	41,5	36,0	32,5	32,5	29,3	48,3
PV 8	Source	38,8	39,2	44,3	46,9	52,1	57,5	56,0	50,9	57,8	58,1	59,2	55,7	52,8	66,0



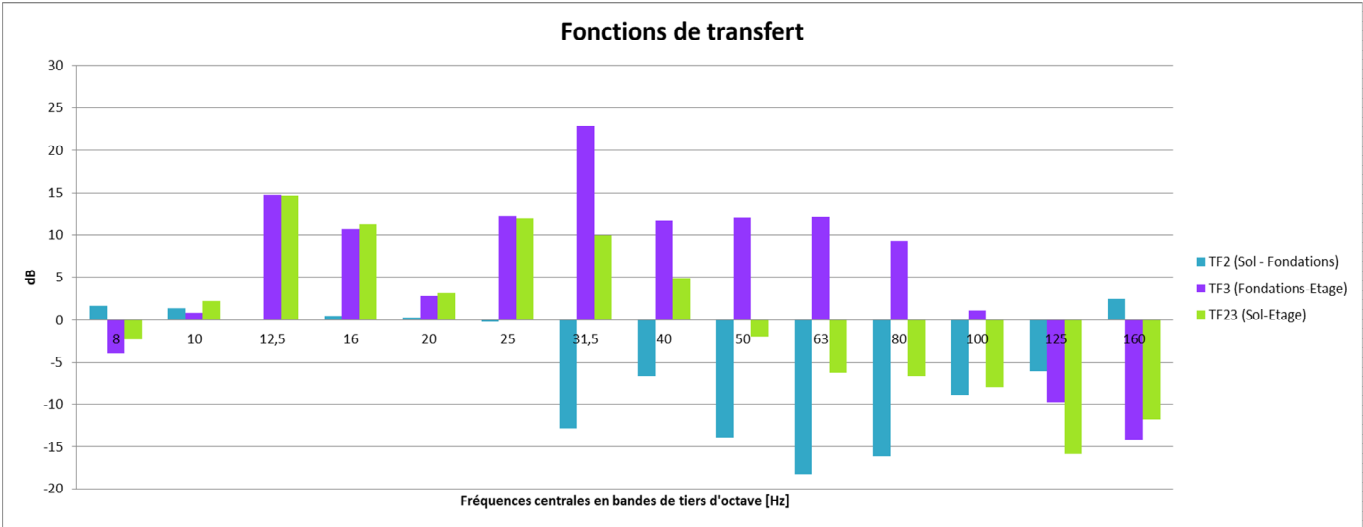
[illegible]

5.2 - FONCTION DE TRANSFERT MESUREES

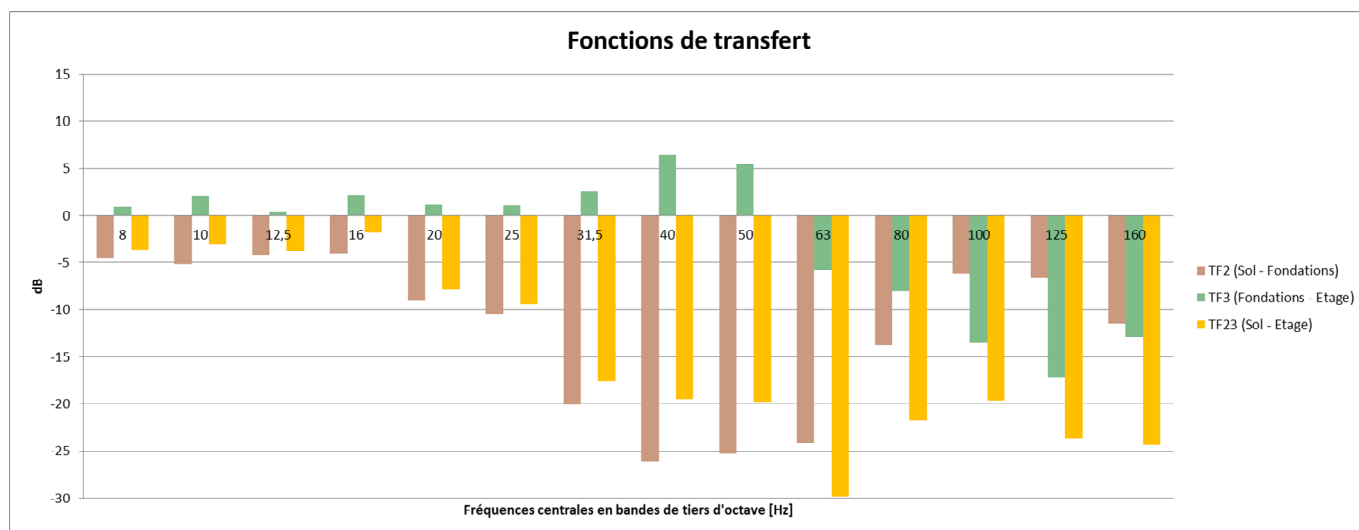
5.2.1 - PV 1- Maison du Petit Monde - Bron



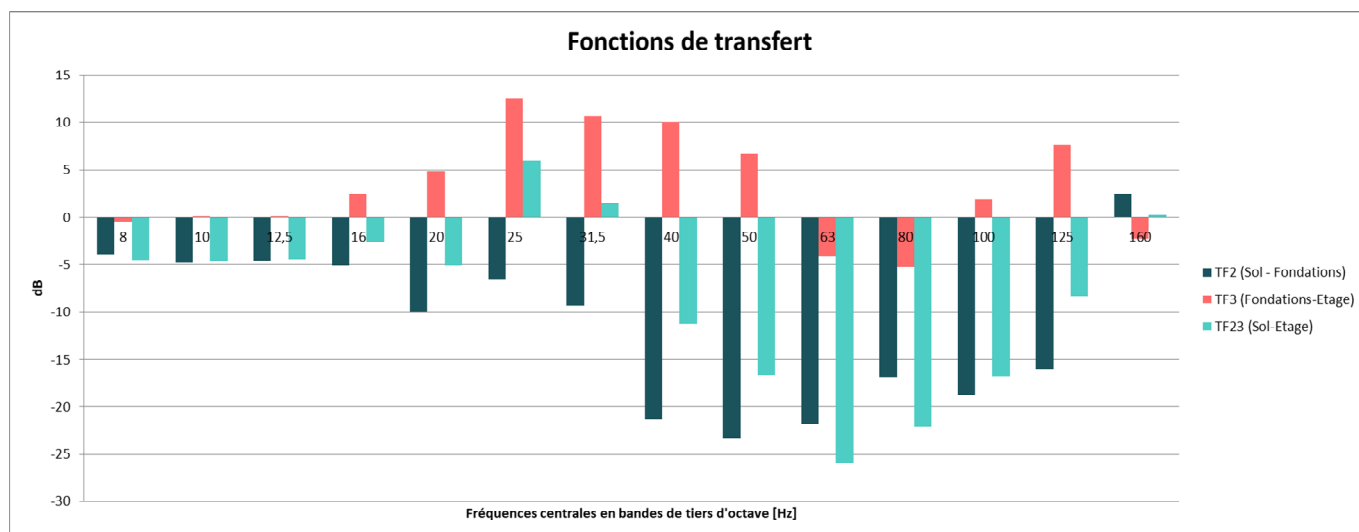
5.2.2 - PV 2 – Pharmacie Place Grand Clément - Villeurbanne



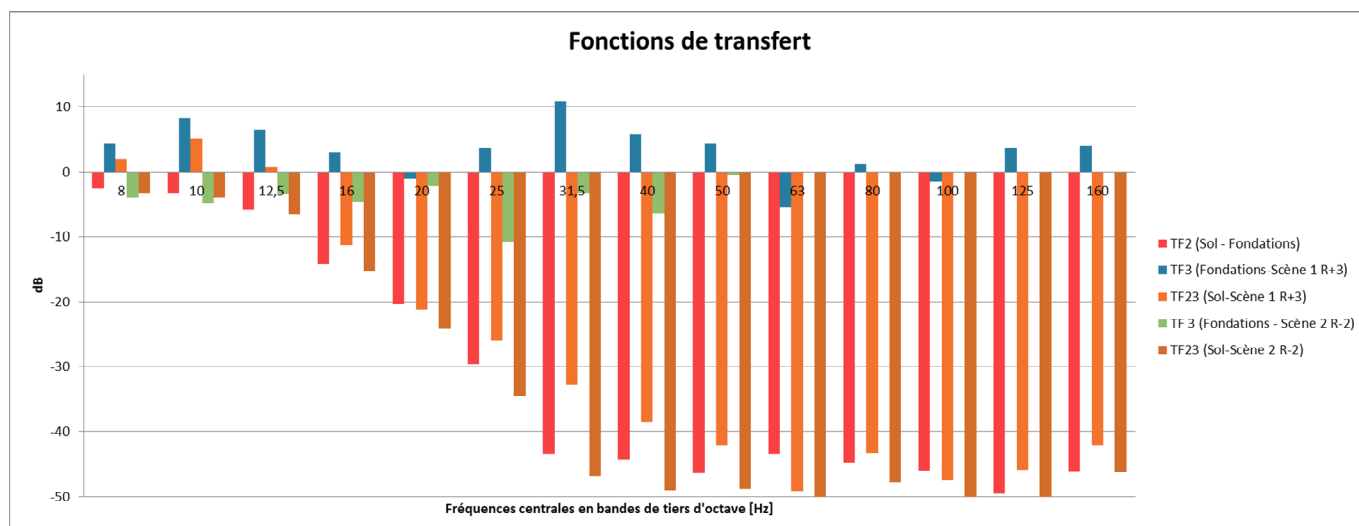
5.2.3 - PV 3 – 62 Avenue Saint-Exupéry - Villeurbanne



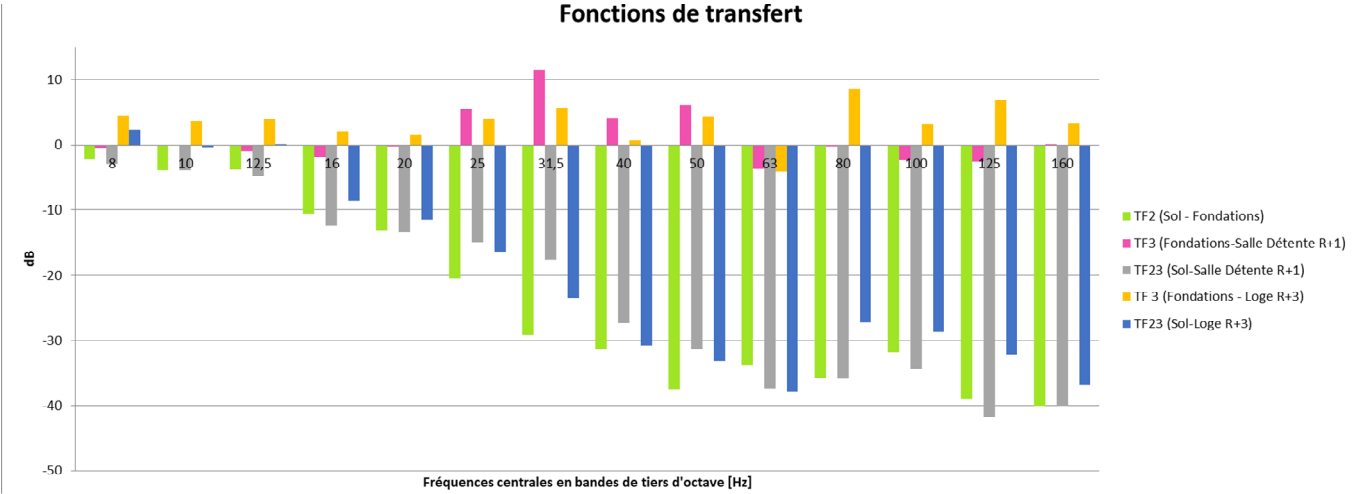
5.2.4 - PV 4 – 51 Avenue Saint-Exupéry – Villeurbanne



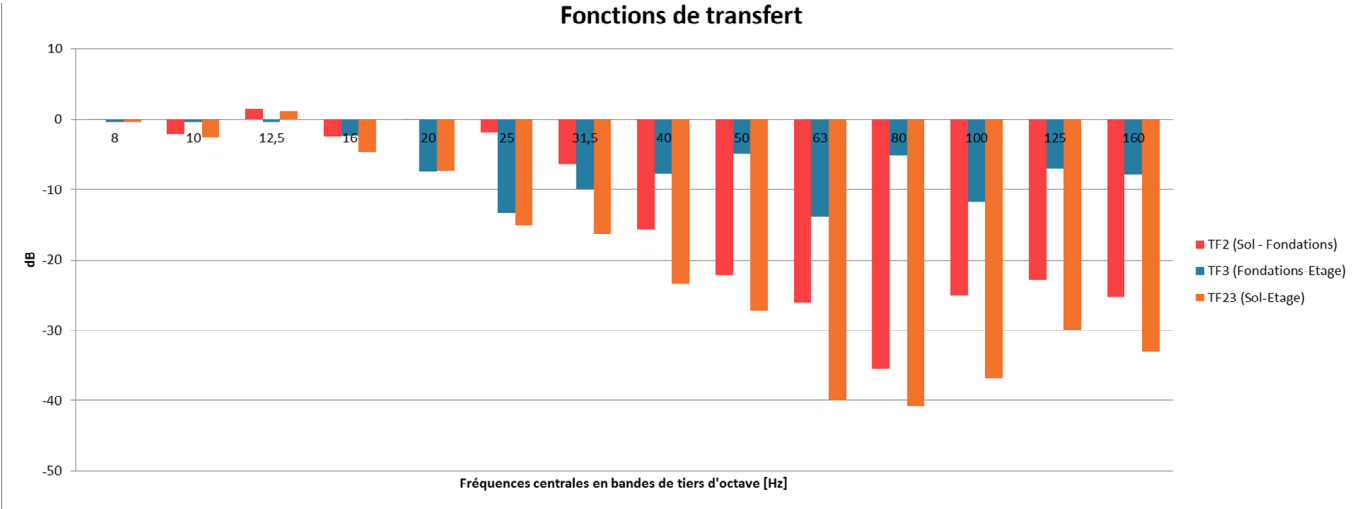
5.2.5 - PV 5 - A – TNP – Villeurbanne



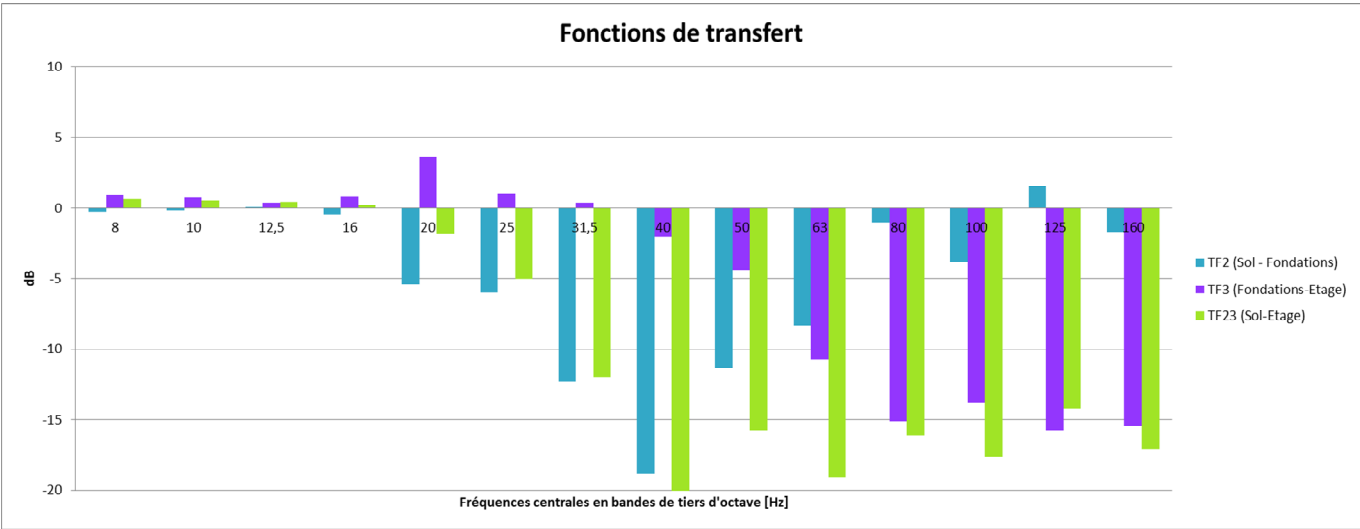
5.2.6 - PV 5 -B – TNP - Villeurbanne



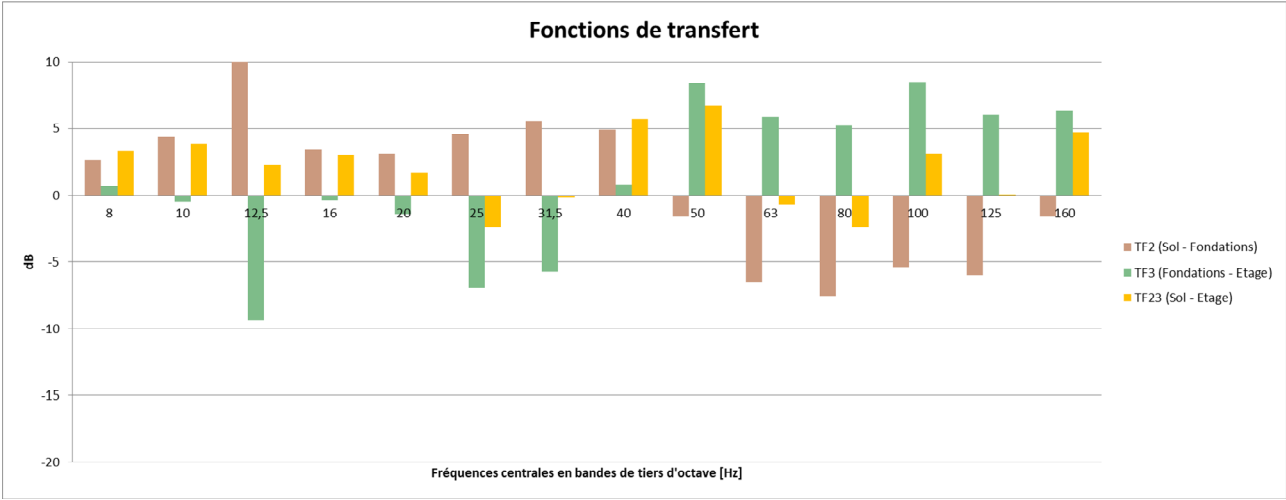
5.2.7 - PV 6 – Rue Jean Bourgey – Villeurbanne



5.2.8 - PV 7 – Avenue Roger Salengro – Villeurbanne



5.2.9 - PV 8 – Quai 43 - Villeurbanne



5.2.10 - Tableau de synthèse des fonctions de transfert mesurées

FONCTIONS DE TRANSFERTS [DB]														
FREQUENCE [HZ]		8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125
PV 1	TF 2 (Sol-Fondations)	-0,3	-1,8	-0,3	-1,1	0,9	-0,5	-1,0	-4,3	-5,1	-12,8	-4,3	0,6	-5,1
	TF 3 (Fondations – Etage)	0,0	2,4	0,6	2,9	8,9	2,6	2,6	2,7	4,0	2,0	-6,4	-12,2	-4,7
	TF 23 (Sol-Etage)	-0,3	0,6	0,4	1,8	9,7	2,0	1,6	-1,5	-1,1	-10,8	-10,7	-11,6	-9,9
PV 2	TF 2 (Sol-Fondations)	1,6	1,4	0,0	0,5	0,3	-0,2	-12,9	-6,8	-14,0	-18,3	-16,1	-9,0	-6,1
	TF 3 (Fondations – Etage)	-4,0	0,8	14,7	10,7	2,8	12,2	22,8	11,6	12,0	12,1	9,4	1,0	-9,8
	TF 23 (Sol-Etage)	-2,3	2,2	14,6	11,2	3,1	11,9	10,0	4,9	-1,9	-6,2	-6,8	-8,0	-15,9
PV 3	TF 2 (Sol-Fondations)	-4,5	-5,2	-4,2	-4,0	-9,0	-10,4	-20,1	-26,0	-25,3	-24,1	-13,7	-6,2	-6,5
	TF 3 (Fondations – Etage)	0,9	2,1	0,4	2,2	1,1	1,1	2,6	6,5	5,5	-5,7	-8,0	-13,5	-17,1
	TF 23 (Sol-Etage)	-3,5	-3,1	-3,7	-1,9	-7,9	-9,3	-17,5	-19,5	-19,8	-29,8	-21,7	-19,6	-23,6
PV 4	TF 2 (Sol-Fondations)	-4,0	-4,8	-4,5	-5,1	-10,0	-6,5	-9,3	-21,3	-23,3	-21,8	-16,9	-18,8	-16,0
	TF 3 (Fondations – Etage)	-0,5	0,1	0,1	2,5	4,9	12,5	10,7	10,0	6,7	-4,1	-5,2	1,9	7,7
	TF 23 (Sol-Etage)	-4,5	-4,7	-4,4	-2,6	-5,1	6,0	1,4	-11,3	-16,6	-25,9	-22,1	-16,9	-8,3
PV 5 - A	TF 2 (Sol-Fondations)	-2,6	-3,2	-5,8	-14,2	-20,3	-29,6	-43,5	-44,3	-46,5	-43,5	-44,7	-46,0	-49,5
	TF 3 (Fondations – Scène 1)	4,5	8,3	6,4	2,9	-1,0	3,6	10,8	5,8	4,4	-5,5	1,3	-1,5	3,7
	TF 23 (Sol – Scène 1)	1,9	5,1	0,6	-11,3	-21,3	-26,0	-32,7	-38,5	-42,1	-49,1	-43,4	-47,5	-45,9
	TF 3 (Fondations – Scène 2)	-0,7	-0,8	-0,8	-1,1	-4,0	-4,9	-3,3	-4,7	-2,3	-10,8	-3,2	-6,5	-0,5



	TF 23 (Sol – Scène 2)	-3,3	-3,9	-6,6	-15,4	-24,3	-34,5	-46,9	-49,0	-48,8	-54,3	-47,9	-52,5	-50,0
PV 5 - B	TF 2 (Sol-Fondations)	-2,3	-3,9	-3,8	-10,6	-13,2	-20,5	-29,2	-31,4	-37,5	-33,8	-35,8	-31,9	-39,1
	TF 3 (Fondations – Salle Détente)	-0,6	0,0	-1,0	-2,0	-0,2	5,5	11,6	4,2	6,1	-3,7	-0,2	-2,4	-2,6
	TF 23 (Sol – Salle détente)	-2,9	-3,9	-4,9	-12,5	-13,4	-14,9	-17,6	-27,3	-31,5	-37,5	-36,0	-34,3	-41,7
	TF 3 (Fondations – Loge)	4,5	3,6	3,9	2,0	1,6	4,0	5,7	0,7	4,3	-4,1	8,6	3,2	6,9
	TF 23 (Sol – Loge)	2,2	-0,3	0,1	-8,6	-11,6	-16,4	-23,5	-30,8	-33,2	-37,9	-27,2	-28,7	-32,2
PV 6	TF 2 (Sol-Fondations)	0,0	-2,1	1,5	-2,4	0,1	-1,8	-6,3	-15,7	-22,2	-26,1	-35,6	-25,1	-22,9
	TF 3 (Fondations – Etage)	-0,4	-0,4	-0,4	-2,3	-7,4	-13,3	-9,9	-7,7	-4,9	-13,9	-5,1	-11,8	-7,1
	TF 23 (Sol-Etage)	-0,4	-2,5	1,1	-4,7	-7,4	-15,1	-16,2	-23,5	-27,1	-40,0	-40,7	-36,8	-29,9
PV 7	TF 2 (Sol-Fondations)	-0,3	-0,2	0,0	-0,5	-5,4	-6,0	-12,3	-18,8	-11,3	-8,3	-1,0	-3,8	1,6
	TF 3 (Fondations – Etage)	0,9	0,7	0,4	0,8	3,6	1,0	0,3	-2,1	-4,4	-10,8	-15,1	-13,8	-15,8
	TF 23 (Sol-Etage)	0,6	0,5	0,4	0,2	-1,8	-5,0	-12,0	-20,9	-15,8	-19,1	-16,2	-17,6	-14,2
PV 8	TF 2 (Sol-Fondations)	2,6	4,4	11,6	3,4	3,2	4,5	5,5	4,9	-1,6	-6,5	-7,6	-5,4	-5,9
	TF 3 (Fondations – Etage)	0,7	-0,5	-9,4	-0,4	-1,5	-6,9	-5,7	0,9	8,4	5,9	5,2	8,5	6,0
	TF 23 (Sol-Etage)	3,4	3,9	2,3	3,1	1,7	-2,4	-0,2	5,7	6,7	-0,7	-2,4	3,1	0,1

6 - ANNEXES

6.1 - ANNEXE 1 : GLOSSAIRE

Aire d'absorption équivalente AAE

L'aire d'absorption équivalente A , exprimée en m^2 , caractérise le pouvoir absorbant d'un local. Plus elle est grande, plus le local est « sourd ». L'aire d'absorption équivalente apportée par un élément absorbant correspond à la surface de cet élément multiplié par son coefficient d'absorption.

Bandes d'Octaves et Niveau Global

La sensation de l'oreille en fréquence n'est pas linéaire. Plus elle est élevée, plus il faut une grande variation de cette fréquence pour que l'impression de variation reste constante. Des valeurs de fréquences sont normalisées pour exprimer cette sensation :

31,5 / 63 / 125 / 250 / 500 / 1000 / 2000 / 4000 / 8000

Nous parlerons ici d'octave, comme les musiciens. Le niveau global correspond à la somme d'énergie de toutes les bandes d'octaves. Le niveau global est noté L .

Bruit ambiant

Bruit total existant dans une situation donnée, pendant un intervalle de temps donné. Il est composé de l'ensemble des bruits émis par toutes les sources proches et éloignées.

Bruit particulier

Composante du bruit ambiant qui peut être identifiée spécifiquement et que l'on désire distinguer du bruit ambiant notamment parce qu'il est l'objet d'une requête.

Bruit résiduel

Bruit ambiant en l'absence du (des) bruit(s) particulier(s), objet(s) de la requête considérée.

Bruit rose

Un bruit rose est un bruit normalisé ayant un spectre dont le niveau est le même sur toutes les bandes d'octaves. Il simule les bruits aériens émis dans les logements.

Coefficient d'absorption α Sabine et α_w



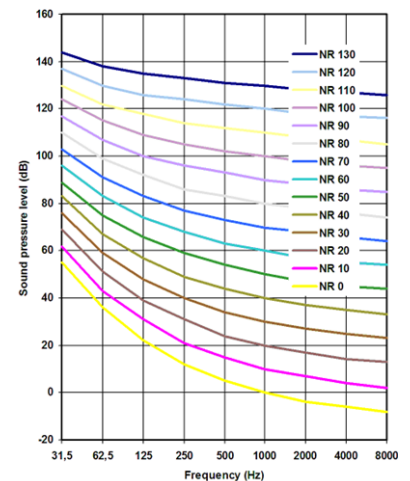
Le coefficient d'absorption acoustique, sans unité, caractérise l'absorption acoustique d'un matériau, il est mesuré par bandes de fréquences en chambre réverbérante (Méthode d'évaluation : NF EN ISO 354). L'indice unique α_w est calculé selon la norme NF EN ISO 11654.

Plus ce coefficient d'absorption est proche de 1 (ou dépasse 1 dans certains cas), plus le matériau est absorbant dans la bande de fréquence considérée.

Courbes de Noise Rating (NR)

Les courbes d'évaluation du bruit, ou courbes NR (Noise Rating) sont des courbes basées sur l'allure générale des courbes de niveau d'isophonie de l'oreille et permettent de déterminer au moyen d'un seul chiffre, le niveau de pression acoustique maximum autorisé dans chaque bande d'octave.

En effet, la sensibilité de l'oreille humaine est variable suivant la fréquence : pour notre oreille, 60dB à 1000Hz est plus dérangeant que 60dB à 250Hz (la sensibilité est optimale entre 2 et 5kHz).



Décibel

Le décibel est une échelle de mesure logarithmique en acoustique, c'est un terme sans dimension. Il est noté dB. Le décibel étant une échelle logarithmique, il est à remarquer que :

$$80\text{dB} + 80\text{dB} = 83\text{dB} \text{ et } 80\text{dB} + 90\text{dB} = 90\text{dB}$$

Décibel A

La lettre A signifie que le décibel est pondéré pour tenir compte de la différence de sensibilité de l'oreille humaine à chaque fréquence, exprimée par le sigle dB(A). Elle atténue les basses fréquences.

Indice d'affaiblissement acoustique R_w (C ; C_{tr})

Cet indice donne la performance d'affaiblissement acoustique d'un élément de construction (paroi séparative, menuiserie...). C'est une caractéristique propre à cet élément. En France, la prise en compte de l'affaiblissement aux bruits intérieurs se fait en calculant l'indice $R_A = R_w + C$, et l'affaiblissement aux bruits extérieurs, en calculant l'indice $R_{A,tr} = R_w + C_{tr}$.

Indices statistiques L_x

Le niveau de bruit L_x , exprimé en dB (pondéré ou non), correspond au niveau de bruit dépassé X% du temps sur la période considéré.

Lorsque le bruit n'est pas stable, il peut être caractérisé par :

L_1 : niveau dépassé pendant 1% du temps (bruit maximal)

L_{10} : niveau dépassé pendant 10% du temps (bruit crête)

L_{50} : niveau dépassé pendant 50% du temps (bruit moyen)

L_{90} : niveau dépassé pendant 90% du temps (bruit de fond)

Isolement acoustique latéral pondéré $D_{n,f,w}+C$

La valeur $D_{n,f,w}$, en dB, représente l'isolation acoustique longitudinale caractéristique d'un faux-plafond, d'une menuiserie ou d'un faux-plancher, filants entre deux pièces.

Méthode d'évaluation : NF EN ISO 140-12. Calcul de l'indice unique pondéré $D_{n,f,w}$ (C ; C_{tr}) selon la norme NF EN ISO 717-1.

Isolement acoustique normalisé D_n ou D_{nT}

C'est l'isolement brut correspondant à une valeur de référence de la durée de réverbération du local de réception qui simule les conditions ultérieures d'utilisation. Cette grandeur s'exprime en dB par bande d'octave.

Isolement acoustique pondéré d'un élément $D_{n,e,w}+C$ et $D_{n,e,w}+C_{tr}$

Il s'agit de l'isolement acoustique pondéré d'un petit élément de construction (d'aire inférieure à 1m^2) tels que coffres de volets roulants, entrées d'air, conduits électriques,... exprimé en dB.

Les fenêtres et portes de petite surface doivent être évaluées par l'indice d'affaiblissement acoustique R selon la norme NF EN ISO 140-3, en dB.

Isolement acoustique standardisé pondéré $D_{nT,A}$ et $D_{nT,A,tr}$

S'exprime en dB, il permet de caractériser par une seule valeur l'isolement acoustique en réponse à un bruit de spectre donné. Il est mesuré in-situ entre deux locaux ($D_{nT,A}$) ou entre l'extérieur du bâtiment et un local ($D_{nT,A,tr}$). Il dépend en particulier de l'indice d'affaiblissement acoustique R_w+C de la paroi séparative, des transmissions latérales, de la surface de la paroi séparative, du volume du local de réception et de la durée de réverbération du local.

L'isolement acoustique standardisé pondéré ($D_{nT,A}$ ou $D_{nT,A,tr}$) est déduit (selon la méthode spécifiée dans la norme NF EN ISO 717-1) à partir de la différence des niveaux sonores régnant respectivement dans le local d'émission et le local de réception, en présence d'un séparatif de référence et corrigée de l'effet de la réverbération du local de réception.

Niveau de bruit équivalent L_{eq}

En considérant un bruit variable perçu pendant une durée T , le L_{eq} représente le niveau de bruit constant qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit réellement perçu pendant cette durée. Le L_{eq} s'exprime en dB.

Niveau de pression acoustique des équipements techniques L_{nAT} [dB(A)]



Le niveau de pression acoustique des installations techniques est mesuré lorsque les installations techniques fonctionnent à régime nominal (applicable en hiver ou en été pour la climatisation). La méthode de mesure utilisée sera conforme à la norme NF S 31-057.

Ce niveau sonore sera mesuré en dB(A), ainsi que dans les bandes d'octave de 63Hz à 8 000Hz (comparé aux courbes NR [NFS 30-010]).

Niveau de pression acoustique pondéré du bruit de choc standardisé $L'_{nT,w}$ [dB] (indice européen)

Le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé $L'_{nT,w}$, est déduit (selon la méthode spécifiée dans la norme NF EN ISO 717-2) en fonction du niveau de pression sonore mesuré dans le local de réception, lorsqu'une machine à chocs normalisée excite la dalle de référence du local d'émission.

Les exigences de la réglementation sont exprimées sous cette forme et doivent pouvoir être contrôlées in situ après réalisation de l'ouvrage.

Niveau de pression acoustique instantané L_p

L_p est le niveau de pression acoustique instantané et s'exprime en dB.

$$L_p = 20 \log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

Avec :

$P_0 = 2.10^{-5}$ Pascal (pression minimale perceptible par l'oreille humaine)

P = Pression acoustique sur le microphone

Puissance acoustique L_w

Une source sonore rayonne de l'énergie acoustique, c'est sa puissance acoustique, exprimée en dB. Cette source génère un champ de pression acoustique fonction de sa puissance et des caractéristiques de réverbération de l'environnement dans lequel elle se trouve.

$$L_w = 10 \log\left(\frac{W}{W_0}\right)$$

Avec :

$P_0 = 1.10^{-12}$ Watt

P = Puissance rayonnée

Réduction des bruits d'impact ΔL_w

La réduction du niveau de bruit de choc pondéré ΔL_w , exprimée en dB, est une caractéristique intrinsèque du revêtement de sol utilisé sur une dalle de référence. Elle représente la différence des niveaux de pression acoustique pondérés des bruits de chocs normalisés, pour un plancher de référence sans et avec un revêtement de sol (selon méthode spécifiée dans la norme NF EN ISO 717-2).

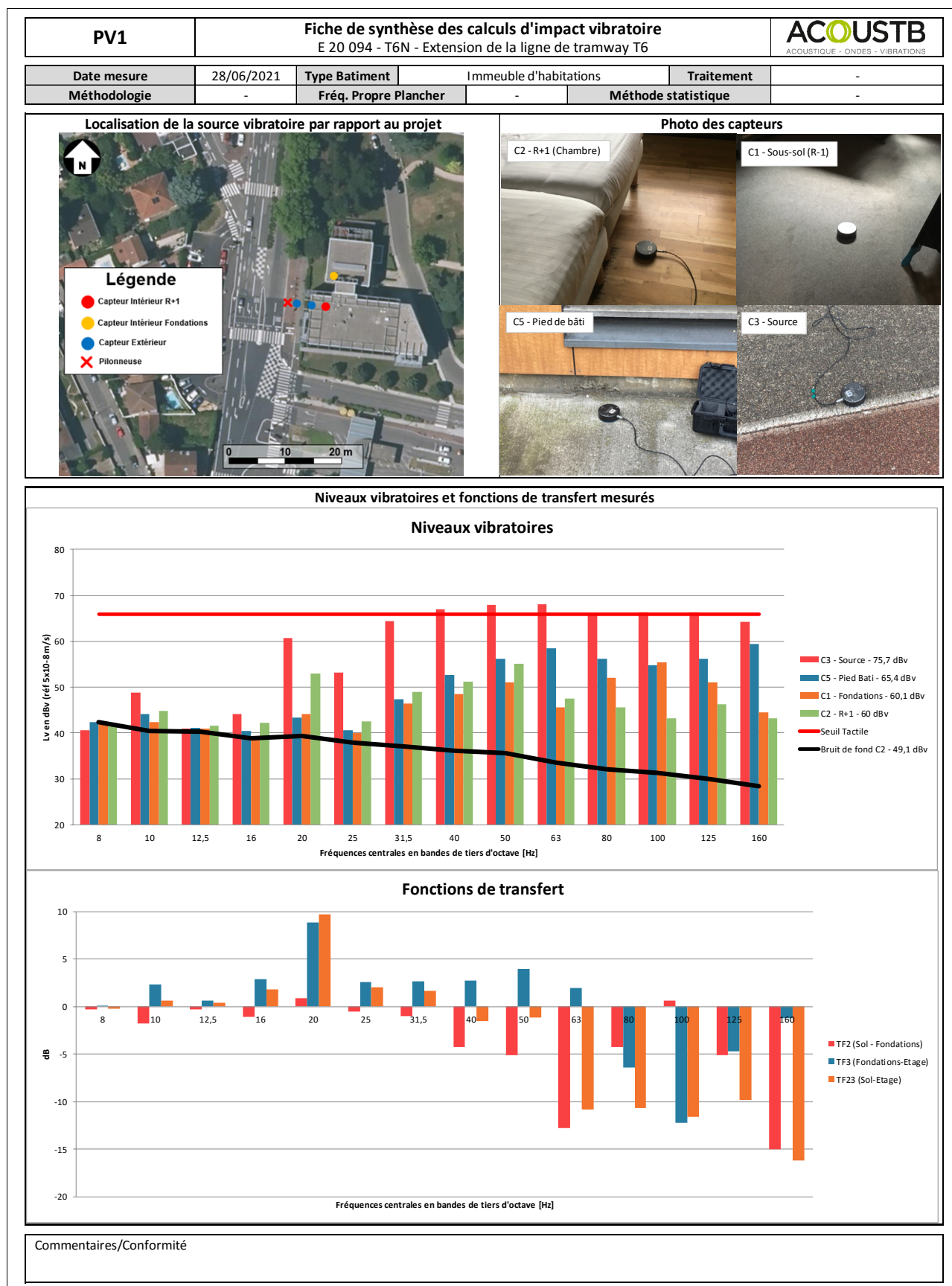
Temps de réverbération

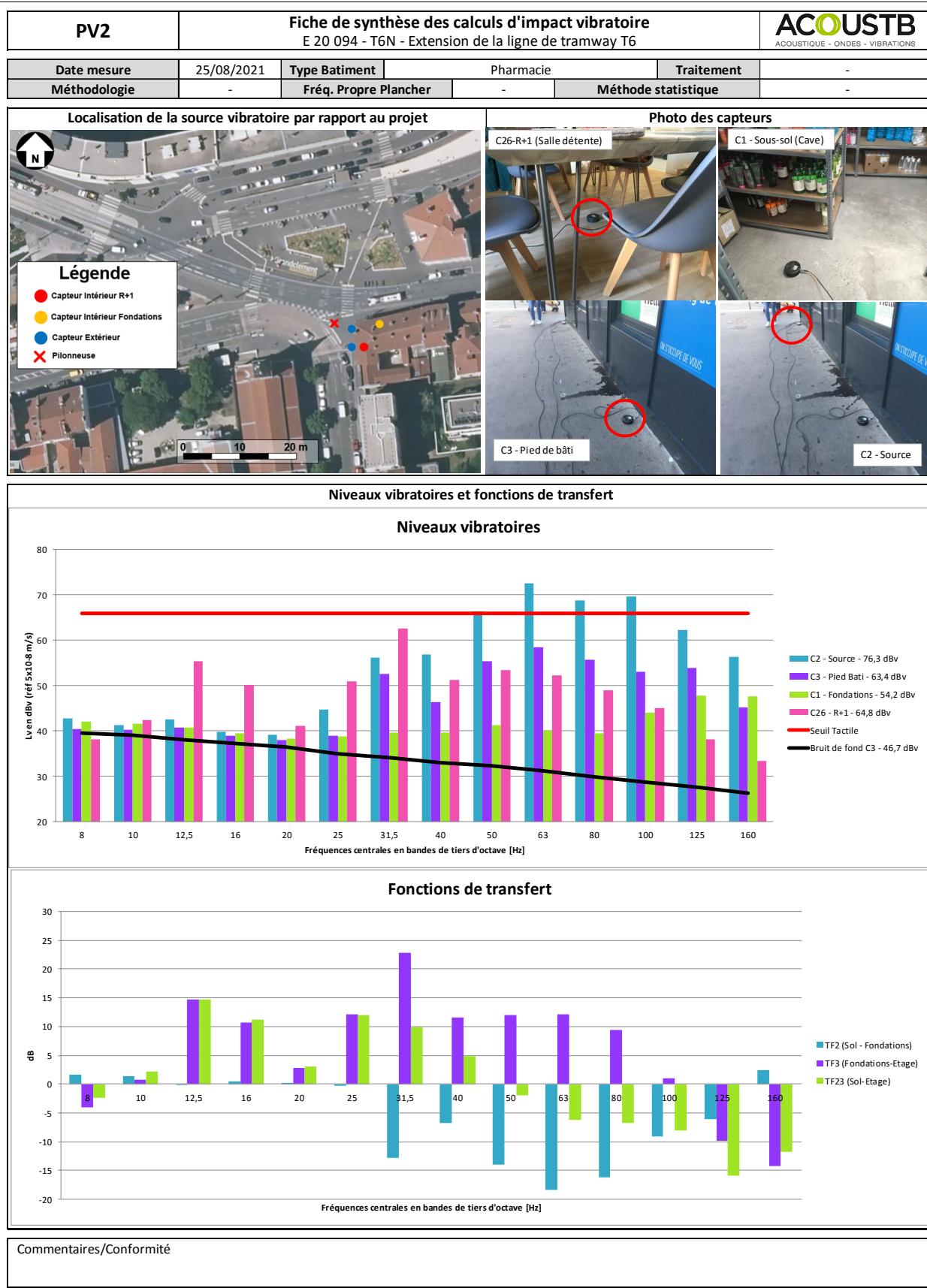
Le temps de réverbération (ou durée de réverbération) est le critère de base pour la caractérisation de l'acoustique interne. Il représente la durée nécessaire à l'énergie sonore pour décroître de 60dB après extinction d'une source sonore. Il est fonction en particulier de la surface d'absorption du local et de son volume et est exprimé en secondes.

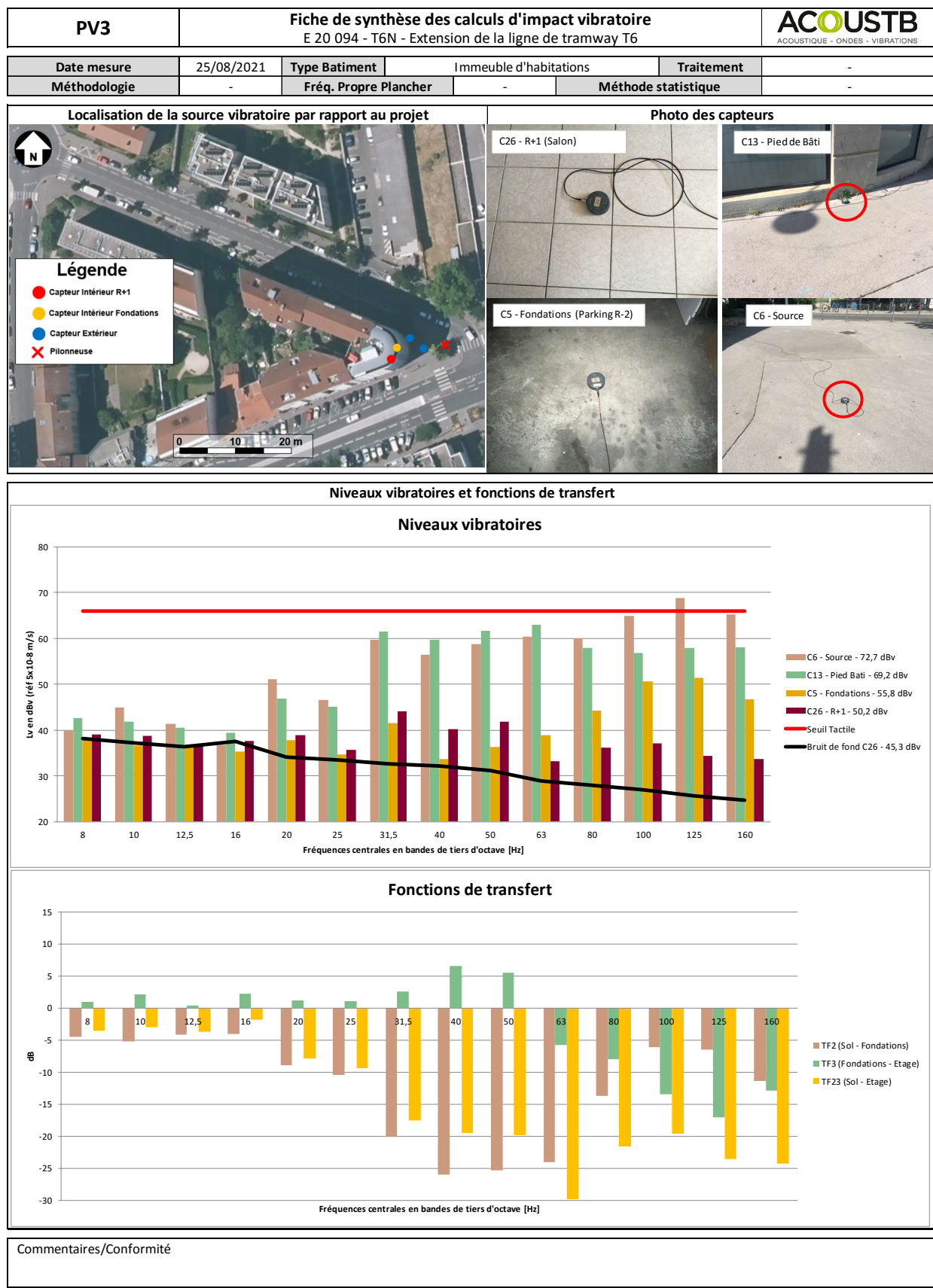
Le traitement interne d'un local (correction acoustique) conditionne l'ambiance sonore d'un espace. Ce traitement doit être distingué d'un traitement d'isolation acoustique qui caractérise la transmission du bruit d'un local à un autre.

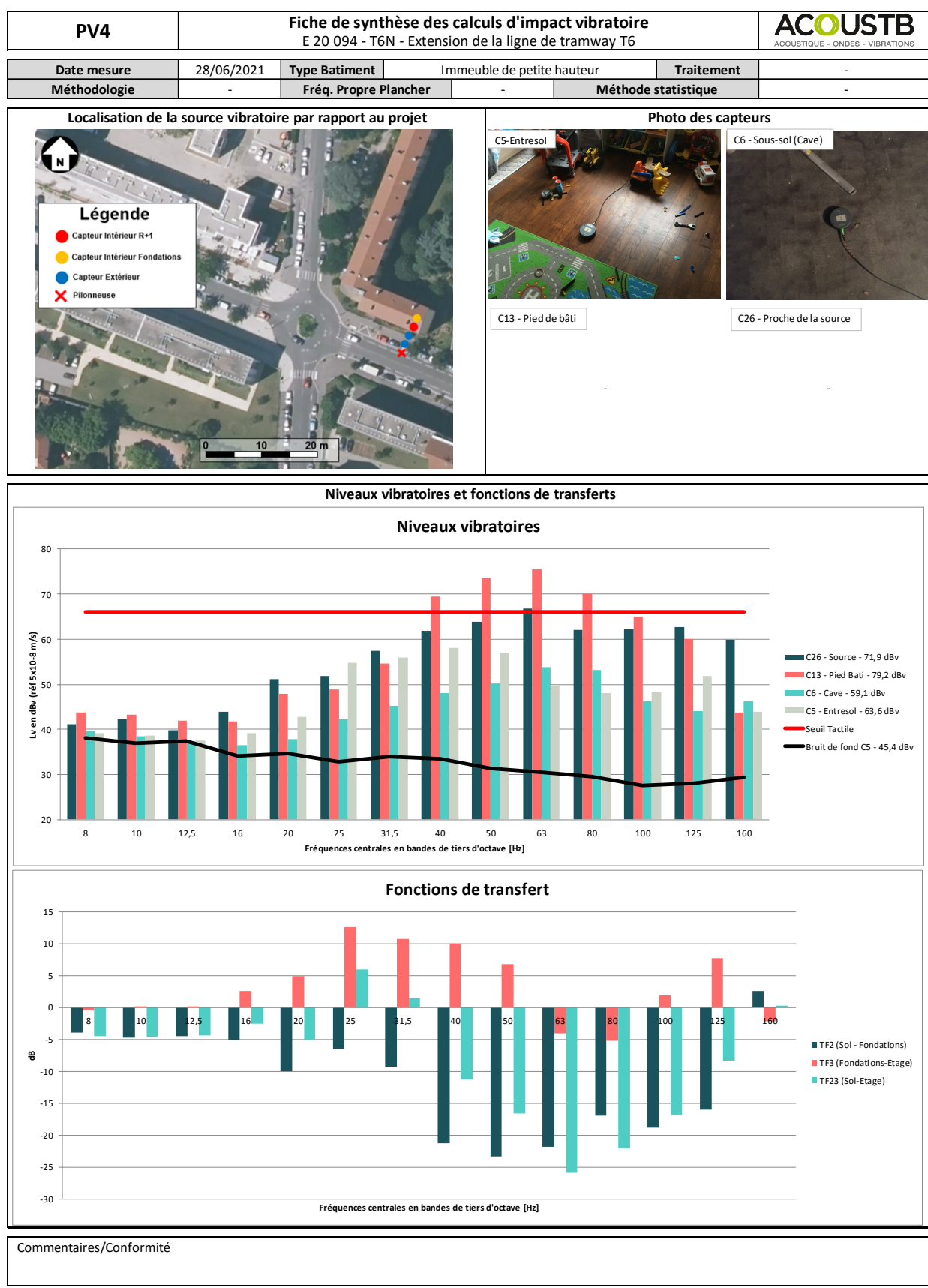


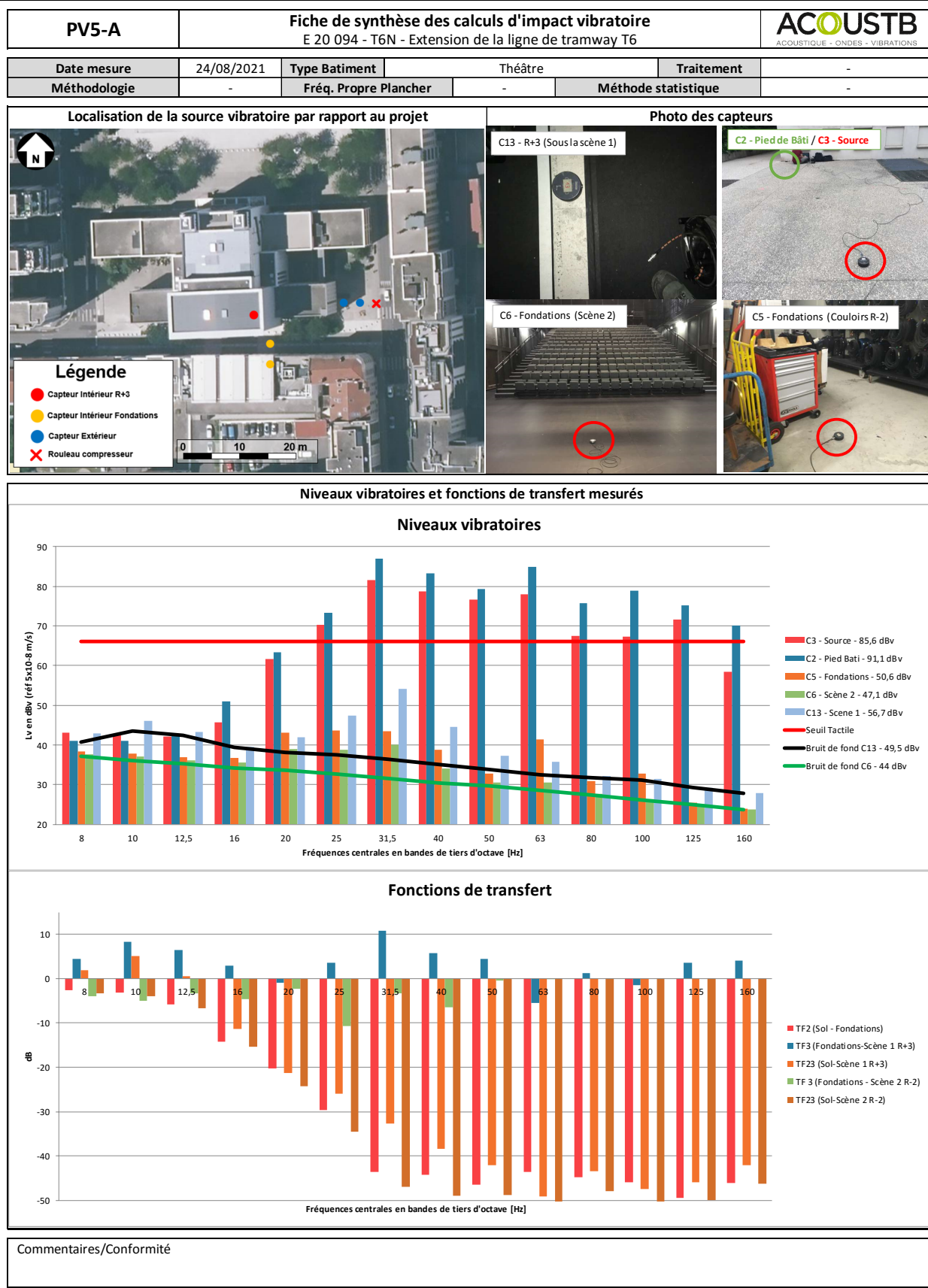
6.2 - ANNEXE 2 : FICHES SYNTHÈSES DES MESURES

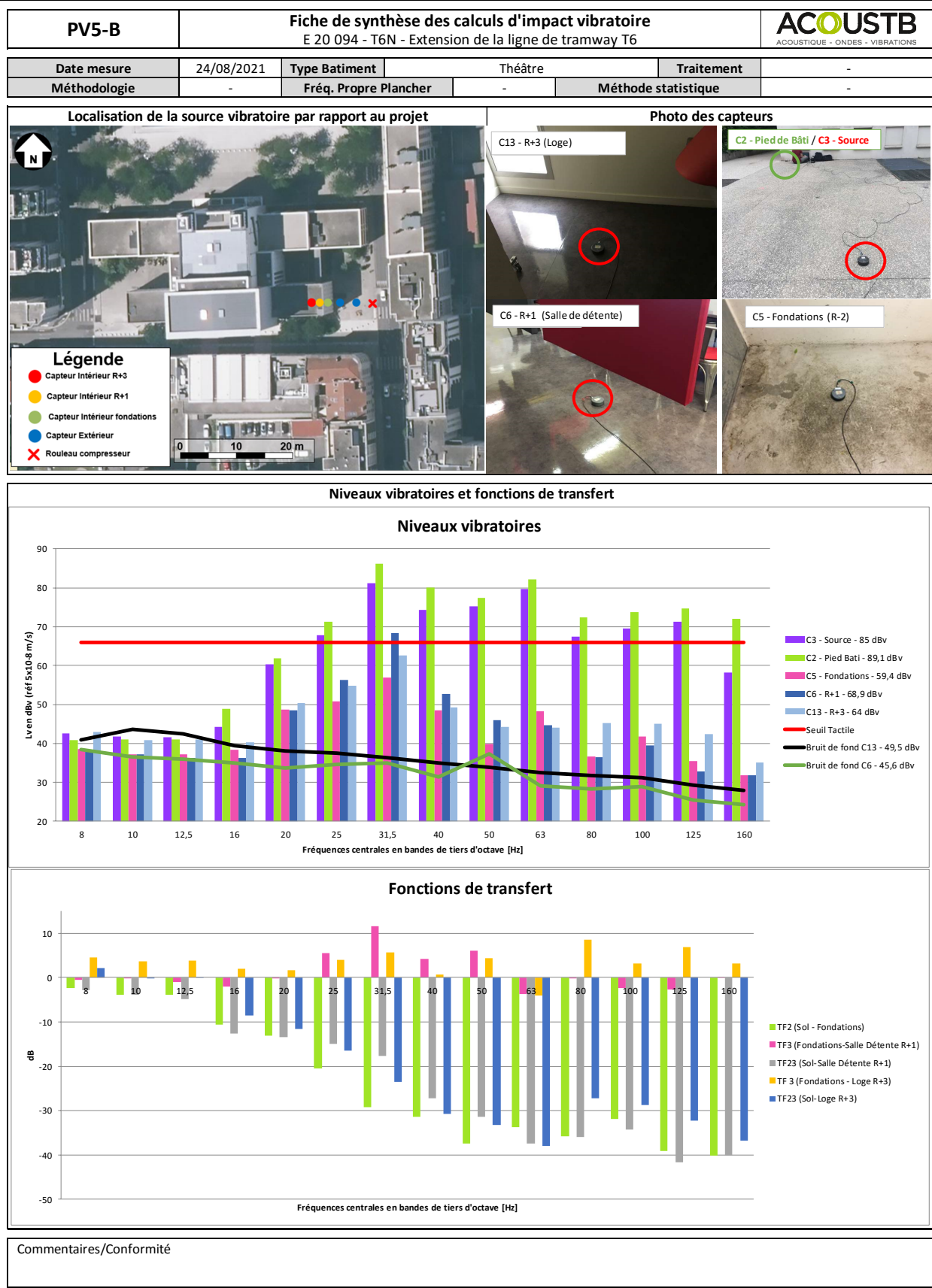


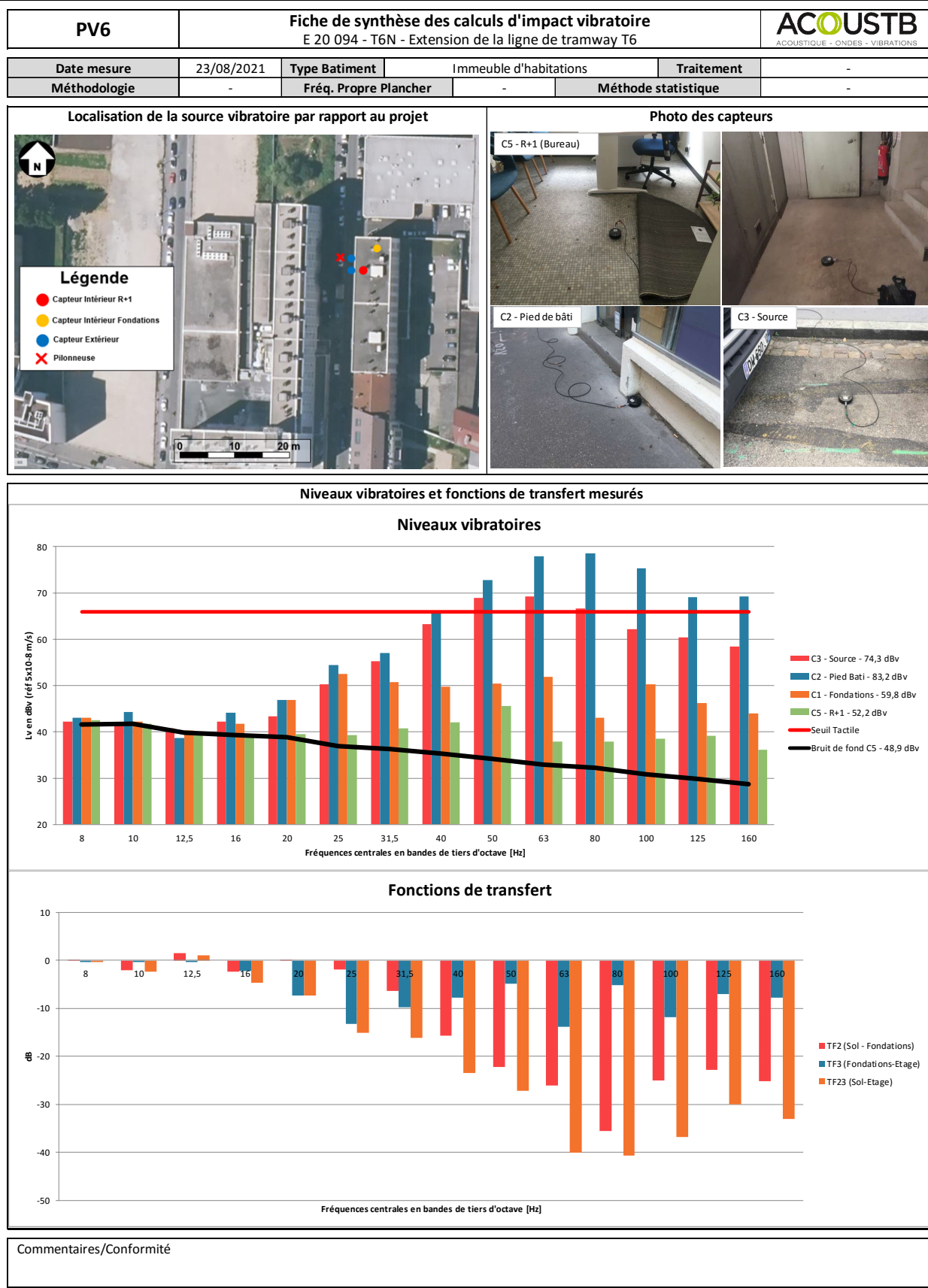


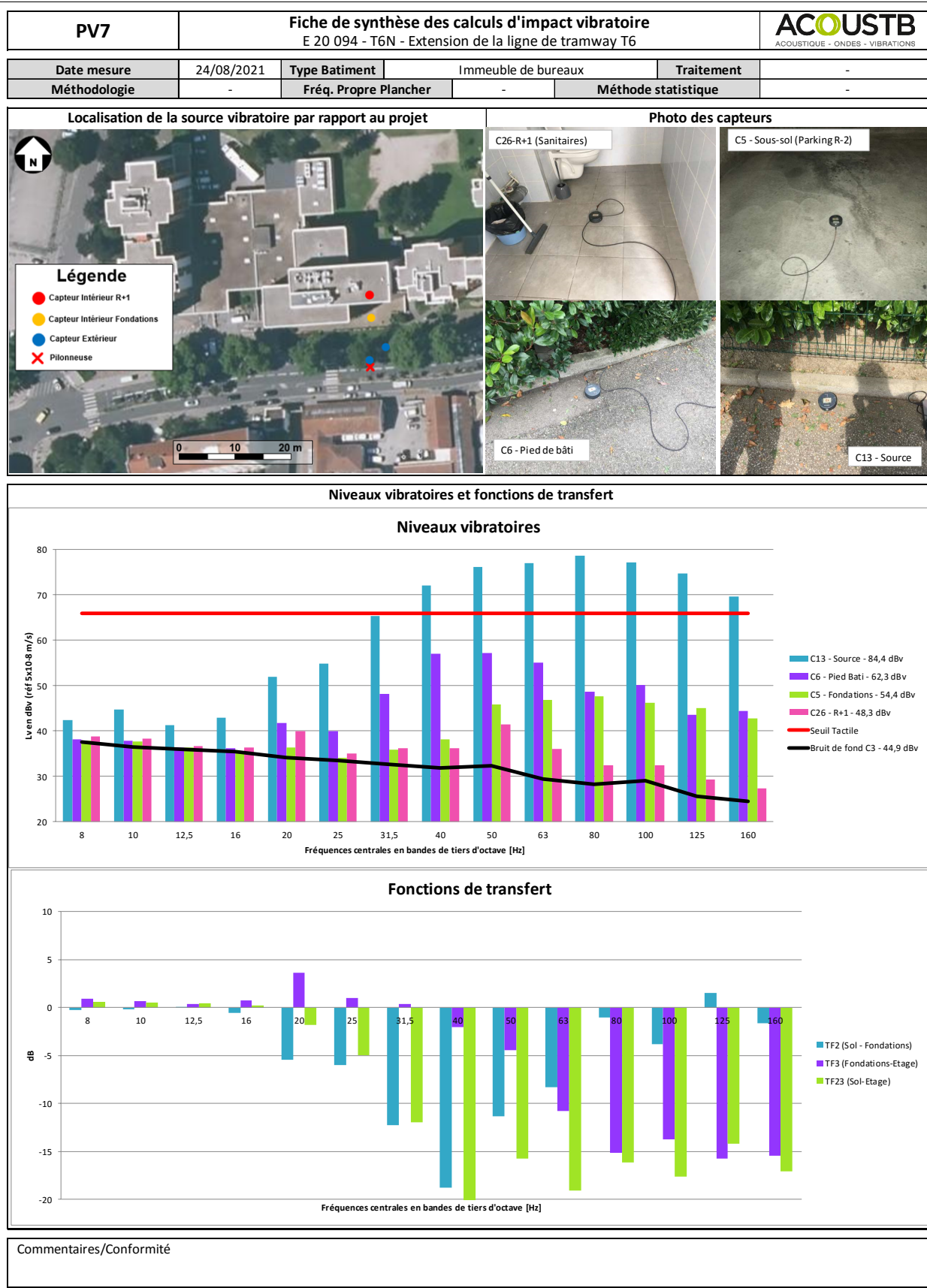


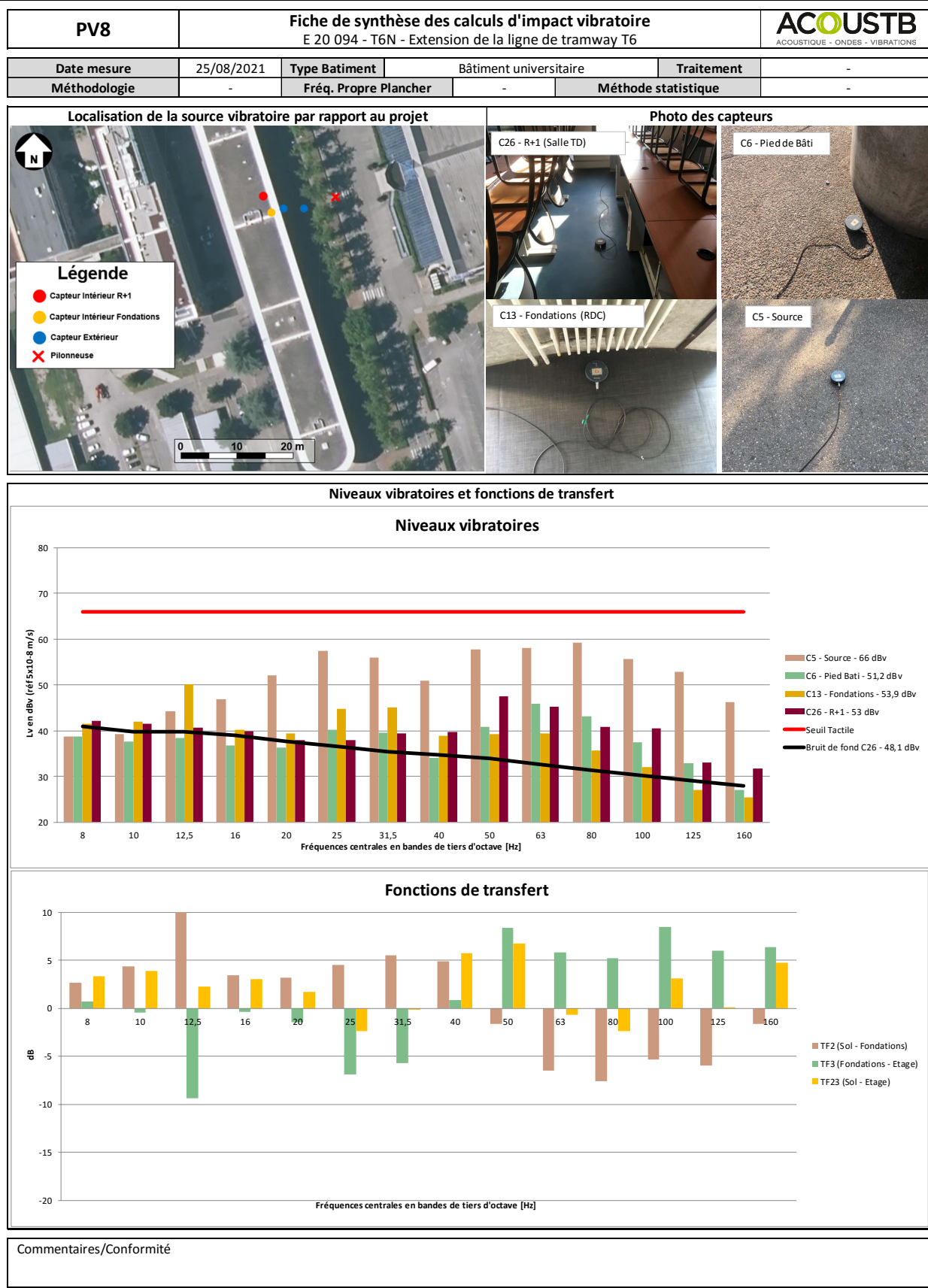












ANNEXE 2 – RESULTATS DE CALCULS

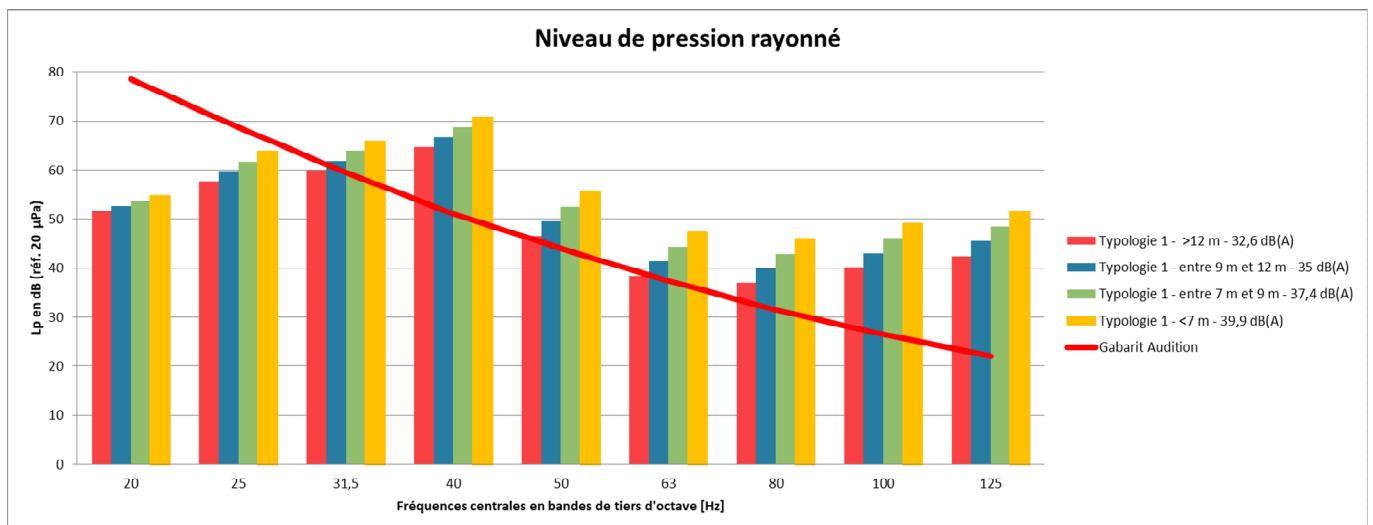
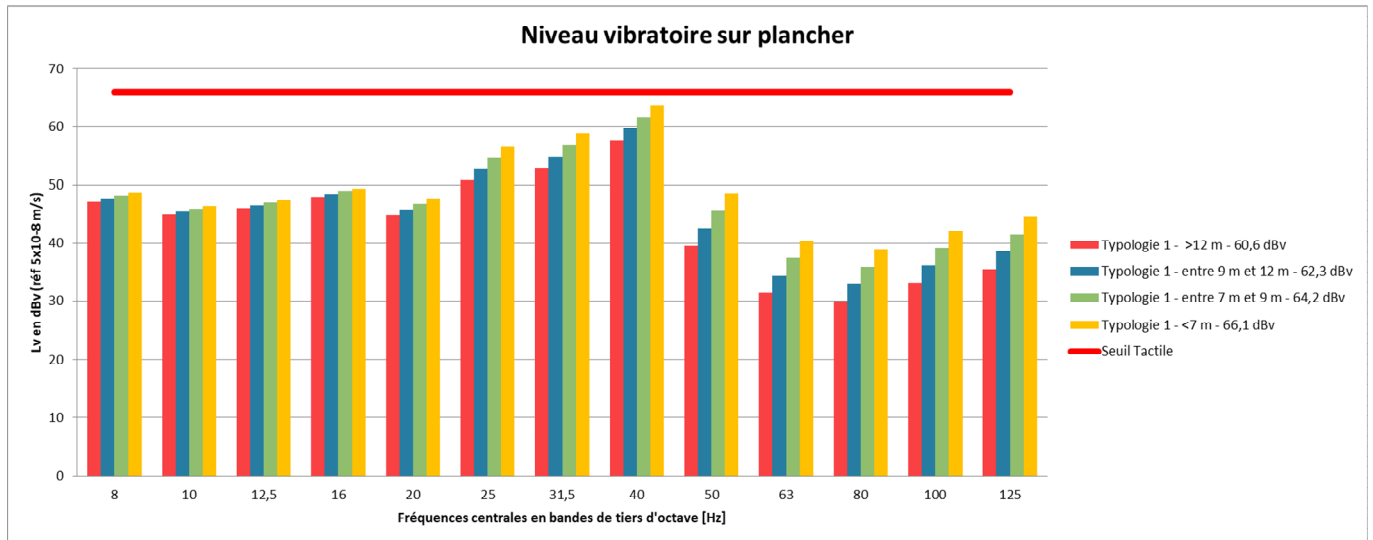
L'annexe suivante présente les niveaux vibratoires et niveaux acoustiques rayonnés par les planchers des quatre typologies de bâtiment du projet et les deux bâtiments particuliers (TNP et Quai 43), en fonction du type de traitement anti-vibratile (pose classique, semelle résiliente « -8 dB », dalle flottante « -16 dB » et dalle flottante « -20 dB ») pour des circulations des tramways en ligne droite et en virage.



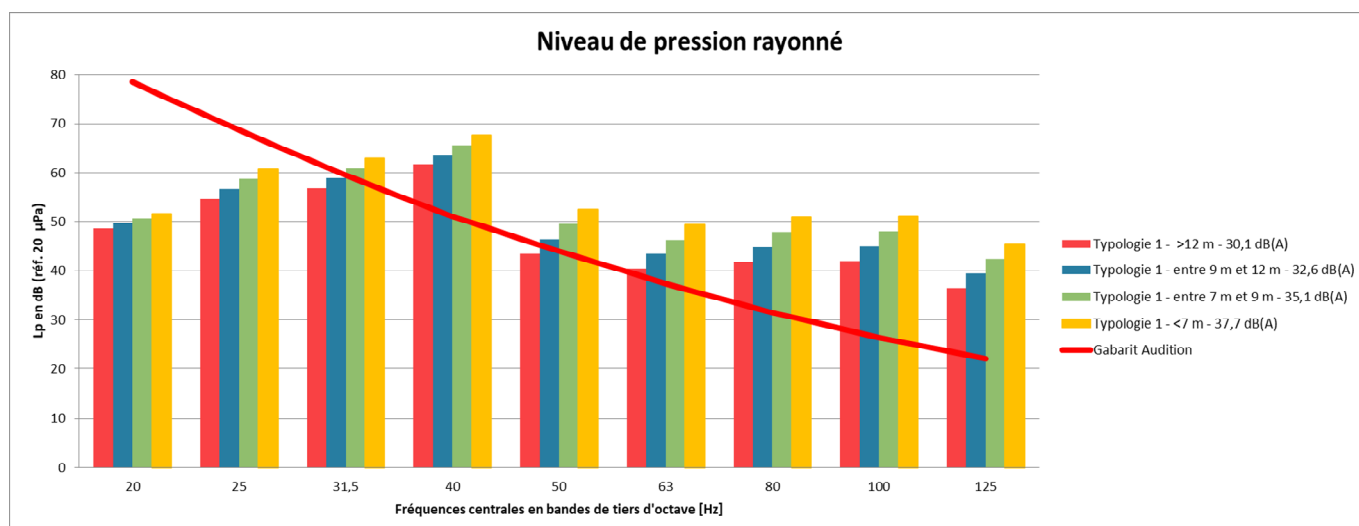
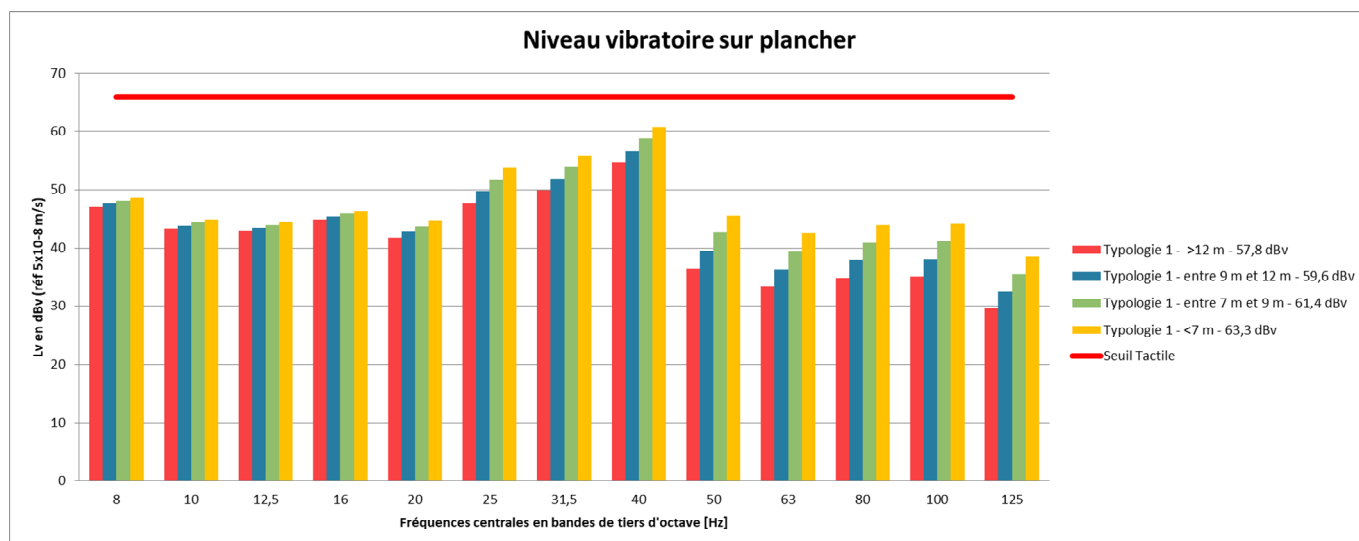
1 - LIGNE DROITE

1.1 - TYPOLOGIE 1 – BATIMENT COLLECTIF AVEC FONDATIONS PROFONDES (R-1 OU R-2) AVEC PLANCHERS BETON

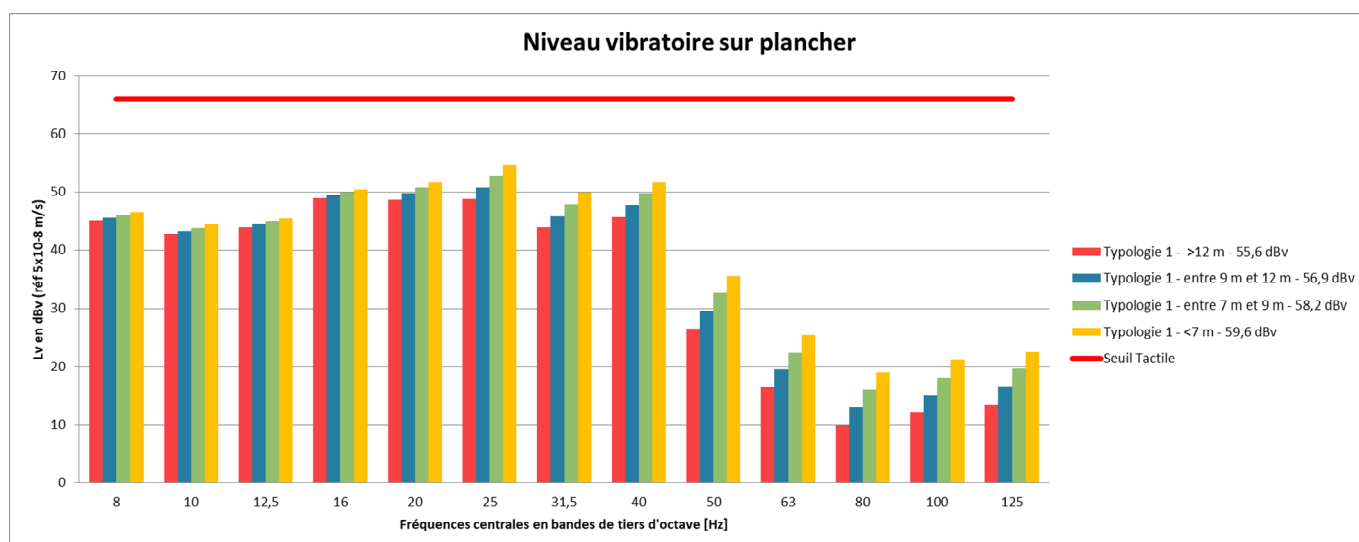
1.1.1 - Pose classique

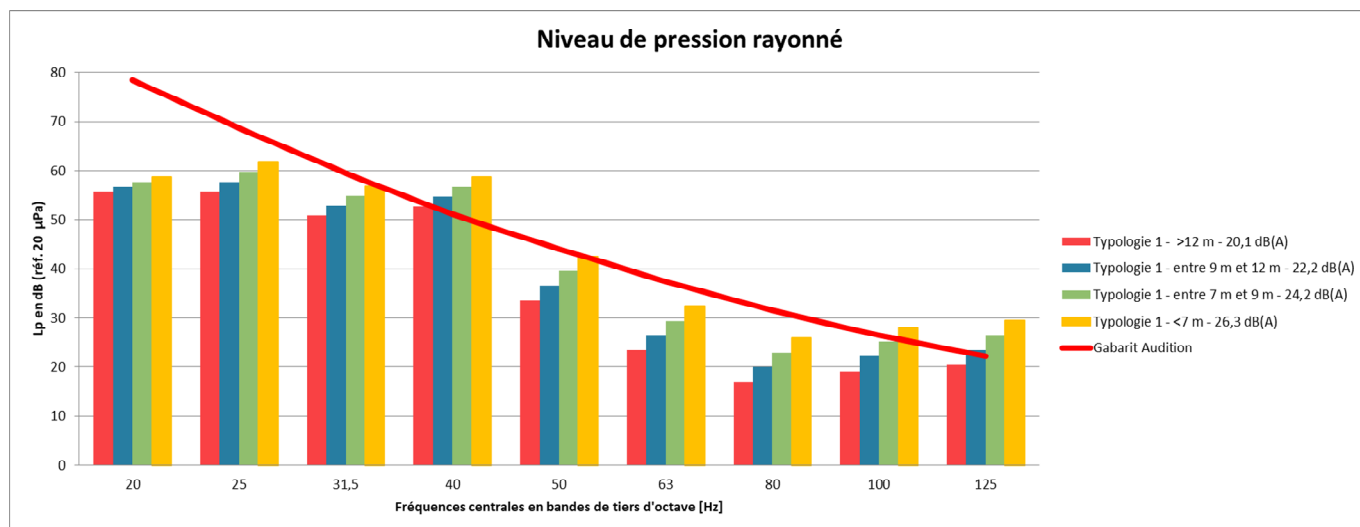


1.1.2 - Pose avec semelle résiliente

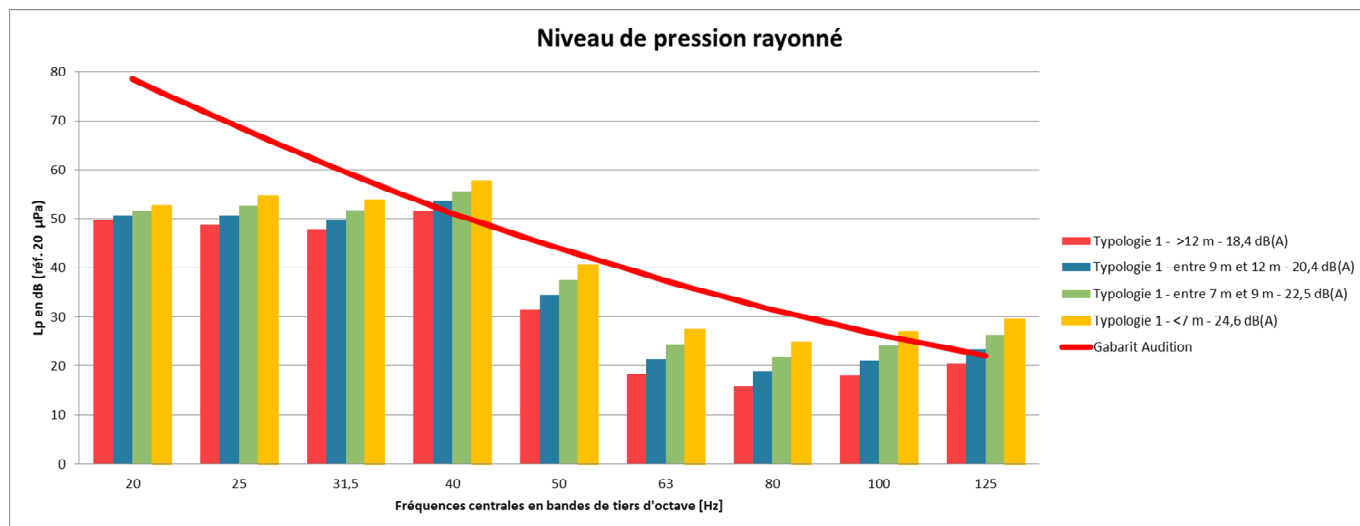
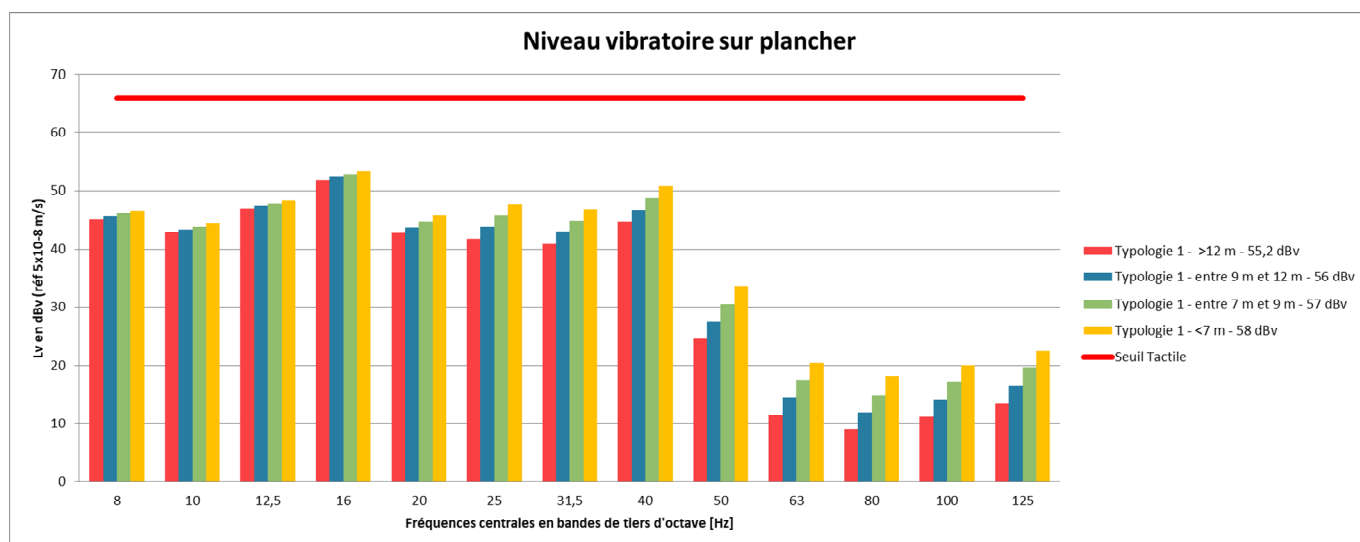


1.1.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »



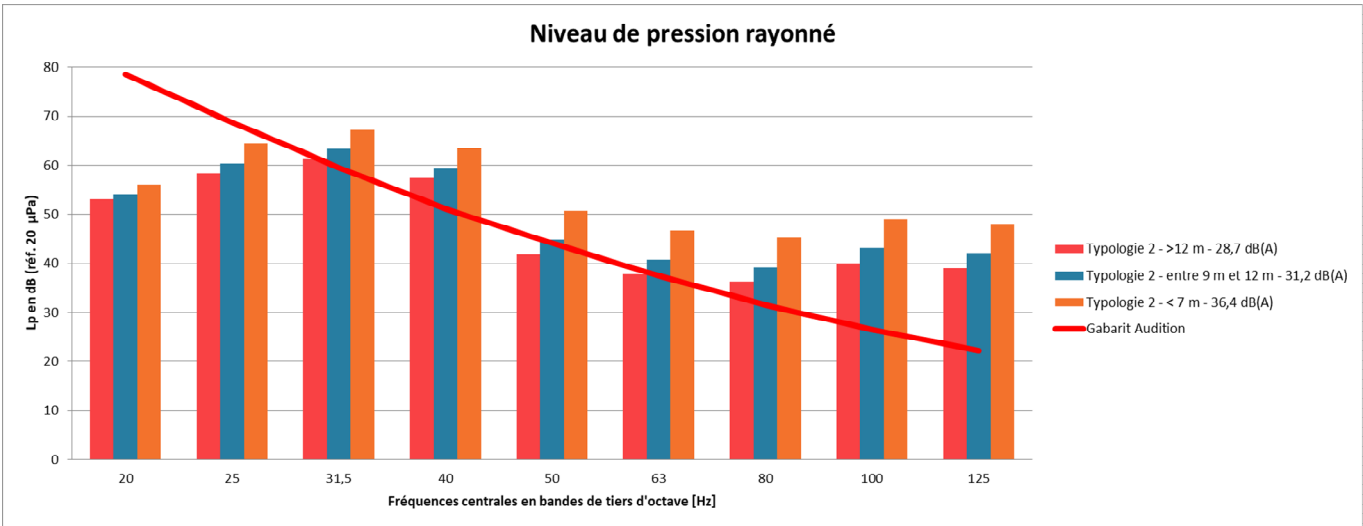
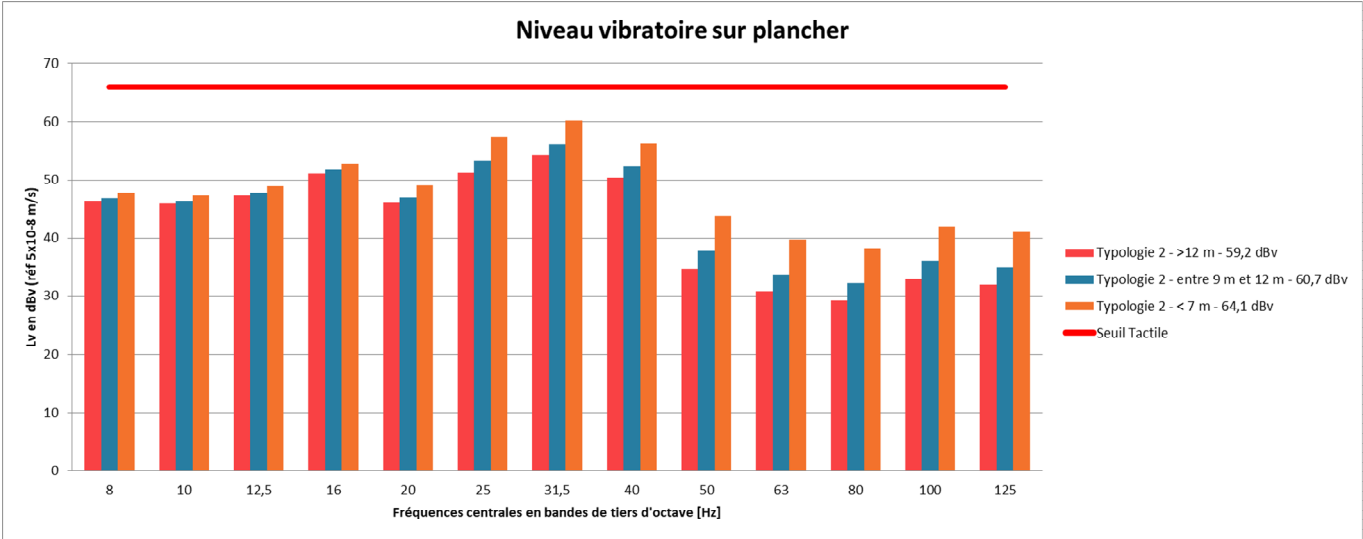


1.1.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »

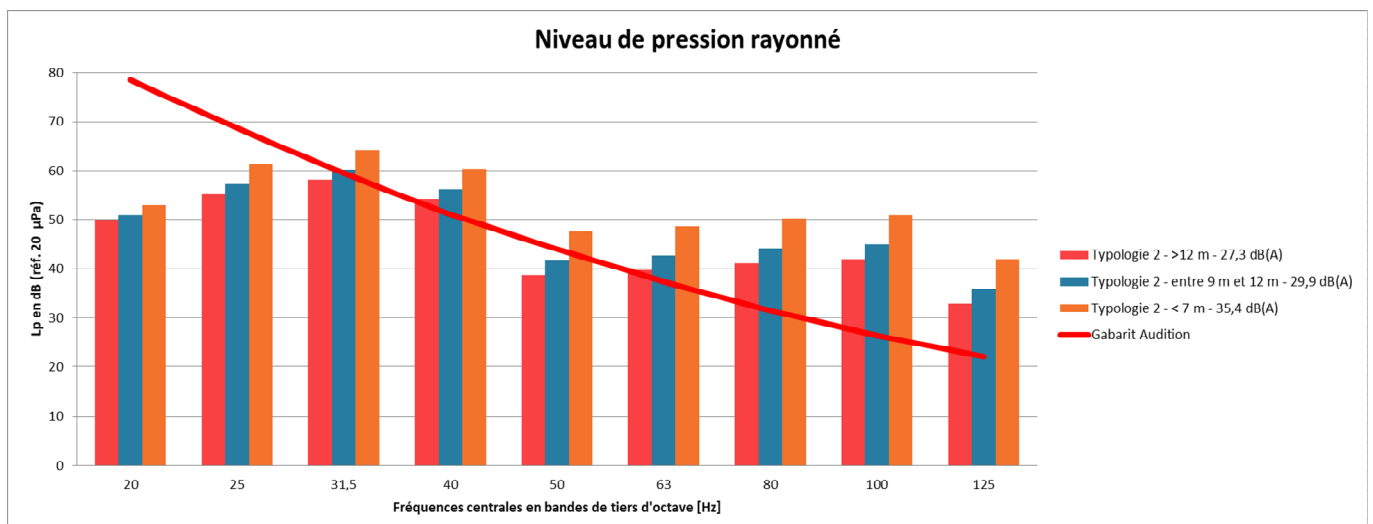
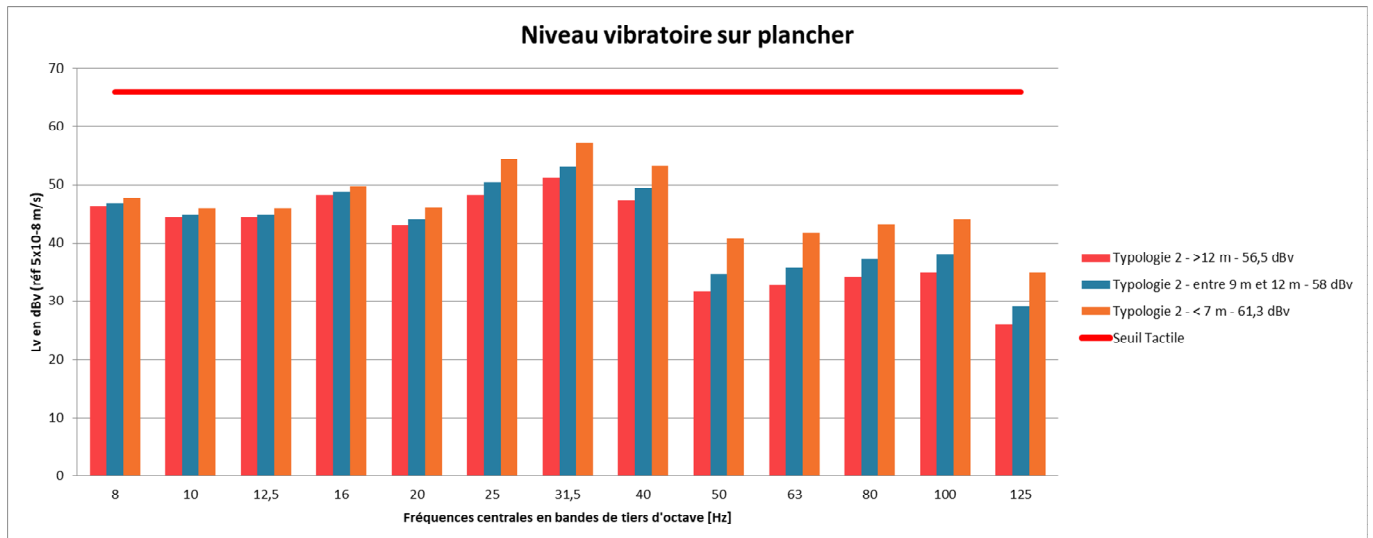


1.2 - TYPOLOGIE 2 – BATIMENT COLLECTIF AVEC FONDATIONS PROFONDES (R-1 OU R-2) AVEC PLANCHERS BOIS

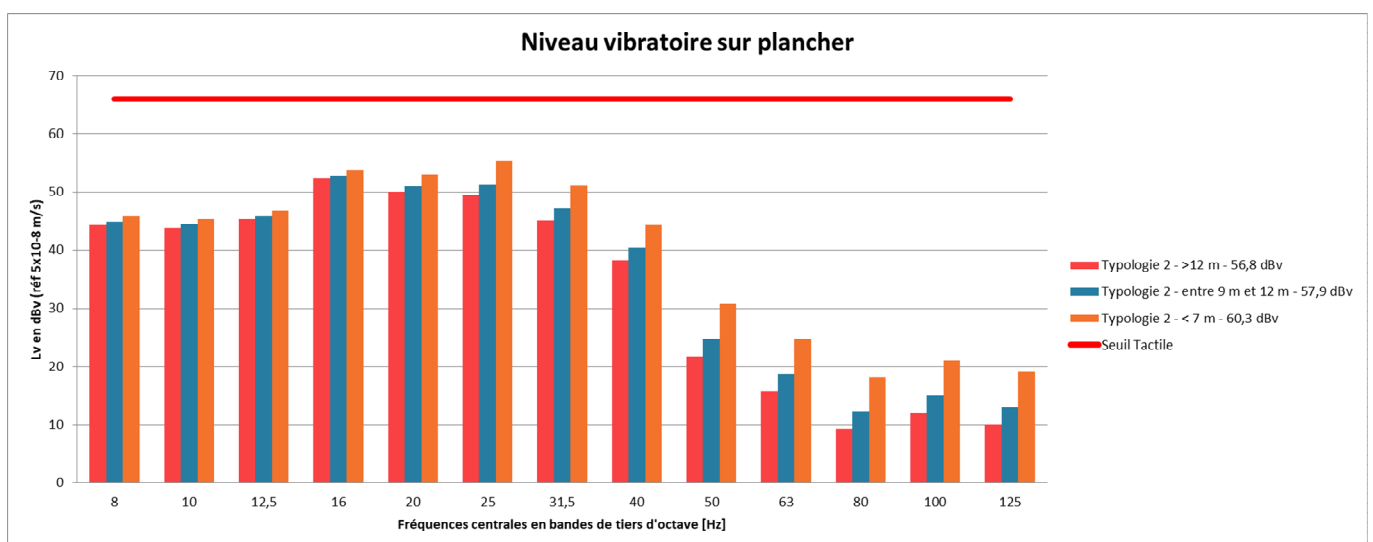
1.2.1 - Pose classique

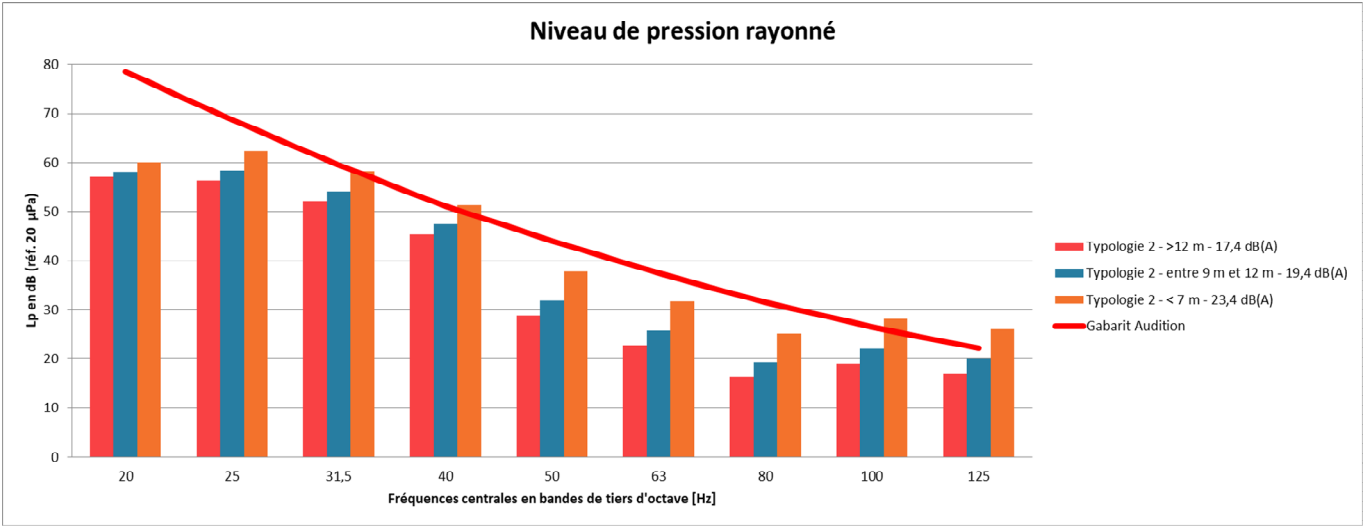


1.2.2 - Pose avec semelle résiliente

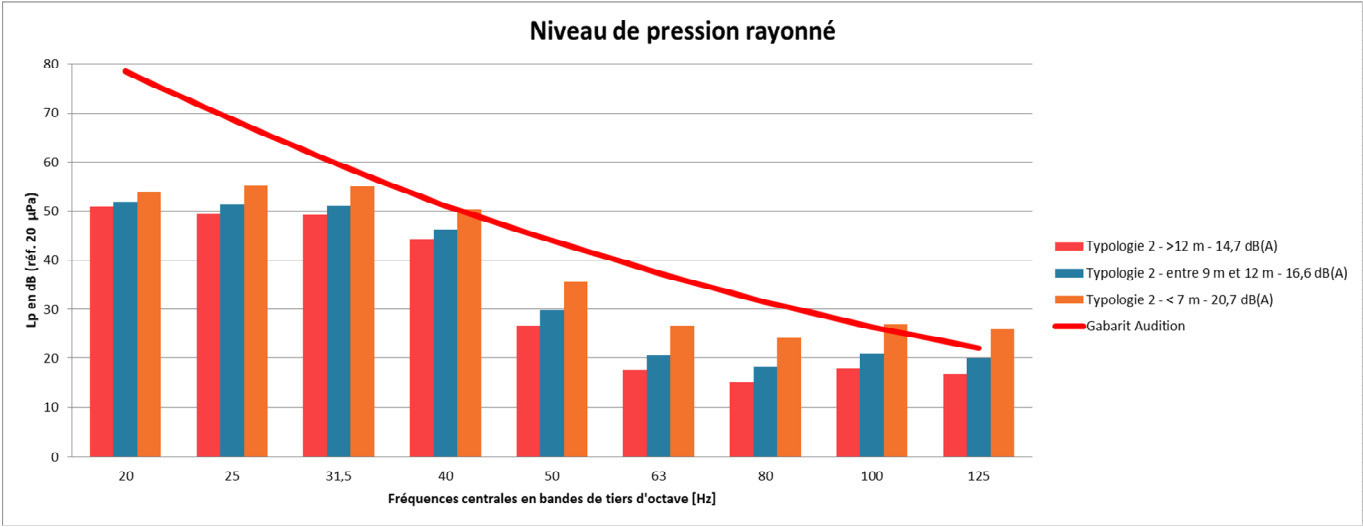
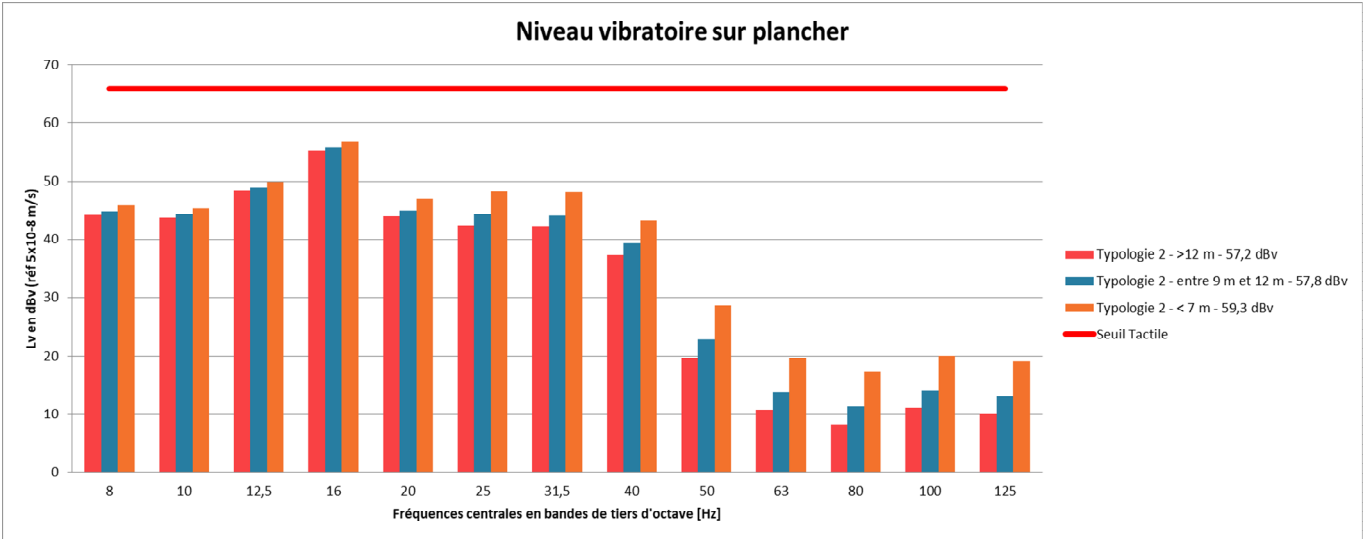


1.2.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »



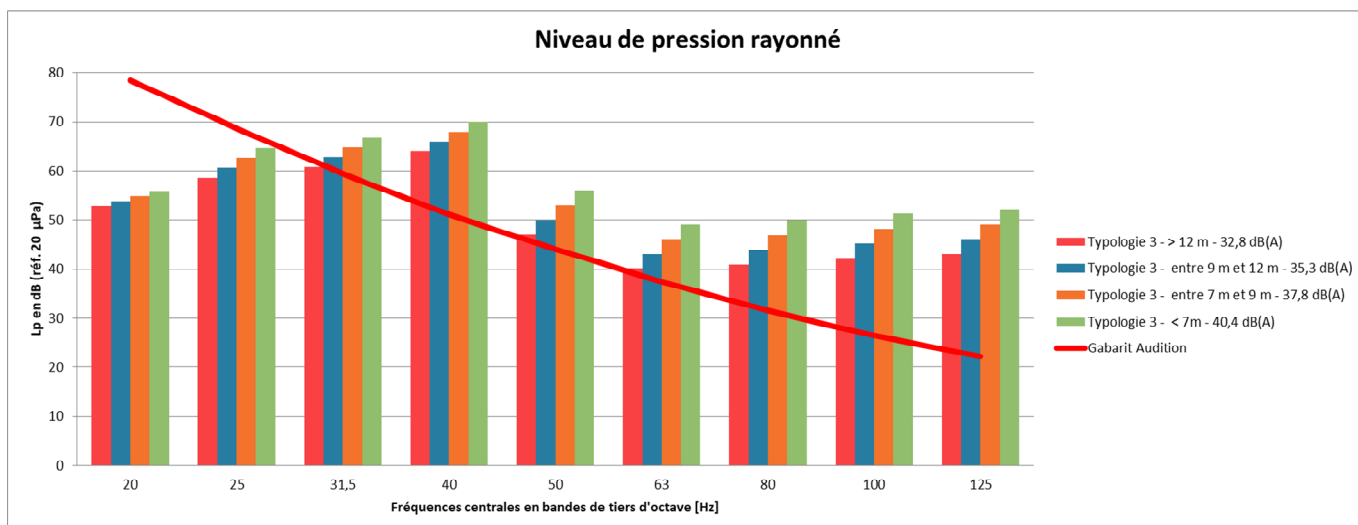
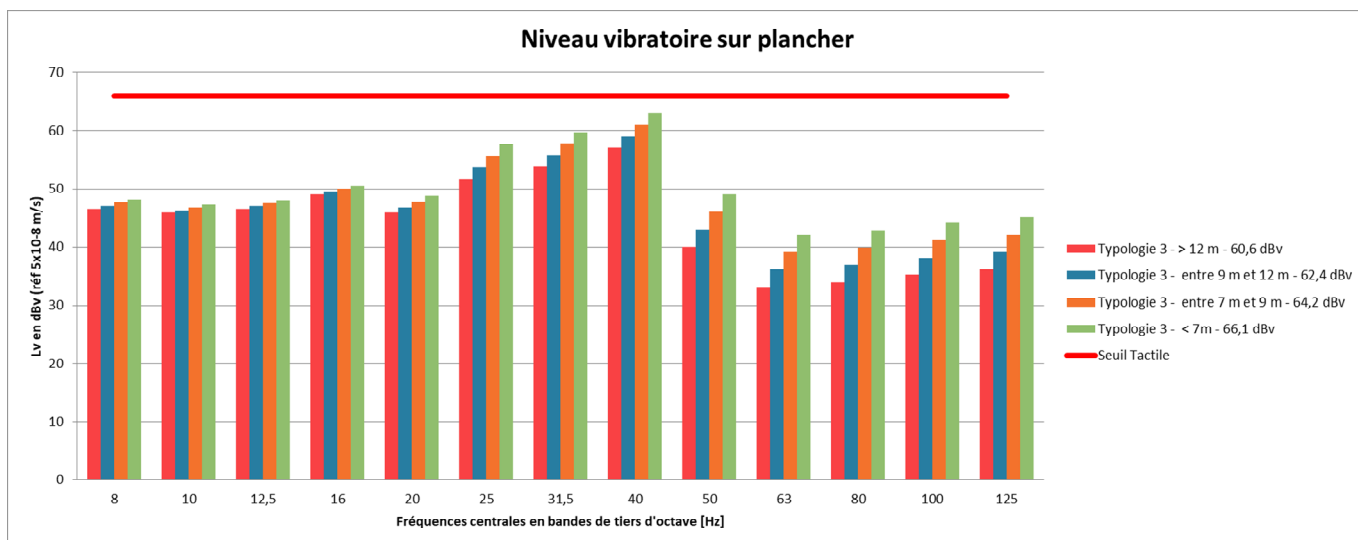


1.2.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »

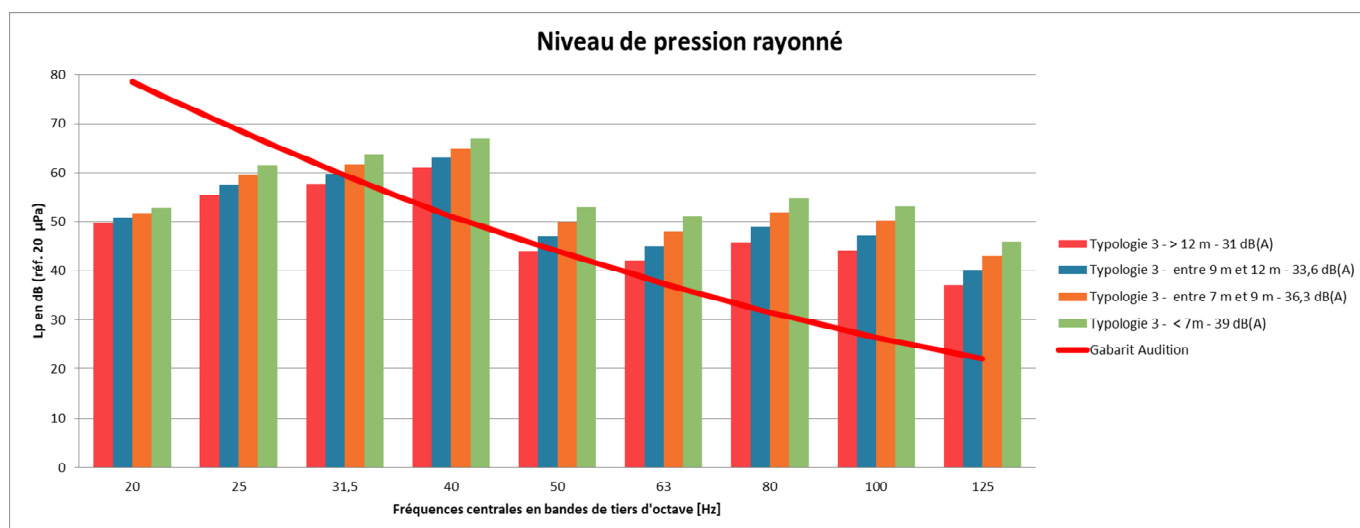
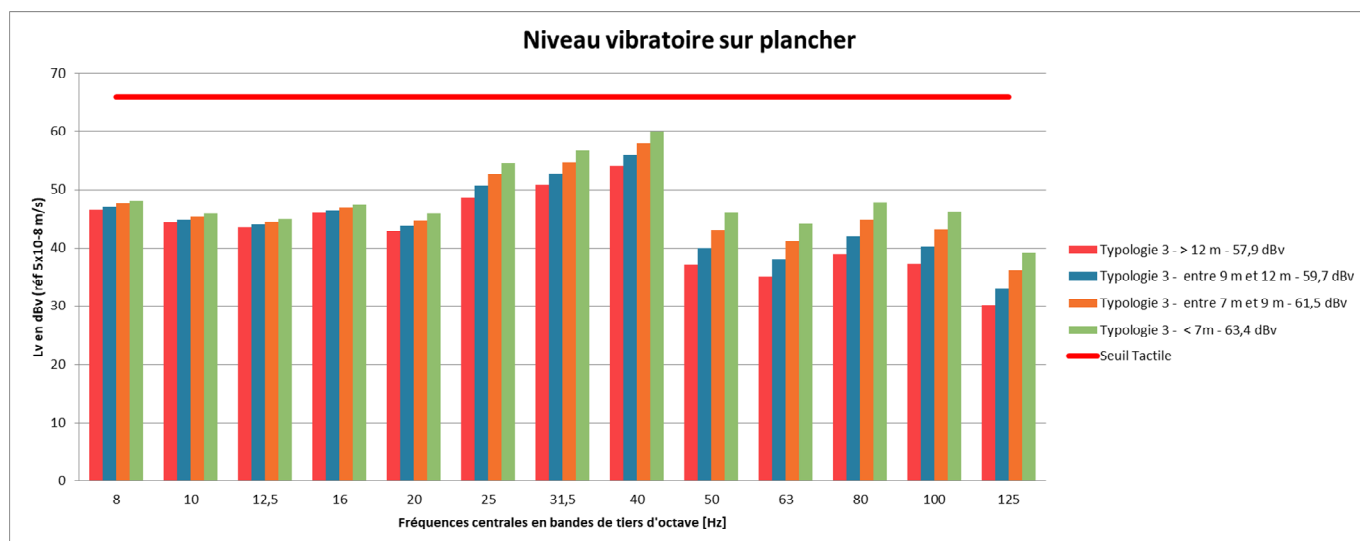


1.3 - TYPOLOGIE 3 – BATIMENT INDIVIDUEL/BATIMENT COLLECTIF ≤ R+4 AVEC FONDATIONS SUPERFICIELLES ET PLANCHERS BETON

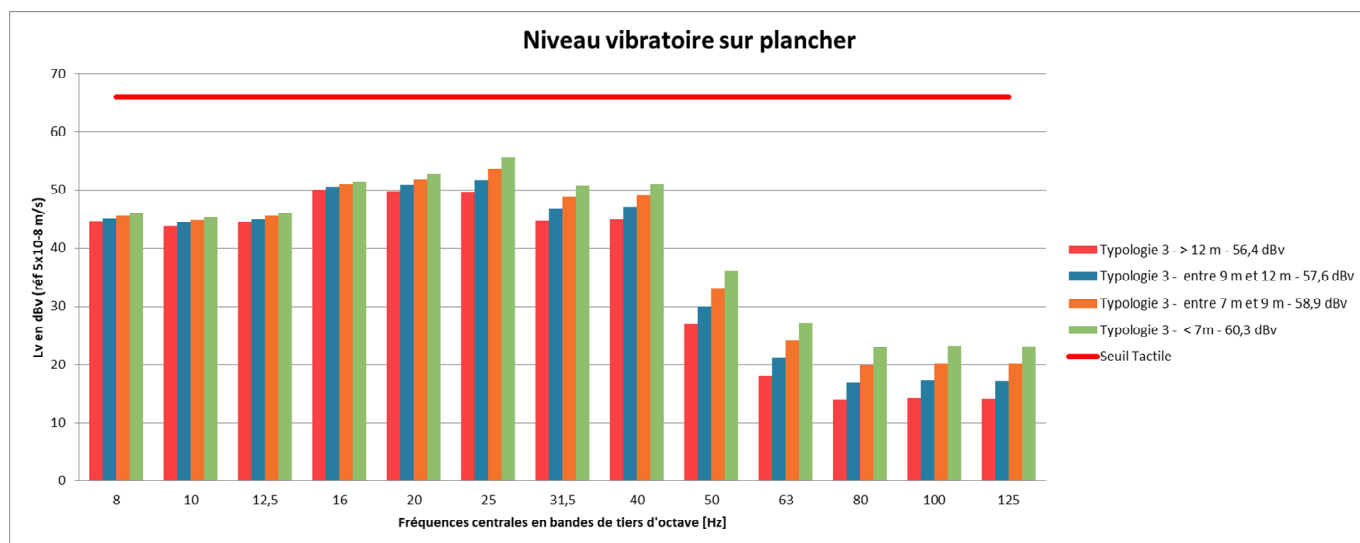
1.3.1 - Pose classique

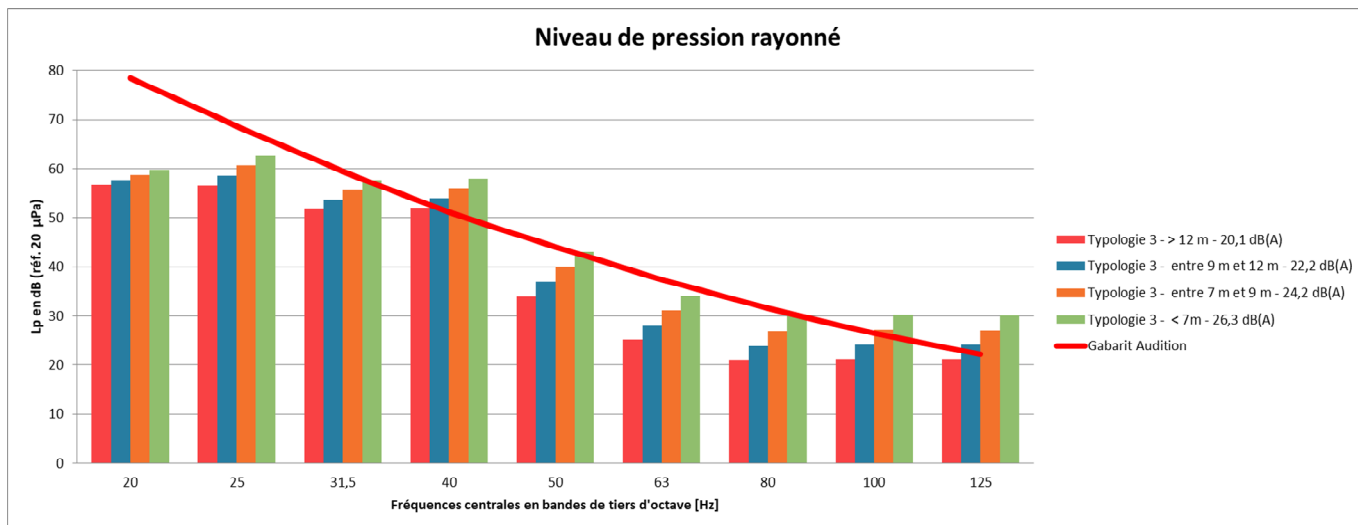


1.3.2 - Pose avec semelle résiliente

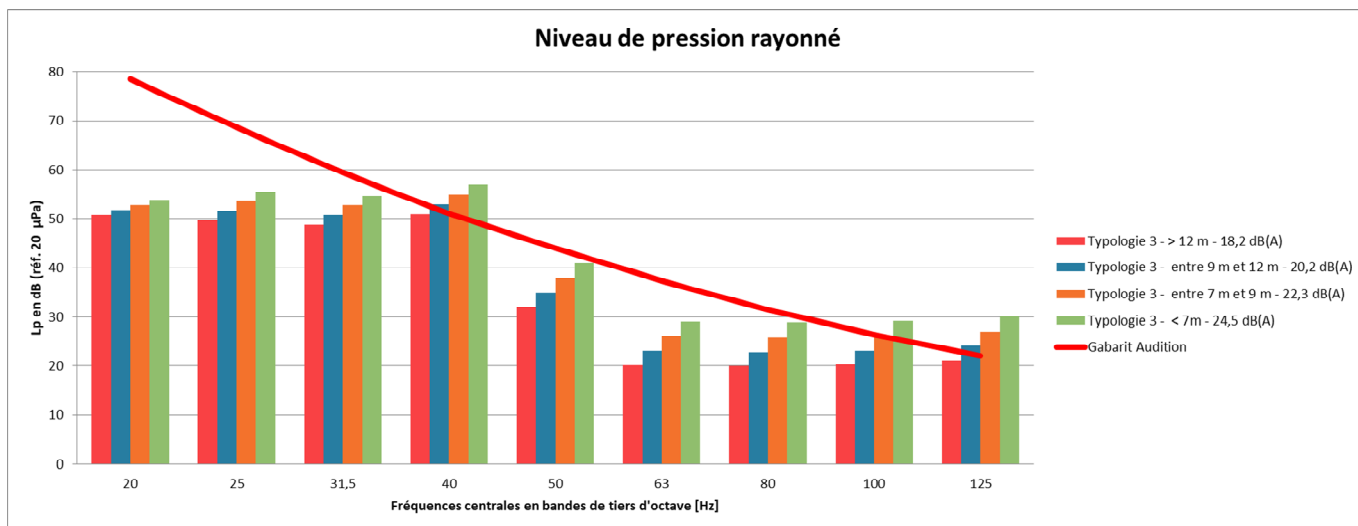
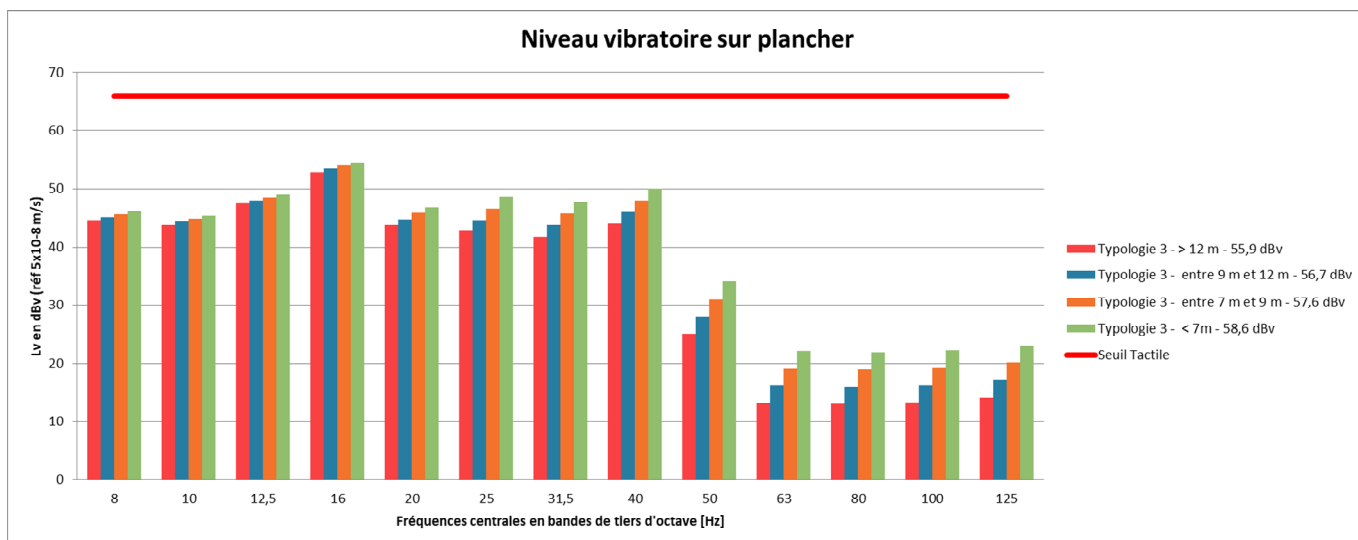


1.3.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »



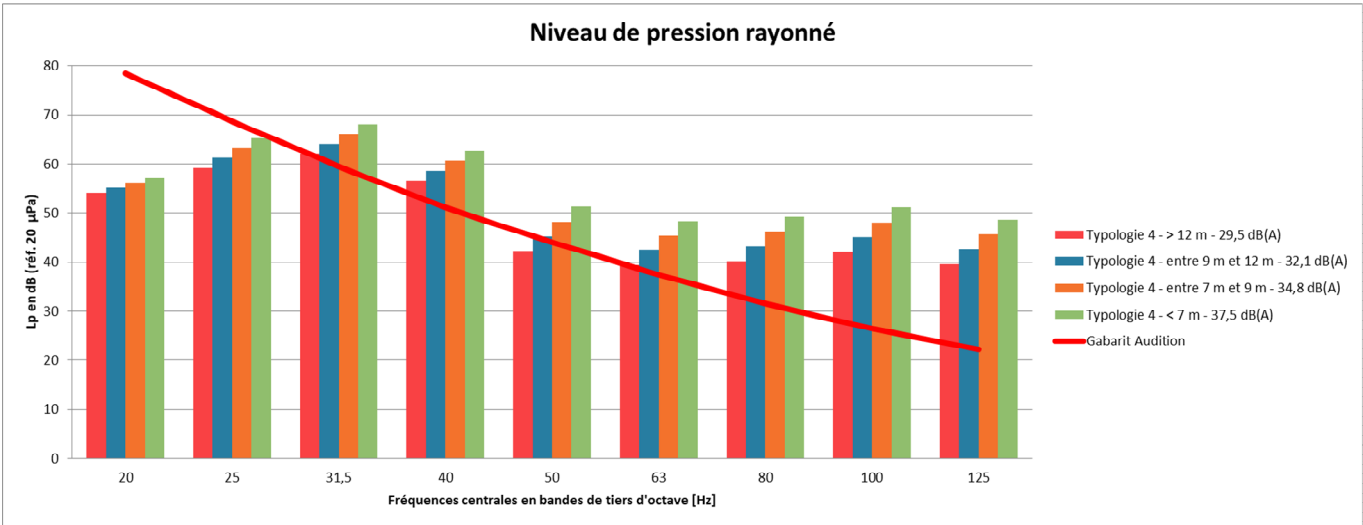
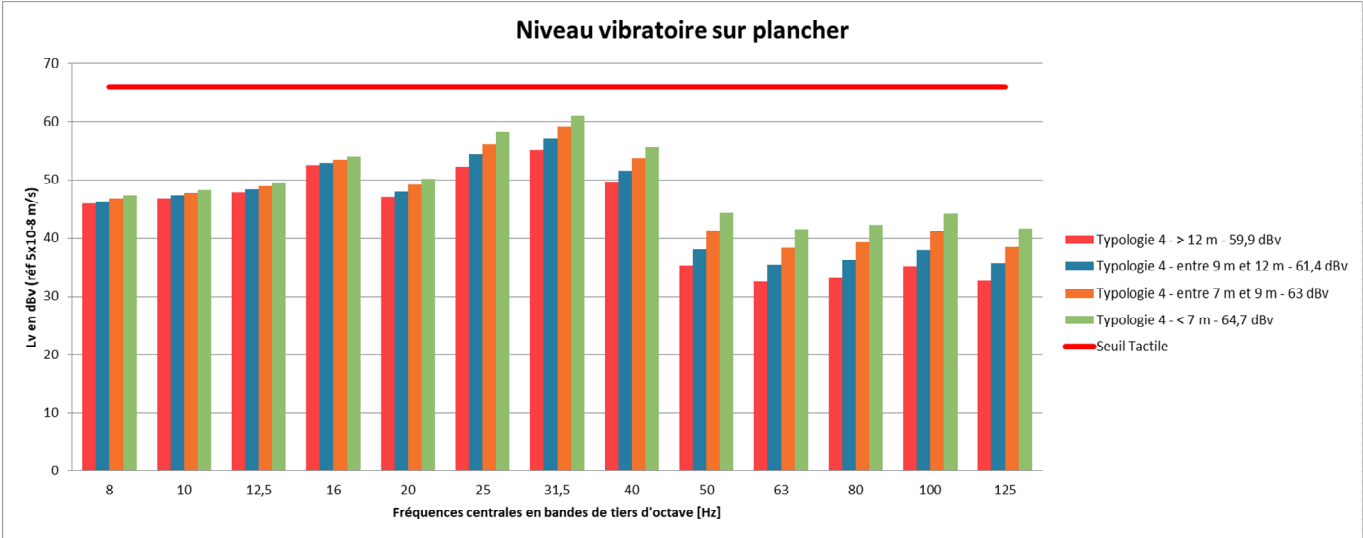


1.3.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »

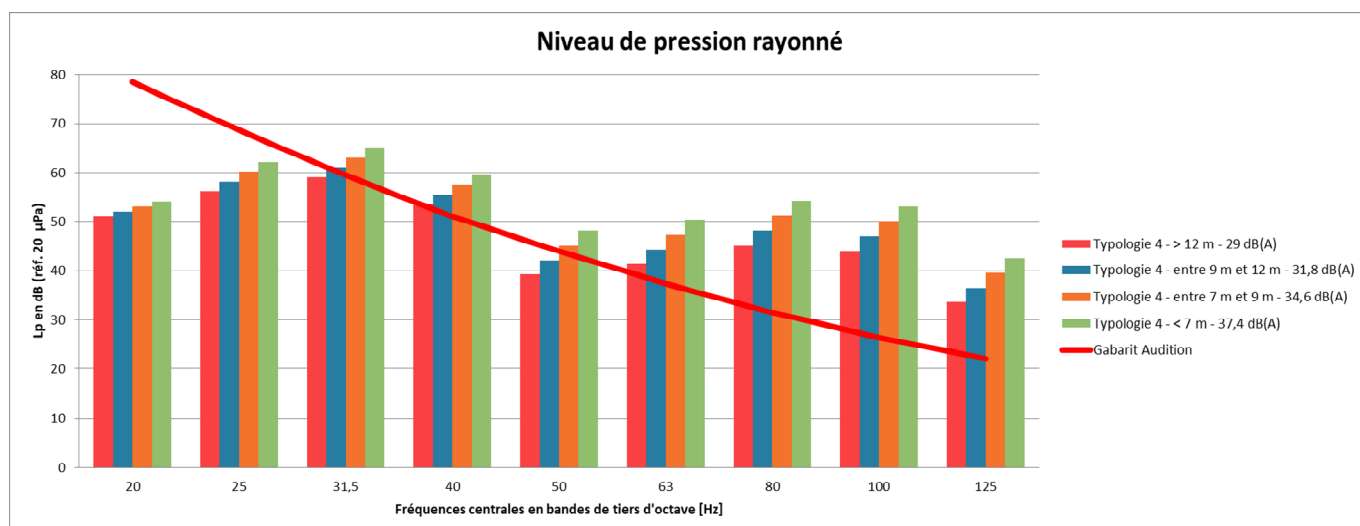
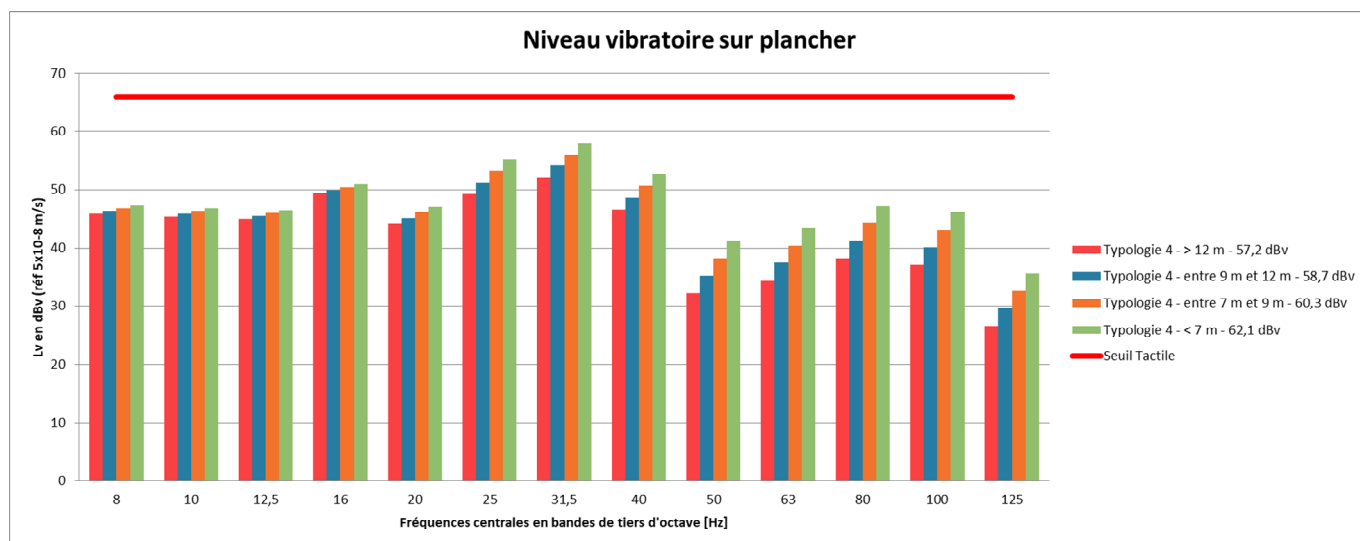


1.4 - TYPOLOGIE 4 - BATIMENT INDIVIDUEL/BATIMENT COLLECTIF ≤ R+4 AVEC FONDATIONS SUPERFICIELLES ET PLANCHERS BOIS

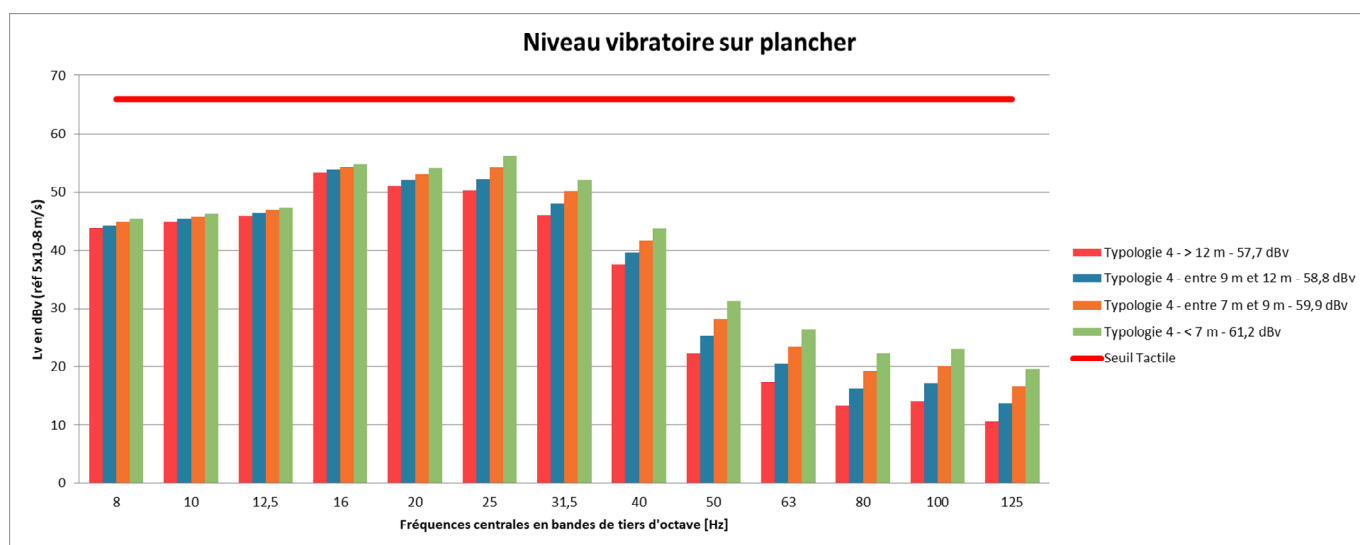
1.4.1 - Pose classique

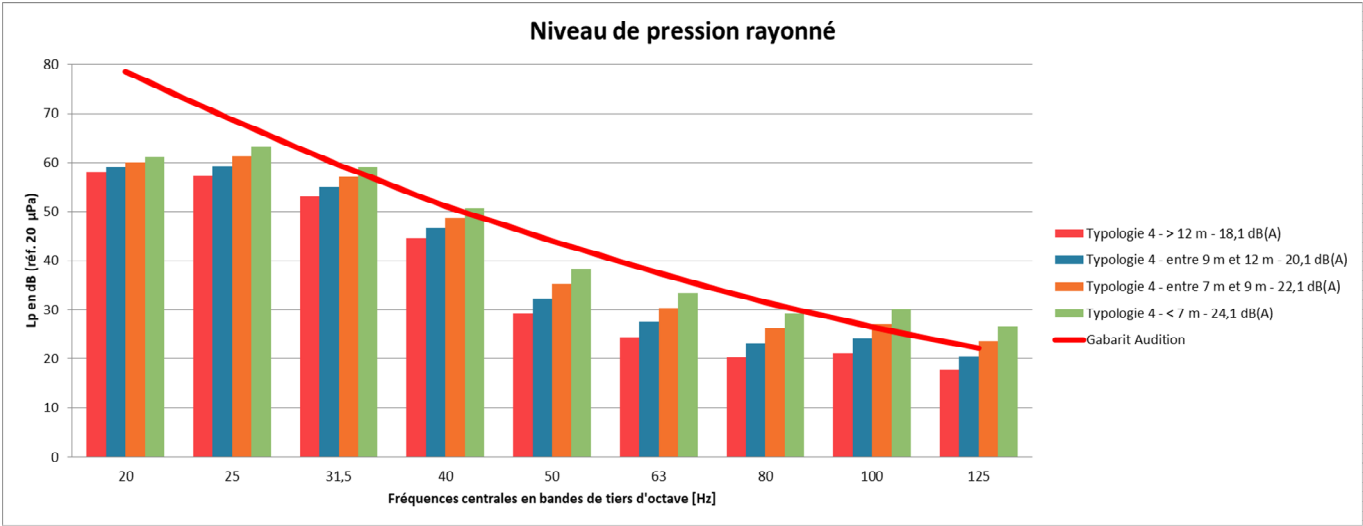


1.4.2 - Pose avec semelle résiliente

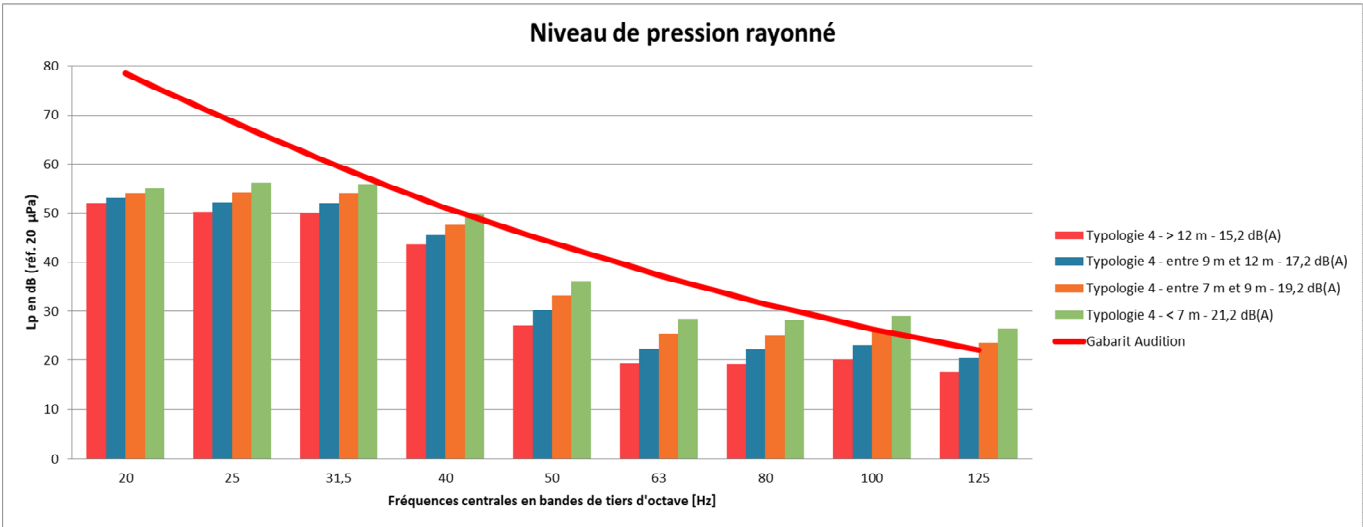
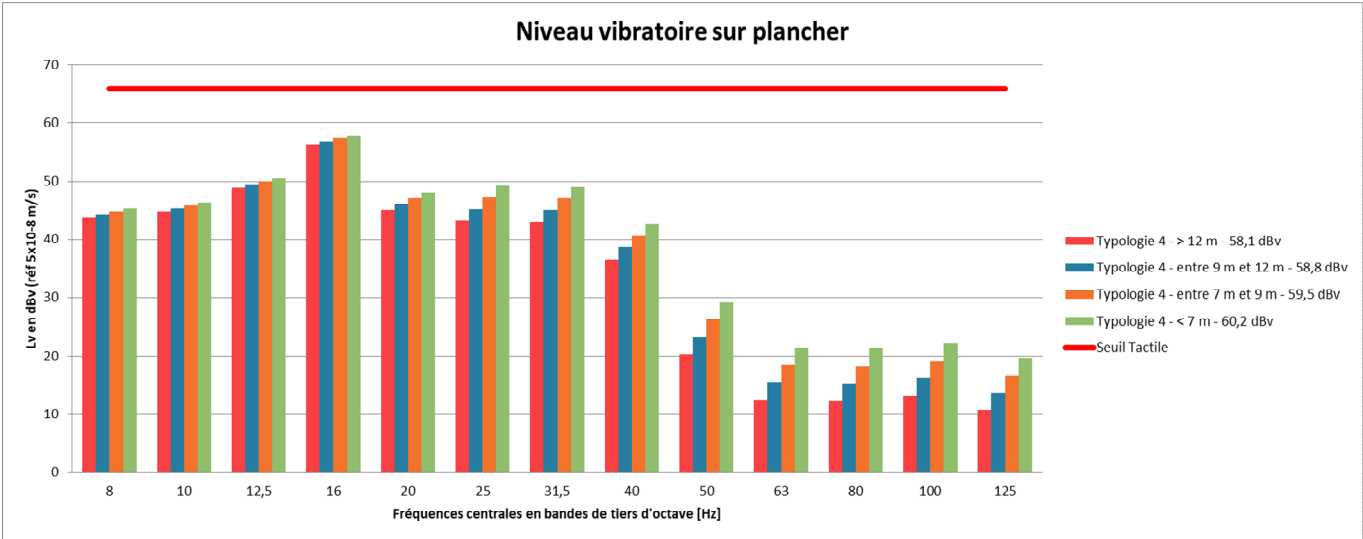


1.4.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »





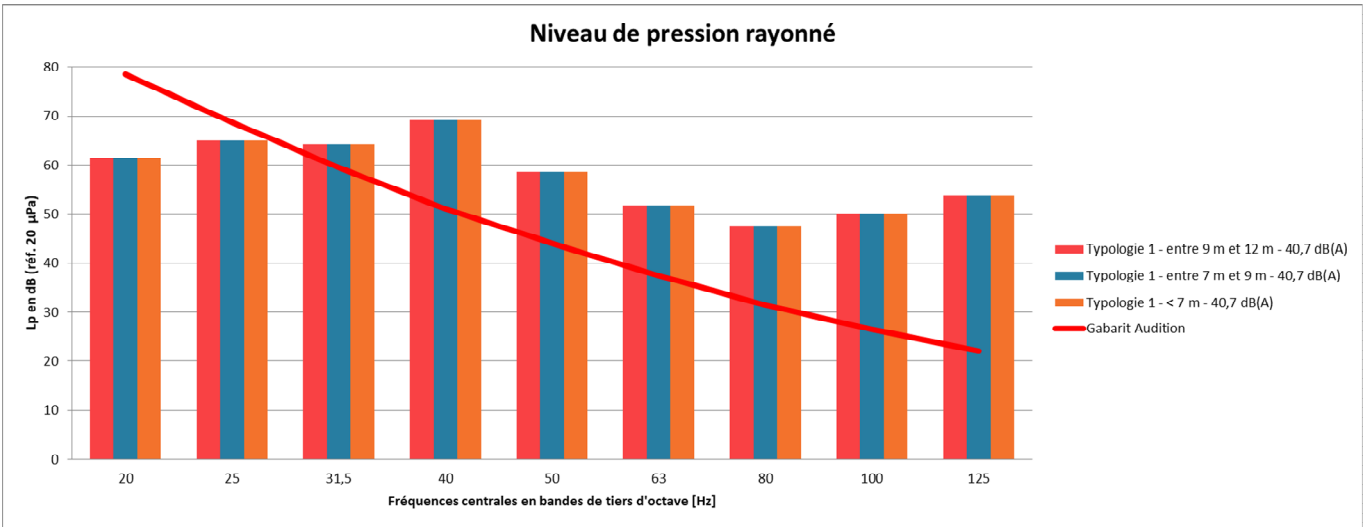
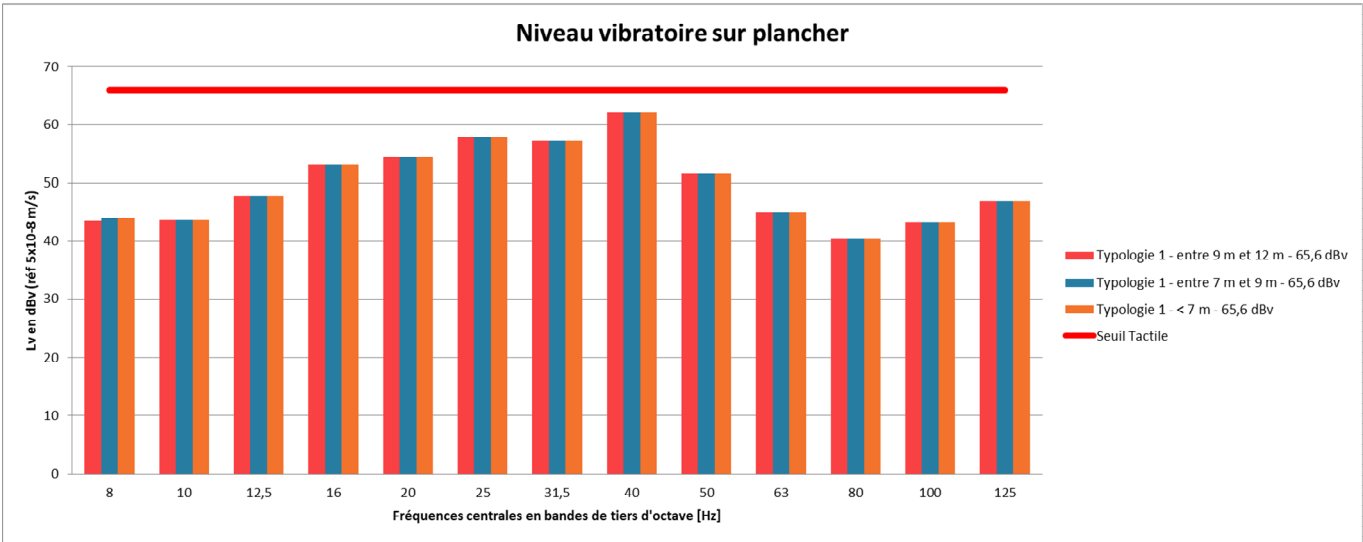
1.4.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »



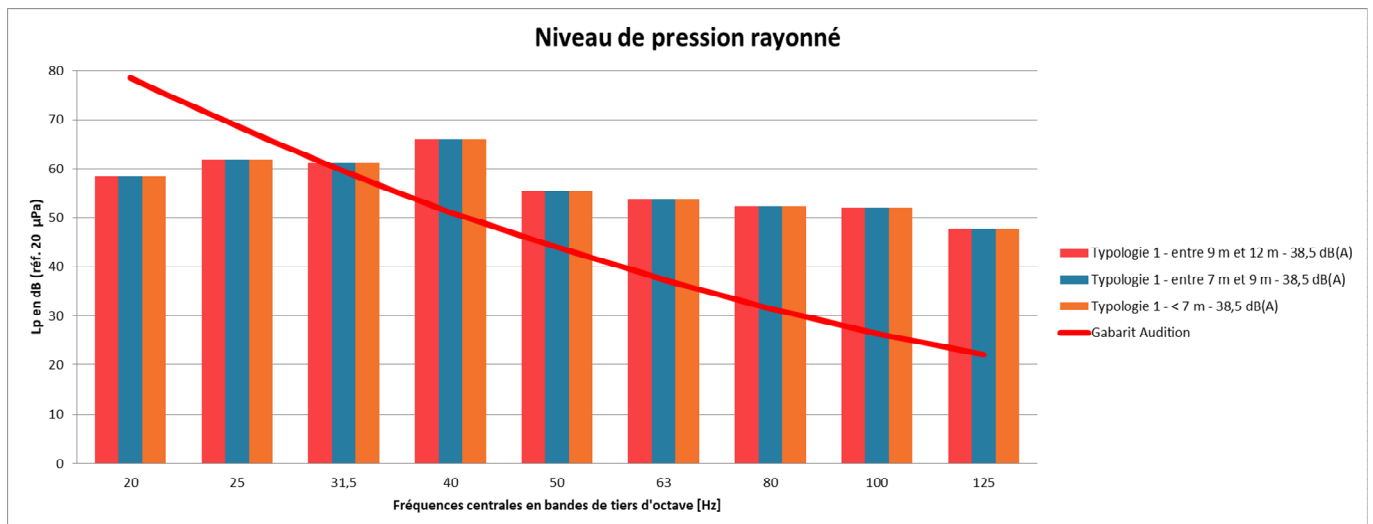
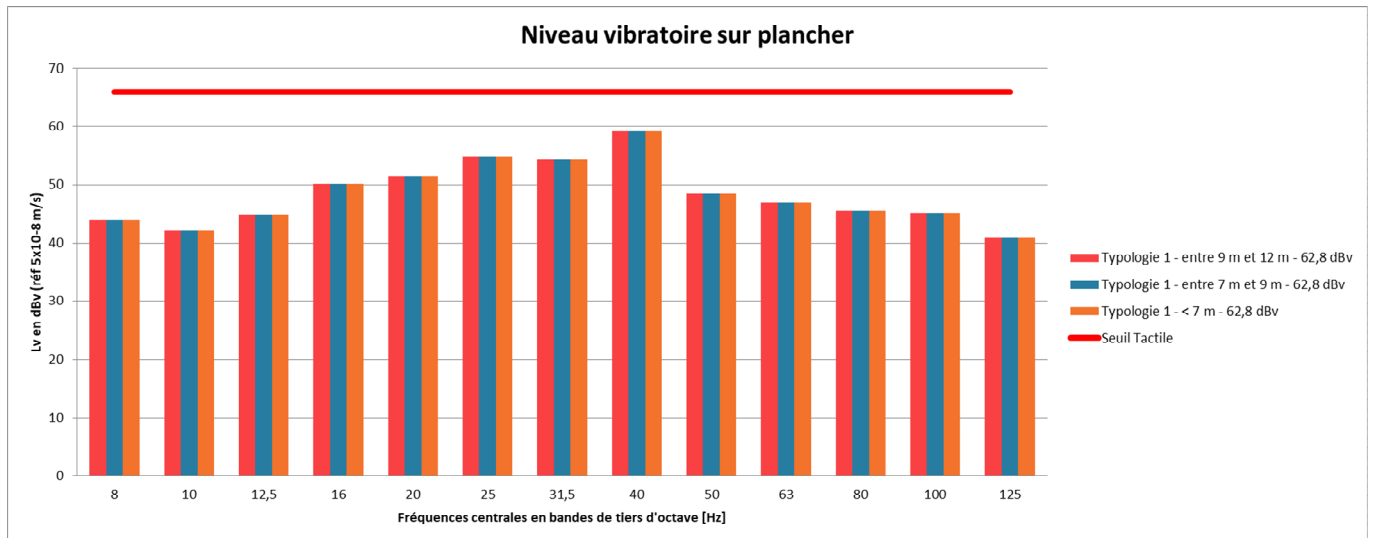
2 - VIRAGE

2.1 - TYPOLOGIE 1 – BATIMENT COLLECTIF AVEC FONDATIONS PROFONDES (R-1 OU R-2) AVEC PLANCHERS BETON

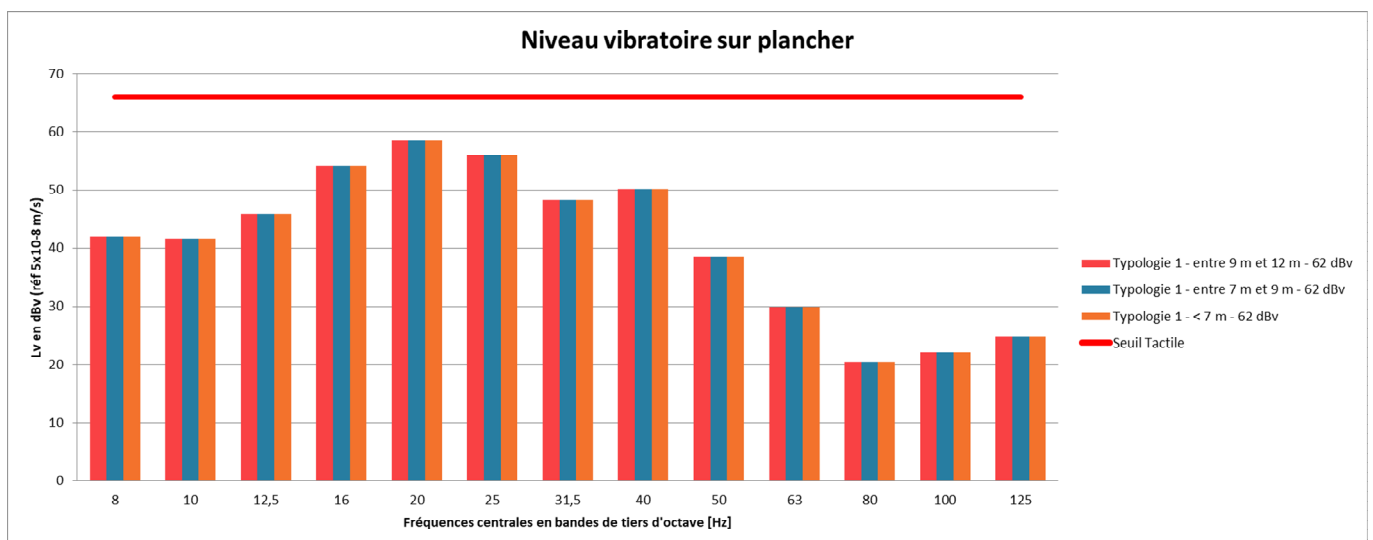
2.1.1 - Pose classique

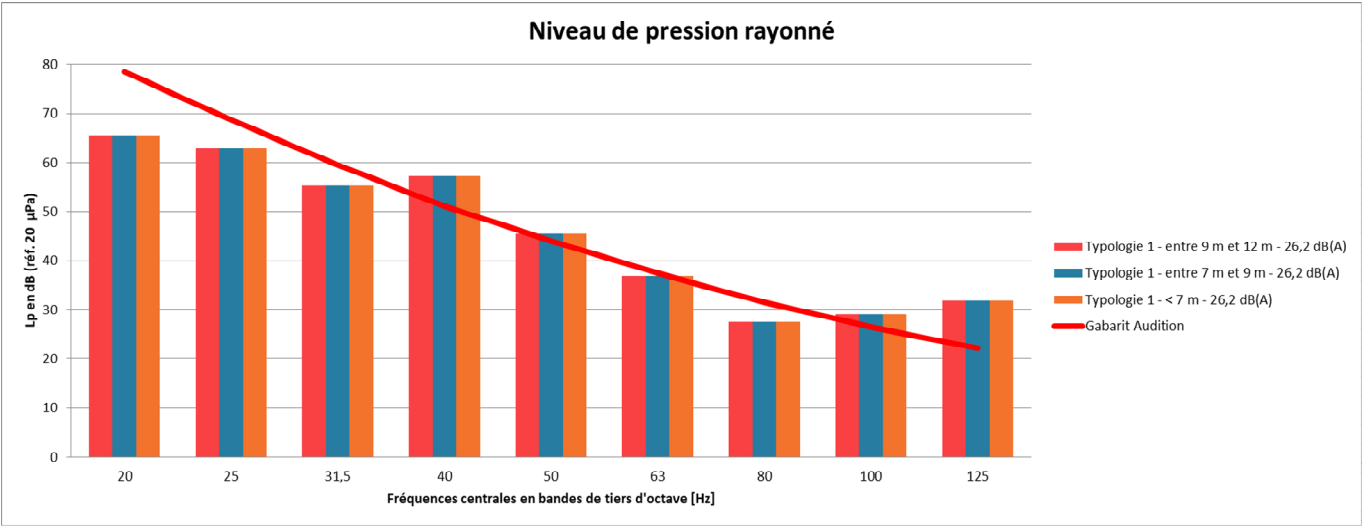


2.1.2 - Pose avec semelle résiliente

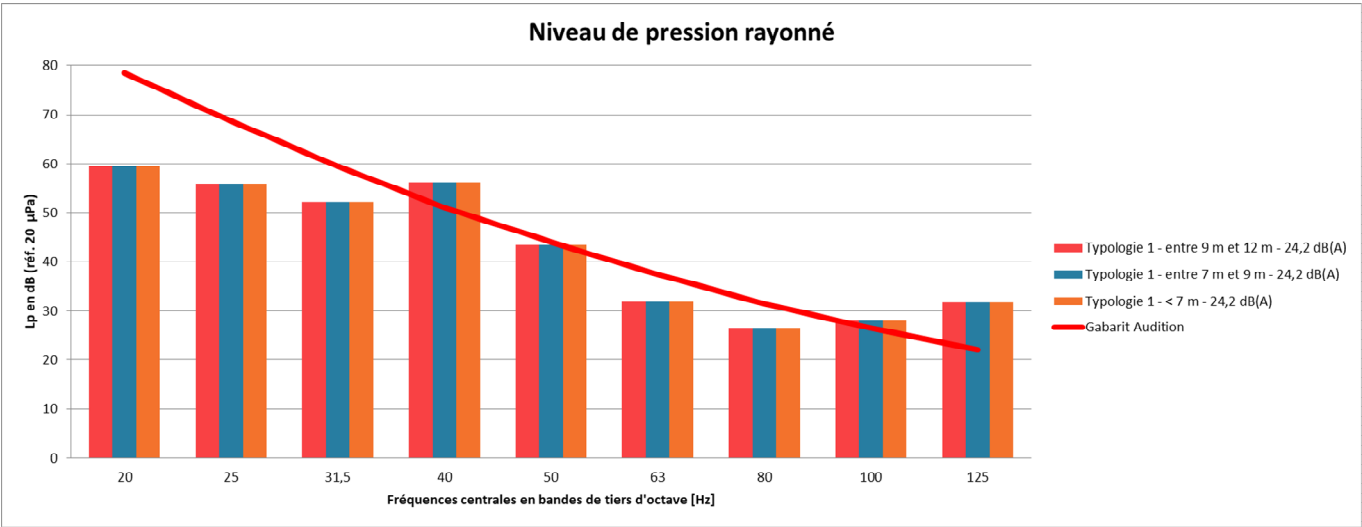
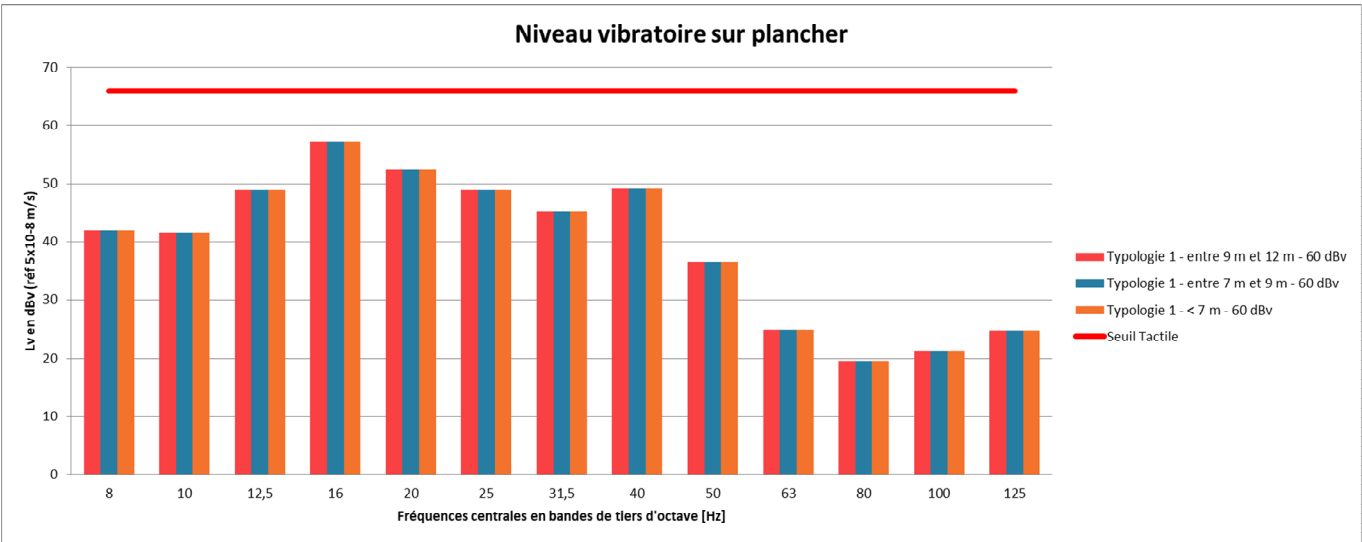


2.1.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »



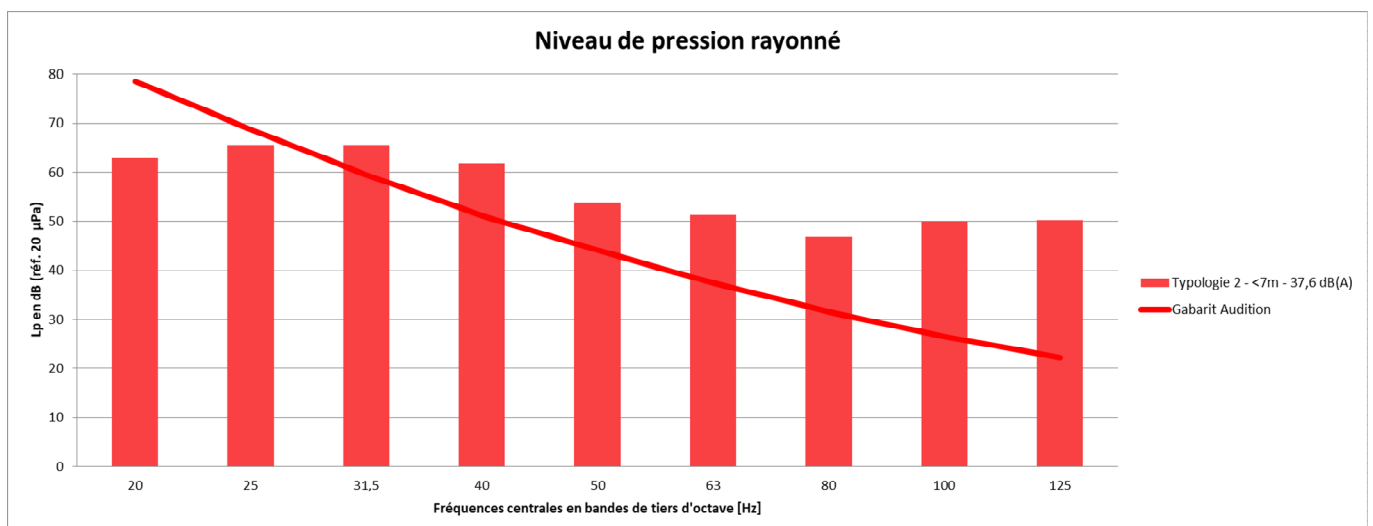
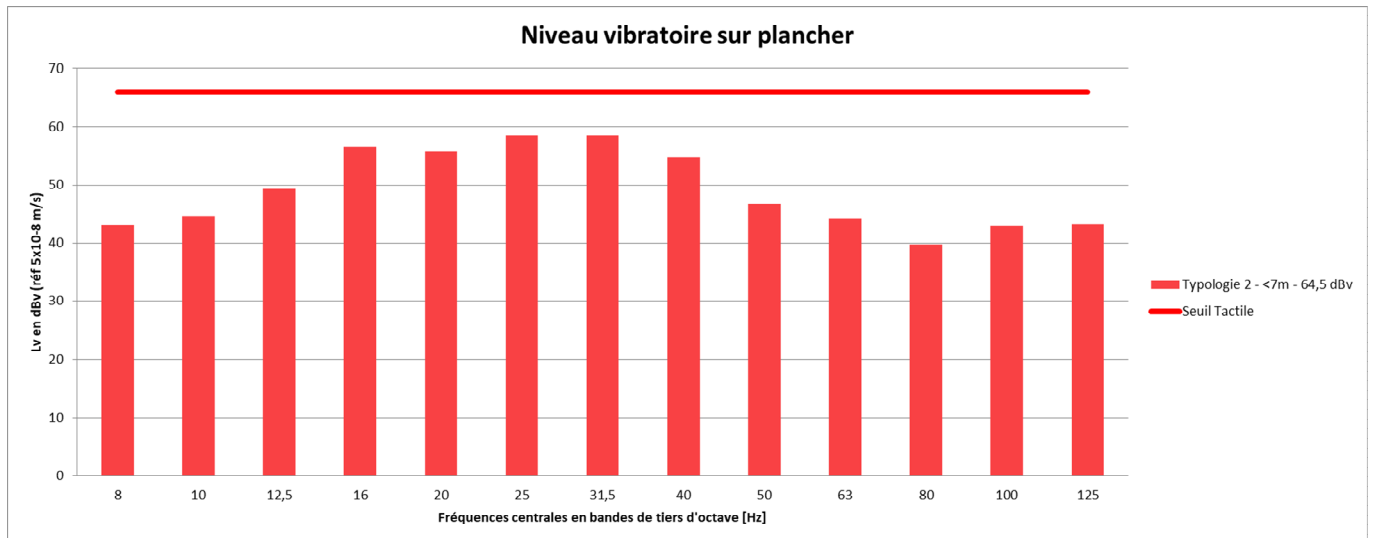


2.1.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »

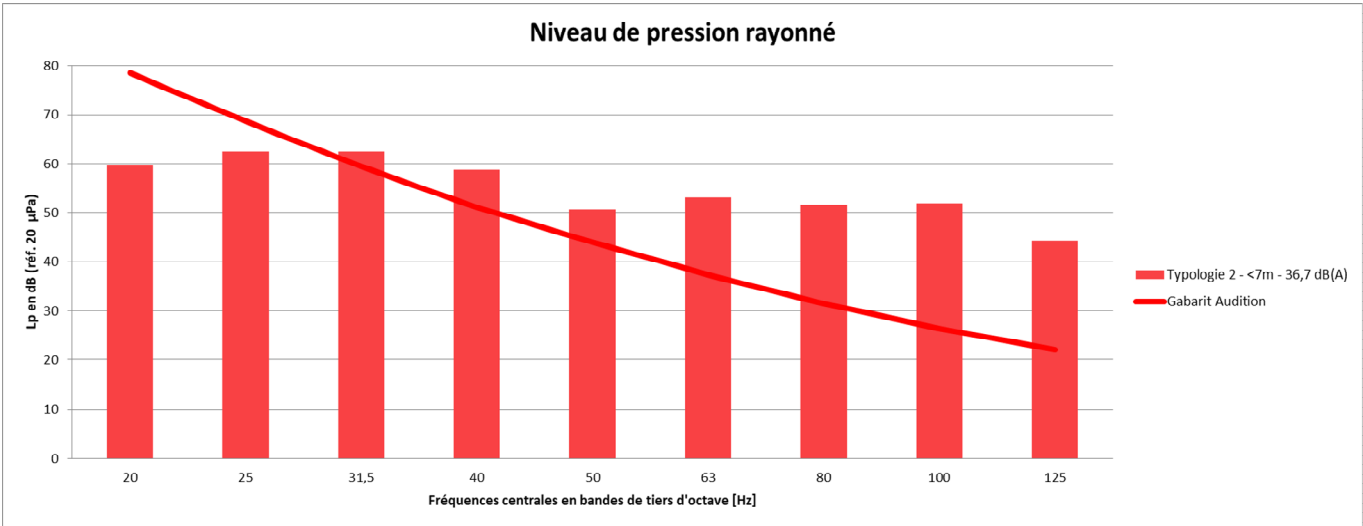
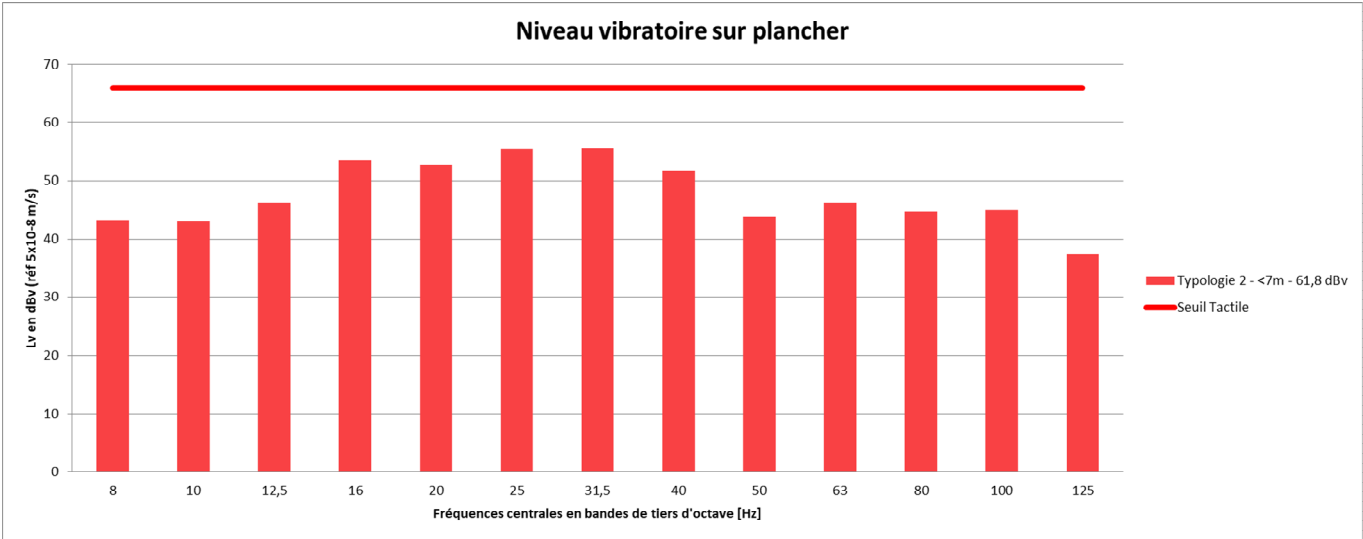


2.2 - TYPOLOGIE 2 – BATIMENT COLLECTIF AVEC FONDATIONS PROFONDES (R-1 OU R-2) AVEC PLANCHERS BOIS

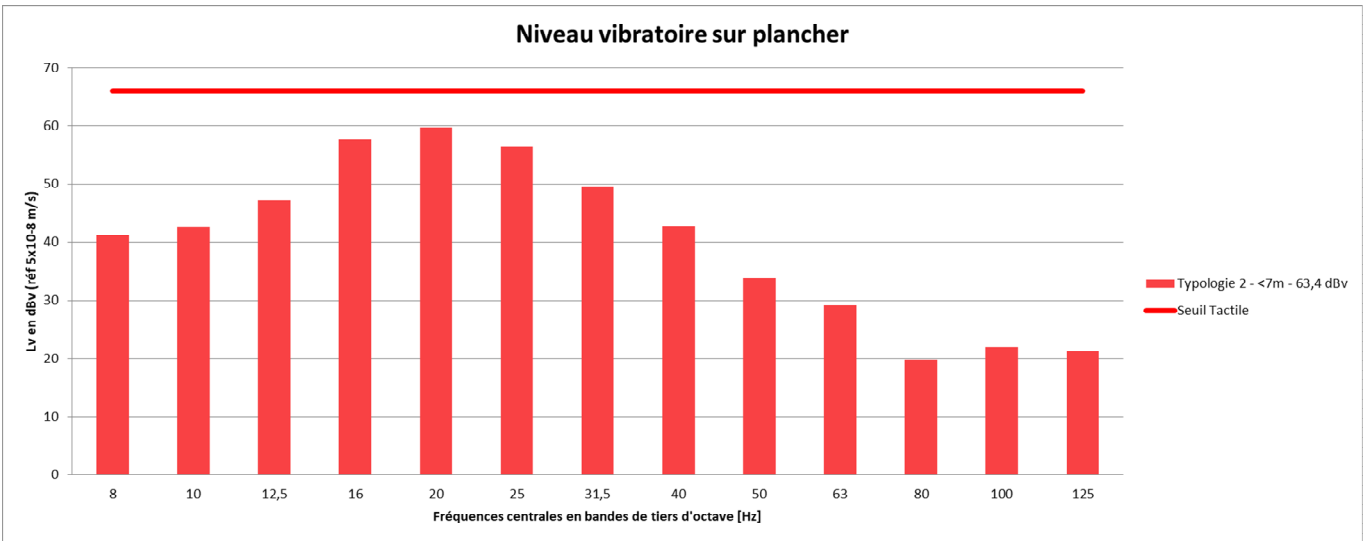
2.2.1 - Pose classique

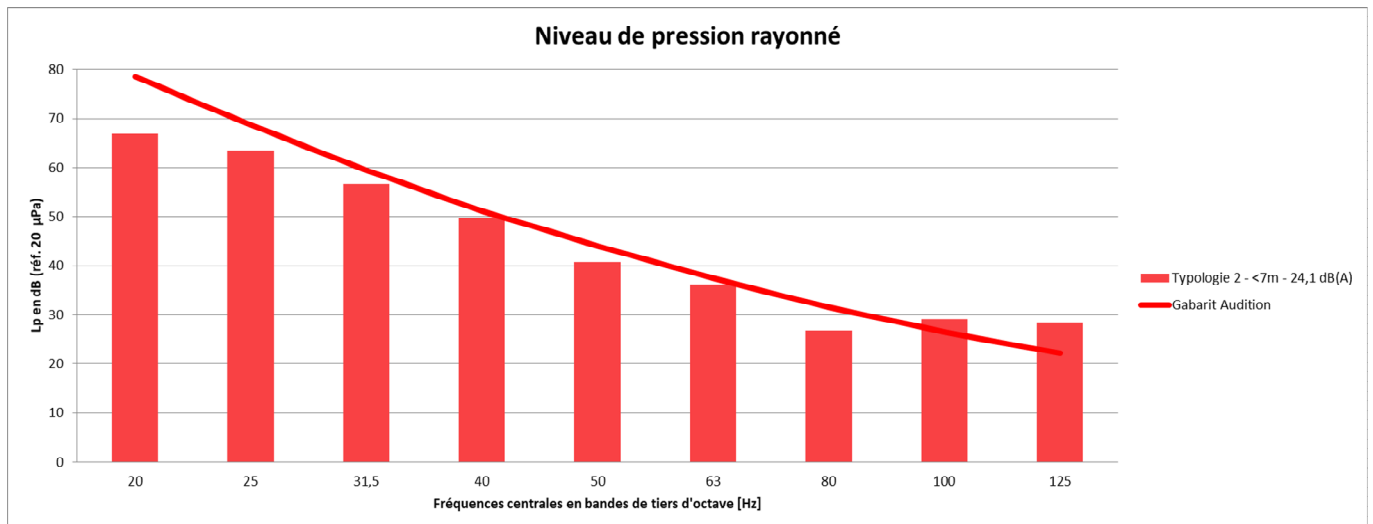


2.2.2 - Pose avec semelle résiliente

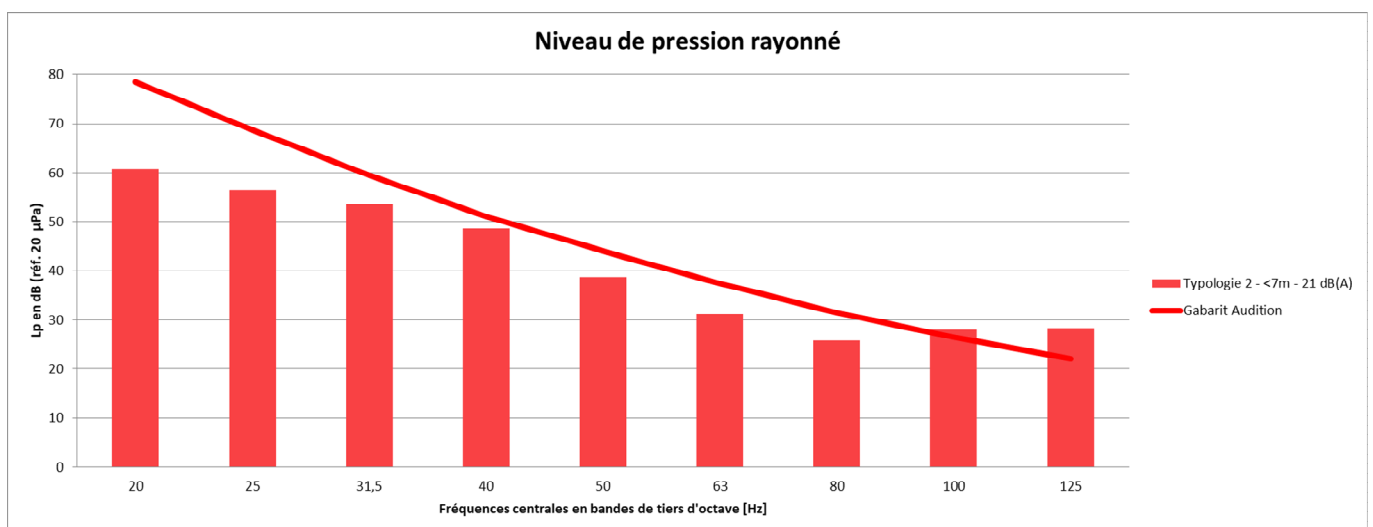
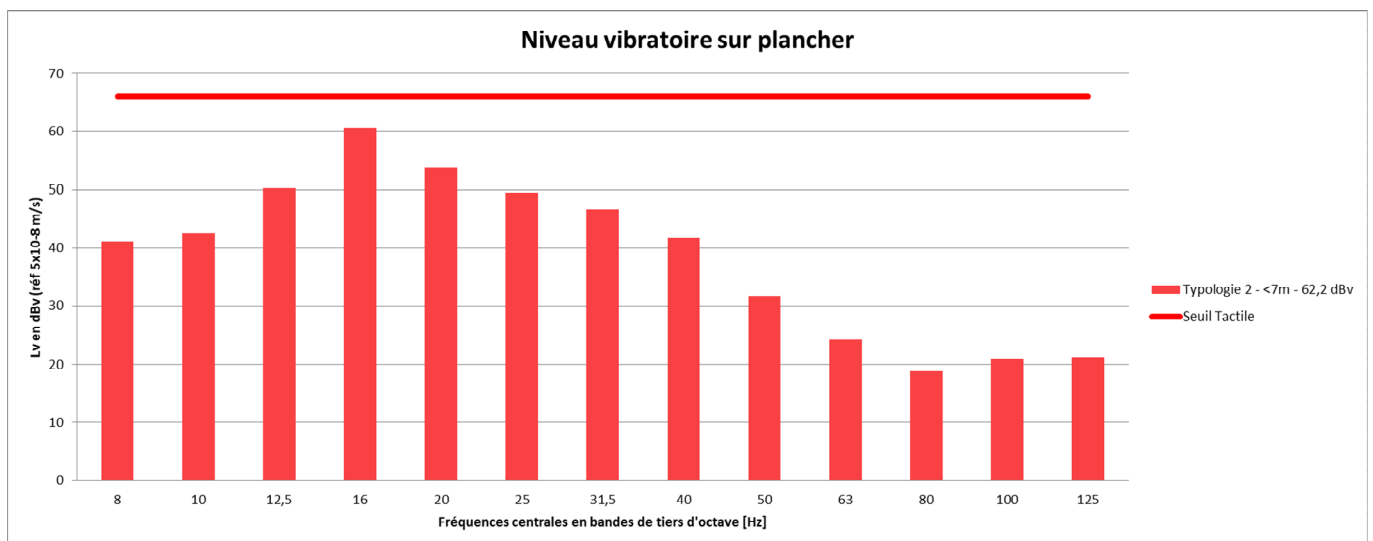


2.2.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »



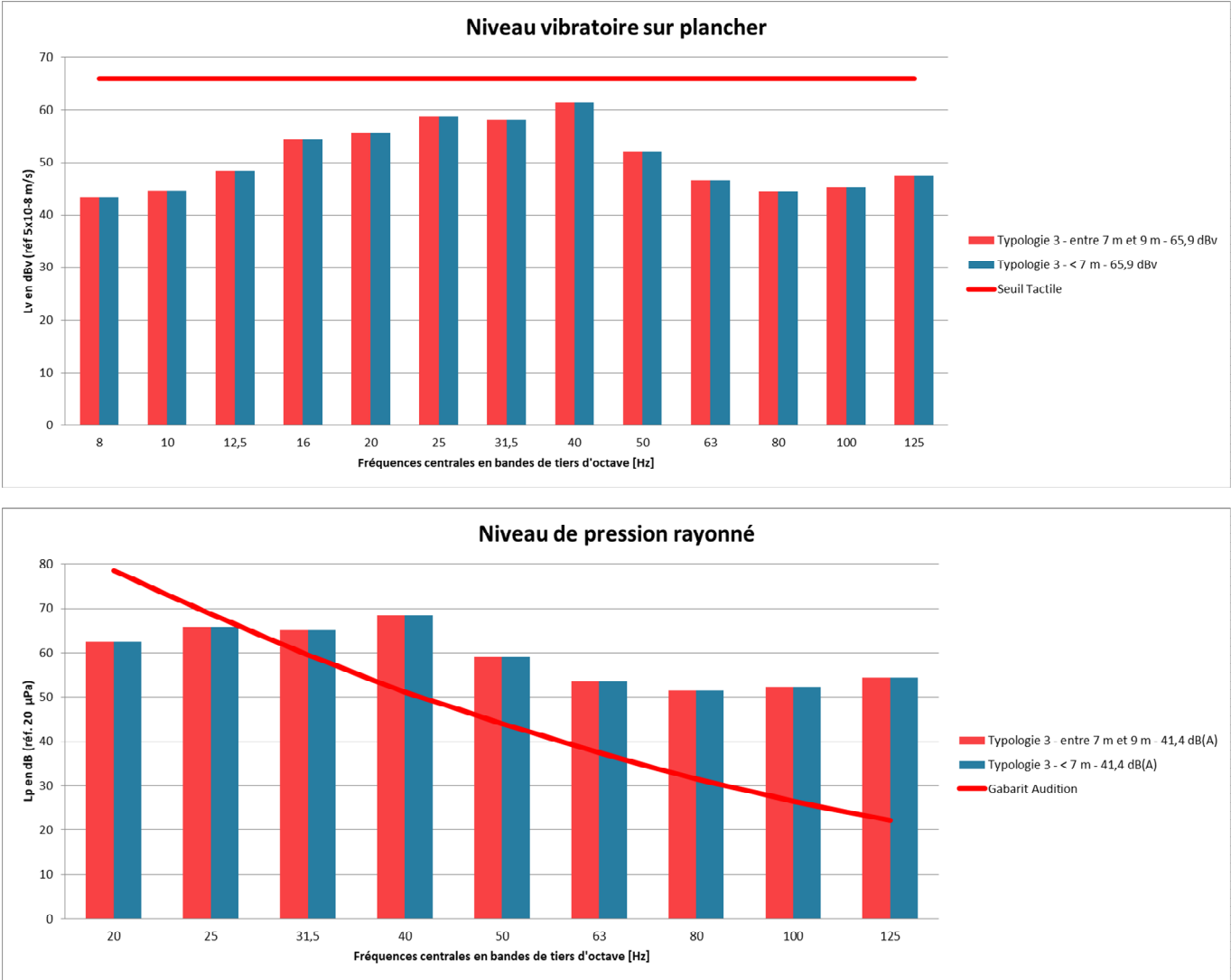


2.2.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »

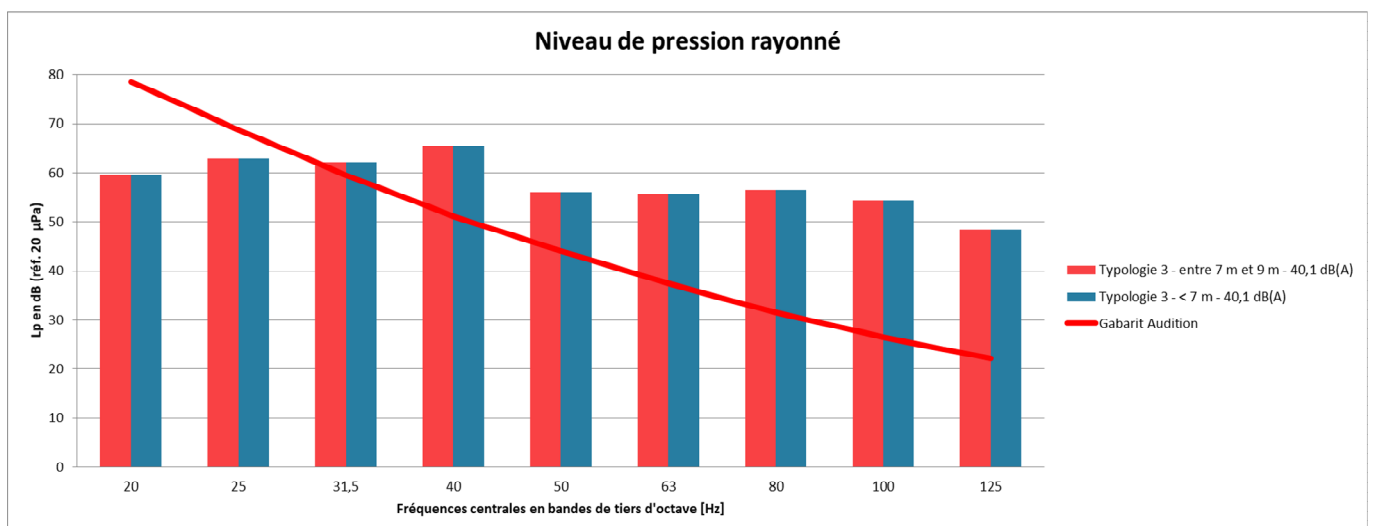
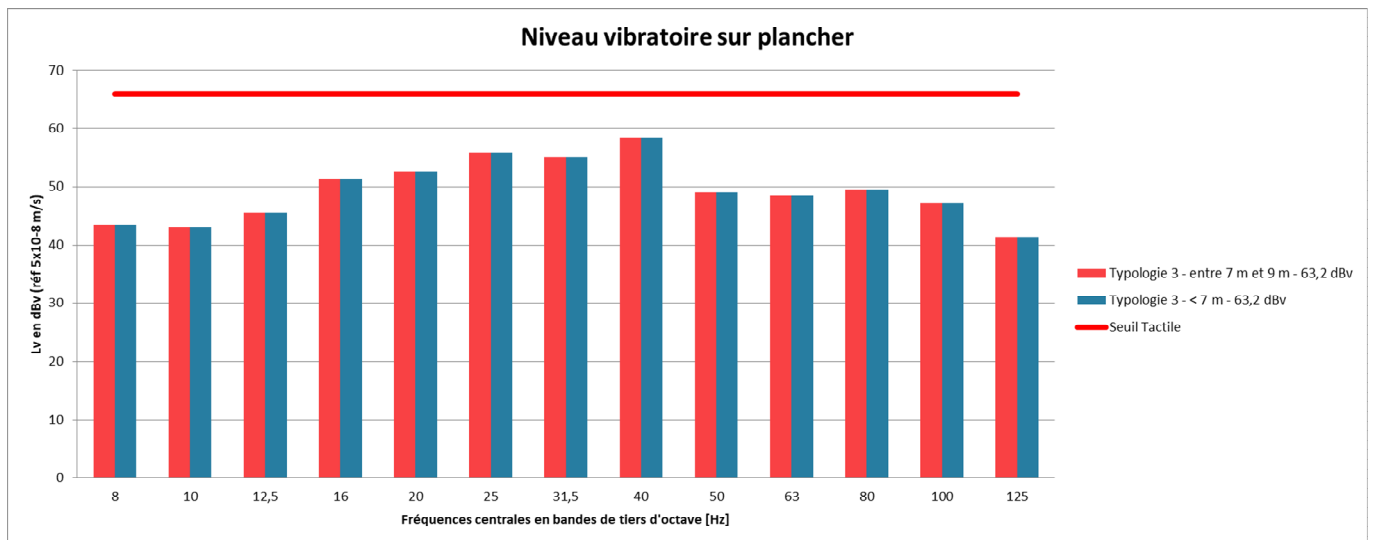


2.3 - TYPOLOGIE 3 – BATIMENT INDIVIDUEL/BATIMENT COLLECTIF ≤ R+4 AVEC FONDATIONS SUPERFICIELLES ET PLANCHERS BETON

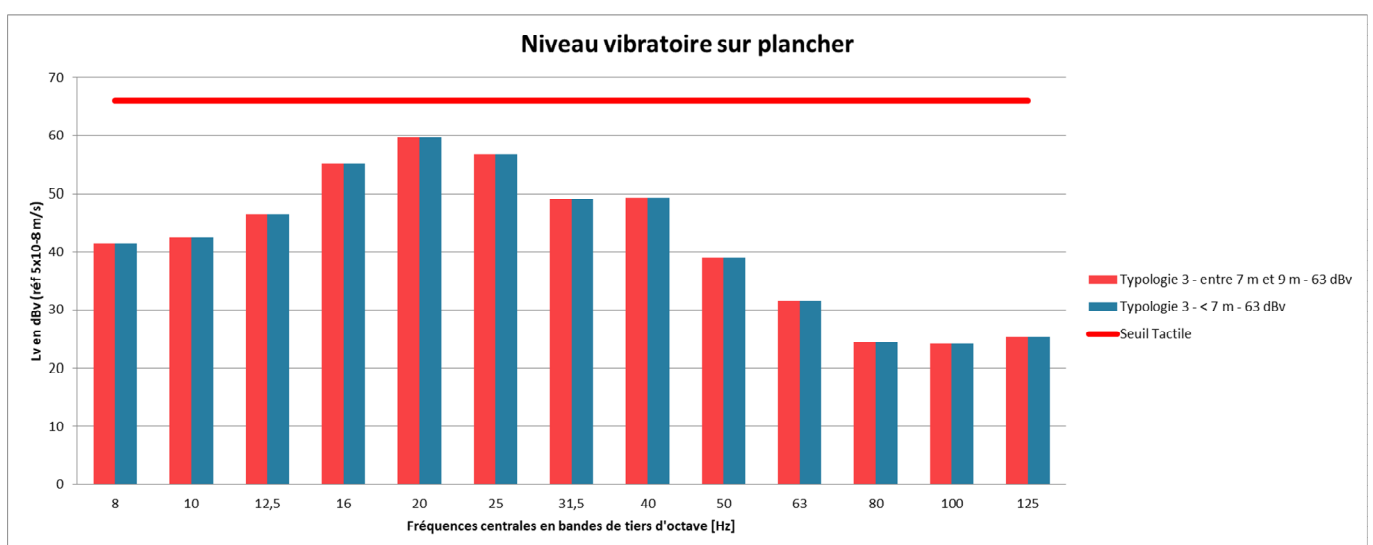
2.3.1 - Pose classique

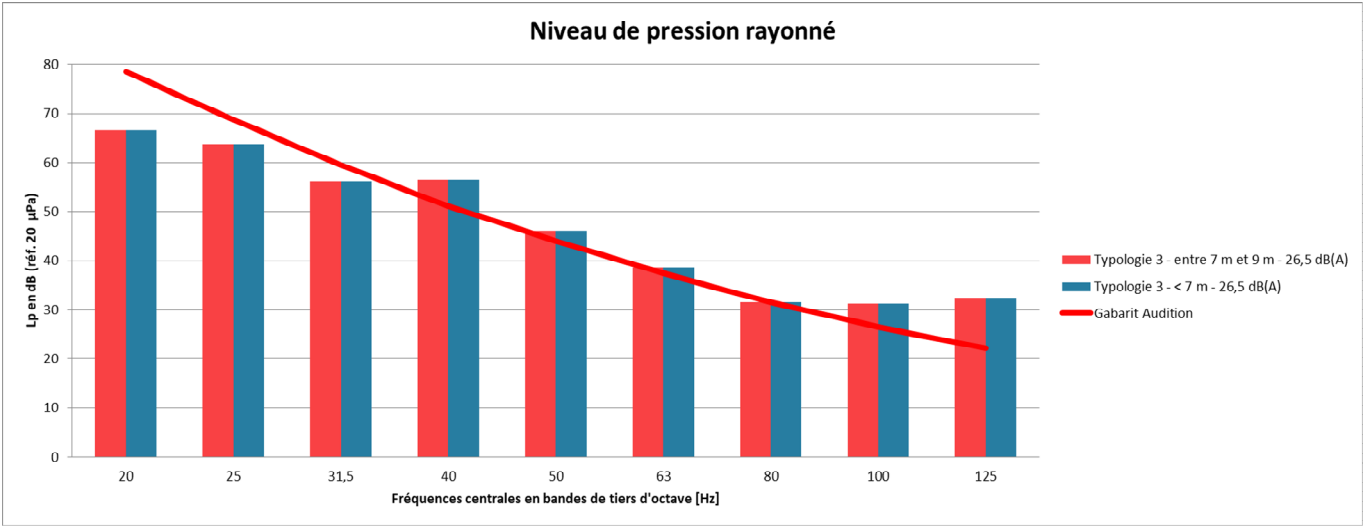


2.3.2 - Pose avec semelle résiliente

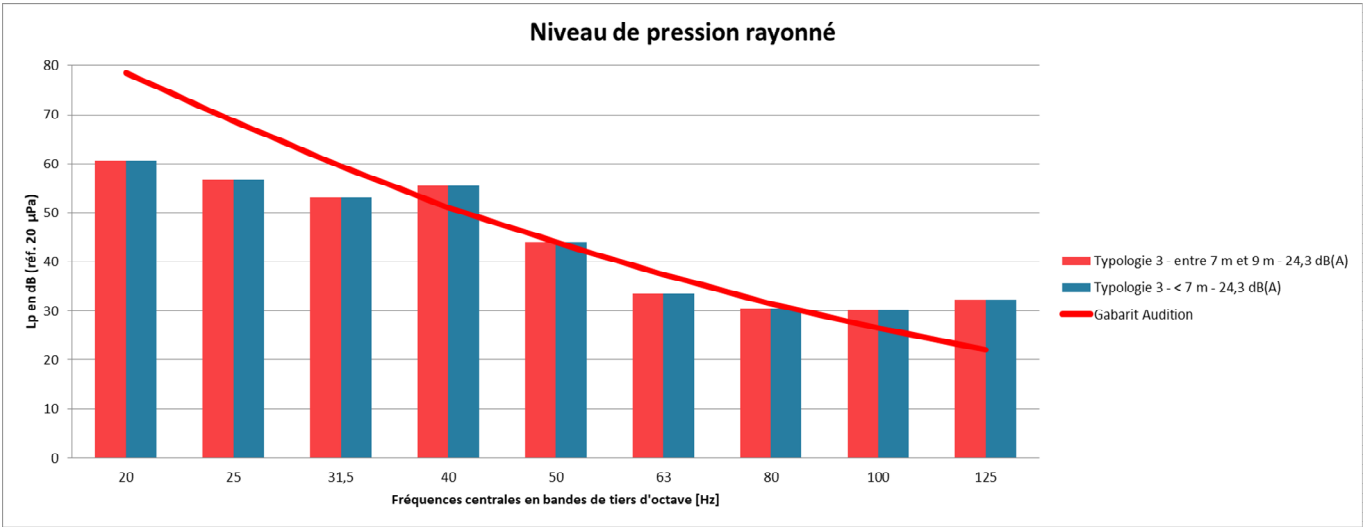
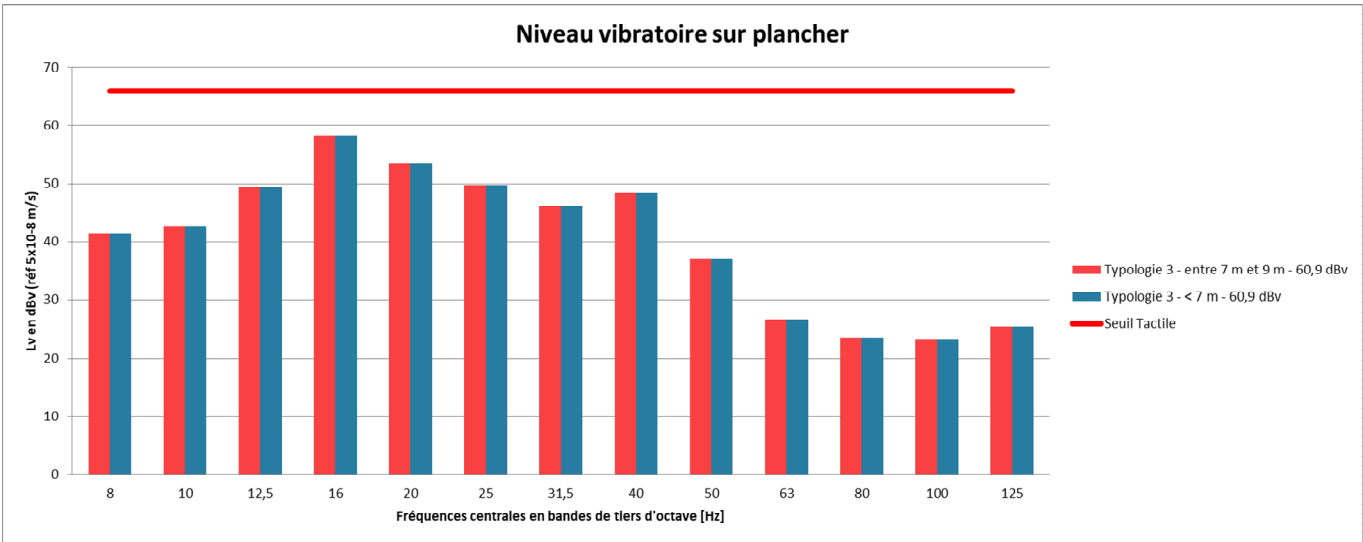


2.3.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »



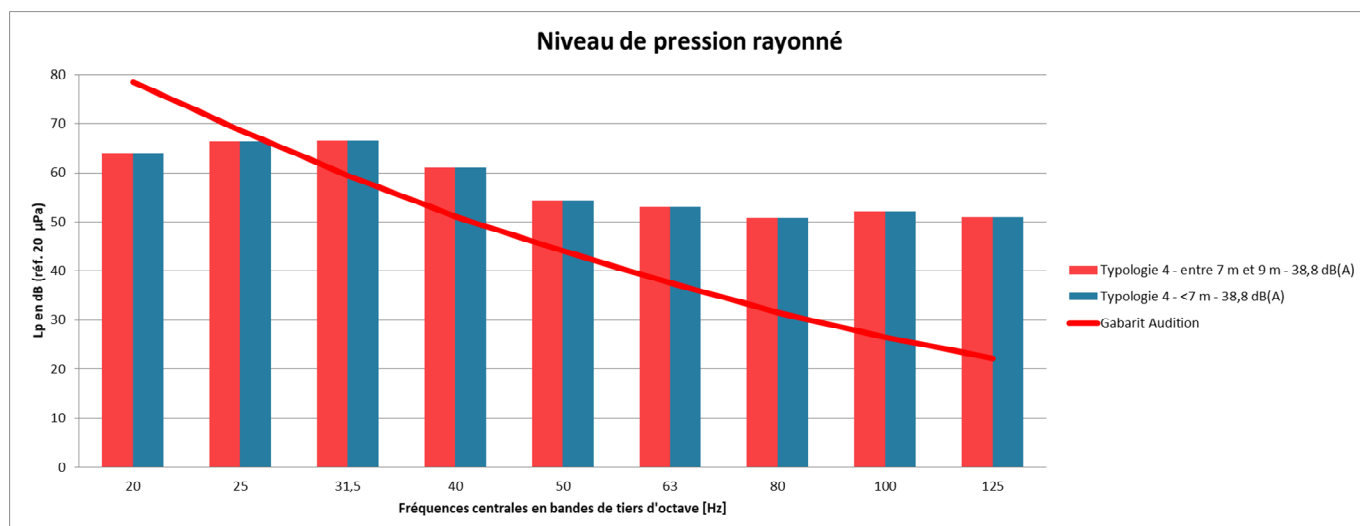
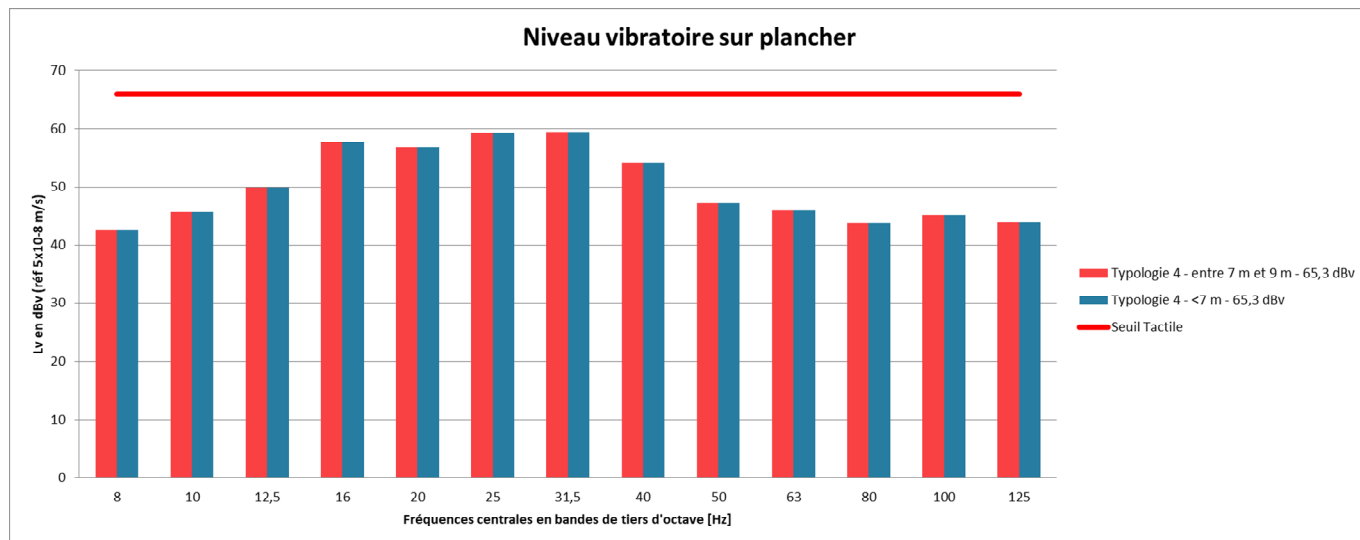


2.3.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »

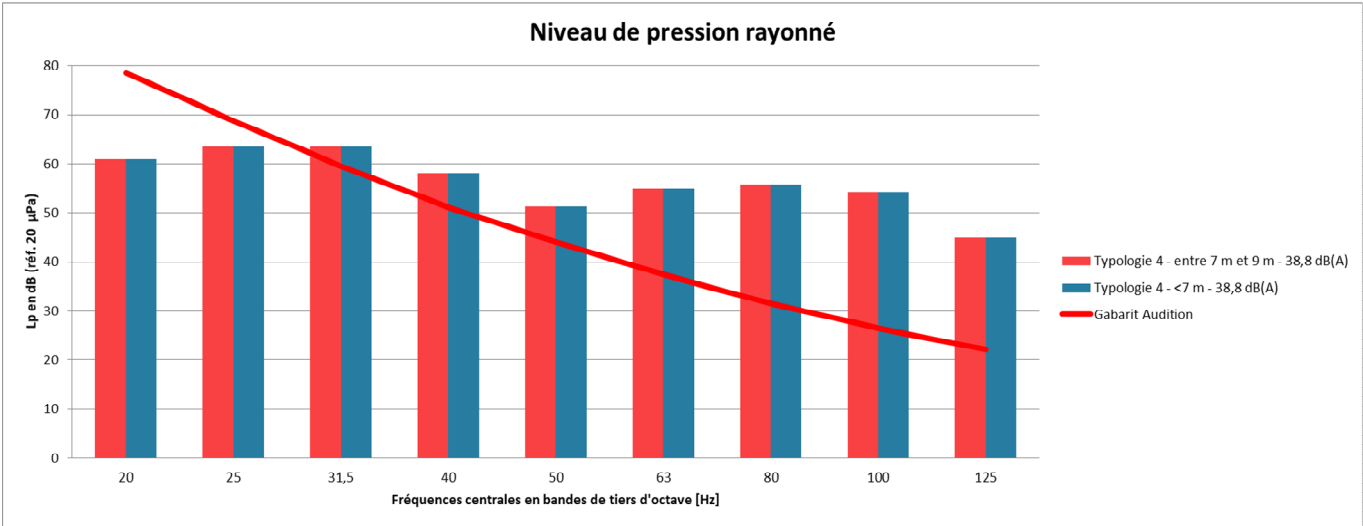
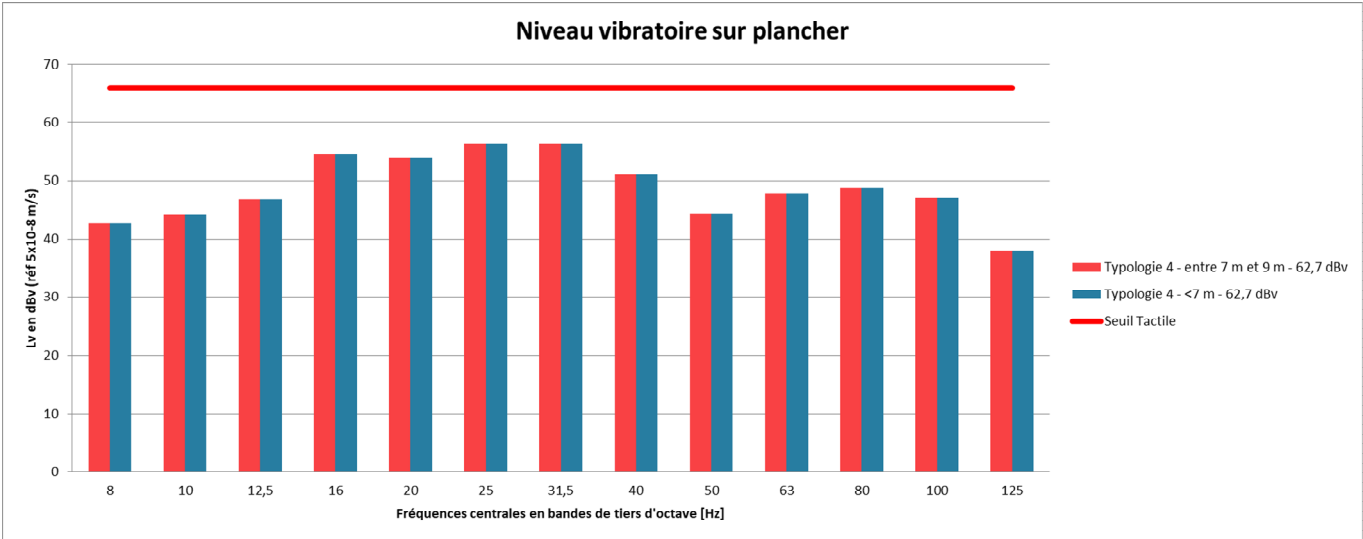


2.4 - TYPOLOGIE 4 - BATIMENT INDIVIDUEL/BATIMENT COLLECTIF \leq R+4 AVEC FONDATIONS SUPERFICIELLES ET PLANCHERS BOIS

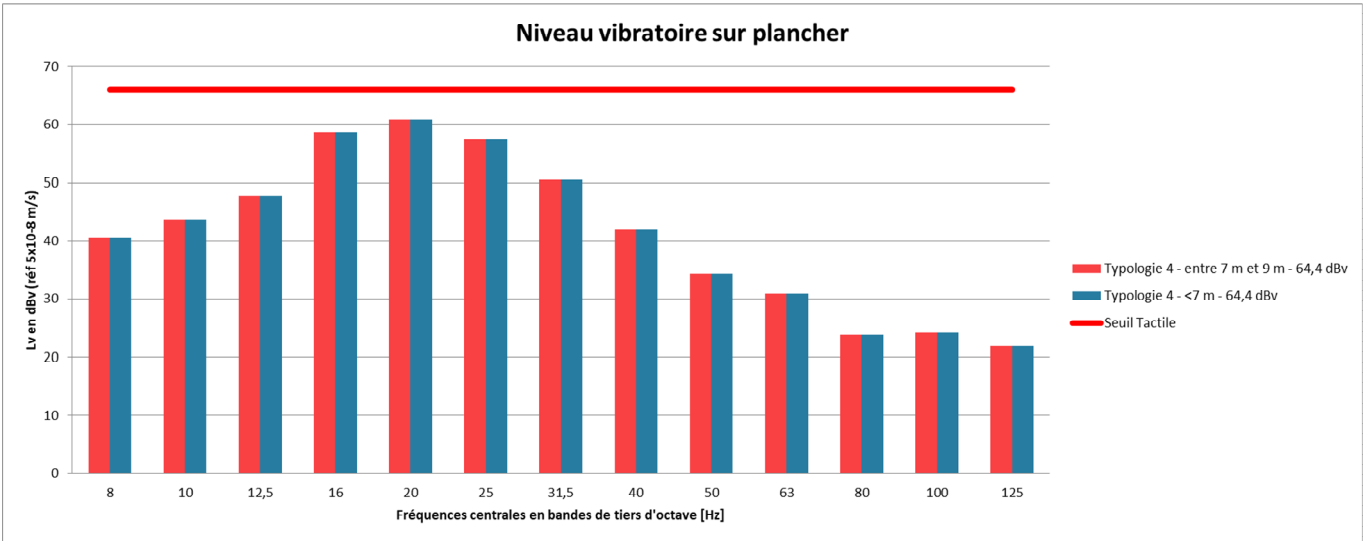
2.4.1 - Pose classique

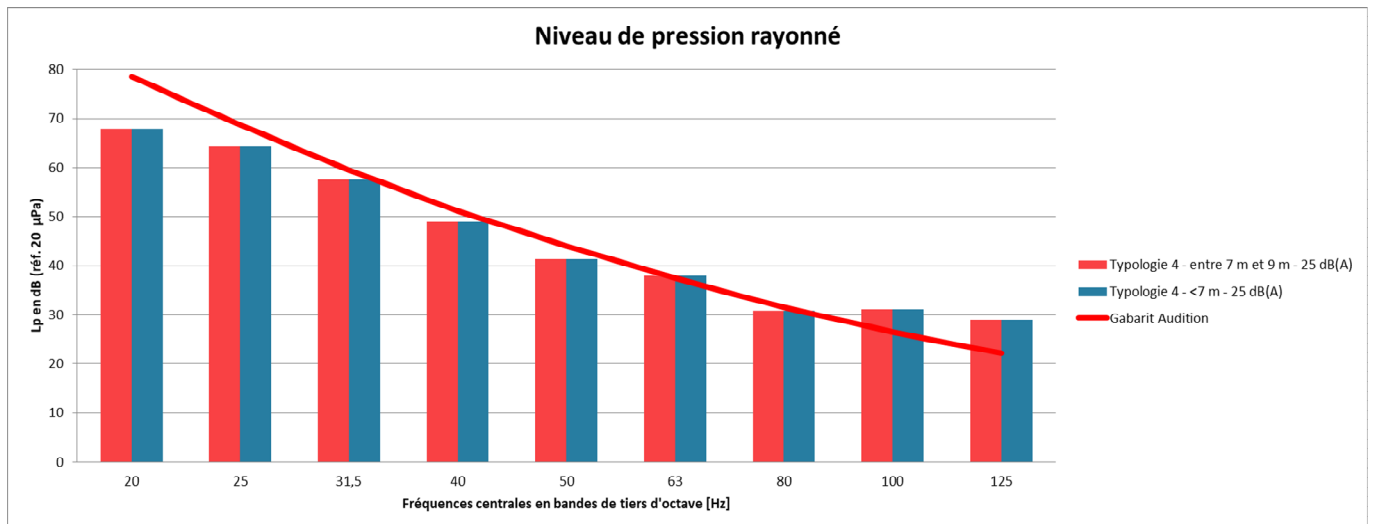


2.4.2 - Pose avec semelle résiliente

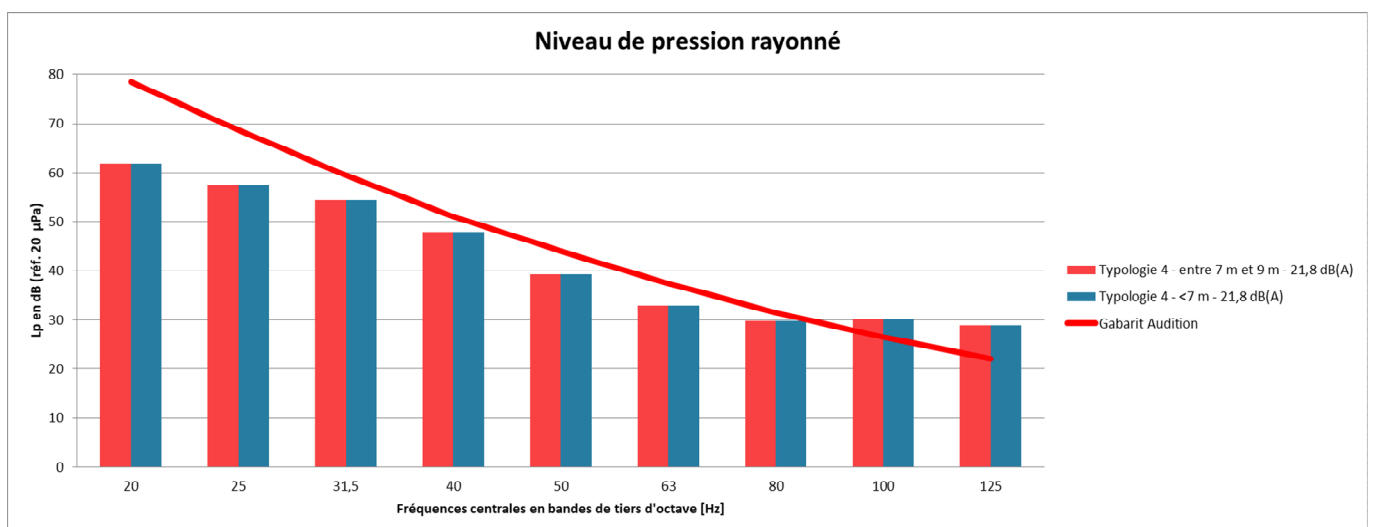
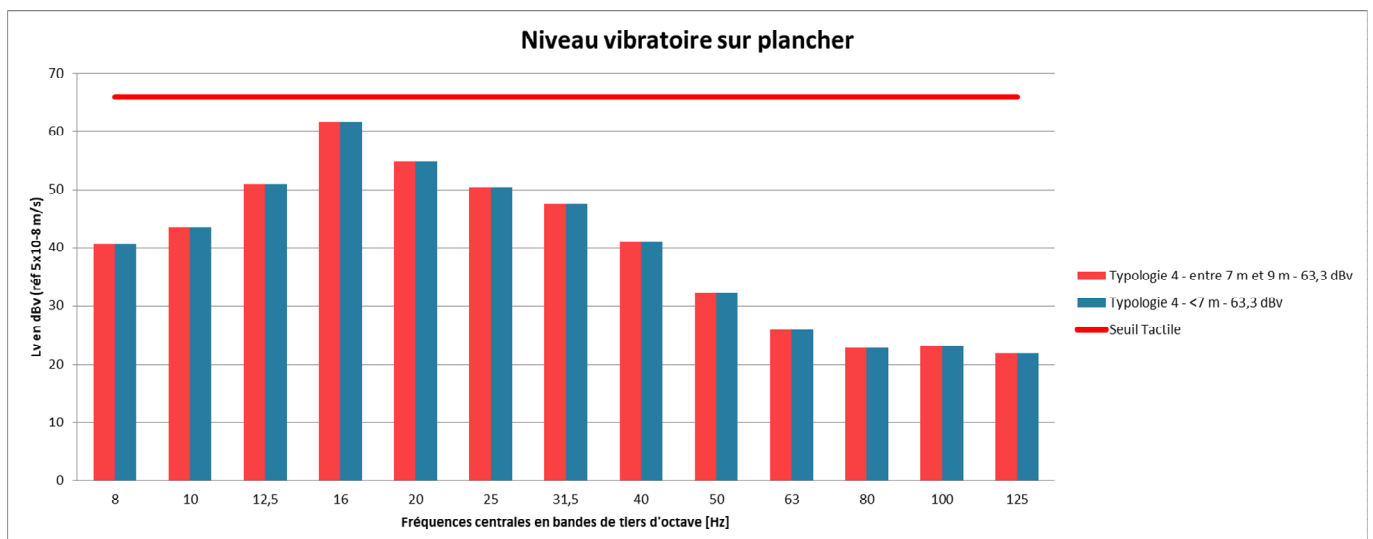


2.4.3 - Pose avec dalle flottante « -16 dB »





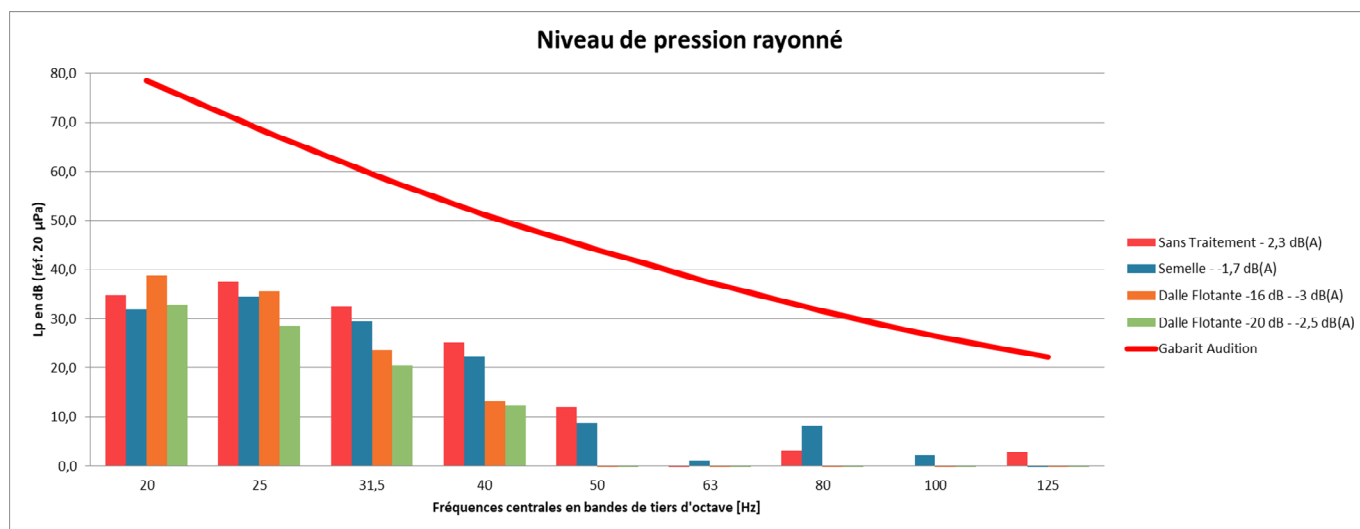
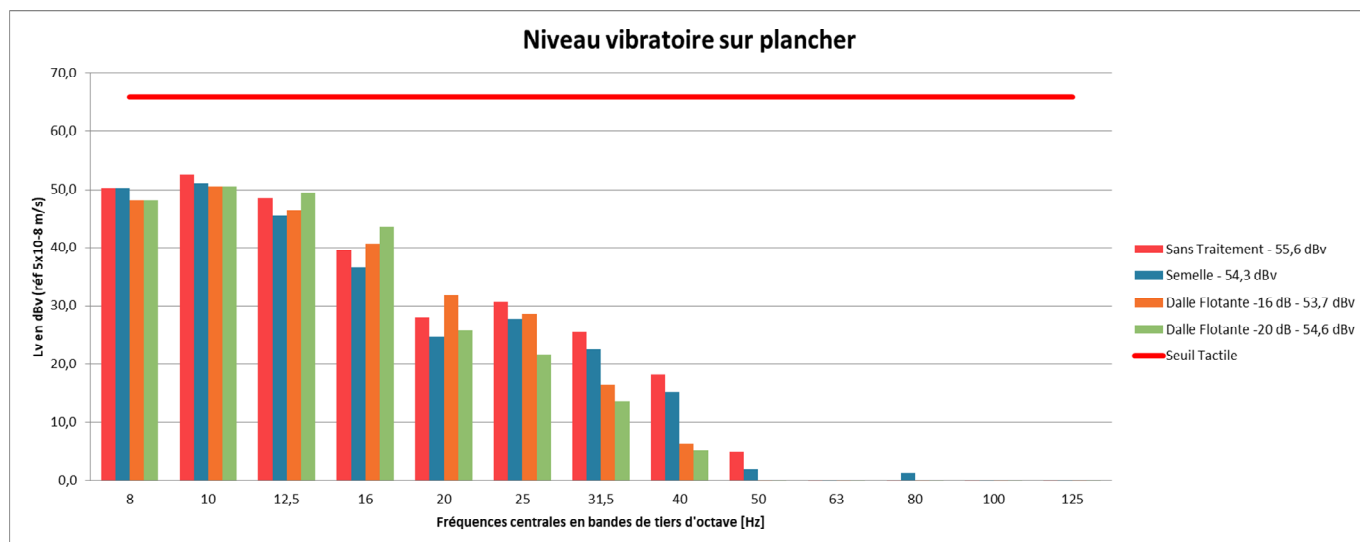
2.4.4 - Pose avec dalle flottante « -20 dB »



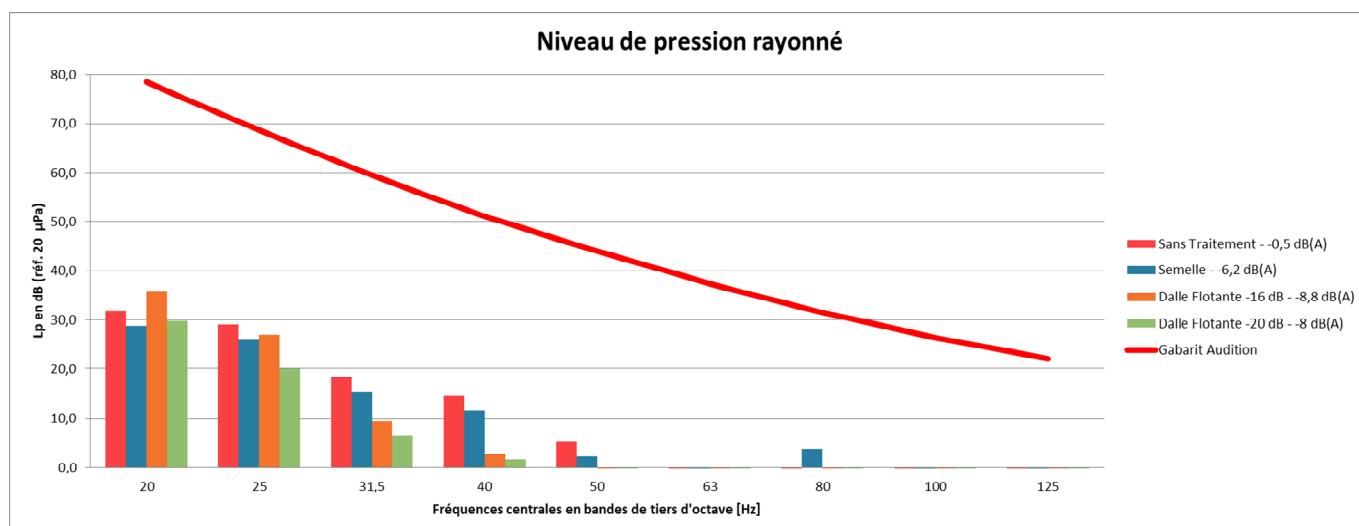
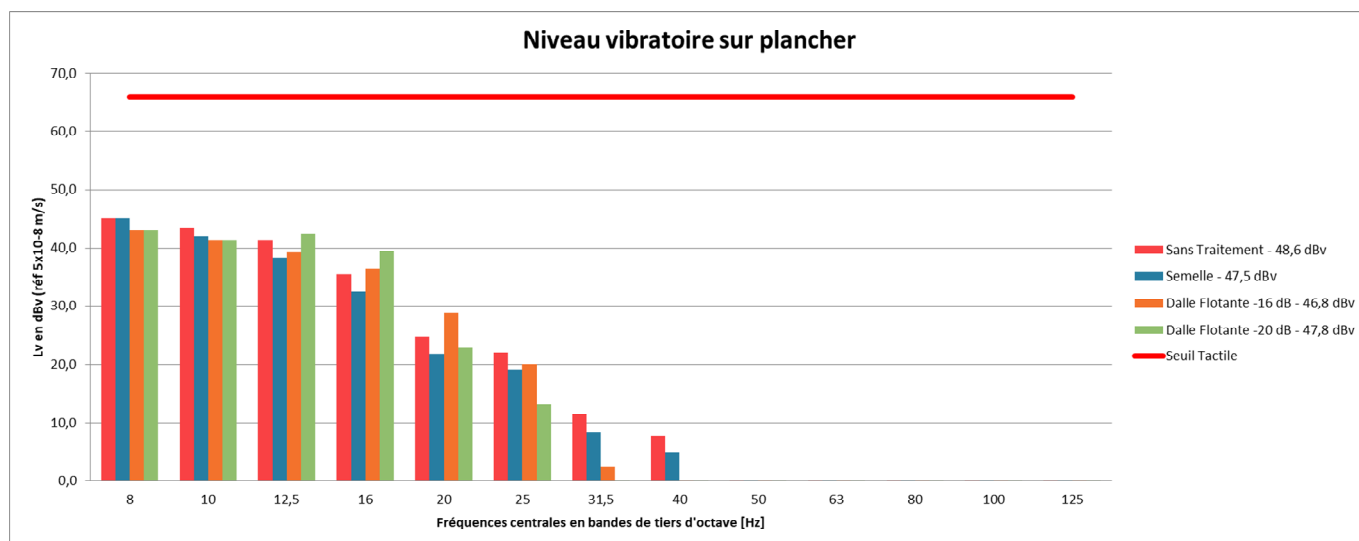
3 - BATIMENTS PARTICULIERS

3.1 - THEATRE NATIONAL POPULAIRE (TNP) – VILLEURBANNE

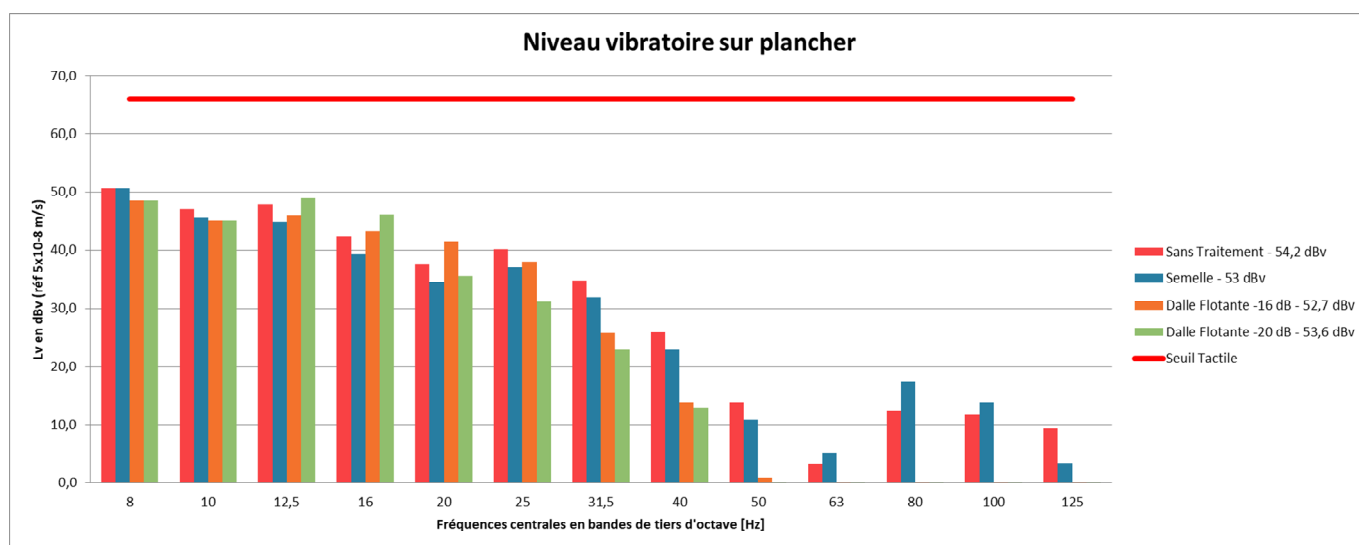
3.1.1 - R+3 - Scène 1

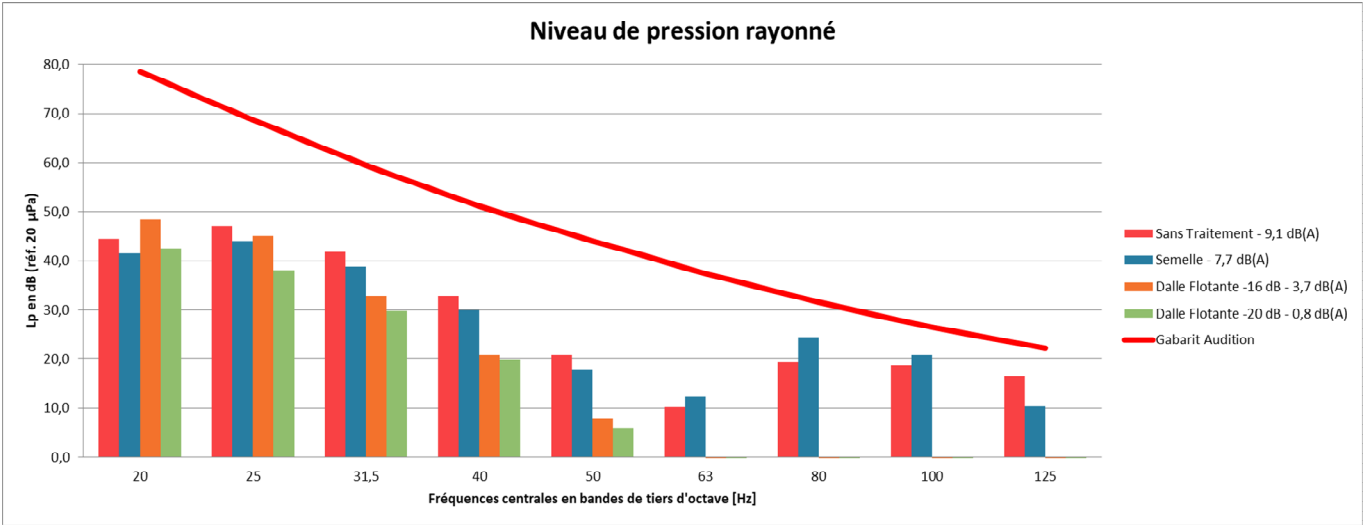


3.1.2 - R-2 – Scène 2

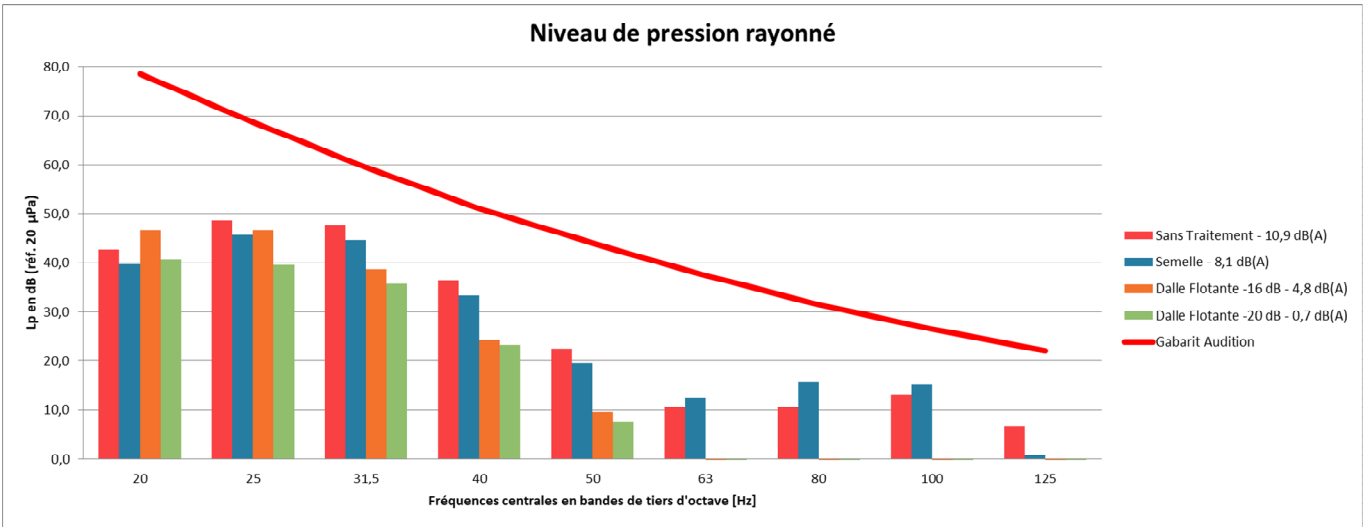
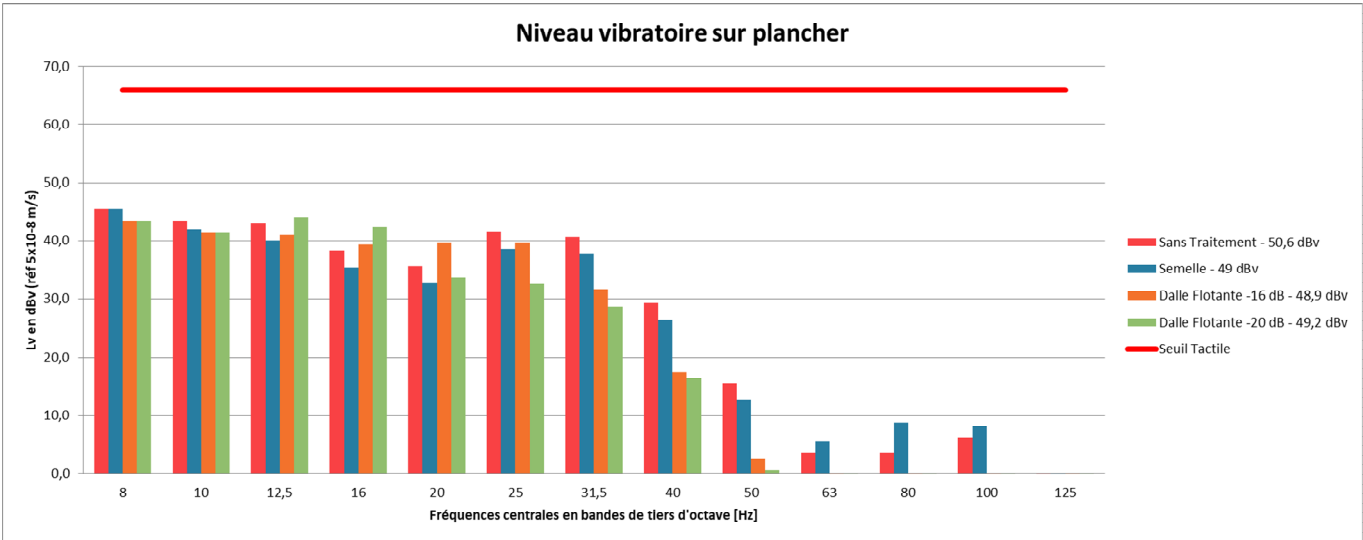


3.1.3 - R+3 – Loge



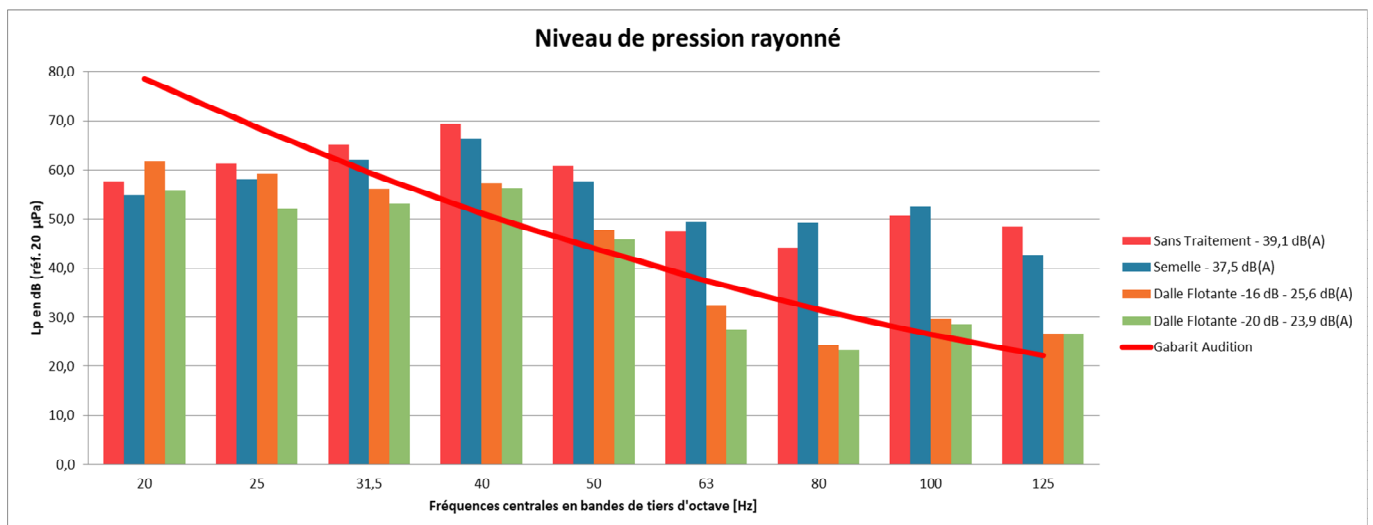
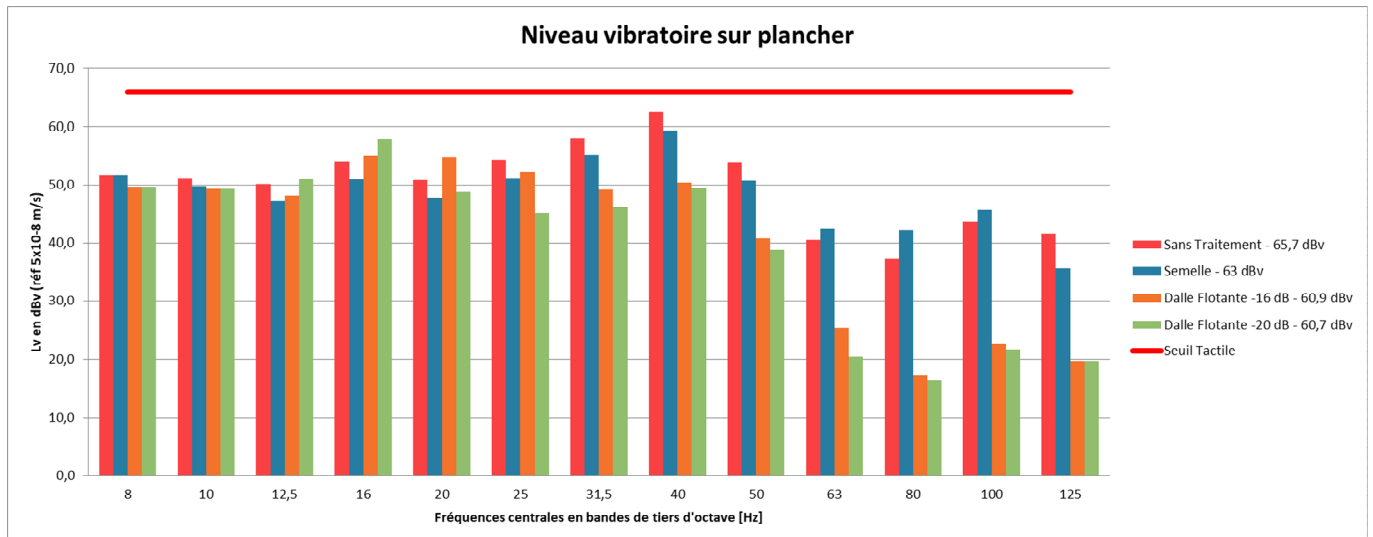


3.1.4 - R+1 – Salle détente



3.2 - QUAI 43 (UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1) – VILLEURBANNE

3.2.1 - Ligne droite



3.2.2 - Virage

