

Projet VIBSOLFRET
**Analyse des données
expérimentales**



DIRECTION DE L'INNOVATION
ET DE LA RECHERCHE



Analyse des données expérimentales

Projet VIBSOLFRET

Version du	Contenu de la version
08/07/2009	Version initiale – Estelle Bongini
Rédacteur	

Vérfié par	Entité	Date	Signature
F. POISSON	PSF	30/07/2009	

Approuvé par	Entité	Date	Signature
F. POISSON	PSF	30/07/2009	

1. Documents applicables / de référence

Ce rapport s'inscrit dans le cadre des travaux de recherche relatifs à la convention n°0766C0136 entre l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), la société SATEBA Système Vagneux (SATEBA) et la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF). Il s'agit de la convention relative au projet VIBSOLFRET « vibrations dans le sol générées par le transport ferroviaire de marchandises ».

2. Objet du document

Ce rapport analyse les résultats des mesures réalisées à proximité de la gare de Mâcon ville. Les résultats sont présentés dans le rapport AEF « Projet VIBSOLFRET – Mesures de vibrations dans le sol au passage de trains Fret – Doc015938/D007446 ». Ces analyses ont été réalisées à la fois par la SNCF et le CSTB.

3. Comparaison des résultats de mesures en champ libre et dans le bâtiment

a. Configuration de la mesure

La SNCF a instrumenté un terrain dit "champ libre" d'accéléromètres dans la direction verticale, au bord du bâtiment testé, alignés perpendiculairement à la voie (à 3m, 6m, 9m, 12m, 17m et 20m). Face à cette ligne de mesure, le rail et une traverse ont été équipés de capteurs accélérométriques (voir figure 1).

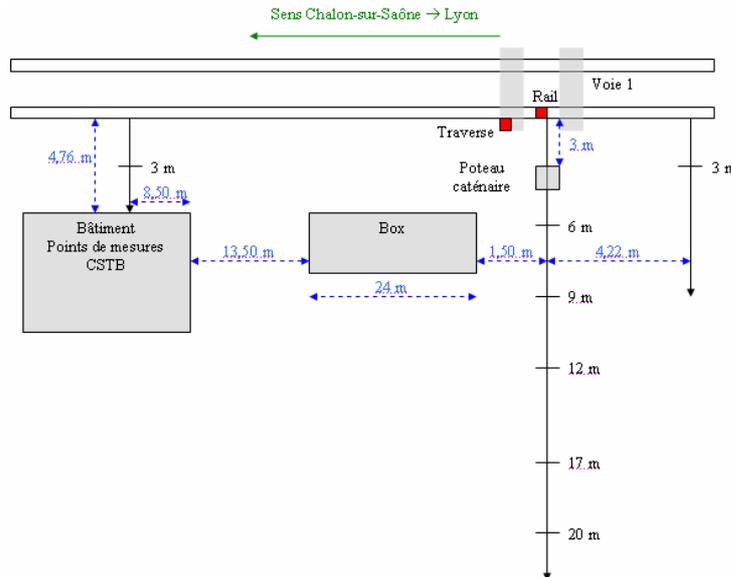


Figure 1 : schéma d'implantation des capteurs en champ libre

b. Réceptance de voie

Des mesures de réceptances ont été réalisées, de manière à caractériser la réponse dynamique de la voie : le rail est excité à l'aide d'un marteau d'impact et la réponse vibratoire de l'ensemble des capteurs de la ligne de mesure est enregistrée. La fonction de transfert en fréquence entre ces réponses vibratoires et la force injectée dans le rail, appelée réceptance, permet d'appréhender le comportement dynamique de la voie ainsi que celui du sol à proximité du bâtiment.

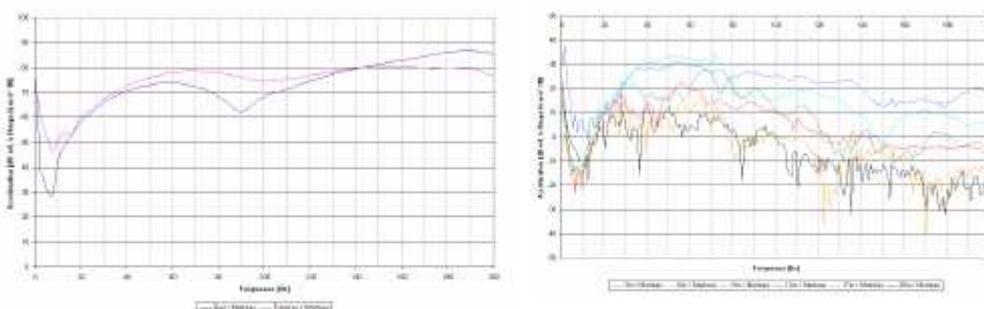


Figure 2 : Réceptances du rail, de la traverse (figure de gauche) et des points de mesure champ libre (figure de droite)

Les résultats présentés figure 2 permettent de constater qu'entre 1 et 20Hz, très peu d'énergie vibratoire est transmise à la traverse et au sol : le système d'attache du rail assurerait une bonne isolation dans les plus basses fréquences (anti-résonance du rail). Le maximum de la réponse vibratoire pour les capteurs en champ libre se situe entre 20 et 100Hz. Ces résultats seront utilisés dans la phase de modélisation de la propagation des vibrations dans le sol.

c. Analyse spectrale

Une fois les réceptances caractérisées, les mesures au passage de trains ont été réalisées. Douze circulations voyageurs et dix circulations Fret ont été analysées.

Trois types d'analyses ont été menés :

- d'une part, une analyse basée sur les spectres 1/3 d'octave des niveaux enregistrés, calculés sur le temps utile (la durée du signal pour laquelle l'énergie vibratoire à des niveaux non nuls) et intégrés sur le temps de passage (durée entre le passage du premier essieu et du dernier essieu, au droit de la ligne de mesure). Pour estimer le temps de passage, la voie a été équipée de pédales permettant de détecter le passage des essieux,
- d'autre part, une analyse basée sur les indicateurs de la norme ISO 2631-2 qui a été menée à la fois pour les mesures en champ libre et pour les mesures dans le bâtiment réalisées par le CSTB,
- enfin, une analyse basée sur les indicateurs de la norme DIN 4150-2 une nouvelle fois menée pour les mesures en champ libre et en bâtiment.

Rappelons que le site de mesure se trouvait à proximité de la gare de Mâcon Ville : conséquemment, les trains voyageurs passaient en phase de freinage (les vitesses variaient de 50 à 30km/h entre les passages du premier et du dernier essieu) alors que les convois Fret circulaient à vitesse constante.

Deux vitesses caractéristiques des passages Fret ont été constatées : soit autour de 30km/h soit autour de 90 / 100km/h.

Des exemples de spectres de niveaux accélérométriques sont donnés figure 3. Sur ces graphiques, deux niveaux à 3m de la voie sont représentés : il s'agit du capteur à 3m appartenant à la ligne de mesure champ libre et du capteur à 3m, placé au droit du bâtiment, permettant de quantifier le terme source pour les mesures dans le bâtiment.

Il a été constaté que les niveaux relevés à 3m au droit du bâtiment sont globalement plus importants que ceux relevés à 3m en champ libre. Ceci est probablement dû à des phénomènes de réflexions d'onde sur le bâtiment qui amplifient les niveaux vibratoires entre la voie et le dit bâtiment.

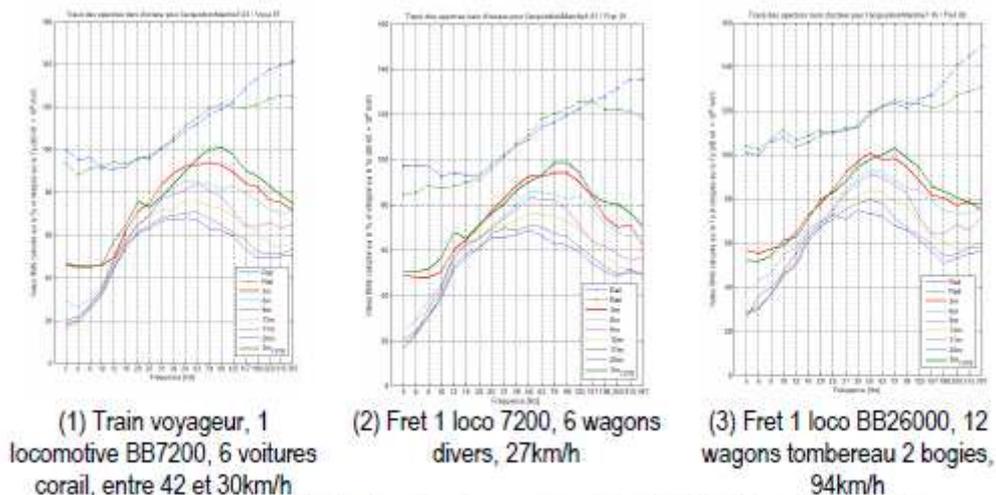


Figure 3 : spectres 1/3 d'octave des niveaux calculés sur le T_u et intégrés sur le T_p

La comparaison entre la figure 3.1 et 3.2 permet de constater que, pour un même ordre de grandeur des vitesses de passages, les niveaux en champ libre entre une circulation Fret et une circulation voyageur présentent très peu de différences : les niveaux maximum sont équivalents, quel que soit le capteur considéré, et les contenus fréquentiels sont semblables. Par exemple, au niveau du capteur à 3m champ libre, le niveau maximum apparaît dans les 1/3 d'octave centrés sur 80 / 100Hz, pour les 2 types de circulation et est environ égale à 95dB.

Quelle que soit la circulation considérée, les niveaux maximum apparaissent dans des tiers d'octave centrés sur des fréquences de plus en plus faibles à mesure que l'on s'éloigne de la voie : seules les vibrations de grande longueur d'onde se propagent aux plus grandes distances.

La figure 3.3, comparée à la figure 3.2, permet de constater que l'augmentation de la vitesse induit un accroissement des niveaux vibratoires et un décalage des maxima de niveaux dans les plus hautes fréquences.

Il faut toutefois garder à l'esprit que les 2 types de circulations Fret présentées ici sont très différentes : le convoi du graphique 3.3 présente 12 wagons alors que celui du graphe 3.2 présente 6 wagons, les tonnages à l'essieu n'étant, de plus, pas connus.

En résumé, les spectres des niveaux vibratoires calculés sur le Tu et intégrés sur le Tp ne font pas apparaître de spécificités liées au trafic Fret, au niveau des vibrations induites en champ libre.

d. Analyse suivant la norme ISO2631

Le détail du calcul de l'indicateur préconisé par la norme ISO 2631-2 est détaillé dans le rapport de l'Agence d'Essai Ferroviaire Projet VIBSOLFRET – Mesures de vibrations dans le sol au passage de trains Fret – Doc015938/D007446.

Dans un premier temps, l'indicateur $(a_w)_{rms}$ est calculé pour les capteurs en champ libre. Le graphique 1 de la figure 4 présente les valeurs de cet indicateur, au niveau de chaque capteur, pour toutes les circulations Fret, symbolisées par les différentes couleurs. Le graphique 2 de la figure 4 présente ces mêmes valeurs d'indicateurs mais dans le cas de circulations voyageurs.

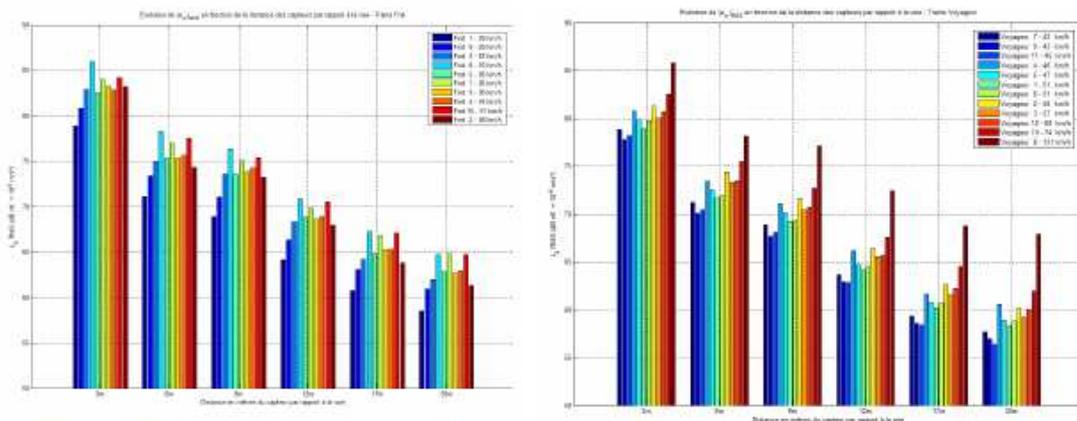
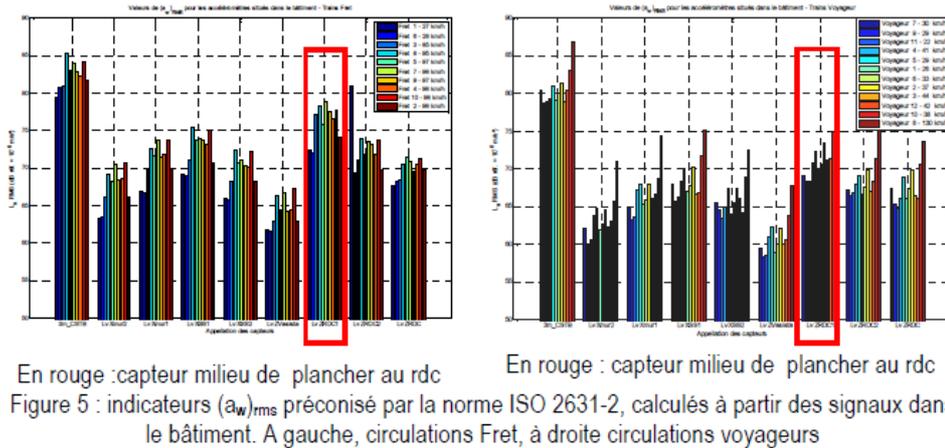


Figure 4 : indicateurs $(a_w)_{rms}$ préconisé par la norme ISO 2631-2, calculés à partir des signaux champ libre. A gauche, circulations Fret, à droite circulations voyageurs.

La comparaison des graphiques de la figure 4 permet de constater que les circulations Fret engendrent en moyenne des niveaux de l'indicateur $(a_w)_{rms}$ plus élevés que les circulations voyageurs, quelle que soit la distance à la voie observée.

Il faut cependant noter que les vitesses de passage pour les trains Fret sont globalement plus élevées que celles des trains voyageurs :

- pour un train Fret circulant à 28km/h, vitesse équivalente à celles de certains trains voyageurs, le niveau à 3m de 78dB est équivalent à ceux relevés pour les circulations voyageurs ; cette remarque est valable pour tous les capteurs;
- le seul train voyageur passant à grande vitesse (131km/h) a engendré des niveaux de $(a_w)_{rms}$ très élevés ce qui tend à confirmer que le facteur prédominant sur l'augmentation des niveaux vibratoires est la vitesse de passage.



A titre de comparaison, le même indicateur à été calculé pour les signaux mesurés dans le bâtiment. Le capteur en milieu de plancher (encadré en rouge dans la figure 5) correspond à la position de mesure préconisée par la norme ISO 2631-2.

Pour le cas des mesures en bâtiment, pour les mêmes ordre de grandeur de vitesse (autour de 30km/h pour les deux premiers convois Fret présentés et les 3 premiers trains voyageur), les niveaux vibratoires $(a_w)_{rms}$ causés par des passages Fret sont plus élevés (de 4 ou 5dB) que les niveaux des passages de trains voyageur.

Le train voyageur passant à 130km/h engendre, comme cela avait été le cas pour les indicateurs champ libre, les niveaux $(a_w)_{rms}$ les plus élevés.

Dans le cas des mesures en bâtiment, l'indicateur préconisé par la norme ISO 2631-2, $(a_w)_{rms}$, utilise une pondération des niveaux de vibrations (filtrage entre 10 et 80Hz) qui tend à discriminer les deux types de circulation en pénalisant les convois Fret. Les spectres fréquentiels des niveaux vibratoires engendrés dans le bâtiment par les convois Fret présentent en effet des niveaux plus importants dans la bande passante du filtre utilisé que les niveaux vibratoires des trains voyageurs.

Cette conclusion ne semble pas vérifiée pour les mesures en champ libre : pour des vitesses de passages semblables, les niveaux relevés pour les passages de trains Fret sont équivalents à ceux relevés pour des trains voyageurs.

e. Analyse suivant la norme DIN 4150-2

Le détail du calcul des indicateurs préconisés par la norme DIN 4150-2 est détaillé dans l'annexe Projet VIBSOLFRET – Mesures de vibrations dans le sol au passage de trains Fret – Doc015938/D007446. Le premier traitement préconisé par la norme ISO 4150-2 consiste à calculer (par pondération et intégration des niveaux vibratoires mesurés) les niveaux appelés KBFTi, pour chaque passage.

Ces niveaux sont ensuite confrontés à des seuils permettant de vérifier le degré de nuisance induit par chaque passage et de classer ceux-ci par rapport à l'acceptabilité du site pour l'implantation de certains types de bâtiments (seuil Au).

Type	Description de la zone	Valeurs pour un cycle de jour		
		Au	Ao	Ar
1	Zone industrielle	0.4	6	0.2
2	Zone commerciale prédominante	0.3	6	0.15
3	Zone dans prédominance ni commerciale ni résidentielle	0.2	5	0.1
4	Zone majoritairement résidentielle	0.15	3	0.07
5	Zone protégée (hôpitaux, établissements sanitaires)	0.1	3	0.05

Tableau 1 : description des seuils de la norme DIN 4150-2 selon le type de bâtiment

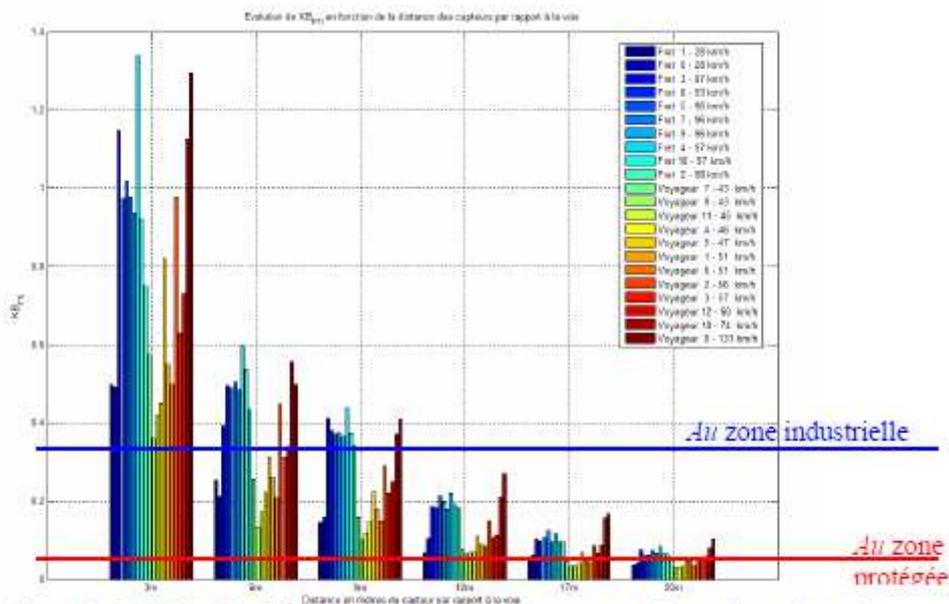


Figure 6 : Evolution des KB_{FT1} pour les différents passages, au niveau des capteurs champ libre

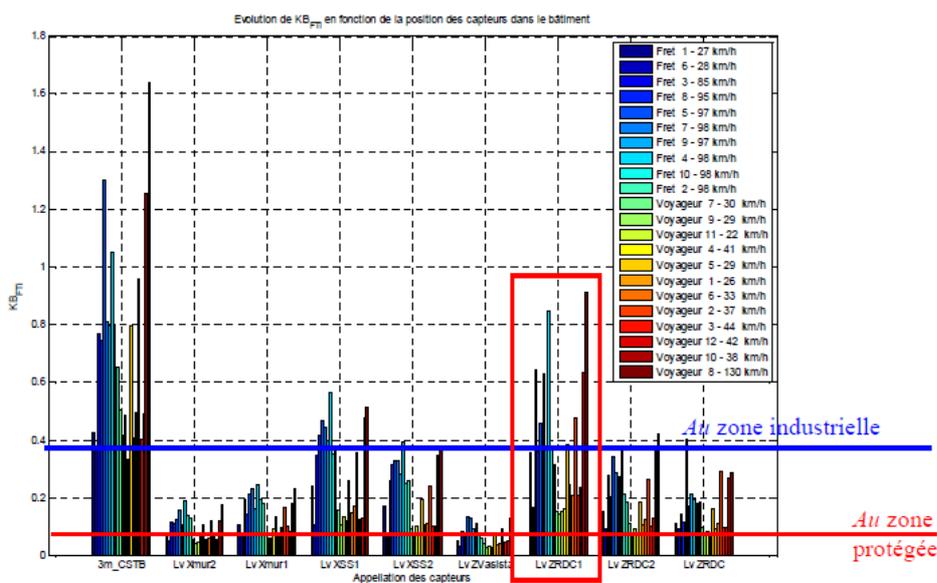


Figure 7 : Evolution des KB_{FT1} pour les différents passages, au niveau des capteurs dans le bâtiment

Position du capteur	$KB_{F \max}$	Type de zones vérifiant le critère $KB_{F \max} < Au$	Position du capteur	$KB_{F \max}$	Type de zones vérifiant le critère $KB_{F \max} < Au$
Mesures en champ libre			Mesures au droit et dans le bâtiment		
3 m	1.34	Aucune	3 m CSTB	1.64	Aucune
6 m	0.60	Aucune	Lv Xmur2	0.19	1, 2, 3
9 m	0.44	Aucune	Lv Xmur1	0.25	1, 2
12 m	0.27	1, 2	Lv XSS1	0.56	Aucune
17 m	0.17	1, 2, 3	Lv XSS2	0.39	1
20 m	0.10	1, 2, 3, 4	Lv ZVasista	0.14	1, 2, 3, 4
			Lv RDC1	0.91	Aucune
			Lv RDC2	0.42	Aucune
			Lv RDC	0.41	Aucune

Tableau 2 : valeur des $KB_{F \max}$ et comparaison aux seuils Au de la norme DIN 1450-2

Le KB_{FT} correspond au KB_{FTi} maximal sur l'ensemble des passages mesurés.

Ce premier traitement permet de constater, que dans les 12 premiers mètres du champ libre, les seuils pour n'importe quel type de zone d'implantation sont dépassés. A contrario, au-delà de 20m, les seuils de tous les types de zones sont respectés.

Par ailleurs, les mesures de l'accéléromètre Lv_{ZRDC1} , correspondant à la mesure en milieu du plancher du rez-de-chaussée, ne répondent à aucun critère d'acceptabilité d'aucun type de zone.

Dans une telle situation, il est conseillé dans la norme DIN 4150-2 d'appliquer un second traitement, prenant en compte une estimation du trafic sur la voie.

Dans le cas présent, certaines hypothèses ont été prises en compte pour l'estimation du trafic :

- il n'a été considéré dans l'estimation du trafic que les passages sur la voie 1 et 1bis (la gare de Mâcon compte 4 voies mais les jours des essais, la plupart des trains a été déviée sur la voie 1bis de manière à avoir suffisamment de passages proches du bâtiment),
- il a été considéré que les trains circulant sur la voie 1 bis (les trains voyageurs) génèrent des niveaux vibratoires équivalents à un passage sur la voie 1 (la plus proche du bâtiment).

Les résultats de la seconde procédure (décrite dans le document en annexe Projet VIBSOLFRET – Mesures de vibrations dans le sol au passage de trains Fret – Doc015938/D007446) sont résumés dans le tableau 3.

Position du capteur	KB_{FT}	Type de zones vérifiant le critère $KB_{FT} < A_r$	Position du capteur	KB_{FT}	Type de zones vérifiant le critère $KB_{FT} < A_r$
Mesures en champ libre			Mesures au droit et dans le bâtiment		
3 m	0.14	1, 2	3 m CSTB	0.13	1, 2
6 m	0.06	1, 2, 3, 4	Lv Xmur2	0.02	1, 2, 3, 4, 5
9 m	0.05	1, 2, 3, 4	Lv Xmur1	0.03	1, 2, 3, 4, 5
12 m	0.03	1, 2, 3, 4, 5	Lv XSS1	0.05	1, 2, 3, 4
17 m	0.01	1, 2, 3, 4, 5	Lv XSS2	0.04	1, 2, 3, 4, 5
20 m	0.01	1, 2, 3, 4, 5	Lv ZVasista	0.01	1, 2, 3, 4, 5
			Lv RDC1	0.07	1, 2, 3
			Lv RDC2	0.04	1, 2, 3, 4, 5
			Lv RDC	0.03	1, 2, 3, 4, 5

Tableau 3 : des KB_{FT} et comparaison aux seuils A_r de la norme DIN 1450-2

D'après la mesure Lv_{RDC1} (milieu de plancher, position préconisée par les normes), **le bâtiment vérifie ce second critère pour les types de zones 1, 2 et 3** (cf tableau 1 pour la description des différentes zones d'implantation).

En champ libre, quel que soit le type de zone considéré, le critère est vérifié dès 12m.

NB : les calculs des indicateurs préconisés par les deux différentes normes (ISO 2631-2 et DIN 4150-2) induisent des filtrages fréquentiels des signaux vibratoires qui ne sont pas équivalents : la norme ISO 2631-2 utilise un filtre dont la bande passante se situe entre 1Hz et 15Hz (il apparaît une atténuation de 7dB à 20Hz) alors que la norme DIN 4150-2 propose un filtrage dont la bande passante se situe entre 20Hz et 100Hz. Ces deux normes traitent pourtant de la gêne des riverains causée par le trafic ferroviaire. Il apparaît aujourd'hui crucial de statuer la pertinence des filtrages proposés qui doivent rendre compte de l'impact des vibrations sur le corps humains.

4. Analyse des résultats de mesures vibratoires et acoustiques dans le bâtiment

a. Implantation des capteurs

Le CSTB était responsable des mesures à l'intérieur du bâtiment. Une coupe schématique du bâtiment est donnée figure 8; les fondations sont massives (parois enterrées de 40 cm d'épaisseur), les dalles d'épaisseur standard (18 cm de béton); la partie du bâtiment mesurée n'a pas d'étage.

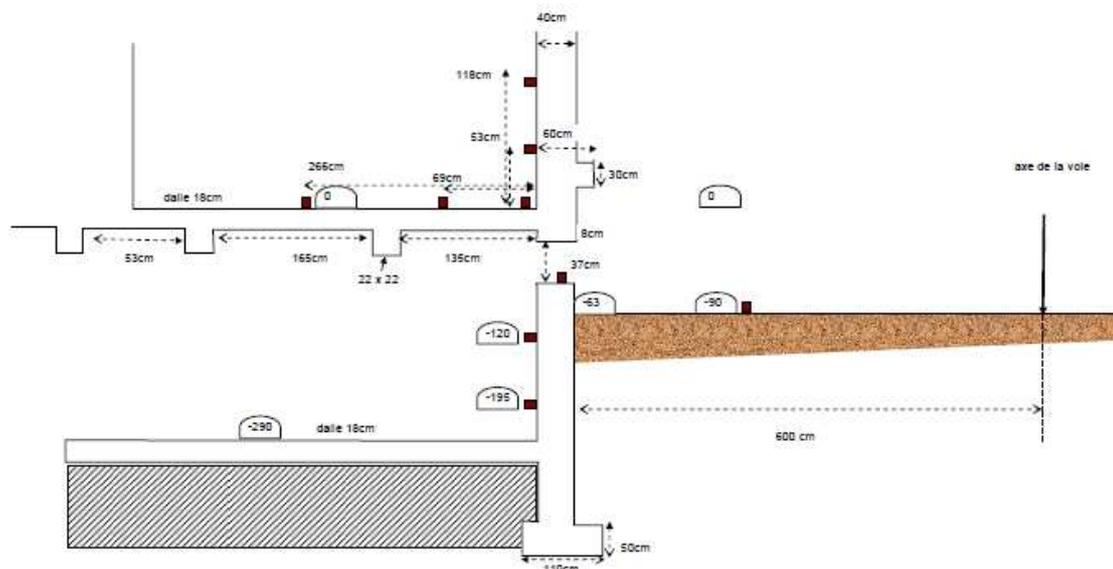


Figure 8 : Positions des points de mesure vibratoire dans un plan vertical transversal aux voies

Seuls le RdC et le sous sol ont été instrumentés de la façon suivante :

- deux accéléromètres sur la dalle RdC (pour quantifier l'aspect perception tactile des vibrations par le riverain),
- un accéléromètre au droit du mur de fondation (sopirail) et un accéléromètre sur la dalle RdC au pied de la façade (pour quantifier l'aspect effet des vibrations sur les structures),
- un accéléromètre au sol à 3m des voies,
- deux accéléromètres sur la partie enterrée de la façade,
- deux accéléromètres sur la partie de la façade en superstructure.

Les niveaux vibratoires des trois parois dalle RdC, façade enterrée et façade en superstructure ont pu donc être aussi estimés de façon à pouvoir caler un modèle simplifié 2D sol structure (logiciel CSTB MEFISSTO) sur les mesures et pouvoir utiliser ce modèle pour extrapoler les résultats à d'autres configurations de bâtiment en phase 2 du projet.

b. Analyse des résultats de mesures acoustiques

Le but était d'estimer le bruit solidien généré dans le bâtiment. Pour cela, la méthode suivante a été utilisée :

- le bruit total (bruit solidien rayonné par les structures vibrantes et bruit aérien transmis par la façade) a été mesuré à chaque passage de train à l'intérieur du bâtiment (microphone sur bras tournant dans un local du RdC),
- le bruit aérien intérieur seul a été estimé en mesurant le bruit extérieur en façade à chaque passage (microphone fixe à l'extérieur à 2m devant la façade) et en lui retranchant l'isolement de façade mesuré préalablement, conformément à la norme ISO 140 – 5 et en utilisant une source artificielle (haut parleur à l'extérieur),
- le bruit solidien a été ensuite estimé par soustraction du bruit aérien intérieur au bruit total mesuré.

Pour prendre en compte les variations statistiques des niveaux vibratoires mesurés d'un train à un autre (trains de même type), les signaux vibratoires et sonores ont été enregistrés pour une dizaine de passages de trains de voyageur et une dizaine de passage de trains de

fret de façon à pouvoir estimer pour chaque grandeur mesurée une valeur moyenne et un écart type séparément pour les trains de voyageur et pour les trains de fret.
 L'isolement de façade mesuré est donné figure 9 ci-dessous ; il montre que **l'isolement de façade du bâtiment testé est très moyen** et donc que le bruit aérien transmis sera important.

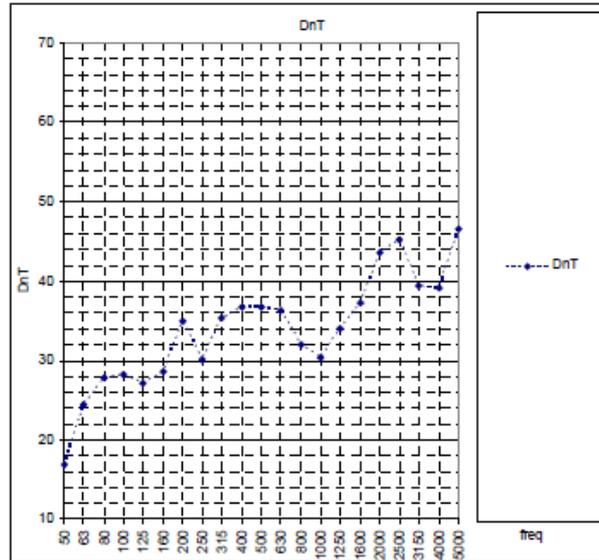


Figure 9: Isolement de façade au bruit aérien par rapport à l'extérieur

Les figures 10 et 11 suivantes montrent deux exemples de niveaux sonores intérieurs pour un passage de fret et un passage de train voyageur respectivement ; sont représentés le niveau sonore total et le niveau aérien transmis par la façade estimé à partir du niveau sonore extérieur diminué de l'isolement de façade.

Les résultats montrent que les niveaux sonores intérieurs fret et voyageur sont voisins, que le niveau de bruit aérien transmis est important (supérieur à 60 dB(A)) avec une précision d'estimation de l'ordre de 3 dB(A), que la présence de bruit solidien n'est réellement significatif qu'aux basses fréquences (1/3 octave 80 Hz, comme le montre les écarts bruit total / bruit transmis de la figure 12 et correspondant à l'ensemble des passages de trains voyageur), et que **le bruit solidien peut atteindre dans cette configuration plus de 40 dB(A)**, soit plus de 10 dB(A) au-dessus de la limite réglementaire française pour les bruits d'équipement.

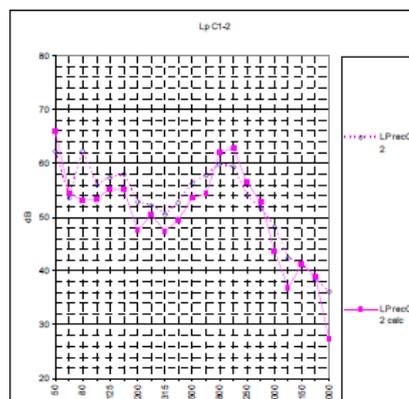


Figure 10 : Exemple de bruit intérieur total et de bruit aérien transmis recalculé pour un passage particulier (FRET)

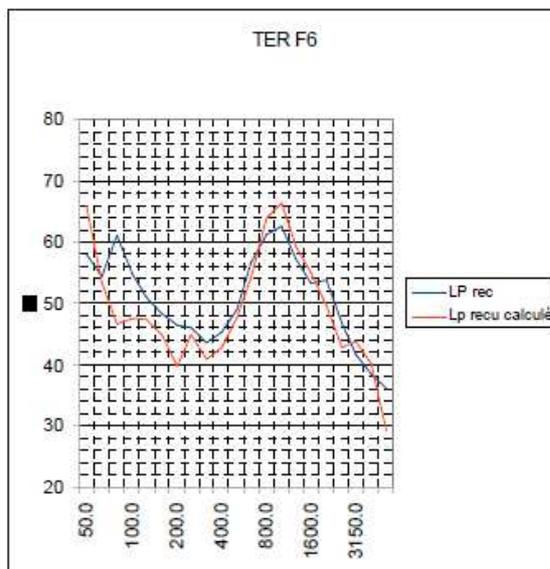


Figure 11 : Exemple de bruit intérieur total et de bruit aérien recalculé pour un passage particulier (voyageur) ; bruit solidien ~ 44 dB(A)

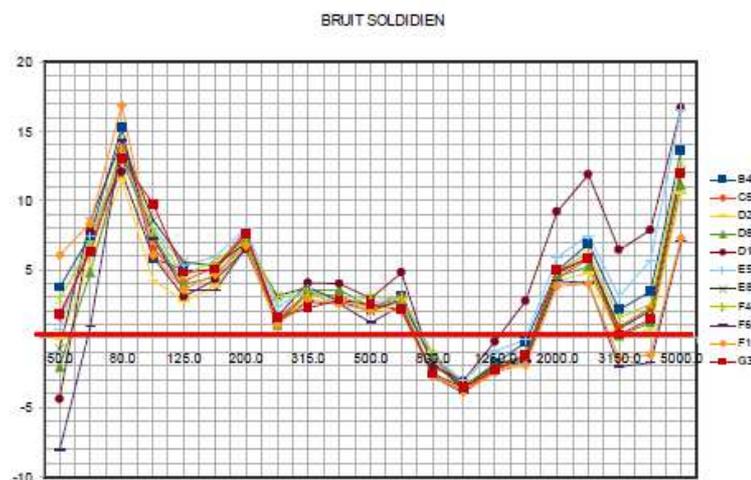


Figure 12 : Différences de niveaux sonores entre bruit intérieur (total) mesuré et bruit aérien transmis pour l'ensemble des trains voyageur ; la ligne rouge indique l'écart minimum significatif (3 dB) ; les écarts à 4000 et 5000 Hz correspondent à du bruit de fond (niveaux sonores faibles)

c. Analyse des résultats de mesures vibratoires

Ces résultats portent sur la comparaison fret /voyageur sous l'aspect perception corporelle des vibrations, donc obtenus en analysant les niveaux vibratoires mesurés sur la dalle RdC du bâtiment testé.

Spectres 1/3 octave moyennés sur les durées de passage

Les résultats sont synthétisés sur la figure 13 ci-dessous sous la forme de spectres 1/3 d'octave de niveaux de vitesse vibratoire en dB (référence 510-8 m/s), calculés à partir de valeurs rms moyennés sur la durée de passage des trains, et mesurés sur la dalle RdC (niveau le plus fort) donc corrélés à la perception vibratoire des riverains (d'après la norme ISO 2631-2 : 2003). Les résultats séparent fret (courbes bleues) et trains de voyageur (courbes rouges) et sont présentés sous la forme de spectres moyens (calculés sur une dizaine de passages pour chaque type de train) plus ou moins un écart type.

Les spectres obtenus sont très voisins, avec des niveaux un peu plus élevés pour le fret ; toutefois, les vitesses de passage de trains voyageurs mesurés à Macon étant plutôt faibles (en moyenne de l'ordre de 40- 50 km/h, alors que la vitesse des trains de voyageur peut atteindre 150 km/h) et le seul train de voyageur rapide (130 km/h) mesuré à Macon ayant généré des niveaux vibratoires aussi élevé que les trains de fret, on peut confirmer le résultat précédent, c'est-à-dire que **les spectres fret et voyageur sont très voisins**.

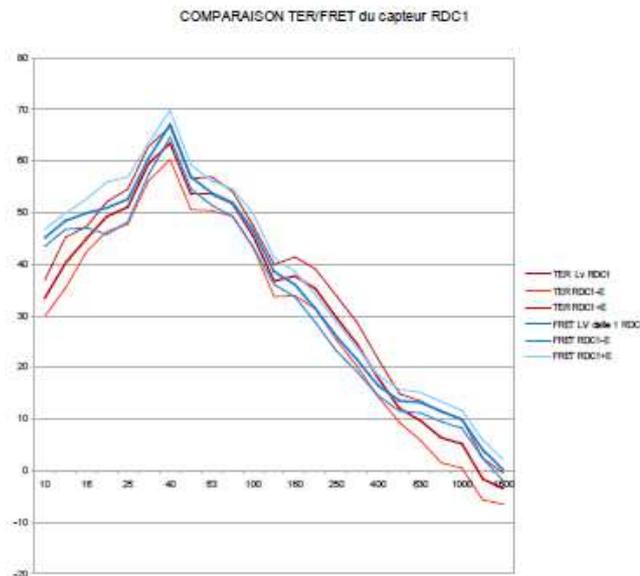


Figure 13 : Niveaux vibratoires (vitesse en dB ref. 510^{-8} m/s) de la dalle du RdC au point de niveau le plus fort ; comparaison des spectres moyens \pm un écart type entre les trains de FRET (en bleu) et les trains voyageur (en rouge)

De plus, et afin de quantifier le rôle du bâtiment dans la propagation des vibrations du sol au plancher où se trouvent les riverains, les spectres 1/3 octave de la fonction de transfert entre les niveaux vibratoires mesurés au sol en champ libre à la même distance que le bâtiment (6m des voies) et les niveaux vibratoires dans le bâtiment sur la dalle RdC ont été calculés pour chaque passage de train ; les résultats donnés figures 14 et 15 représentent respectivement les moyennes et écart types des niveaux vibratoire au sol en champ libre à 6m et les valeurs moyennes et écarts types de la fonction de transfert en dB calculés séparément pour les trains de fret et les trains voyageur. Les fonctions de transfert obtenues (fret et voyageur) sont très voisines sur la plage de fréquence où il y a de l'énergie (d'une quinzaine de Hz à 200 Hz environs) avec des valeurs comprises entre -10 et -25 dB ; notons l'importance des fondations du bâtiment testé (parois enterrées de 40 cm) qui doivent atténuer fortement les vibrations du sol.

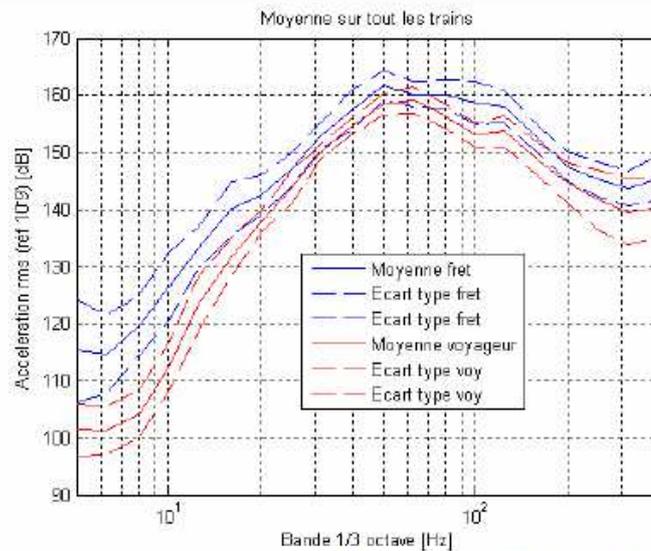


Figure 14 : Niveaux d'accélération au sol à 6m en dB, référence 10^{-9} m/s² ; moyennes et écarts types séparés sur les passages FRET (en bleu) et passages voyageur (en rouge).

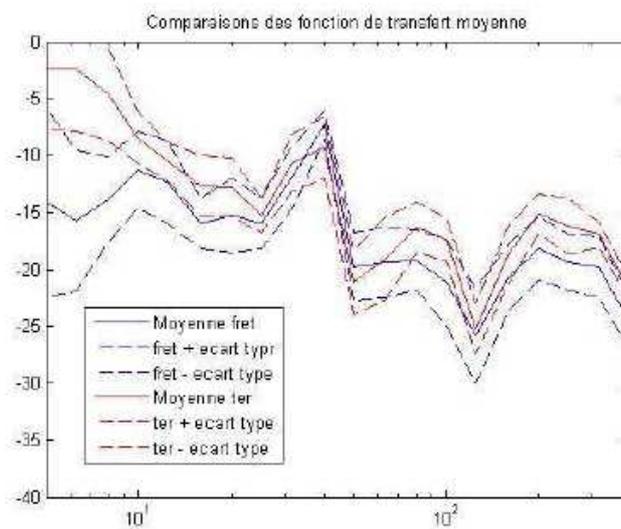


Figure 15 : Fonction de transfert en dB : niveaux d'accélération dalle RdC (en dB, référence 10^{-9} m/s²), point de plus fort niveau, retranché au niveau d'accélération au sol à 6m ; moyennes et écarts types séparés sur les passages FRET (en bleu) et passages voyageur (en rouge).

Indices uniques ISO moyennés sur les durées de passage

L'indice unique défini dans l'ISO 2631-2 :2003 et supposé bien corrélé à la perception vibratoire des riverains est une accélération rms $a_{w,rms}$ moyennée sur la durée de passage d'un train et pondérée en fréquence (pondération w_m en 1/3 octave). Cet indice unique a été calculé pour chaque passage de train ; de plus, la valeur moyenne et l'écart type de cet indice (moyenne sur les passages) ont été calculés séparément pour le fret et les trains voyageur ; les résultats sont donnés respectivement figures 16 et 17.

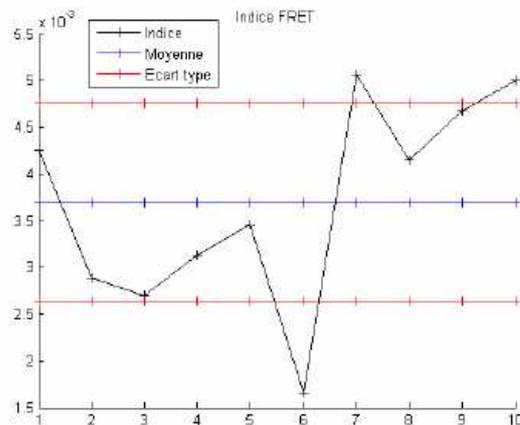


Figure 16 : Indice ISO 2631-2 : 2003 : accélération pondérée (pondération w_m) $a_{w,rms}$ en mm/s^2 calculé sur la durée d'exposition pour chaque passage de trains de FRET (de 1 à 10 en abscisse) ; valeur moyenne et écart type

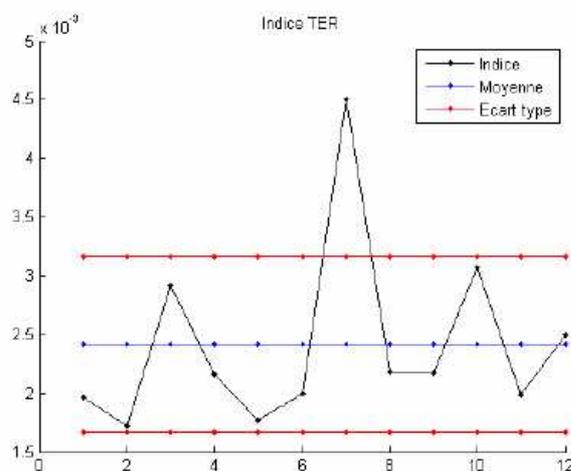


Figure 17 : Indice ISO 2631-2 : 2003 : accélération pondérée (pondération w_m) $a_{w,rms}$ en mm/s^2 calculé sur la durée d'exposition pour chaque passage de trains voyageur (de 1 à 12 en abscisse) ; valeur moyenne et écart type

Les résultats montrent que **la valeur moyenne pour le fret est supérieure d'un écart type à la valeur moyenne pour les trains voyageur** ; toutefois le train TER rapide (130 km/h) mentionné plus haut (passage 7 de la figure 12) a un indice aussi haut que les trains de fret les plus forts.

Indices dynamiques ISO (variables dans le temps)

Afin d'avoir une indication sur les variations temporelles des niveaux vibratoires durant le passage des trains, les indices dynamiques proposés dans l'ISO 2631-2 : 2003 et repris dans la norme norvégienne NS 8176 : 2005 ont été calculés à partir des signaux vibratoires mesurés sur la dalle du RdC ; ces indices exprimés en accélération $a_{w,rms}(t)$ sont calculés en effectuant une moyenne glissante (sur Slow avec temps d'intégration de 1s) d'un signal pondéré en utilisant la pondération fréquentielle 1/3 octave w_m de l'ISO2631-2 :2003. Les signatures temporelles obtenues pour deux passages particuliers de train de voyageur et de fret sont données respectivement. figures 18 et 19.

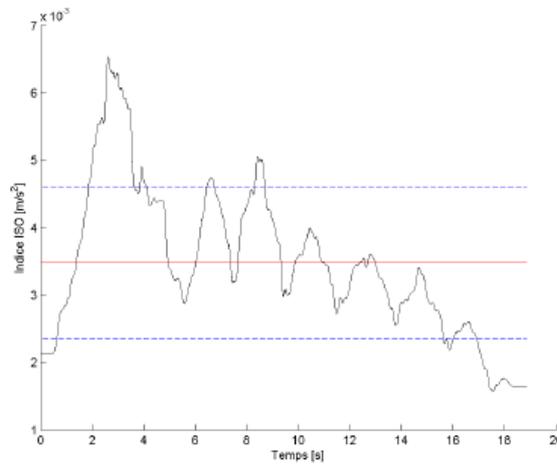


Figure 18 : Accélération $a_{w,ms}(t)$: moyenne glissante (sur *Slow* avec temps d'intégration de 1s) avec la pondération w_m de l'ISO2631-2 :2003 conformément à la norme norvégienne NS 8176 : 2005 ; point de mesure en dalle RdC pour le train TER V3

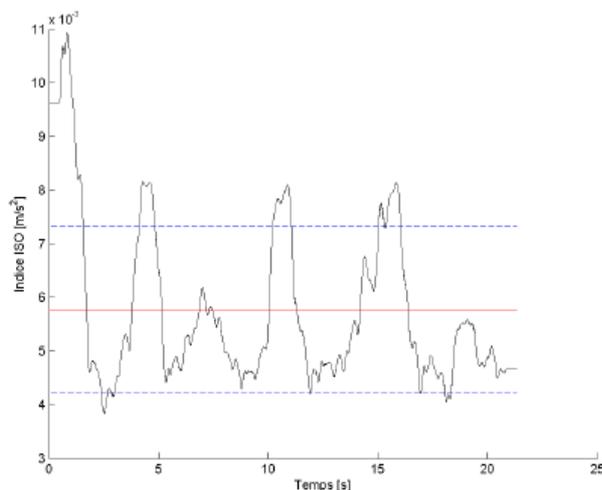


Figure 19 : Accélération $a_{w,ms}(t)$: moyenne glissante (sur *Slow* avec temps d'intégration de 1s) avec la pondération w_m de l'ISO2631-2 :2003 conformément à la norme norvégienne NS 8176 : 2005 ; point de mesure en dalle RdC pour le train FRET F2

Figures 18 et 19 ; la signature temporelle du train de voyageur est assez régulière (avec toutefois le passage des wagons et la décélération du train bien visibles) alors que la signature temporelle du train de fret est beaucoup plus irrégulière (alternance de wagons chargés et wagons vides) malgré une vitesse de passage constante ; **ces variations temporelles doivent certainement avoir une conséquence sur le ressenti des riverains ; une étude perceptive serait ici nécessaire pour aller plus loin.**

d. Effet sur les structures

Dans le but de quantifier l'aspect effet des vibrations sur les structures, une mesure du niveau vibratoire vertical au droit d'un mur de fondation massif (40 cm d'épaisseur) a été effectuée pour chaque passage de train. Les spectres 1/3 octave obtenus moyennés sur les durée de passage des trains sont donnés figure 20 en termes de spectres moyens (calculés sur une dizaine de passages pour chaque type de train) plus ou moins un écart type, et séparément pour le fret et les trains de voyageurs.

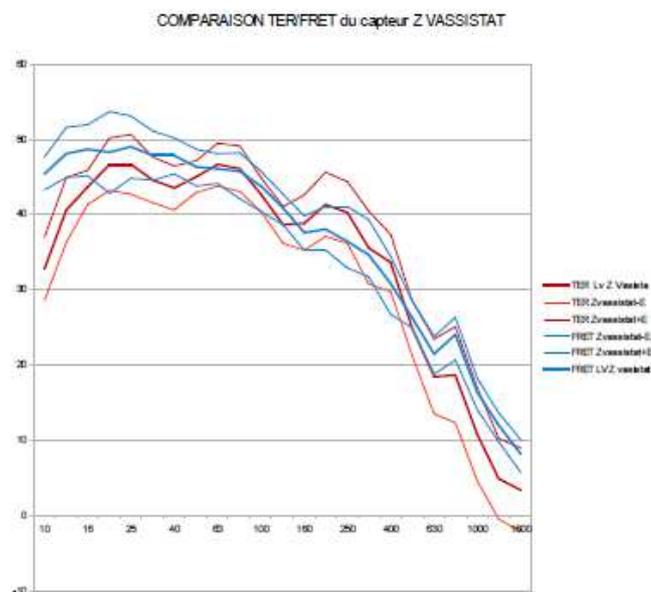


Figure 20 : Niveaux vibratoires verticaux (vitesse en dB ref. 510^{-8} m/s) de la fondation (au niveau du vasistas) ; comparaison des spectres moyens \pm un écart type entre les trains de FRET (en bleu) et les trains TER (en rouge)

Les résultats montrent des niveaux plus faibles sur la fondation (d'une quinzaine de dB) que les niveaux mesurés sur dalle RdC. Ces résultats n'ont pas été encore exploités.

5. Conclusion

Les résultats de la campagne de mesure à Mâcon ont été analysés à la fois par la SNCF et le CSTB. Les premières conclusions sont les suivantes :

Sur le plan réglementaire (ISO2631-2 et DIN 4150), dans les 12 premiers mètres du champ libre, les seuils pour n'importe quel type de zone d'implantation sont dépassés. A contrario, au-delà de 20m, les seuils de tous les types de zones sont respectés.

Par ailleurs, les mesures correspondant à la mesure en milieu du plancher du rez-de-chaussée, ne répondent à aucun critère d'acceptabilité d'aucun type de zone.

Compte tenu des vitesses de passage typiques des trains de fret (plutôt au voisinage de 90 – 100 km/h) et de celle des trains de voyageur (plus variables, dans la fourchette 50 – 150 km/h), les mesures de Macon montrent que **les niveaux vibratoires générés par ces deux types de train correspondent à des spectres voisins en amplitude et en fréquence et des indicateurs de même ordre de grandeur.** L'impact vibratoire du fret sur les riverains devrait donc être voisin de celui des trains de voyageur. Toutefois **les indicateurs dynamiques** (variables dans le temps, pendant le passage du train) de type valeur rms glissante, pondérée en fréquence, et corrélés aux effets des vibrations sur l'individu d'après les normes existantes à l'étranger, montrent **des fluctuations dans le temps beaucoup plus importantes pour le fret**, qui laissent pressentir une probabilité de plainte plus élevée et donc des atténuations nécessaires à la source un peu plus importantes. Une étude perceptive serait ici nécessaire pour quantifier cette différence et fixer une marge par rapport aux trains voyageur.



Affaire n° ER-712-080014-712-BAT

OFFRE N° 26013090 VIBSOLFRET – PHASE 2

Rapport d'avancement

Michel VILLOT
Pierre ROPARS

Michel VILLOT
Chef de Pôle

Demandeur de l'étude
ADEME

N/Réf. DAE/2010-011/CG/GC

Auteur(s)	Approbation	Vérificatrice
M. VILLOT	M. VILLOT	G. CAPOURET

Toute reproduction partielle susceptible de dénaturer le contenu du présent document, qu'il s'agisse d'une omission, d'une modification ou d'une adaptation engage la responsabilité du client vis-à-vis du CSTB ainsi que des tiers concernés.



VIBSOLFRET – PHASE 2

Rapport d'avancement

Demandeur de l'étude
ADEME

N/RM/ DAE/2010-011/CG/GC

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT

ÉTABLISSEMENT DE GRENOBLE : 24 RUE JOSEPH FOURNIER | 38400 SAINT-MARTIN D'HÈRES
TÉL. (33) 04 78 76 35 25 | FAX. (33) 04 78 44 20 40 | SIRET 775 888 120 000 50 | www.cstb.fr

BOIS DE LAIEN : 84 AVENUE JEAN JAURES | CHAMPS-SUR-MAINE | 71147 MARMÉ LA-VALLÉE 33000

ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MARSEILLE 775 888 120 | TVA FR 20 775 888 120

MARME-LA-VALLÉE | PARIS | RENNES | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

SOMMAIRE

1 - LES INDICATEURS DYNAMIQUES (SUITE ET FIN).....	4
2 - EVALUATION DE L'IMPACT A DISTANCE POUR DIFFERENTES CONFIGURATIONS SOL/BATIMENT	6
2.1 - EXTRAPOLATION DISTANCE AUX VOIES ; EXEMPLE A 20 M	6
2.1.1 - Configuration	6
2.1.2 - Méthode	6
2.1.3 - Spectres 1/3 octave moyenné sur la durée de passage d'un train.....	6
2.1.4 - Indicateur dynamique.....	8
3 - CALAGE DES SOLS	10
3.1 - MODELISATION CASC :	10
3.2 - MODELISATION MEFISSTO.....	11
4 - CALAGE DU MODELE MEFISSTO 2D SUR LES DONNEES MESUREES DE MACON	13
4.1 - METHODE	13
4.2 - CONFIGURATION SOL / STRUCTURE SIMPLIFIEE MODELISEE.....	13
4.3 - RESULTATS EN TERMES DE FONCTION DE TRANSFERT SOL CHAMP LIBRE / BATIMENT..	14
5 - ETUDE PARAMETRIQUE SUR LE BATIMENT	16
5.1 - EFFET DE L'ÉPAISSEUR DE LA DALLE	16
5.2 - EFFET DE L'ÉPAISSEUR DE LA FAÇADE / FONDATION	17
5.3 - EFFET DE LA PORTEE DE LA DALLE	19
6 - PREMIERES CONCLUSIONS.....	21



1 - LES INDICATEURS DYNAMIQUES (SUITE ET FIN)

Les indicateurs dynamiques utilisés en Norvège et en Allemagne, calculés avec la procédure développée au CSTB, sont donnés respectivement figures 1 et 2 montrant les différences de signature temporelle obtenues et le signal beaucoup plus chahuté de l'indice allemand qui utilise une constante de temps plus courte (0.125 ms). La figure 3 donne le même indicateur dynamique allemand calculé avec la procédure utilisée par la SNCF (courbe jaune supérieure) ; les deux procédures (CSTB et SNCF) donnent des résultats très voisins ; les différences proviennent certainement de petites différences dans les traitements de signaux utilisés ; la procédure CSTB est détaillée section 2.1.

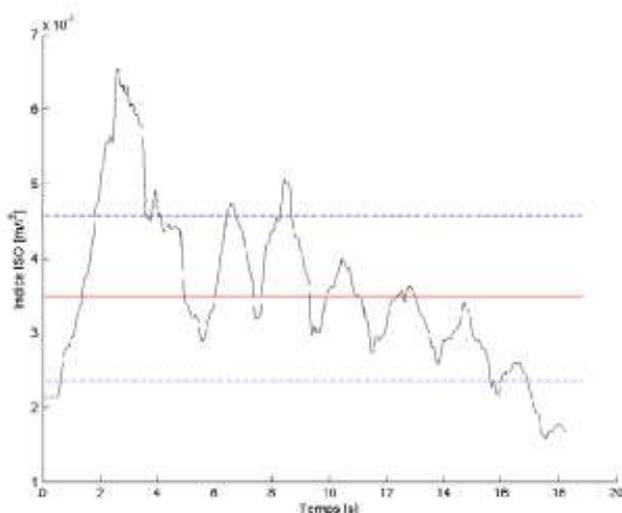


Figure 1.1 : Accélération $a_{w,rms}(t)$ selon la norme NS 8176 : 2005 ; moyenne glissante (temps d'intégration 1s) avec pondération w de l'ISO 2631-2 : 2003 ; dalle RdC pour le train TER V3.

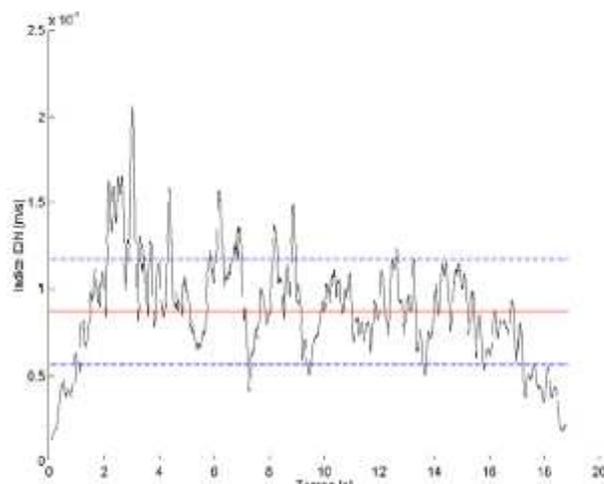


Figure 1.2 : Vitesse $v_{w,rms}(t)$ selon la norme DIN 4150-2 : 2001 ; moyenne glissante (temps d'intégration 0.125 s) avec pondération w de la DIN 45669-1: 1995 ; dalle RdC pour le train TER V3 ; résultats CSTB.

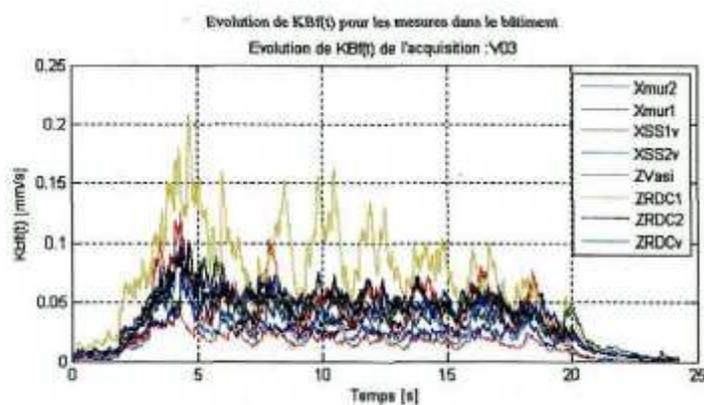


Figure 1.3 : Vitesse $v_{w,rms}(t)$ selon la norme DIN 4150-2 : 2001 ; moyenne glissante (temps d'intégration 0.125 s) avec pondération w de la DIN 45669-1: 1995 ; tous les points de mesure dans le bâtiment pour le train TER V3 ; résultats SNCF.



ER-712-080014-712-BAT

6/21

2 - EVALUATION DE L'IMPACT A DISTANCE POUR DIFFERENTES CONFIGURATIONS SOL/BATIMENT

Des dossiers complets existants de mesures vibratoires dans des bâtiments avec identification du type de trains, connaissance du bâtiment et mesures au sol en parallèle pour estimer la part du bâtiment dans la transmission, sont très rares. Aussi la méthode choisie pour cette phase consiste à extrapoler les mesures (sol et bâtiment) de la phase précédente (campagne de mesure à Macon) en étudiant par calcul les effets de variation des trois paramètres dominants suivants : le type de sol (moyen, plutôt dur ou plutôt mou), la distance du bâtiment à la voie, et le type de bâtiment, incluant le type de fondations (partie enterrée de la structure) et le type de superstructure (types de refend et dalle en particulier).

Le CSTB et la SNCF sont les principaux contributeurs à cette phase.

2.1 - Extrapolation distance aux voies ; exemple à 20 m

2.1.1 - Configuration

On considère que le type de sol et le bâtiment sont les mêmes qu'à Macon ; le bâtiment réel à 6m des voies est virtuellement déplacé à 20 m. Différents paramètres sont comparés.

2.1.2 - Méthode

Avec l'hypothèse de fonctions de transfert entre les niveaux vibratoires dans le bâtiment et les niveaux vibratoires au sol en champ libre à la même distance, identiques à 6m et 20 m, les niveaux vibratoires du bâtiment à 20m sont estimés à partir de la fonction de transfert bâtiment/ sol mesurée à 6m et des niveaux vibratoires au sol en champ libre mesurés à 20m. Les résultats sont donnés en terme de niveau vibratoire en dalle RdC à l'intérieur du bâtiment, soit sous la forme d'un spectre 1/3 octave moyenné sur la durée de passage d'un train soit sous la forme d'indicateur dynamique.

2.1.3 - Spectres 1/3 octave moyenné sur la durée de passage d'un train

Les résultats ci-dessous ont été calculés sur un passage de train TER (train V03). La figure 2.1 donne les niveaux vibratoires au sol en champ libre à 6 et 20 m des voies ; les niveaux 20 m (maximum des spectres) sont de l'ordre de 20 dB plus faibles qu'à 6m, et décalés en fréquence d'une dizaine de Hz (vers le bas). La figure 2.2 donne la fonction de transfert à 6m calculée en 1/3 octave à partir des niveaux vibratoires sol et bâtiment mesurés à 6m pour le même passage de train. La figure 2.3 donne les niveaux dans le bâtiment à 20 m estimés à partir des

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

niveaux au sol à 20m (figure 2.1) et de la fonction de transfert à 6m (figure 2.2) ; on retrouve dans le bâtiment à 20 m des niveaux de plus de 20 dB plus faibles qu'à 6m, mais sans décalage en fréquence, les modes de flexion du plancher imposant la forme du spectre.

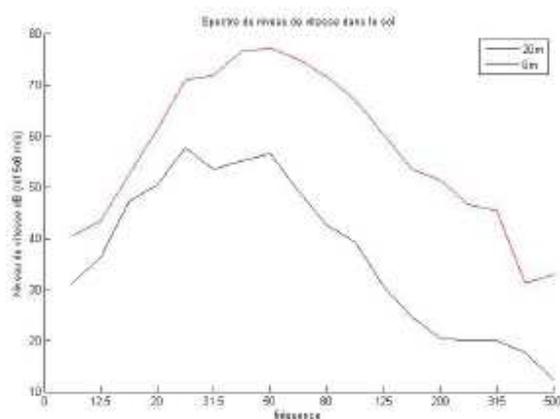


Figure 2.1 : Niveaux vibratoires au sol à 6 et 20m pour le passage du train V03.

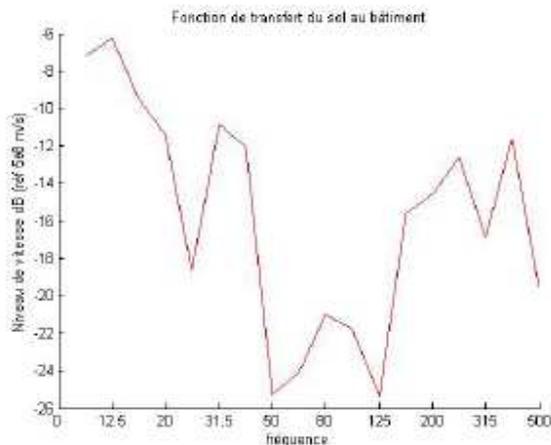


Figure 2.2 : Fonction de transfert sol champ libre / bâtiment mesurée à 6m ; passage du train V03.

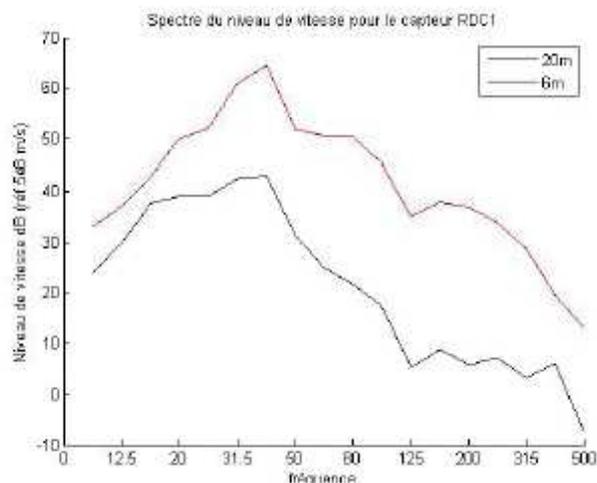


Figure 2.3 : Résultats en termes de spectre 1/3 octave moyenné sur durée de passage ; niveau vibratoire bâtiment RdC1 estimé à 20m avec passage du train V03, comparé au spectre RdC1 mesuré à 6m.

2.1.4 - Indicateur dynamique

La méthode suivante est utilisée pour estimer un indicateur dynamique dans le bâtiment à 20m des voies.

2.1.4.1 - Méthode

La procédure de calcul d'indicateur dynamique est la suivante :

- (i) Le calcul est fait soit à partir du signal temporel d'accélération (NS 8176), soit à partir du signal temporel de vitesse (DIN 4150-2).
- (ii) Le signal est filtré par bande de 1/3 octave pour obtenir N signaux temporels s_i correspondant aux N 1/3 octave considérés.
- (iii) Un calcul de moyenne glissante est alors appliqué à chaque signal s_i avec intégration sur une fenêtre τ ($\tau = 1s$ pour la NS 8176 et $\tau = 0.125s$ pour la DIN 4150-2) suivant la formule :

$$s_{i,rms}(t) = \left[\frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t s_i^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

(iv) A chaque instant t , les N signaux 1/3 octave $s_{i,rms}(t)$ sont ensuite pondérés (pondération w de l'ISO 2631-2, avec coefficients de pondération 1/3 octave w_i) et la valeur rms globale pondérée $s_{w,rms}(t)$ calculée suivant :

$$s_{w,rms}(t) = \left[\sum_i s_{i,rms}^2(t) \cdot w_i \right]^{1/2} \quad (2)$$

Remarque : dans le calcul, la pondération w est appliquée en dB sur des grandeurs énergétiques exprimées en dB.

La fonction de transfert 1/3 octave sol/bâtiment est appliquée en même temps que la pondération w 1/3 octave ISO dans le traitement de signal, c'est-à-dire dans l'étape (iv). Les résultats en terme d'indicateur dynamique dans le bâtiment à 20m sont donnés figure 5 ; La forme générale de cette signature temporelle est semblable à celle à 6m (figure 1), mais avec des niveaux plus de 20 dB plus faibles.

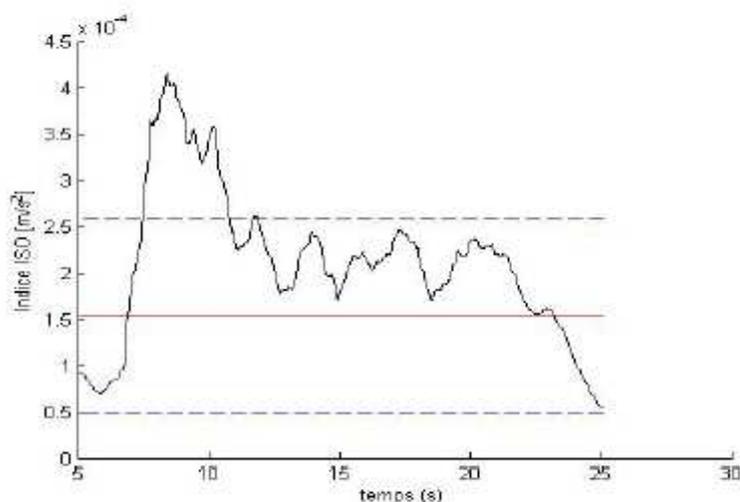


Figure 2.4 : Résultats en termes d'indicateur dynamique (accélération $a_{w,rms}(t)$) selon la norme NS 8176 : 2005) ; niveau vibratoire bâtiment RdC1 estimé à 20m avec passage du train V03.



ER-712-080014-712-BAT

10/21

3 - CALAGE DES SOLS

Dans le but de prendre un modèle de sol représentatif du sol de Macon dans l'étude paramétrique sur les configurations de bâtiment, deux modèles ont été utilisés pour estimer les atténuations vibratoires en fonction de la distance aux voies et les comparer ensuite aux résultats de mesure au sol à différentes distances : un modèle 3D analytique (logiciel CASC) et un modèle BEM (logiciel MEFISSTO). Tous les calculs présentés dans cette section ont été effectués en comparaison avec le passage du train de fret F8.

3 types de sol de référence simplifié sont considérés :

- sol moyen : $E = 200$ MPa, densité = 1600 kg/m³, correspondant à une vitesse d'onde de cisaillement de l'ordre de 200 m/s
- sol dur : $E = 800$ MPa, densité = 1800 kg/m³, correspondant à une vitesse d'onde de cisaillement de l'ordre de 400 m/s
- sol mou : $E = 50$ MPa, densité = 1400 kg/m³, correspondant à une vitesse d'onde de cisaillement de l'ordre de 100 m/s

Les paramètres Poisson = 0.25 et facteur de perte de 10% sont supposés être les mêmes pour les 3 sols.

3.1 - Modélisation CASC :

La première modélisation est simple, utilise un modèle analytique 3D de sol homogène semi-infini (logiciel CASC, développé au CSTB) avec source ponctuelle recalée sur les niveaux vibratoires 1/3 octave mesurés au sol à 3 m. L'atténuation avec la distance calculée pour un sol mou (résultats les meilleurs) est donnée figure 3.1 et comparée aux résultats de mesure ; la décroissance est correcte sur la plage jusqu'à 63 Hz, donc là où se trouvent les niveaux vibratoires maxi ; au-delà, la décroissance calculée par le logiciel CASC est surévaluée.

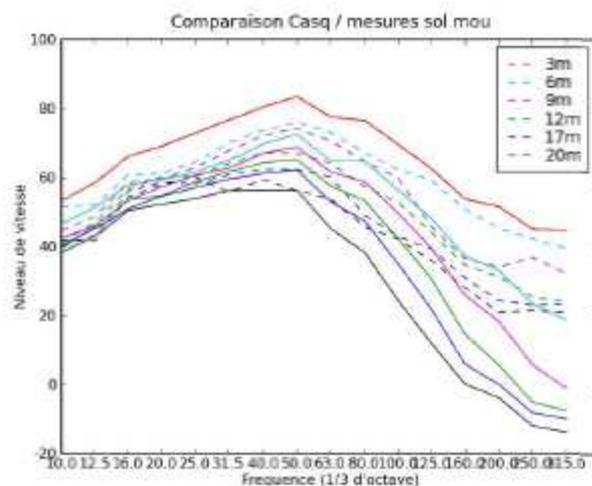


Figure 3.1 : Atténuation avec la distance, modèle CASC, sol homogène simplifié de référence mou, calé sur mesure à 3m ; résultats calculés en trait continu, mesure en pointillés (exemple du train F8).

3.2 - Modélisation MEFISSTO

La deuxième modélisation est plus sophistiquée ; le logiciel BEM MEFISSTO est utilisé dans une configuration 2D $\frac{1}{2}$ de sol homogène avec ligne de source décorrélée (force unitaire) sur une longueur de l'ordre de celle d'un train ; les niveaux vibratoires (bandes fines) sont calculés à différentes distances des voies correspondant aux points de mesure (3m, 6m, 9m, ...) et recalés sur la mesure bande fine à 6m en modifiant la force ; les résultats à 3m, 6m, ... sont alors calculés en 1/3 octave et comparés aux mesures figure 3.2 ; cette fois ci la décroissance est très correcte sur toute la plage de fréquence. Les meilleurs résultats sont obtenus avec le sol de référence moyen. Au vu des résultats obtenus, on peut penser que des résultats similaires auraient été obtenus en simulant une ligne de sources décorrélées avec le logiciel CASC.

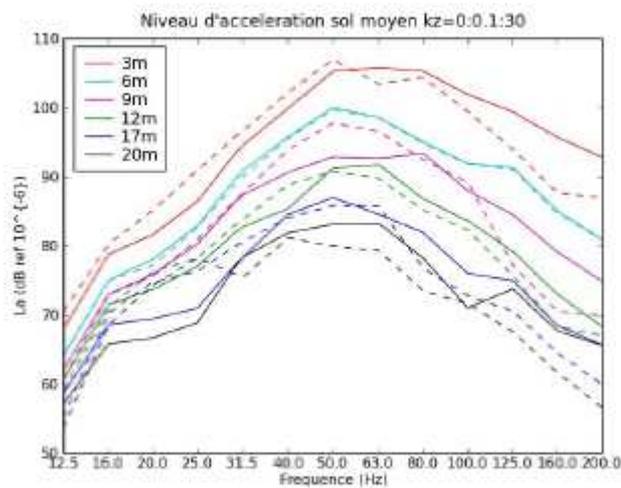


Figure 3.2 : Atténuation avec la distance, sol homogène simplifié de référence moyen ; modèle MEFISSTO 2D $\frac{1}{2}$ avec ligne de source décorréelées et calé sur mesure à 6m ; exemple du train F8 ; comparaison calcul (trait continu) / mesure (pointillés).

4 - CALAGE DU MODELE MEFISSTO 2D SUR LES DONNEES MESUREES DE MACON

Cette étape de l'étude paramétrique consiste à modéliser sol et structures du site de Macon à l'aide du logiciel MEFISSTO en 2D et à voir si la fonction de transfert 1/3 octave calculée entre le niveau vibratoire au sol à 6m et le niveau vibratoire de la dalle RdC du bâtiment est comparable à la même fonction de transfert mesurée.

4.1 - Méthode

Une force unitaire est appliquée au sol et la fonction de transfert sol champ libre à 6m / niveau RdC1 bâtiment simplifié à 6m est calculée en 1/3 octave ; cette fonction de transfert est calculée pour les 3 sols types pour voir leur importance sur la fonction de transfert ; les 3 fonctions de transfert obtenues sont enfin comparées avec la fonction de transfert mesurée.

4.2 - Configuration sol / structure simplifiée modélisée

Le sol est homogène semi-infini et la structure du bâtiment de Macon est modélisée de façon très simplifiée en 2D, comme le montre la figure 4.1. La source est placée à 6m devant le bâtiment. Les dimensions et épaisseurs des éléments de bâtiment sont respectées, en particulier la façade particulièrement épaisse (40 cm) et la dalle RDC simplifiée à une dalle non raidie de 20cm d'épaisseur.

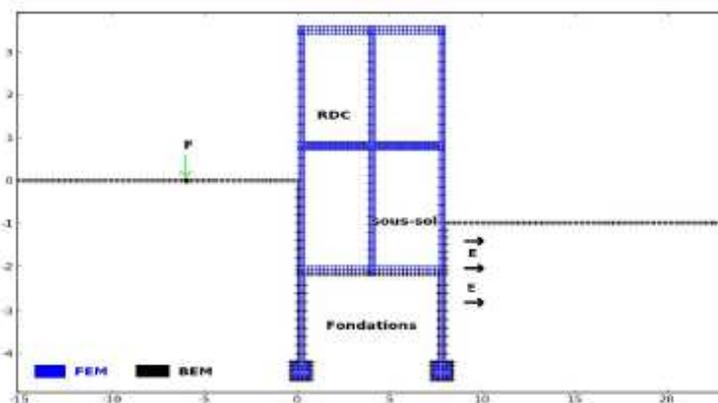


Figure 4.1 : Géométrie simplifiée MEFISSTO 2D du site de Macon.

4.3 - Résultats en termes de fonction de transfert sol champ libre / bâtiment

La fonction de transfert sol champ libre à 6m / niveaux RdC1 du bâtiment simplifié à 6m est calculée en 1/3 octave pour les 3 sols de référence (mou, moyen et dur) ; les résultats sont donnés figure 4.2 ; Les résultats montrent que les fonctions de transfert 2D sont plus chahutées que la mesure (caractère modal trop prononcé), que les ordres de grandeur sont bons pour le sol moyen et que la variation du type de sol crée des variations de niveaux dans le bâtiment mais ne change pas la forme spectrale générale de la fonction de transfert.

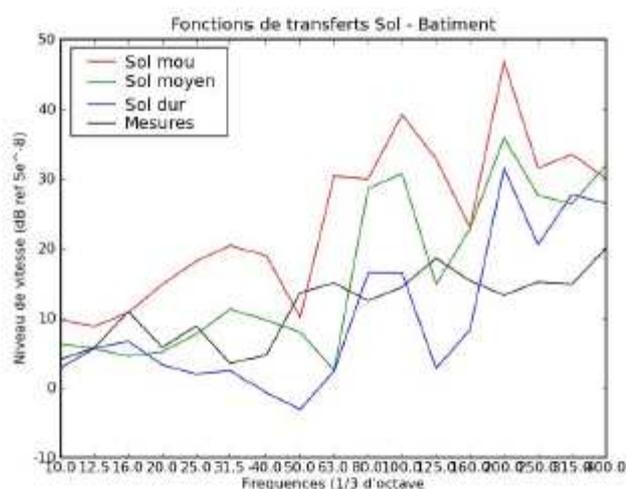


Figure 4.2 : Fonctions de transfert sol champ libre à 6m / niveaux RdC ; comparaison calcul / mesure pour les 3 types de sol.

Les niveaux vibratoire de la dalle RdC recalculés à partir des fonctions de transfert précédentes et des niveaux mesurés au sol à 6m sont donnés figure 4.3 ; les ordres de grandeur de niveaux vibratoires sont corrects mais la réponse modale de la dalle n'est pas respectée (résultat prévisible avec un modèle simplifié 2D) ; à nouveau, on observe la dominance de la réponse modale de la dalle.

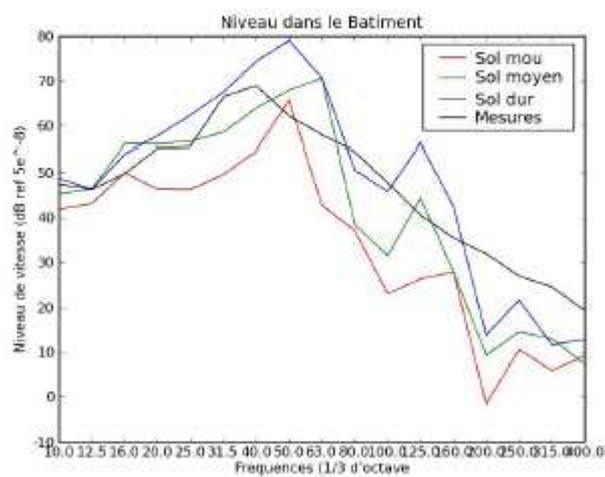


Figure 4.3 : Niveaux vibratoires sur dalle RdC recalculés à partir des fonctions de transfert calculées pour les 3 types de sol et des niveaux mesurés au sol à 6m ; comparaison avec les niveaux de dalle mesurés.

5 - ETUDE PARAMETRIQUE SUR LE BATIMENT

Le but de cette section est de voir les effets de variations de la structure du bâtiment sur la fonction de transfert vibratoire sol champ libre / bâtiment dalle RDC. Les paramètres suivants ont été changés successivement : (i) épaisseur de la dalle, (ii) épaisseur façade / fondation et (iii) longueur de la dalle RDC. Au vu de la bonne concordance de la fonction de transfert sol / bâtiment calculée avec un sol moyen, toutes les configurations de structures de cette section ont été calculées avec un sol moyen.

5.1 - Effet de l'épaisseur de la dalle

Seule l'épaisseur de la dalle RDC est changée ; 3 épaisseurs réalistes sont considérées : 15, 20 et 25 cm. Les résultats sont exprimés en terme de fonction de transfert sol / bâtiment et de niveau vibratoire dalle RDC estimés à partir de la fonction de transfert précédente et des niveaux au sol mesurés à 6m. Les résultats sont donnés respectivement figures 5.1 et 5.2 ; les variations d'épaisseur de dalle modifient peu les niveaux vibratoires mais affectent la position fréquentielle des modes de la dalle (voir figure 5.2 en particulier).

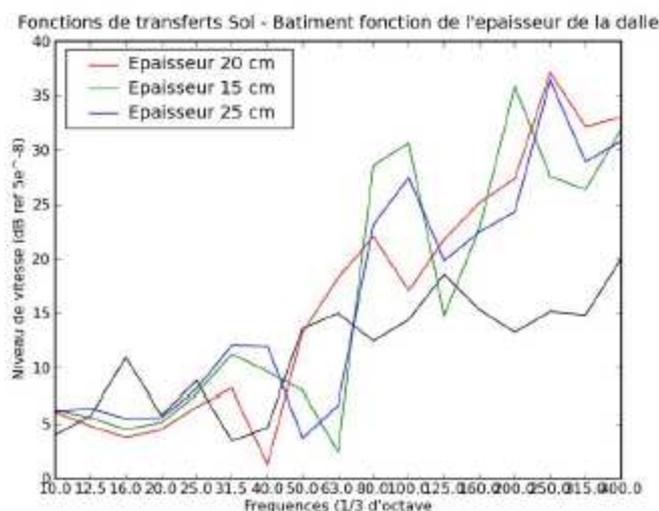


Figure 5.1 : Fonctions de transfert sol champ libre à 6m / niveaux RDC; comparaison calcul / mesure pour 3 épaisseurs de dalle.

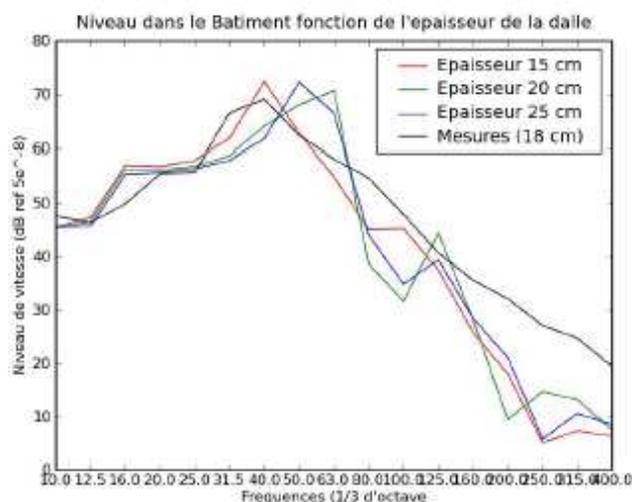


Figure 5.2 : Niveaux vibratoires sur dalle RdC recalculés à partir des fonctions de transfert sol / bâtiment ; comparaison de 3 épaisseurs de dalle.

5.2 - Effet de l'épaisseur de la façade / fondation

Le bâtiment mesuré à Macon a une façade (y compris sa partie enterrée) particulièrement épaisse (40 cm), alors que l'ordre de grandeur d'épaisseur de façade de bâtiments modernes est plutôt de 20 cm ; aussi ces deux épaisseurs ont-elles été comparées ; comme précédemment les résultats sont exprimés en terme de fonction de transfert sol / bâtiment et de niveau vibratoire dalle RdC et sont donnés respectivement figures 5.3 et 5.4 ; les résultats montrent que (i) la fréquence du mode principal (vers 63 Hz) est déplacé vers le bas principalement par changement des conditions limites (la jonction dalle 20 cm / façade 20 cm donne des conditions d'appuis simples) et (ii) que les niveaux vibratoires sont bien supérieurs (de plus d'une dizaine de dB), la partie enterrée de la façade de 20 cm vibrant beaucoup plus que celle de 40 cm (effet de masse).

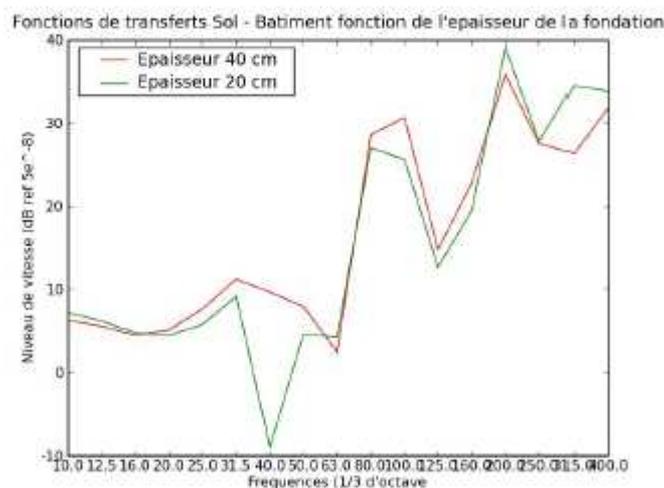


Figure 5.3 : Fonctions de transfert sol champ libre à 6m / niveaux RdC; comparaison calcul / mesure pour 2 épaisseurs de façade (y compris la partie enterrée).

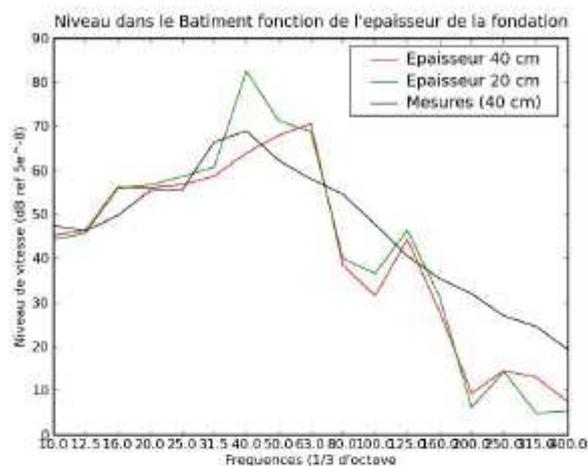


Figure 5.4 : Niveaux vibratoires sur dalle RdC recalculés à partir des fonctions de transfert sol /bâtiment ; comparaison de 2 épaisseurs de façade (y compris la partie enterrée)



5.3 - Effet de la portée de la dalle

Le bâtiment mesuré à Macon a une dalle RdC avec des portées de l'ordre de 3m ; en gardant la même épaisseur (20 cm), un calcul avec portée double de l'ordre de 6m est effectué. Comme précédemment les résultats sont exprimés en terme de fonction de transfert sol / bâtiment et de niveau vibratoire dalle RdC et sont donnés respectivement figures 5.5 et 5.6 ; les résultats montrent que d'une part la dalle de portée double voit sa fréquence modale déplacée vers bas et voit son niveau vibratoire augmenter (la dalle est plus souple) ; ces deux effets étaient attendus.

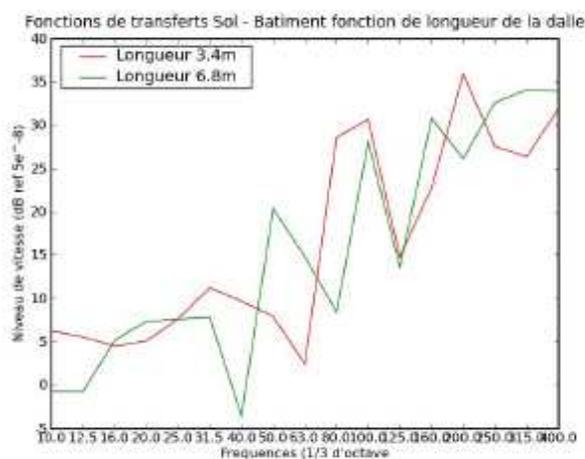


Figure 5.5 : Fonctions de transfert sol champ libre à 6m / niveaux RdC; comparaison calcul / mesure pour 2 portées de dalle.



Figure 5.6 : Niveaux vibratoires sur dalle RdC recalculés à partir des fonctions de transfert sol /bâtiment ; comparaison de 2 portées de dalle.

6 - PREMIERES CONCLUSIONS

Les résultats précédents montrent (i) que le sol simplifié moyen modélisé génère des atténuations en fonction de la distance aux voies en accord avec les mesures de Macon sur tout le spectre (20-200Hz), (ii) qu'il est possible avec l'hypothèse simple d'une fonction de transfert sol / bâtiment indépendante de la distance à la voie, de déplacer virtuellement le bâtiment à différentes distances des voies (si les niveaux vibratoires au sol à différentes distances sont connus) et d'estimer les niveaux vibratoires et leurs indicateurs dynamiques dans le bâtiment et (iii) que la fonction de transfert vibratoire sol / bâtiment obtenu avec notre modèle (MEFISSTO) sol-structure 2D donne les bons ordres de grandeur en niveaux vibratoires mais bien sûr avec une incertitude sur la position en fréquence des réponses modales de structure.

Une étude paramétrique avec le modèle 2D a donc tout son sens et donne les résultats suivants : (i) de faibles variations de l'épaisseur des dalles ont peu d'influence sur leur niveau vibratoire, mais une influence sur la position des modes, (ii) que l'épaisseur des parois enterrées a une grande importance (effet de masse) sur les niveaux vibratoires obtenus et (iii) que la portée des dalles a une grande importance sur les niveaux vibratoires obtenus. Il reste à voir l'effet de ces variations sur les indicateurs.



Affaire n° ER-712-080014-712-BAT

OFFRE N° 26013090 VIBSOLFRET – PHASE 3 ETUDE PARAMETRIQUE

Rapport intermédiaire

Catherine GUIGOU-CARTER

Michel VILLOT
Chef de PôleDemandeur de l'étude
ADEME

N/Réf. DAE/2010-011/CG/GC

Auteur(s)	Approbation	Vérificatrice
C. GUIGOU	M. VILLOT	G. CAPOURET

Toute reproduction partielle susceptible de dénaturer le contenu du présent document, qu'il s'agisse d'une omission, d'une modification ou d'une adaptation engage la responsabilité du client vis-à-vis du CSTB ainsi que des tiers concernés.



VIBSOLFRET – PHASE 3 ETUDE PARAMETRIQUE

Rapport intermédiaire

Demandeur de l'étude
ADEME

N/Réf. DAE/2010-011/CG/GC

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
ÉTABLISSEMENT DE GRENOBLE | 24 RUE JOSEPH FOURIER | 38400 SAINT-MARTIN D'HÈRES
TÉL. (33) 04 76 76 25 25 | FAX. (33) 04 76 44 20 46 | SIRET 775 688 229 000 50 | www.cstb.fr
SIÈGE SOCIAL : 84 AVENUE JEAN JAURES | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-IA-VALLÉE CEDEX 7
ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RES. MEAUX 775 688 220 | TVA FR 76 775 688 220
MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS



ER-712-080014-712-BAT

3/67

SOMMAIRE

1 - OBJET	4
2 - MODELE DE PREDICTION	4
3 - ETUDE PARAMETRIQUE	7
3.1 - GROUPE 1 : TRAVERSE SANS SELLE	9
3.2 - GROUPE 2 : TRAVERSE AVEC SELLE	17
3.3 - GROUPE 3 : SEMELLE SOUS TRAVERSE (SANS SELLE)	34
3.4 - GROUPE 4 : TAPIS SOUS BALLAST.....	57
4 - PROPOSITIONS DE SOLUTION.....	64

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010



ER-712-080014-712-BAT

4/67

1 - OBJET

Ce document rend compte des résultats des différents calculs menés suite au cahier des charges mis au point lors de la réunion du 6 Octobre 2009, c'est à dire l'étude paramétrique à conduire avec le modèle de prédiction pour évaluer la performance anti-vibratile de ces différentes solutions. Une partie des résultats a été présentée lors de la réunion du 17 Décembre 2009. L'étude paramétrique a été complétée suite aux discussions entre Sateba et le CSTB lors de cette réunion. Ce document doit servir au choix des traverses qui seront caractérisées lors des essais prévus en 2010 ; ce choix sera validé lors de la réunion du projet Vibsolfret du mois de janvier 2010.

2 - MODELE DE PREDICTION

Le modèle de prédiction développé par le CSTB lors de l'étude Sateba pour CTRL (Channel Tunnel Rail Link) a été utilisé. On notera que les prédictions obtenues avec ce modèle simple, en termes de perte par insertion, sont en bon accord avec des mesures effectuées sur site. La figure 2.1 montre les deux cas pris en compte par le modèle de prédiction développé dans le cadre de l'étude avec Sateba en 2002. Ainsi, une traverse avec deux étages résilients peut être prise en compte par ce modèle (Figure 2.1(b)).

Ce modèle a été modifié pour prendre en compte deux étages résilients supplémentaires dans le but d'étudier les effets combinés de plusieurs éléments résilients (semelle sous rail, semelle sous selle, semelle sous traverse et tapis résiliente sous dalle flottante). La Figure 2.2 montre le système pouvant être pris en compte.

La traverse peut être monobloc ou bi-bloc. La dalle de voie est remplacée par une couche de ballast. Le ballast englobe la traverse (le ballast remontant sur la hauteur de la traverse) ; cette situation engendre un court-circuit vibratoire lorsqu'une semelle résiliente sous traverse est utilisée. Ce court-circuit vibratoire n'est pas pris en compte par le modèle de prédiction.

Les systèmes utilisant des semelles sous rail de deux raideurs différentes (raideur alternée) ne peuvent pas être considérés par ce modèle de prédiction. L'état de surface du rail ne peut pas non plus être pris en compte par le modèle de prédiction.

Le cas du tapis sous ballast a aussi été évalué même s'il ne correspond pas aux solutions que SATEBA souhaite proposer. La performance d'un tapis sous ballast est évaluée avec un modèle mis au point pour calculer la performance des poses de voie sur dalle flottante ; la dalle flottante étant replacé par la couche de ballast.

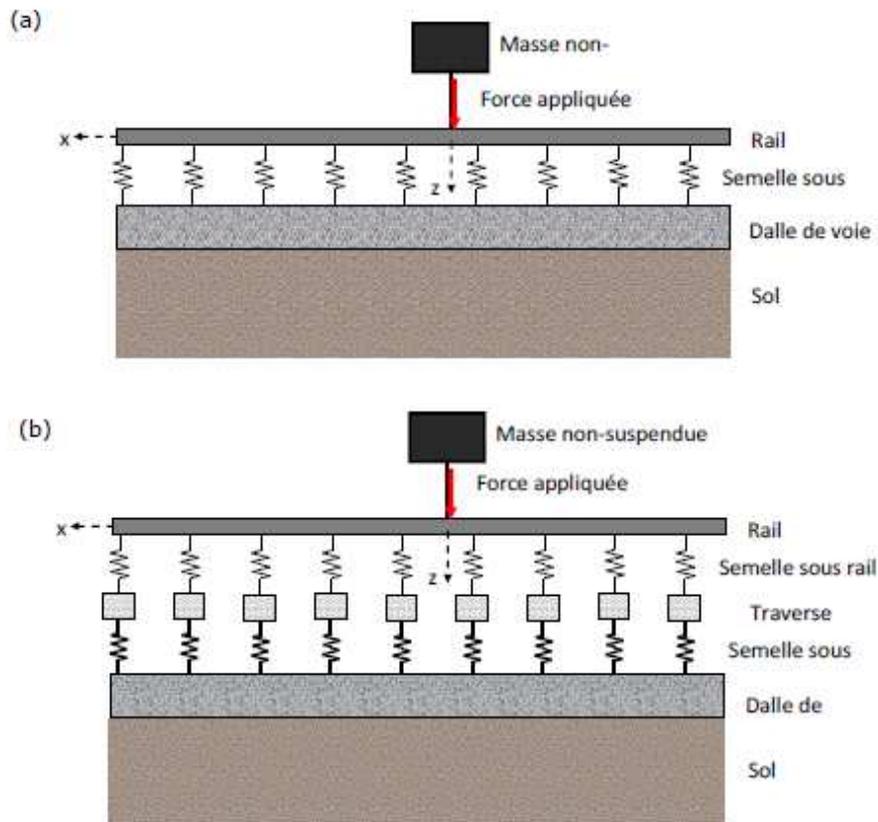


Figure 2.1 : Systèmes pris en compte par le modèle de prédiction de 2002.

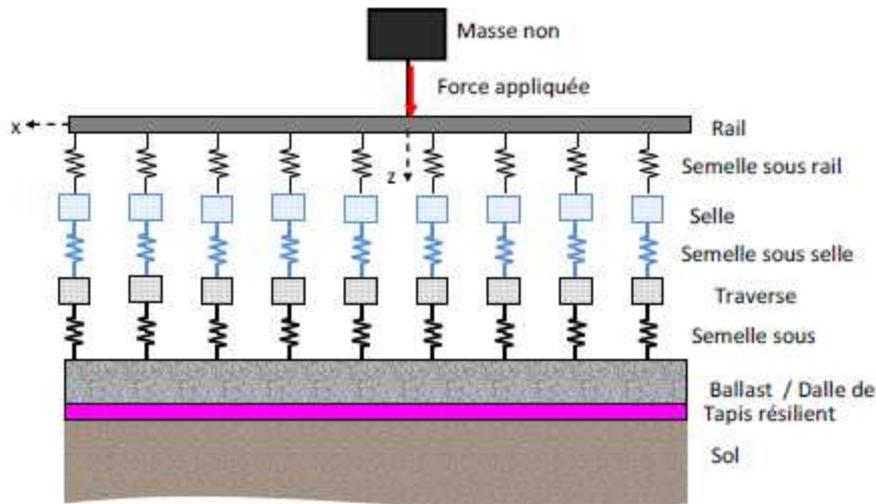


Figure 2.2 : Système pris en compte par le modèle de prédiction modifié.

La déflexion statique Δx est évaluée à partir de l'expression suivante :

$$F_{\text{statique}} C_{\text{repartition}} = K_{\text{statique}} \Delta x$$

avec les hypothèses suivantes

- $K_{\text{statique}} = K_{\text{dynamique}} / 1.5$,
- $C_{\text{repartition}} = 0.5$ et
- $F_{\text{statique}} = 250 \text{ kN}$ (correspondant à 25 tonnes à l'essieu).



ER-712-080014-712-BAT

7/67

3 - ETUDE PARAMETRIQUE

Quatre grands groupes de solution ont été considérés :

- Groupe 1 : Traverse sans selle (seulement une semelle sous rail)
- Groupe 2 : Traverse avec selle (semelle sous rail et semelle résiliente sous selle)
- Groupe 3 : Traverse avec semelle résiliente sous traverse (sans selle)
- Groupe 4 : Tapis sous ballast

Deux types de train ont été pris en compte : fret (3750 kg/essieu) et TER (1300 kg/essieu).

Pour cette première étape de l'étude paramétrique, la différence entre une traverse monobloc (type M450 à 300 kg) et une traverse bi-bloc (type B450 à 250 kg) n'est pas prise en compte : une traverse de 300 kg a été considérée. Une variation de la masse des traverses est incluse dans l'étude paramétrique (couvrant les masses de ces deux types de traverse). La différence entre une traverse monobloc et une traverse bi-bloc influence le module d'élasticité de la semelle résiliente sous traverse (semelle en une seule partie sous toute la traverse monobloc ou en deux parties pour la traverse bi-bloc, surface de semelle utilisée). On notera aussi que la raideur donnée pour les différentes semelles (sous rail, sous selle et sous traverse) dans le document correspond à celle associée à la moitié de la voie (un seul rail).

Les résultats sont donnés en terme de perte par insertion par rapport au cas de référence (ou cas de base) pour chaque groupe de solutions considéré. On rappelle que la perte par insertion correspond à la différence du niveau vibratoire au sol (interface ballast sol) du système de référence et du système évalué. Ainsi une valeur positive de la perte par insertion indique une amélioration (diminution du niveau vibratoire) puisque le niveau vibratoire du système évalué est plus faible que celui du système de base.

Trois types de sol ont été pris en compte : un sol moyen, un sol dur et un sol mou. Leurs caractéristiques sont données au Tableau 3.1.

Les tiers d'octave entre 5 et 250 Hz sont évalués.

On rappelle qu'une solution permettant une réduction de la pollution vibratoire à partir du tiers d'octave 40 Hz est souhaitable (perte par insertion positive à partir de 40 Hz).



Les résultats sont présentés sous forme graphique pour les tiers d'octave de 5 à 250 Hz et sous forme de tableau pour les tiers d'octave de 40 à 80 Hz. Pour les tableaux donnant la perte par insertion entre les tiers d'octave 40 et 80 Hz, un fond bleu est utilisé pour une perte entre 2 et 3.9 dB, un fond vert entre 4 et 5.9 dB, et un fond orange pour une perte à partir de 6 dB. On rappelle qu'une perte par insertion positive correspond à une diminution de la pollution vibratoire.

La déflexion statique doit rester inférieure ou égale à 2 mm.

Tableau 3.1 : Caractéristiques des différents sols considérés.

	Moyen	Mou	Dur
Densité (kg/m ³)	1600	1400	1800
Module d'élasticité (MN/m ²)	200	50	800
Coefficient de Poisson	0.25	0.25	0.25
Coefficient d'amortissement (%)	10	10	10



3.1 - Groupe 1 : Traverse sans selle

Dans ce cas, le seul élément résilient du système de traverse est la semelle sous rail. Le Tableau 3.1.1 rappelle le cas de référence et les différentes variations utilisées pour l'étude paramétrique portant sur un système de pose de voie avec un seul élément résilient (la semelle sous rail).

Tableau 3.1.1 : Systèmes sans selle considérés.

Eléments	Base	Variations
Rail	UIC60 60 kg/m	50 et 100 kg/m sans changement de EI 100kg/m avec EI*2
Semelle sous rail	220 MN/m	100, 300 et 400 MN/m
Traverse	300 kg	200, 400, 500 et 600 kg
Travelage	0.6 m	0.5, 0.7, 0.8 et 0.9 m
Épaisseur du ballast	20 cm	30, 40 et 50 cm
Sol	Moyen	Mou et Dur

Les Figures 3.1.1 à 3.1.6 montrent la perte par insertion obtenue pour les différentes variations des paramètres par rapport au cas de base, pour un matériel roulant de type fret et TER. Les Tableaux 3.1.2 à 3.1.7 détaillent la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz.

Les déflexions statiques pour les différentes raideurs de semelle sous rail sont les suivantes :

- 0.4 mm pour 220 MN/m,
- 0.9 mm pour 10 MN/m,
- 0.3 mm pour 300 MN/m et
- 0.2 mm pour 400 MN/m.

Ces valeurs respectent donc bien la condition sur la déflexion statique maximale de 2 mm.

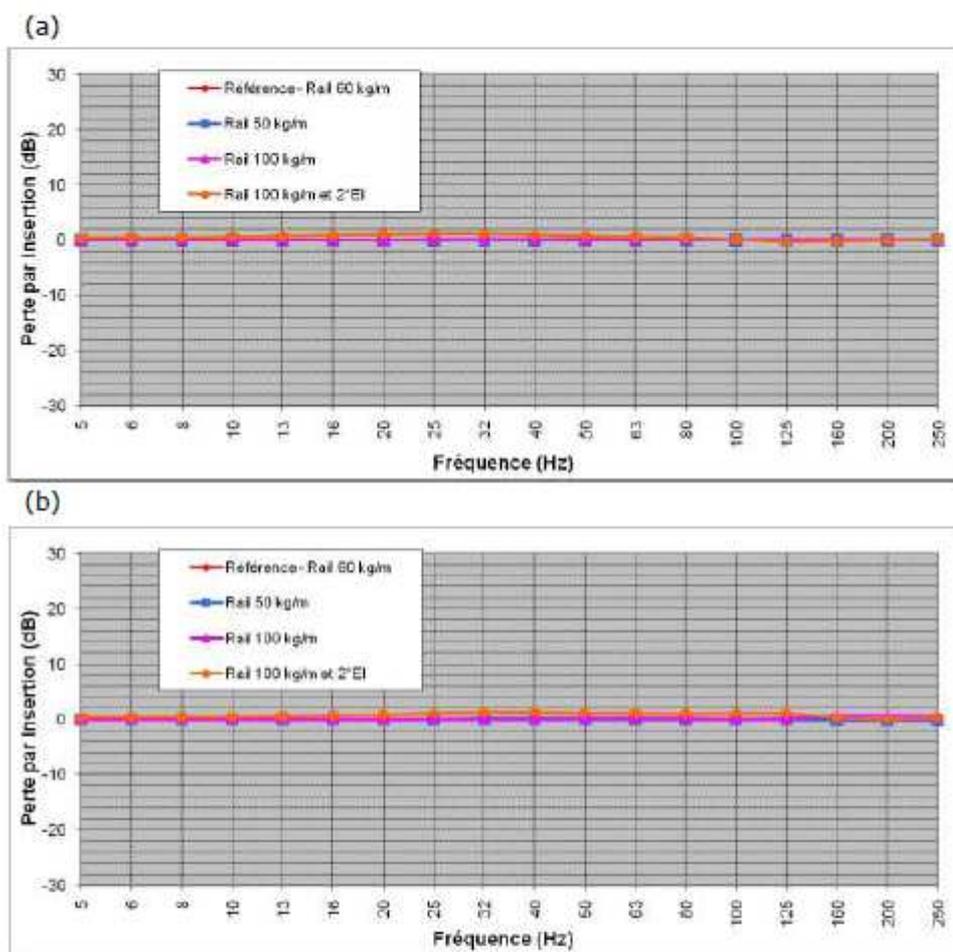


Figure 3.1.1 : Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet de la masse du rail ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.1.2 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet de la masse du rail (référence 60 kg/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Rail 50 kg/m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rail 100 kg/m	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Rail 100 kg/m et EI*2	0.9	0.7	0.6	0.4	1.3	1.2	1.1	1.0

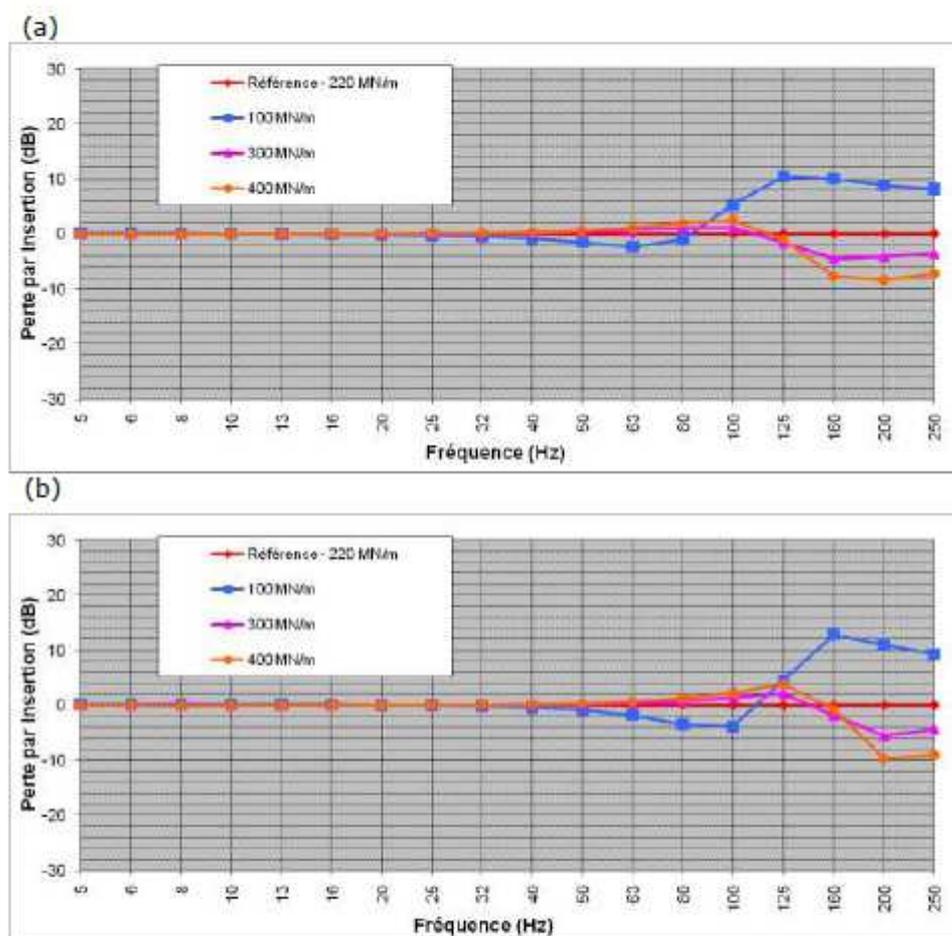


Figure 3.1.2 : Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet de la raideur de la semelle sous rail ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.1.3 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet de la raideur de la semelle sous rail (référence 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
100 MN/m	-0.9	-1.5	-2.4	-1.0	-0.4	-0.9	-1.8	-3.5
300 MN/m	0.2	0.4	0.6	1.1	0.1	0.2	0.4	0.8
400 MN/m	0.3	0.6	1.1	1.9	0.2	0.3	0.7	1.3

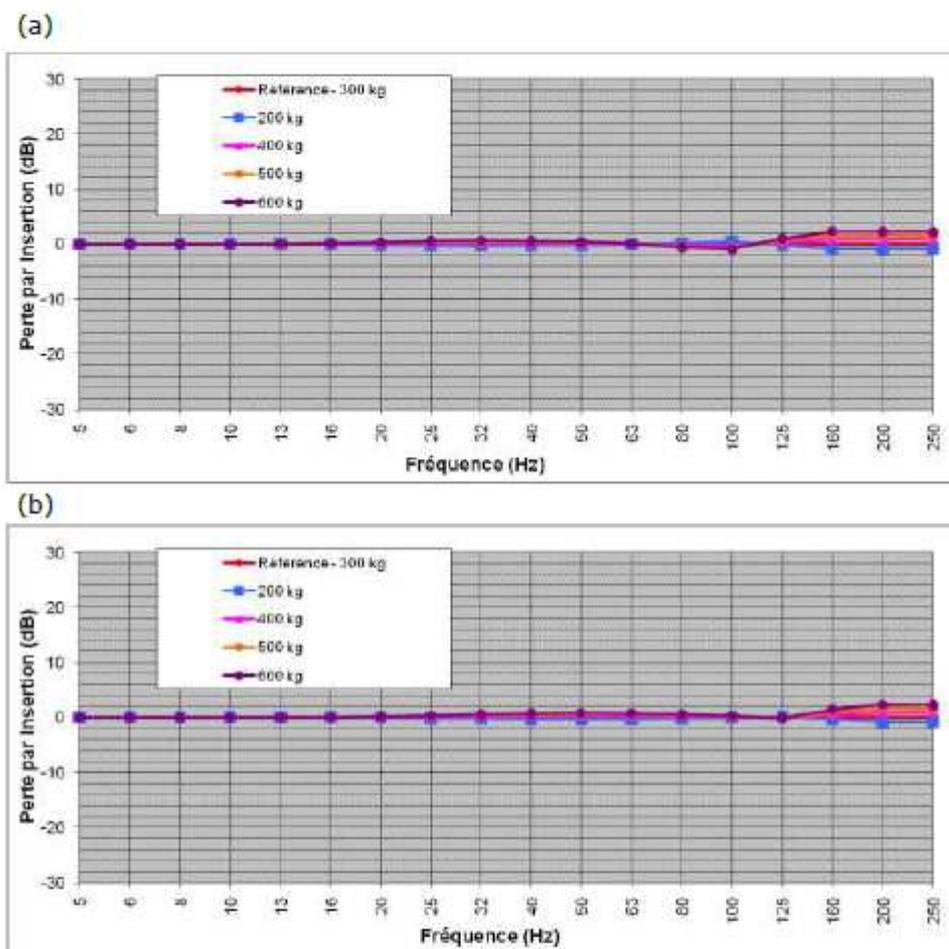


Figure 3.1.3 : Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet de la masse de la traverse ;
(a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.1.4 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 1 (traverse sans selle) –
Effet de la masse de la traverse (référence 300 kg).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
200 kg	-0.2	-0.2	0.0	0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2
400 kg	0.2	0.2	0.0	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.2
500 kg	0.4	0.3	0.1	-0.4	0.5	0.5	0.5	0.4
600 kg	0.6	0.4	0.1	-0.6	0.7	0.8	0.7	0.6

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

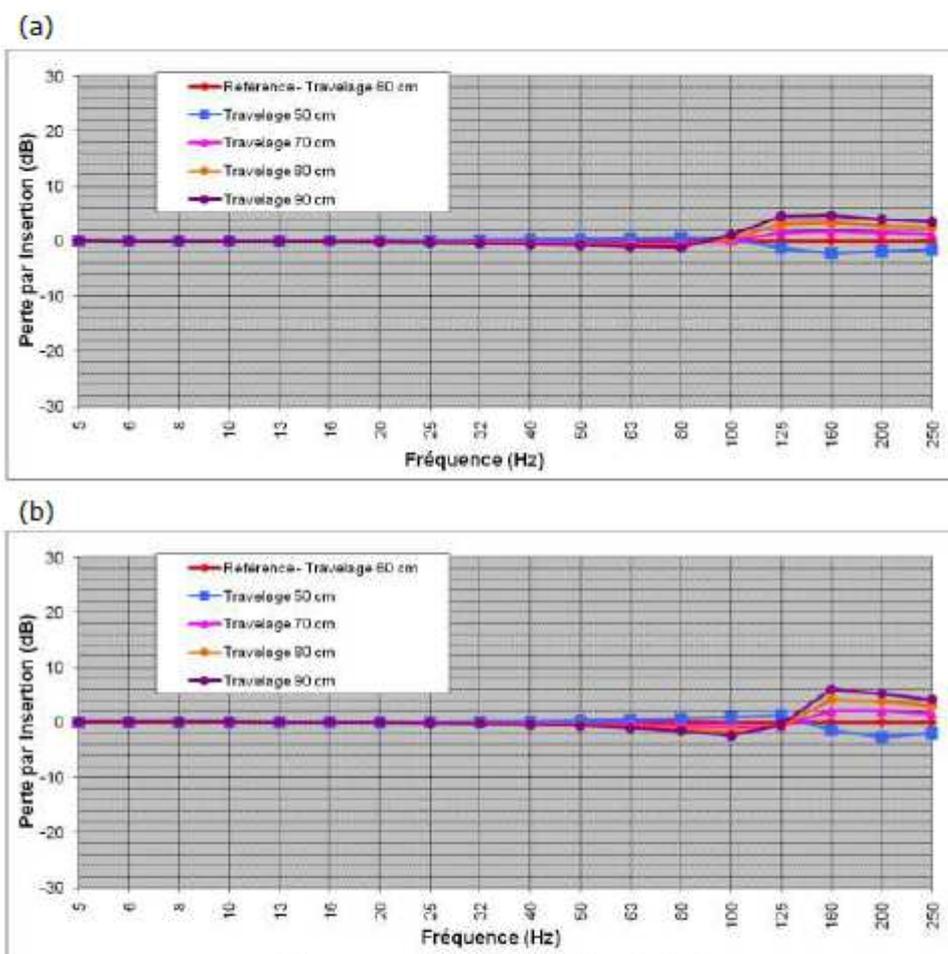


Figure 3.1.4 : Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet de la distance entre traverse (travaillage) ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.1.5 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet de la distance entre traverse (travaillage référence 60 cm).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
50 cm	0.3	0.3	0.4	0.6	0.2	0.3	0.4	0.6
70 cm	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6
80 cm	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-0.3	-0.5	-0.7	-1.1
90 cm	-0.6	-0.8	-1.1	-1.1	-0.4	-0.6	-1.0	-1.6

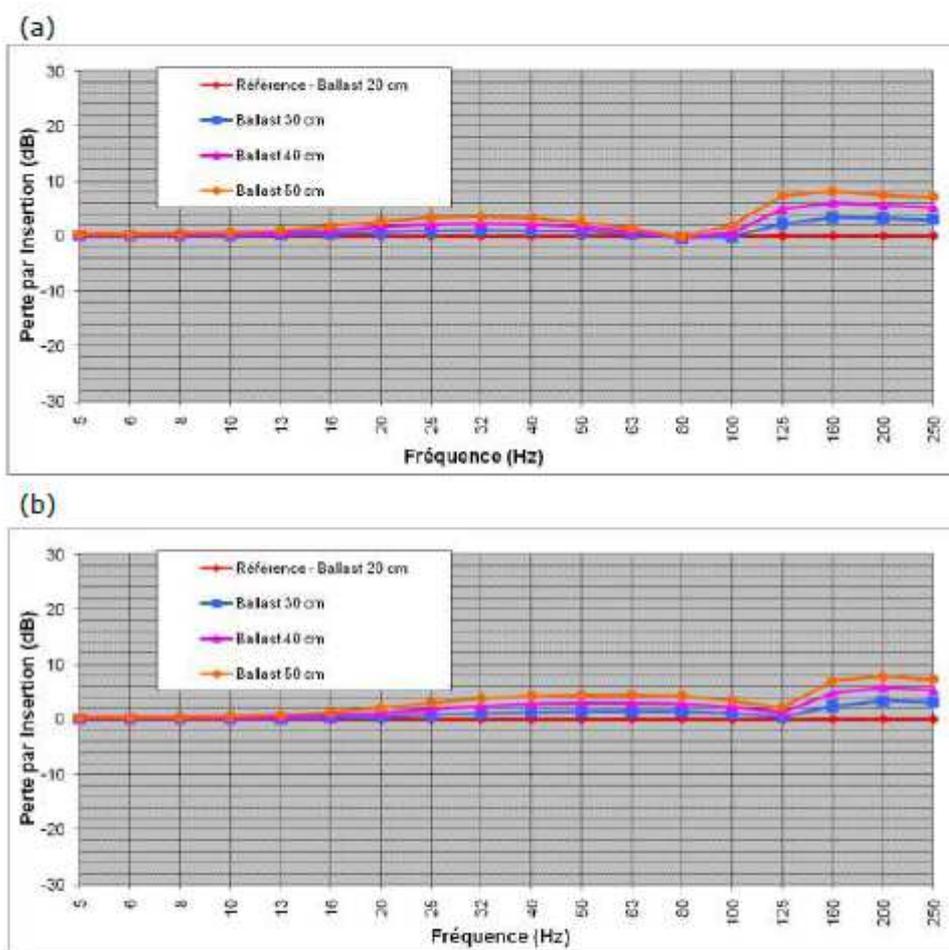


Figure 3.1.5 : Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet de l'épaisseur de ballast ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.1.6 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet de l'épaisseur de ballast (référence 20 cm).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
30 cm	1.0	0.8	0.4	-0.3	1.3	1.4	1.4	1.4
40 cm	2.1	1.6	0.9	-0.4	2.8	2.9	2.9	2.8
50 cm	3.2	2.5	1.4	-0.1	4.2	4.4	4.4	4.2

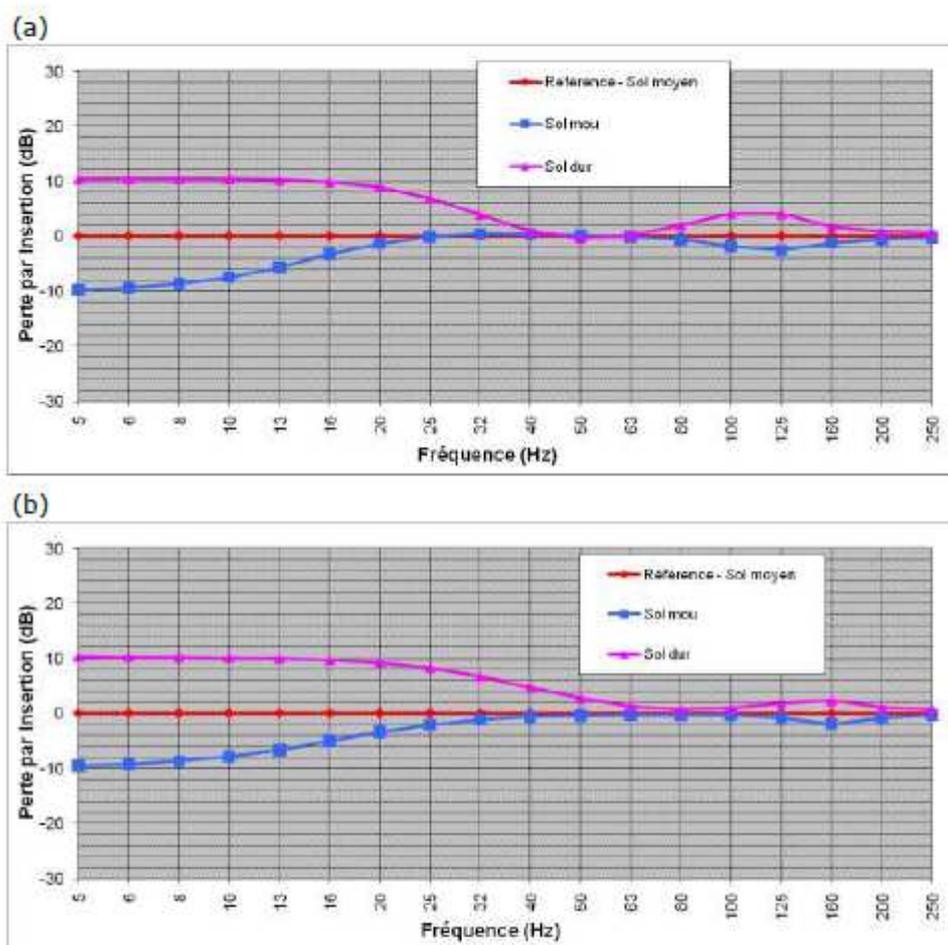


Figure 3.1.6 : Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet du type de sol ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.1.7 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 1 (traverse sans selle) – Effet du type de sol (référence sol moyen).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Sol mou	0.3	0.1	-0.1	-0.6	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4
Sol dur	0.9	-0.4	0.2	2.0	4.7	2.8	1.3	0.7



ER-712-080014-712-BAT

16/67

Ces résultats permettent de faire les remarques suivantes :

- L'effet de la variation de masse du rail sur la perte par insertion est négligeable.
- Une diminution de moitié de la raideur de la semelle sous rail par rapport au cas de base permet d'améliorer la perte par insertion au dessus de 100 Hz.
- L'effet de la variation de masse de la traverse sur la perte par insertion est négligeable.
- L'effet de la distance entre traverse sur la perte par insertion apparait à partir du tiers d'octave 100 ou 125 Hz (suivant le type de matériel roulant). Un espacement plus important entre traverse permet de diminuer la raideur relative du système de pose de voie et donc de diminuer la pollution vibratoire.
- Une augmentation de l'épaisseur de ballast permet d'améliorer la perte par insertion (système devant plus rigide).
- Le type de sol a une influence importante sur la perte par insertion : un sol dur est préférable à un sol souple (ou mou).

Finalement, l'utilisation d'un autre étage résilient (que seule la semelle sous rail) parait obligatoire pour obtenir une diminution de la pollution vibratoire.



3.2 - Groupe 2 : Traverse avec selle

Dans ce cas, un deuxième étage résilient est ajouté par l'intermédiaire d'une semelle sous selle ; la semelle sous rail est bien entendu conservée. Le Tableau 3.2.1 rappelle le cas de référence et les différentes variations utilisées pour l'étude paramétrique portant sur un système de pose de voie avec ces deux éléments résilients (une semelle sous rail et une semelle sous selle).

Tableau 3.2.1 : Systèmes avec selle considérés.

Éléments	Base	Variations
Rail	UIC60 60 kg/m	50 et 100 kg/m sans changement de EI 100kg/m avec EI*2
Semelle sous rail	220 MN/m	100, 300 et 400 MN/m
Selle	20 kg	Aucune variation
Semelle sous selle	200 MN/m	20, 50, 100 et 400 MN/m
Traverse	300 kg	200, 400, 500 et 600 kg
Travelage	0.6 m	0.5, 0.7, 0.8 et 0.9 m
Épaisseur du ballast	20 cm	30, 40 et 50 cm
Sol	Moyen	Mou et Dur

Les Figures 3.2.1 à 3.2.7 montrent la perte par insertion obtenue pour les différentes variations des paramètres par rapport au cas de base, pour un matériel roulant de type fret et TER. Les Tableaux 3.2.2 à 3.2.8 détaillent la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz.

Les déflexions statiques pour les différentes raideurs de semelle sous selle pour la semelle sous rail de 220 MN/m sont les suivantes :

- 0.9 mm pour 200 MN/m,
- 5.1 mm pour 20 MN/m,
- 2.3 mm pour 50 MN/m,
- 1.4 mm pour 100 MN/m et
- 0.66 mm pour 400 MN/m.

Ces valeurs respectent donc globalement la condition sur la déflexion statique maximale de 2 mm, sauf pour la raideur sous selle considérée la plus faible (20 MN/m) et celle de 50 MN/m (qui dépasse légèrement cette valeur limite). Pour une semelle sous rail plus faible ces valeurs de déflexion statique augmentent légèrement : par exemple pour une semelle sous rail de 50 MN/m et une semelle sous selle de 50 MN/m la déflexion statique augmenterait à 2.8 mm.

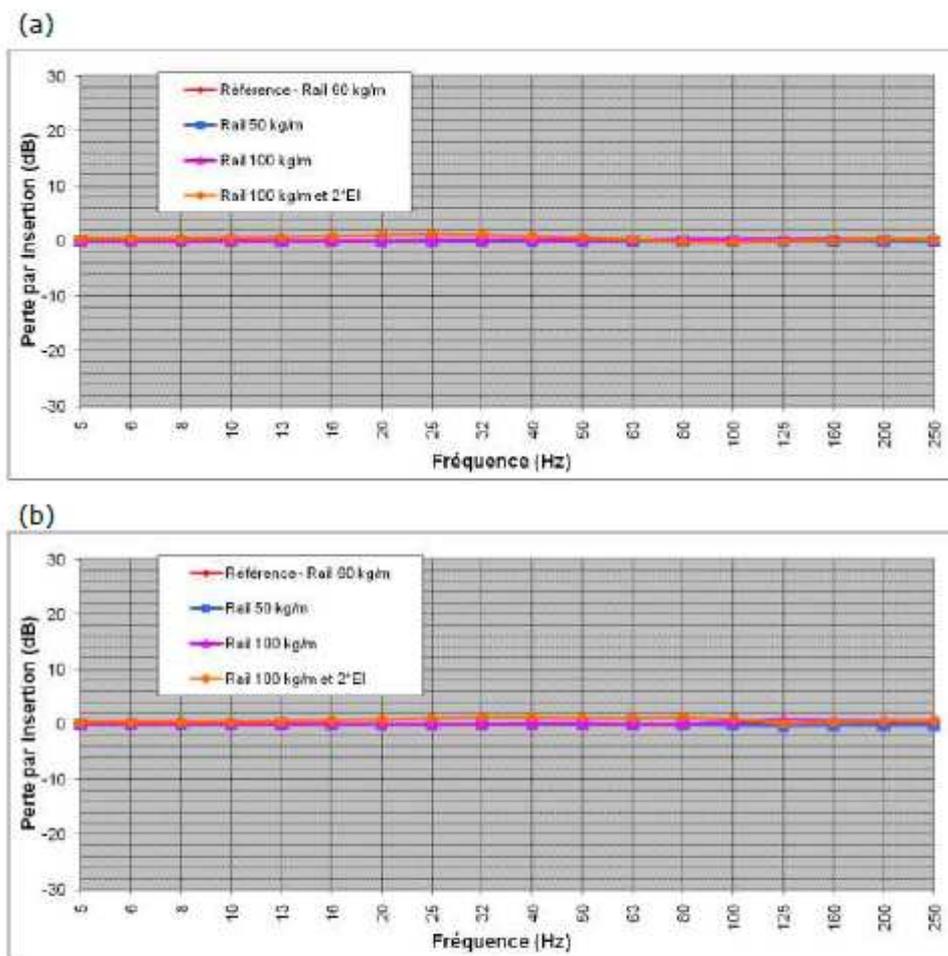


Figure 3.2.1 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de la masse du rail ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.2.2 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de la masse du rail (référence 60 kg/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Rail 50 kg/m	-0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Rail 100 kg/m	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	-0.1
Rail 100 kg/m et EI*2	0.9	0.6	0.3	-0.1	1.3	1.2	1.1	1.3

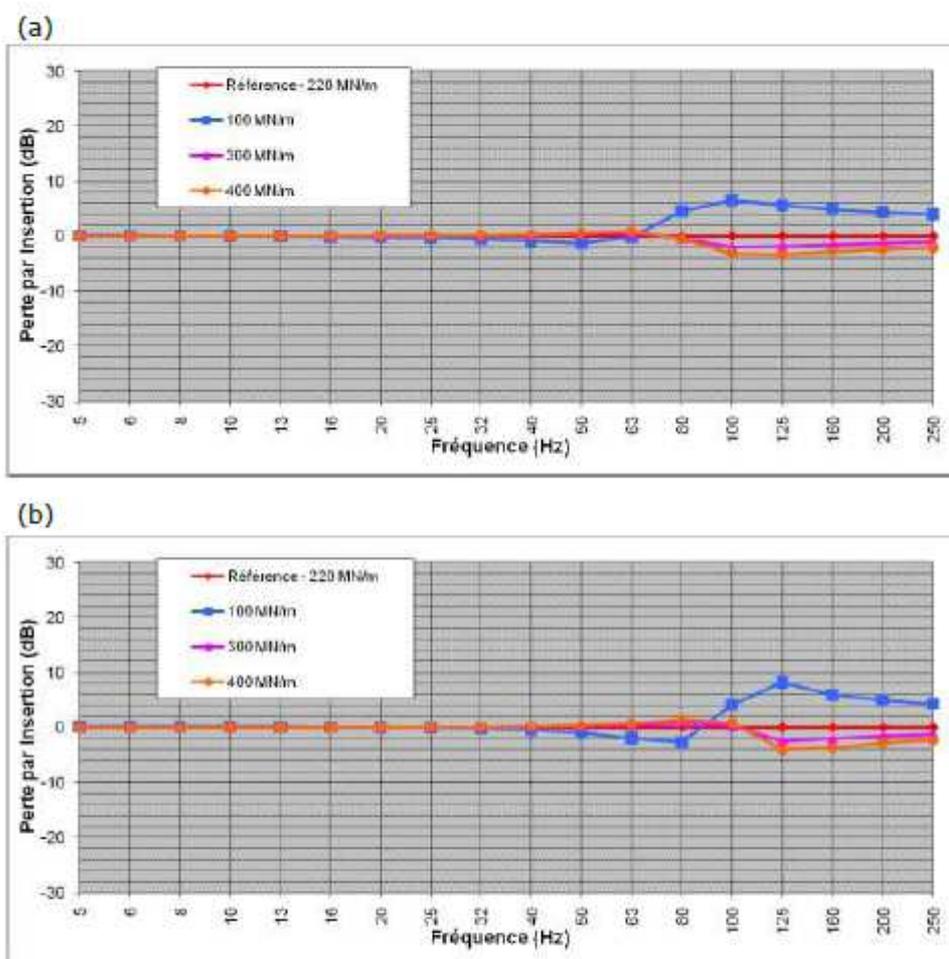


Figure 3.2.2 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de la raideur de la semelle sous rail ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.2.3 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de la raideur de la semelle sous rail (référence 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
100 MN/m	-0.9	-1.3	-0.2	4.5	-0.5	-1.0	-2.0	-2.7
300 MN/m	0.2	0.4	0.5	-0.5	0.1	0.2	0.4	0.9
400 MN/m	0.3	0.6	0.9	-0.5	0.2	0.4	0.7	1.4

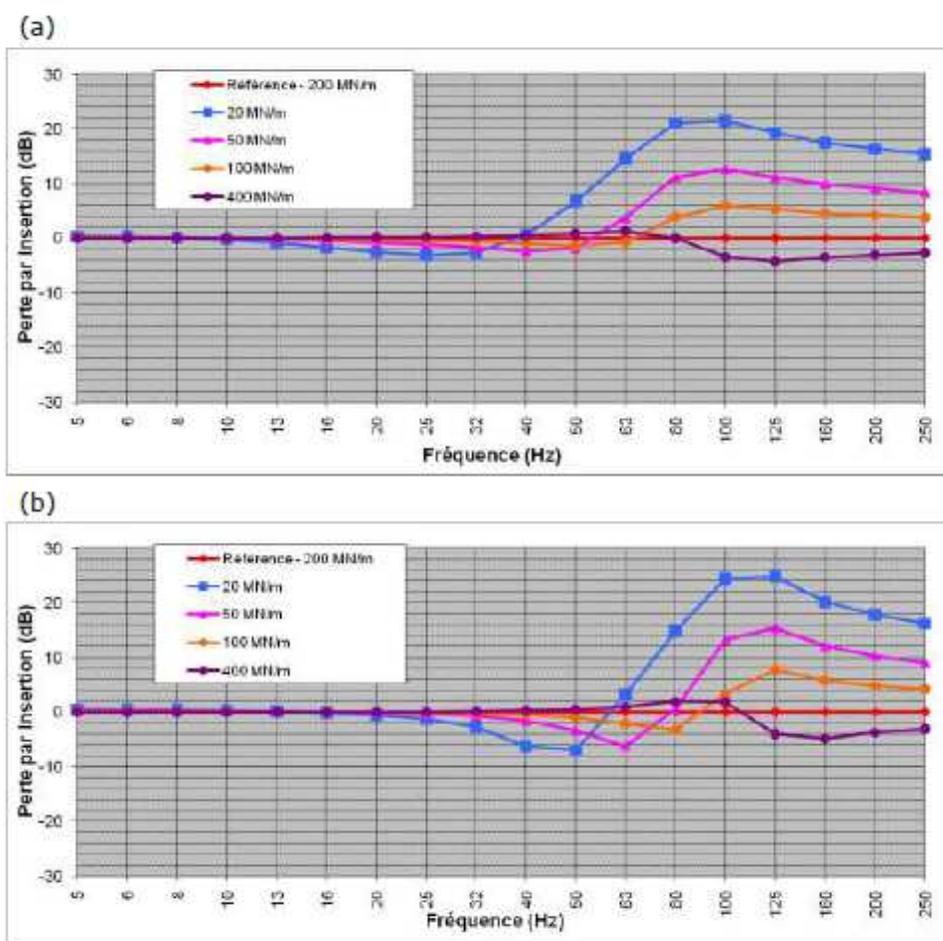


Figure 3.2.3 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de la raideur de la semelle sous selle ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.2.4 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de la raideur de la semelle sous selle (référence 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
20 MN/m	0.6	6.7	14.5	21.0	-6.2	-7.0	3.2	14.8
50 MN/m	-2.4	-1.8	3.7	11.2	-1.6	-3.4	-6.2	0.5
100 MN/m	-0.9	-1.5	-0.7	3.8	-0.5	-1.0	-2.1	-3.3
400 MN/m	0.5	0.8	1.3	0.0	0.3	0.5	0.9	1.9

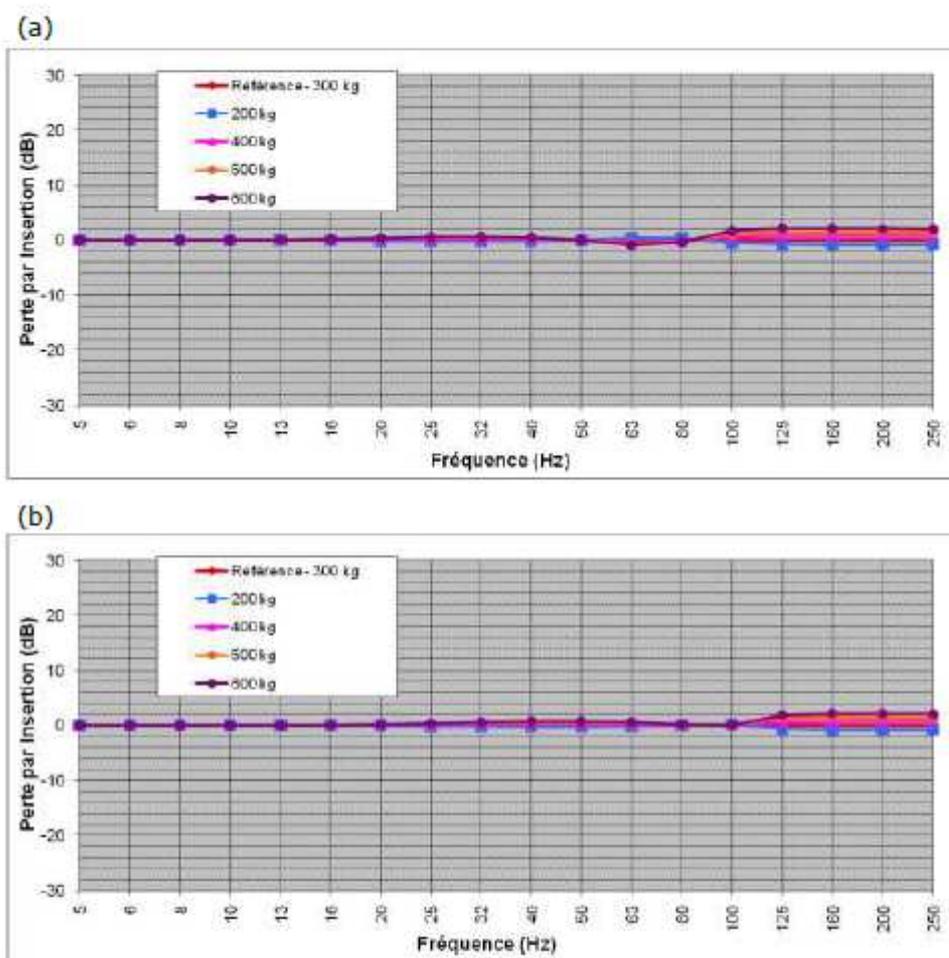


Figure 3.2.4 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de la masse de la traverse ;
(a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.2.5 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle) –
Effet de la masse de la traverse (référence 300 kg).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
200 kg	-0.2	0.0	0.3	0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.0
400 kg	0.1	0.0	-0.3	-0.2	0.2	0.2	0.2	0.0
500 kg	0.3	0.0	-0.6	-0.3	0.5	0.5	0.4	0.1
600 kg	0.4	-0.0	-0.8	-0.4	0.7	0.7	0.5	0.2

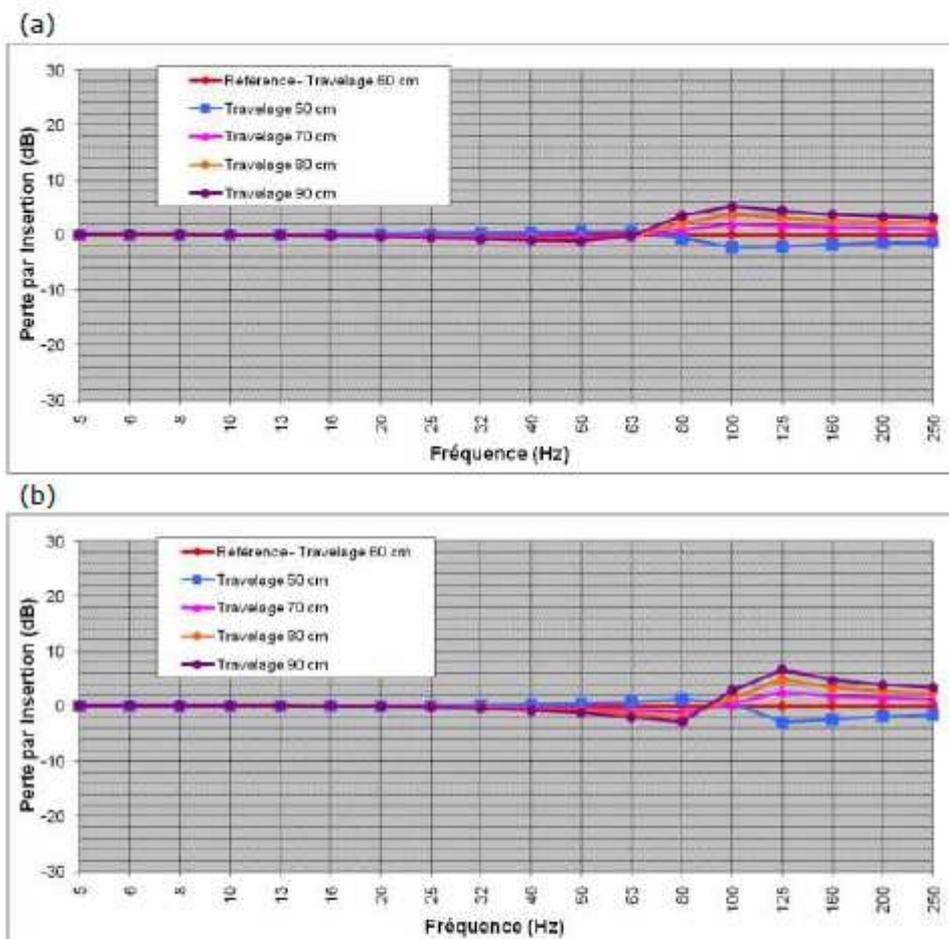


Figure 3.2.5 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de la distance entre traverse (travelage) ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.2.6 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de la distance entre traverse (travelage référence 60 cm).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
50 cm	0.4	0.5	0.6	-0.6	0.3	0.5	0.7	1.3
70 cm	-0.4	-0.5	-0.3	1.0	-0.3	-0.4	-0.7	-1.2
80 cm	-0.7	-0.9	-0.4	2.3	-0.5	-0.8	-1.3	-2.2
90 cm	-0.9	-1.2	-0.2	3.5	-0.7	-1.1	-2.0	-2.8

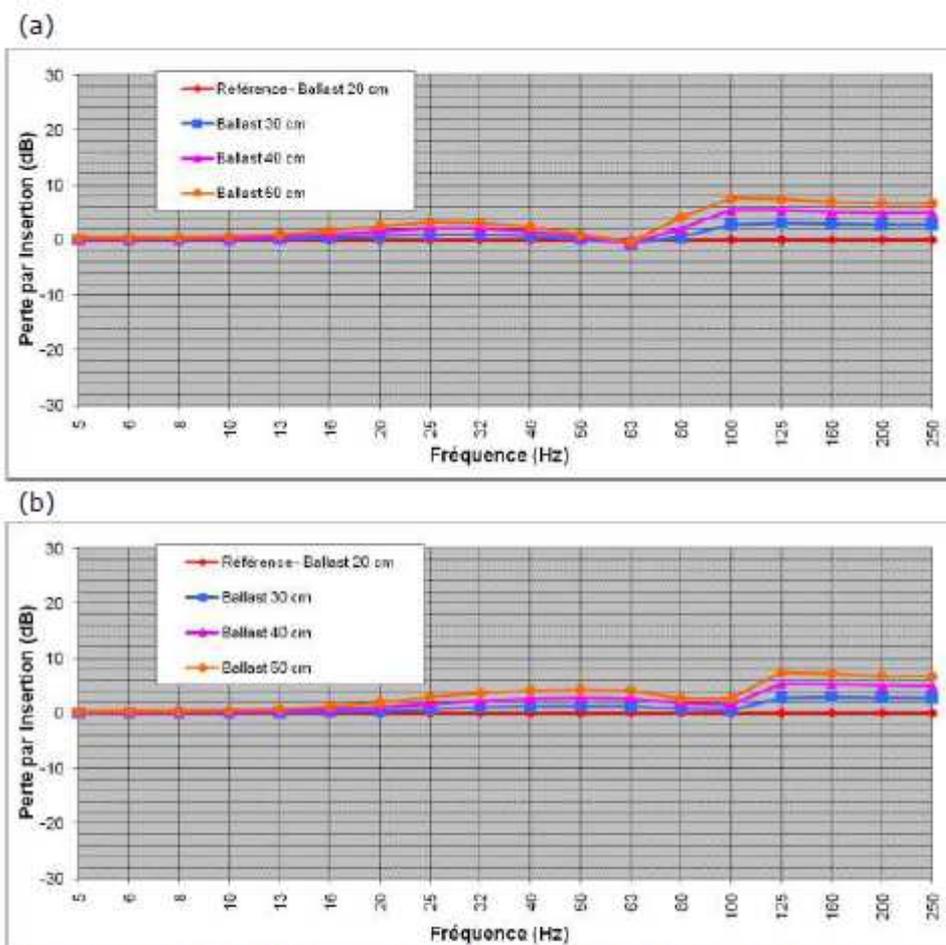


Figure 3.2.6 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de l'épaisseur de ballast ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.2.7 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet de l'épaisseur de ballast (référence 20 cm).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
30 cm	0.8	0.2	-0.6	0.5	1.3	1.3	1.3	0.9
40 cm	1.6	0.6	-0.8	2.1	2.6	2.8	2.7	1.8
50 cm	2.4	1.0	-0.5	4.1	4.1	4.2	4.1	2.7

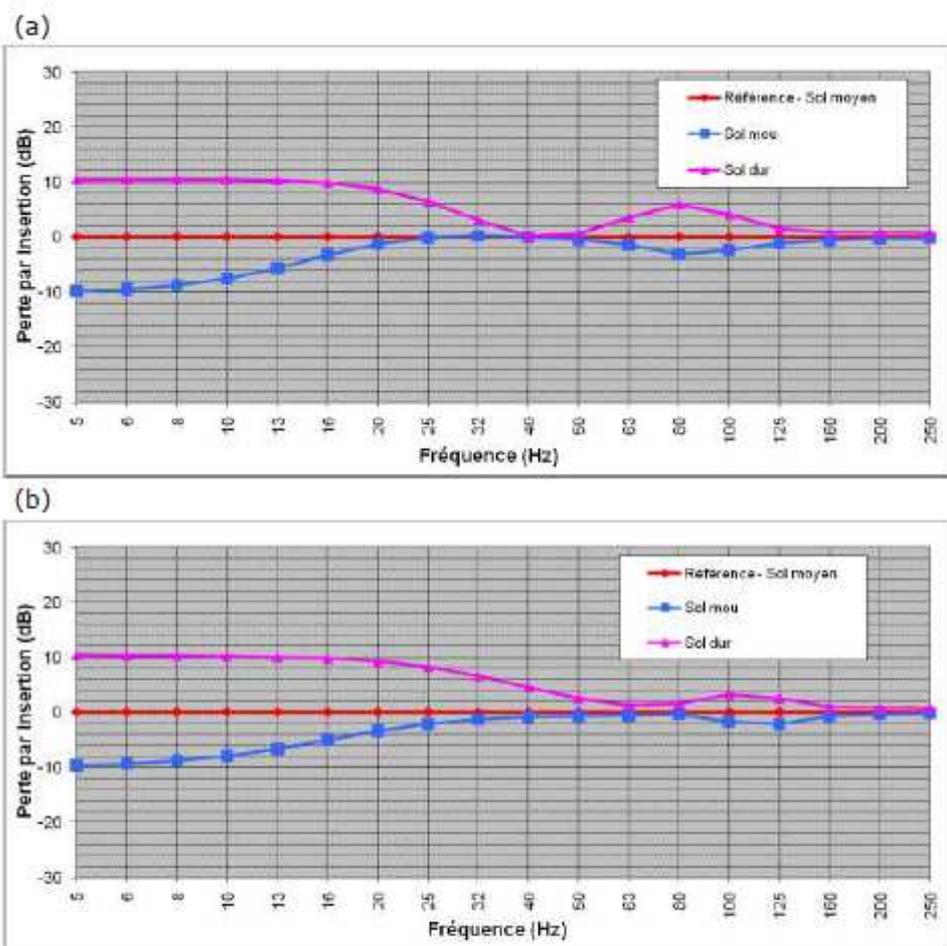


Figure 3.2.7 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet du type de sol ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.2.8 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet du type de sol (référence sol moyen).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Sol mou	0.0	-0.4	-1.4	-3.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.4
Sol dur	0.2	0.6	3.6	6.0	4.5	2.6	1.3	1.5



ER-712-080014-712-BAT

25/67

Les remarques notées précédemment pour le Groupe 1 restent valables. La présence d'une semelle sous selle très souple (20 MN/m) permet d'obtenir une perte par insertion positive à partir du tiers d'octave 50 Hz pour le fret et 63 Hz pour le TER. Cette valeur de raideur pour la semelle sous selle (20 MN/m) n'est cependant pas envisageable au vue de la déflexion statique, évaluée autour de 5 mm, bien supérieure au maximum fixé (2 mm).

La Figure 3.2.8 montre l'effet combiné d'une variation de la raideur de la semelle sous rail et de la semelle sous selle. Le cas de base correspond à une semelle sous rail (SsR) de 220 MN/m et une semelle sous selle (SsS) de 200 MN/m. Le Tableau 3.2.9 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. On notera que l'effet de la semelle sous selle est dominant dans la perte par insertion. La diminution de la raideur de la semelle sous rail permet d'améliorer la perte par insertion pour les tiers d'octave situés au dessus de celui correspond au minimum de la perte par insertion (soit 63 Hz pour une semelle sous selle de 50 MN/m), cette amélioration est dotant plus importante que la raideur de la semelle sous selle est importante. Cependant pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz, l'effet d'une diminution de la raideur de la semelle sous rail n'est pas bénéfique sur la perte par insertion.

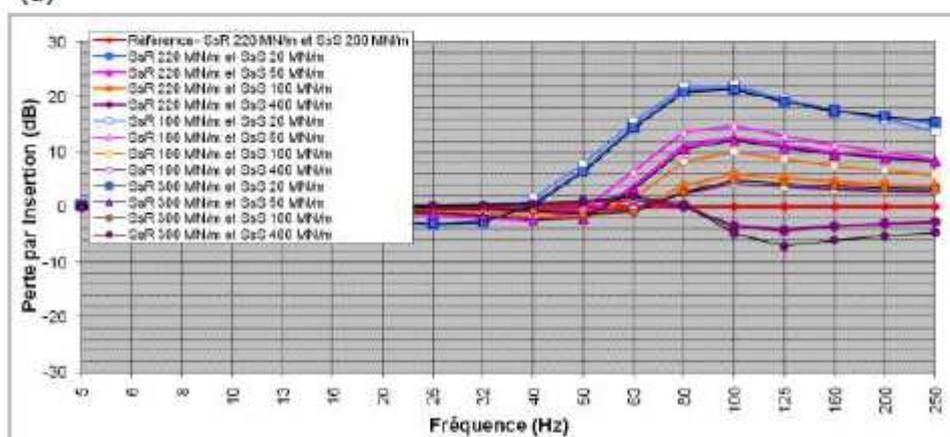
La Figure 3.2.9 montre l'effet combiné d'une variation de la raideur de la semelle sous selle et du travelage. Le cas de base correspond à un travelage de 60 cm et une semelle sous selle (SsS) de 200 MN/m. Le Tableau 3.2.10 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. Encore une fois, l'effet de la semelle sous selle est dominant dans la perte par insertion. L'augmentation de la distance entre traverse (augmentation du travelage, associée à une diminution de la raideur par unité de longueur de la voie) permet d'améliorer la perte par insertion pour les tiers d'octave situés au dessus de celui correspond au minimum de la perte par insertion (soit 63 Hz pour une semelle sous selle de 50 MN/m et un travelage de 60 cm). Pour les raideurs de la semelle sous selle de 100 et 400 MN/m, une diminution de la distance entre traverse permet d'améliorer la perte par insertion aux tiers d'octave entre 40 et 80 Hz.

La Figure 3.2.10 montre l'effet combiné d'une variation de la raideur de la semelle sous selle et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 50 cm. Le cas de base correspond à un travelage de 60 cm, une épaisseur de ballast de 20 cm et une semelle sous selle (SsS) de 200 MN/m. Le Tableau 3.2.11 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. Une augmentation de l'épaisseur de ballast permet une amélioration de la perte par insertion sur tous les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz seulement pour les semelles sous selle de raideur 100 et 400 MN/m.

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

La Figure 3.2.11 montre l'effet combiné d'une variation de la raideur de la semelle sous selle et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 70 cm. Le cas de base correspond à un travelage de 60 cm, une épaisseur de ballast de 20 cm et une semelle sous selle (SsS) de 200 MN/m. Le Tableau 3.2.12 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. La perte par insertion pour les tiers d'octave 63 et 80 Hz est généralement améliorée en augmentant l'épaisseur du ballast.

(a)



(b)

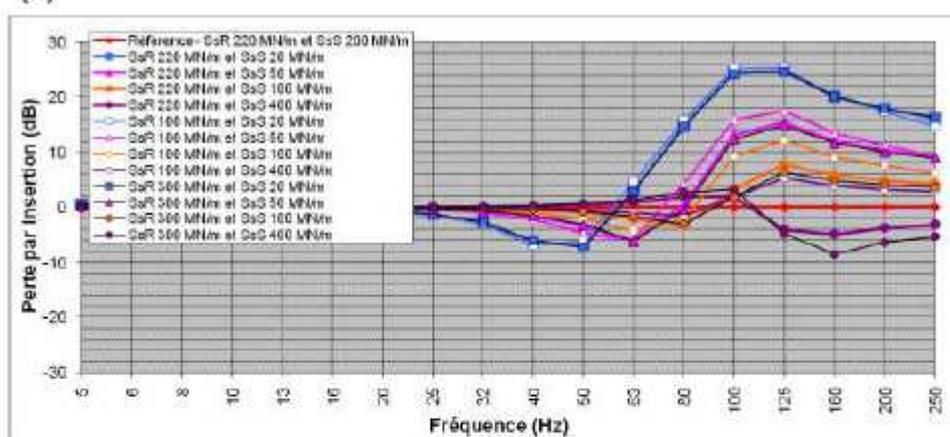


Figure 3.2.8 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous rail et de la semelle sous selle ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.2.9 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous rail et de la semelle sous selle (référence Semelle sous Rail 220 MN/m et Semelle sous Selle 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
SsR 100 MN/m SsS 20 MN/m	1.7	7.9	15.6	21.9	-6.9	-6.1	4.7	15.8
SsR 100 MN/m SsS 50 MN/m	-2.5	-0.4	6.4	13.7	-2.2	-4.6	-6.0	4.3
SsR 100 MN/m SsS 100 MN/m	-1.7	-1.9	1.5	8.3	-1.0	-2.1	-4.2	-2.2
SsR 100 MN/m SsS 400 MN/m	-0.4	-0.7	-0.3	2.5	-0.2	-0.5	-1.0	-1.6
SsR 220 MN/m SsS 20 MN/m	0.6	6.7	14.5	21.0	-6.2	-7.0	3.2	14.8
SsR 220 MN/m SsS 50 MN/m	-2.4	-1.8	3.7	11.2	-1.6	-3.4	-6.2	0.5
SsR 220 MN/m SsS 100 MN/m	-0.9	-1.5	-0.7	3.8	-0.5	-1.0	-2.1	-3.3
SsR 220 MN/m SsS 400 MN/m	0.5	0.8	1.3	0.0	0.3	0.5	0.9	1.9
SsR 300 MN/m SsS 20 MN/m	0.4	6.5	14.3	20.8	-6.1	-7.1	2.8	14.6
SsR 300 MN/m SsS 50 MN/m	-2.3	-2.0	3.1	10.5	-1.5	-3.1	-6.0	-0.4
SsR 300 MN/m SsS 100 MN/m	-0.8	-1.2	-0.9	2.7	-0.4	-0.8	-1.6	-3.0
SsR 300 MN/m SsS 400 MN/m	0.7	1.2	1.9	0.6	0.3	0.7	1.4	2.7
SsR 400 MN/m SsS 20 MN/m	0.2	6.3	14.1	20.7	-6.0	-7.2	2.6	14.4
SsR 400 MN/m SsS 50 MN/m	-2.3	-2.2	2.6	10.1	-1.4	-2.9	-5.8	-1.0
SsR 400 MN/m SsS 100 MN/m	-0.6	-1.0	-1.0	1.9	-0.3	-0.6	-1.3	-2.6
SsR 400 MN/m SsS 400 MN/m	0.8	1.4	2.4	1.3	0.4	0.8	1.6	3.3
SsR Rigide SsS 20 MN/m	-0.3	5.7	13.6	20.3	-5.6	-7.5	1.7	13.9
SsR Rigide SsS 50 MN/m	-2.0	-2.4	1.3	8.5	-1.2	-2.4	-5.1	-2.7
SsR Rigide SsS 100 MN/m	-0.2	-0.3	-0.6	-0.3	-0.1	-0.2	-0.4	-1.0
SsR Rigide SsS 400 MN/m	1.2	2.2	3.7	3.8	0.6	1.2	2.4	4.8

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

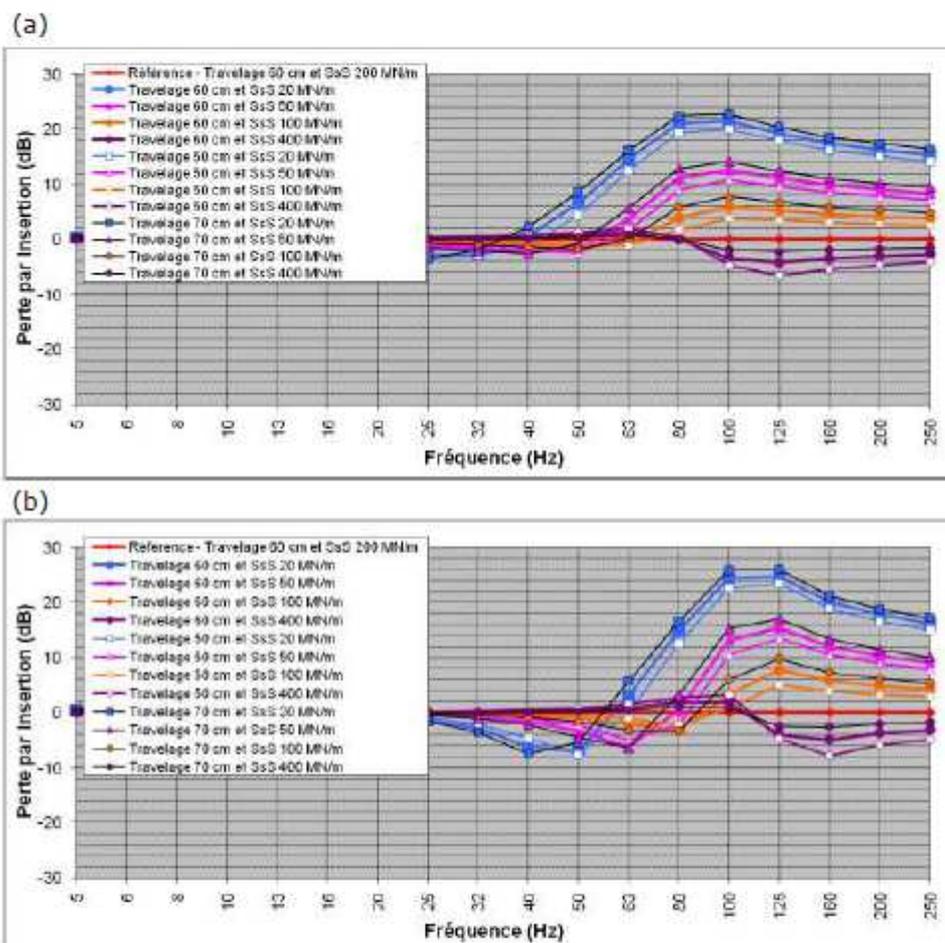


Figure 3.2.9 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous selle et du travelage ; (a) Fret et (b) TER.



**Tableau 3.2.10 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle)
– Effet combiné de la raideur de la semelle sous selle et du travelage (référence
Travelage de 60 cm et Semelle sous Selle 200 MN/m).**

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Travelage 50 cm SsS 20 MN/m	-1.2	4.4	12.5	19.3	-4.7	-7.6	-0.1	12.6
Travelage 50 cm SsS 50 MN/m	-2.0	-2.4	1.6	9.0	-1.0	-2.3	-5.0	-2.2
Travelage 50 cm SsS 100 MN/m	-0.4	-0.9	-1.0	1.7	-0.1	-0.4	-1.0	-2.2
Travelage 50 cm SsS 400 MN/m	0.8	1.3	1.9	0.4	0.5	0.9	1.5	2.8
Travelage 60 cm SsS 20 MN/m	0.6	6.7	14.5	21.0	-6.2	-7.0	3.2	14.8
Travelage 60 cm SsS 50 MN/m	-2.4	-1.8	3.7	11.2	-1.6	-3.4	-6.2	0.5
Travelage 60 cm SsS 100 MN/m	-0.9	-1.5	-0.7	3.8	-0.5	-1.0	-2.1	-3.3
Travelage 60 cm SsS 400 MN/m	0.5	0.8	1.3	0.0	0.3	0.5	0.9	1.9
Travelage 70 cm SsS 20 MN/m	2.4	8.6	16.2	22.5	-7.4	-5.4	5.7	16.6
Travelage 70 cm SsS 50 MN/m	-2.6	-0.8	5.7	13.0	-2.2	-4.5	-6.3	3.3
Travelage 70 cm SsS 100 MN/m	-1.4	-1.8	0.1	5.8	-0.9	-1.6	-3.2	-3.4
Travelage 70 cm SsS 400 MN/m	0.2	0.4	0.8	0.0	0.0	0.1	0.4	1.1

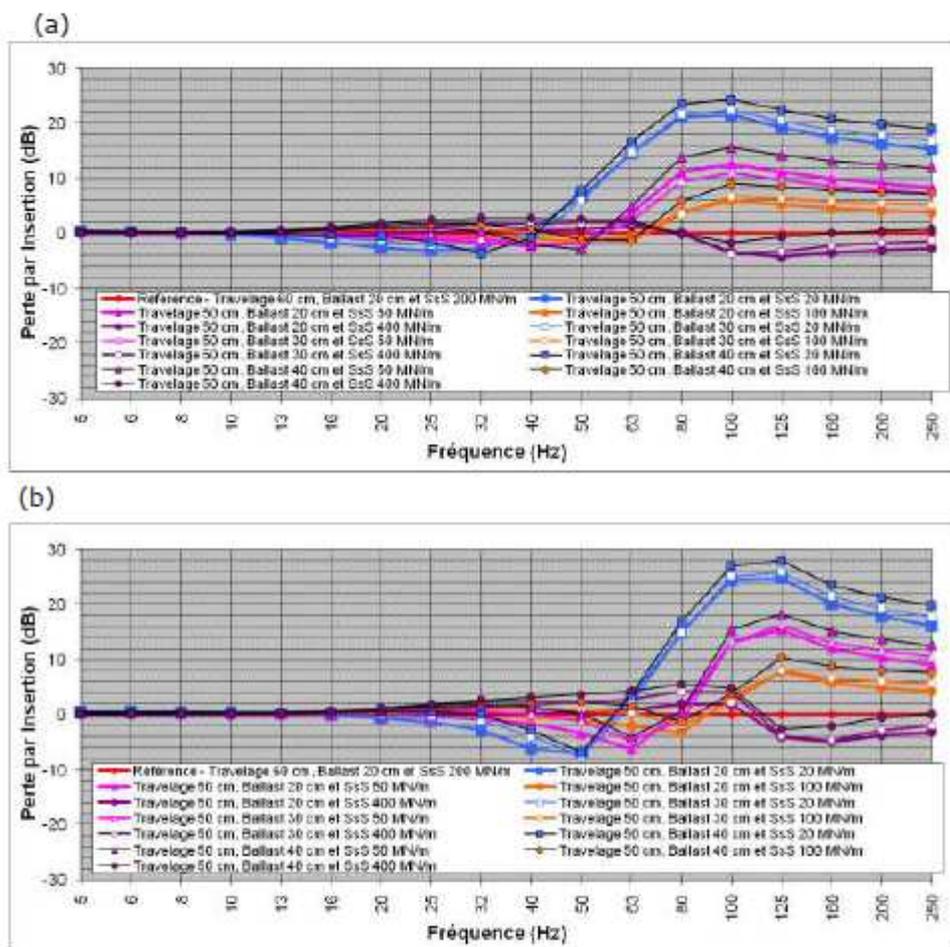


Figure 3.2.10 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous selle, et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 50 cm ; (a) Fret et (b) TER.



**Tableau 3.2.11 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle)
– Effet combiné de la raideur de la semelle sous selle, et de l'épaisseur de ballast
pour un travelage de 50 cm (référence Travelage de 60 cm, Ballast 20 cm et
Semelle sous Selle 200 MN/m).**

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Travelage 50 cm Ballast 20 cm SsS 20 MN/m	0.6	6.7	14.5	21.0	-6.2	-7.0	3.2	14.8
Travelage 50 cm Ballast 20 cm SsS 50 MN/m	-2.4	-1.8	3.8	11.2	-1.6	-3.4	-6.1	0.5
Travelage 50 cm Ballast 20 cm SsS 100 MN/m	-0.9	-1.5	-0.7	3.8	-0.5	-1.0	-2.1	-3.3
Travelage 50 cm Ballast 20 cm SsS 400 MN/m	0.5	0.8	1.3	0.0	0.3	0.4	0.9	1.9
Travelage 50 cm Ballast 30 cm SsS 20 MN/m	-1.4	6.0	14.7	21.6	-3.9	-7.4	1.8	14.9
Travelage 50 cm Ballast 30 cm SsS 50 MN/m	-1.8	-1.9	2.3	9.5	0.1	-1.2	-4.6	-1.0
Travelage 50 cm Ballast 30 cm SsS 100 MN/m	0.1	-1.1	-1.6	3.6	1.1	0.9	0.2	-1.9
Travelage 50 cm Ballast 30 cm SsS 400 MN/m	1.7	1.9	2.0	-0.2	1.8	2.2	2.9	4.1
Travelage 50 cm Ballast 40 cm SsS 20 MN/m	-0.8	7.8	16.7	23.5	-2.9	-6.8	3.7	16.9
Travelage 50 cm Ballast 40 cm SsS 50 MN/m	-2.0	-2.9	5.0	13.9	1.4	0.2	-4.1	0.5
Travelage 50 cm Ballast 40 cm SsS 100 MN/m	0.8	-1.0	-1.2	5.9	2.5	2.3	1.5	-1.4
Travelage 50 cm Ballast 40 cm SsS 400 MN/m	2.7	2.6	2.2	-0.1	3.2	3.7	4.3	5.5

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

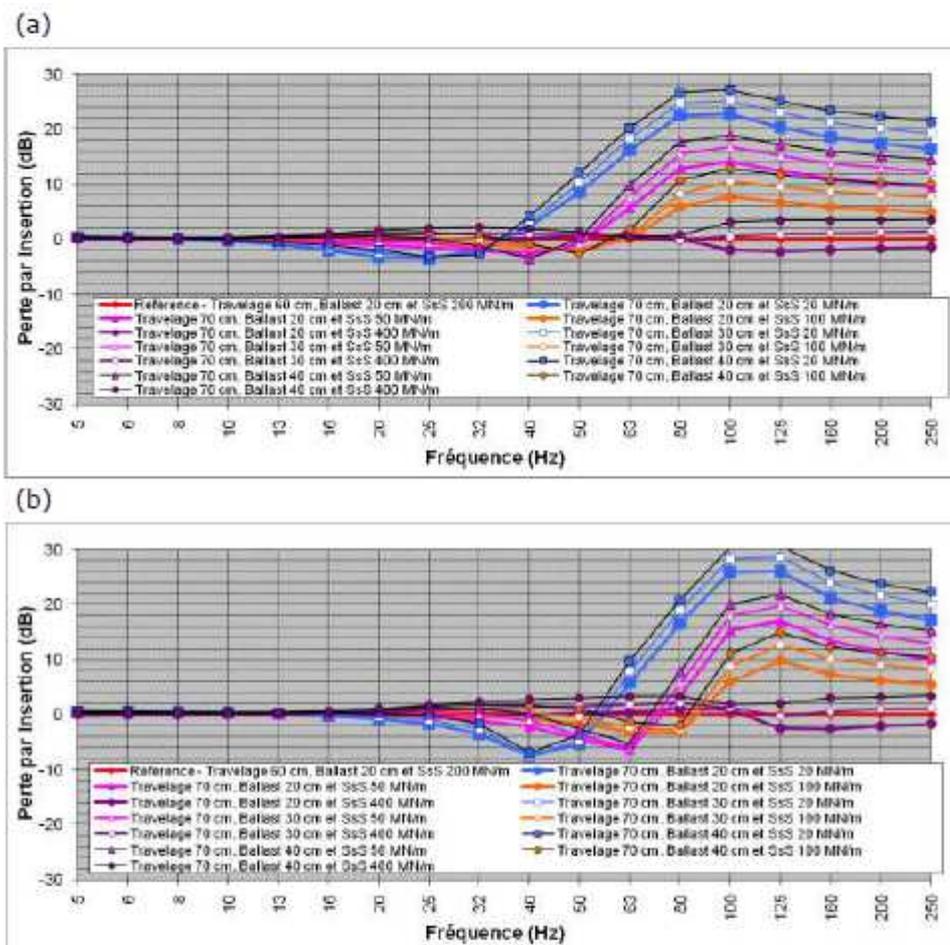


Figure 3.2.11 : Groupe 2 (traverse avec selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous selle, et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 70 cm ; (a) Fret et (b) TER.



**Tableau 3.2.12 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (traverse avec selle)
– Effet combiné de la raideur de la semelle sous selle, et de l'épaisseur de ballast
pour un travelage de 70 cm (référence Travelage de 60 cm, Ballast 20 cm et
Semelle sous Selle 200 MN/m).**

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Travelage 70 cm Ballast 20 cm SsS 20 MN/m	3.4	8.6	16.2	22.5	-7.4	-5.4	5.7	16.6
Travelage 70 cm Ballast 20 cm SsS 50 MN/m	-2.6	-0.8	5.7	13.0	-2.2	-4.5	-6.3	3.3
Travelage 70 cm Ballast 20 cm SsS 100 MN/m	-1.4	-1.8	0.1	5.8	-0.9	-1.6	-3.2	-3.4
Travelage 70 cm Ballast 20 cm SsS 400 MN/m	0.2	0.4	0.8	0.0	0.0	0.2	0.4	1.1
Travelage 70 cm Ballast 30 cm SsS 20 MN/m	2.9	10.4	18.3	24.7	-7.3	-4.8	7.8	18.9
Travelage 70 cm Ballast 30 cm SsS 50 MN/m	-3.2	-0.8	7.7	15.5	-1.1	-3.7	-6.0	5.7
Travelage 70 cm Ballast 30 cm SsS 100 MN/m	-1.1	-2.5	0.4	8.3	0.4	-0.4	-2.4	-2.8
Travelage 70 cm Ballast 30 cm SsS 400 MN/m	1.0	0.8	0.4	-0.1	1.3	1.5	1.8	2.2
Travelage 70 cm Ballast 40 cm SsS 20 MN/m	4.1	12.2	20.2	26.7	-6.9	-3.7	9.8	20.8
Travelage 70 cm Ballast 40 cm SsS 50 MN/m	-3.5	0.2	9.9	17.7	0.2	-2.7	-5.2	7.9
Travelage 70 cm Ballast 40 cm SsS 100 MN/m	-0.8	-2.7	1.8	10.7	1.7	1.0	-1.4	-1.9
Travelage 70 cm Ballast 40 cm SsS 400 MN/m	1.9	1.3	0.3	0.8	2.7	3.0	3.2	3.3

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

3.3 - Groupe 3 : Semelle sous Traverse (sans selle)

Dans ce cas, un deuxième étage résilient est ajouté par l'intermédiaire d'une semelle sous traverse ; la semelle sous rail est conservée et la traverse ne comporte pas de selle. Le Tableau 3.3.1 rappelle le cas de référence et les différentes variations utilisées pour l'étude paramétrique portant sur un système de pose de voie avec ces deux éléments résilients (une semelle sous rail et une semelle sous traverse).

Tableau 3.3.1 : Systèmes avec semelle sous traverse considérés.

Éléments	Base	Variations
Rail	UIC60 60 kg/m	50 et 100 kg/m sans changement de EI 100kg/m avec EI*2
Semelle sous rail	220 MN/m	100, 300 et 400 MN/m
Traverse	300 kg	200, 400, 500 et 600 kg
Semelle sous traverse	200 MN/m	20, 50, 100 et 400 MN/m
Travelage	0.6 m	0.5, 0.7, 0.8 et 0.9 m
Épaisseur du ballast	20 cm	30, 40 et 50 cm
Sol	Moyen	Mou et Dur

Les Figures 3.3.1 à 3.3.7 montrent la perte par insertion obtenue pour les différentes variations des paramètres par rapport au cas de base, pour un matériel roulant de type fret et TER. Les Tableaux 3.3.2 à 3.3.8 détaillent la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz.

Les déflexions statiques pour les différentes raideurs de semelle sous traverse pour la semelle sous rail de 220 MN/m sont les suivantes :

- 0.9 mm pour 200 MN/m,
- 5.1 mm pour 20 MN/m,
- 2.3 mm pour 50 MN/m,
- 1.4 mm pour 100 MN/m et
- 0.66 mm pour 400 MN/m.

Ces valeurs sont identiques à celles données pour le Groupe 2 et respectent donc globalement la condition sur la déflexion statique maximale de 2 mm, sauf pour la raideur sous selle considérée la plus faible (20 MN/m) et celle de 50 MN/m (qui dépasse légèrement cette valeur limite). Pour une semelle sous rail plus faible ces valeurs de déflexion statique augmentent légèrement : par exemple pour une semelle sous rail de 50 MN/m et une semelle sous selle de 50 MN/m la déflexion statique augmenterait à 2.8 mm.

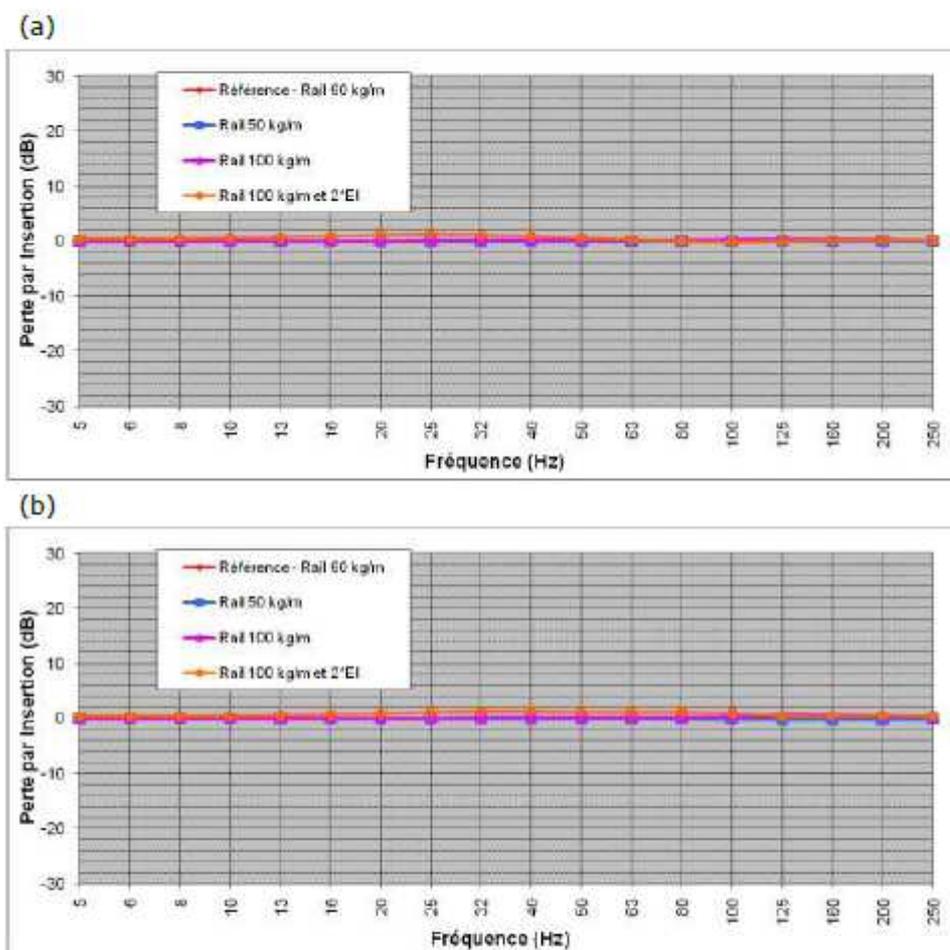


Figure 3.3.1 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la masse du rail ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.3.2 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la masse du rail (référence 60 kg/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Rail 50 kg/m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rail 100 kg/m	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Rail 100 kg/m et EI*2	0.8	0.6	0.3	0.0	1.2	1.2	1.1	1.1

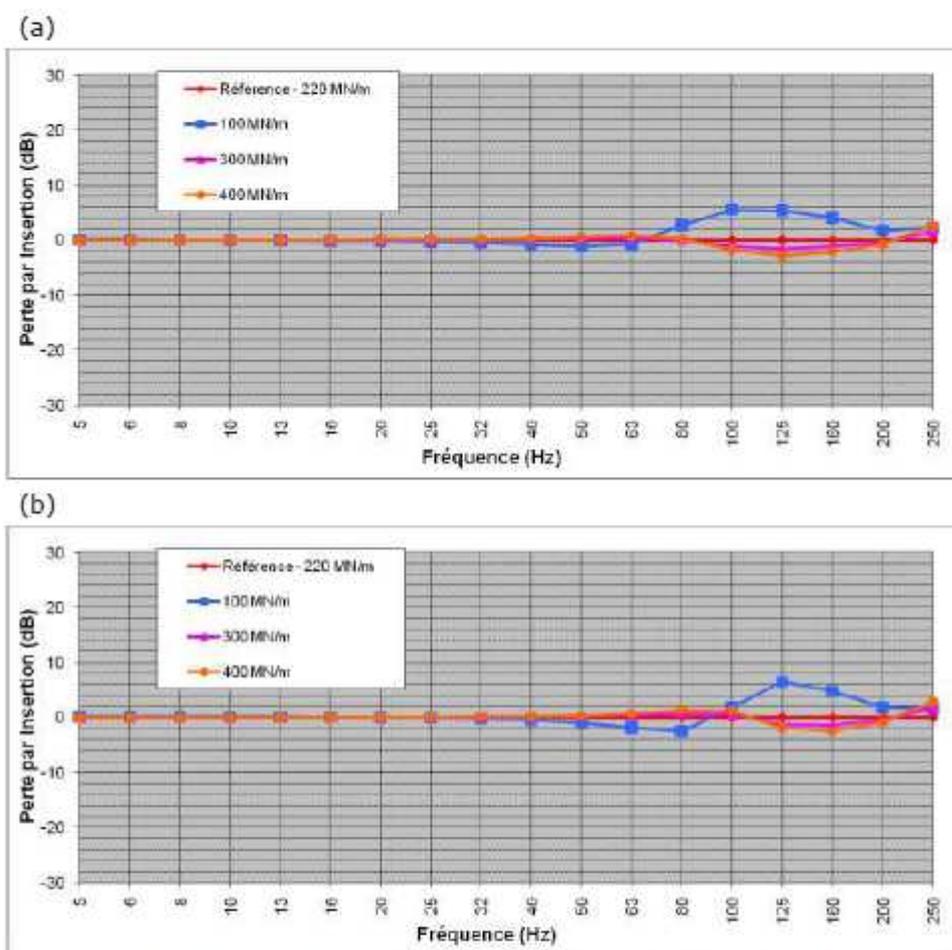


Figure 3.3.2 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la raideur de la semelle sous rail ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.3.3 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la raideur de la semelle sous rail (référence 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
100 MN/m	-0.8	-1.2	-0.7	2.7	-0.5	-0.9	-1.9	-2.6
300 MN/m	0.2	0.3	0.5	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7
400 MN/m	0.3	0.5	0.8	0.3	0.2	0.3	0.7	1.2

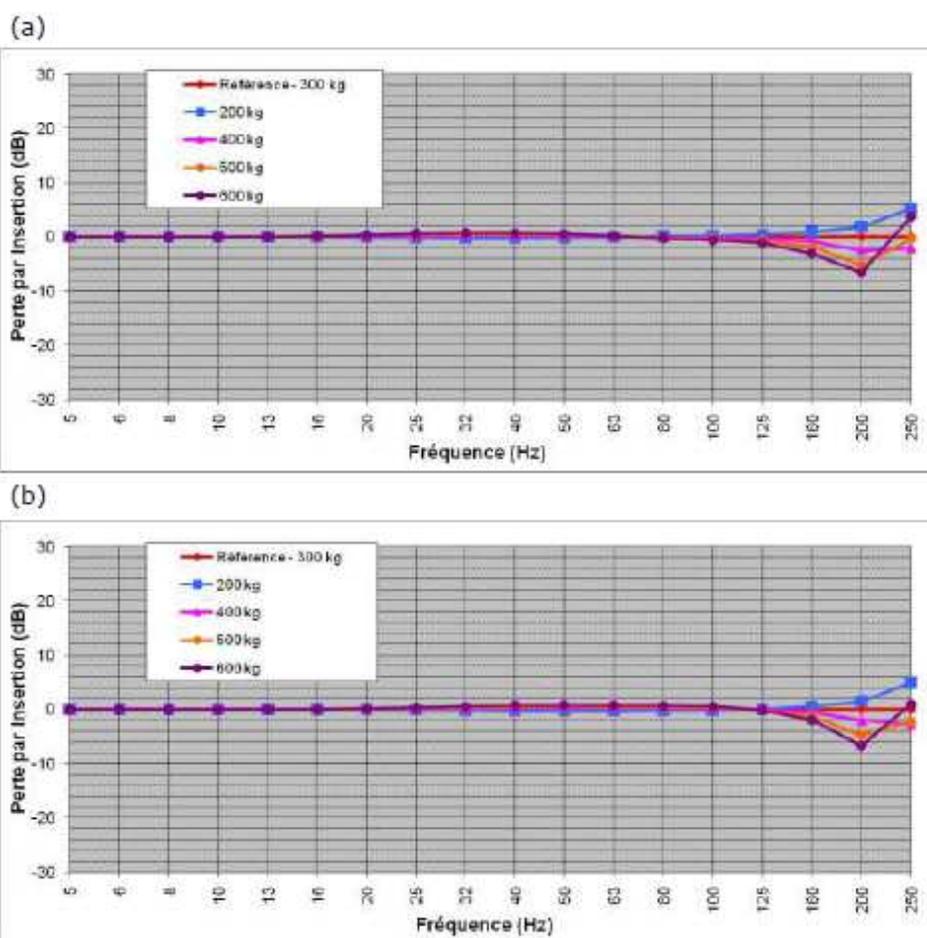


Figure 3.3.3 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la masse de la traverse ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.3.4 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la masse de la traverse (référence 300 kg).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
200 kg	-0.2	-0.2	-0.1	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2
400 kg	0.2	0.2	0.1	-0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
500 kg	0.5	0.4	0.1	-0.2	0.5	0.5	0.5	0.4
600 kg	0.7	0.5	0.2	-0.3	0.7	0.8	0.7	0.6

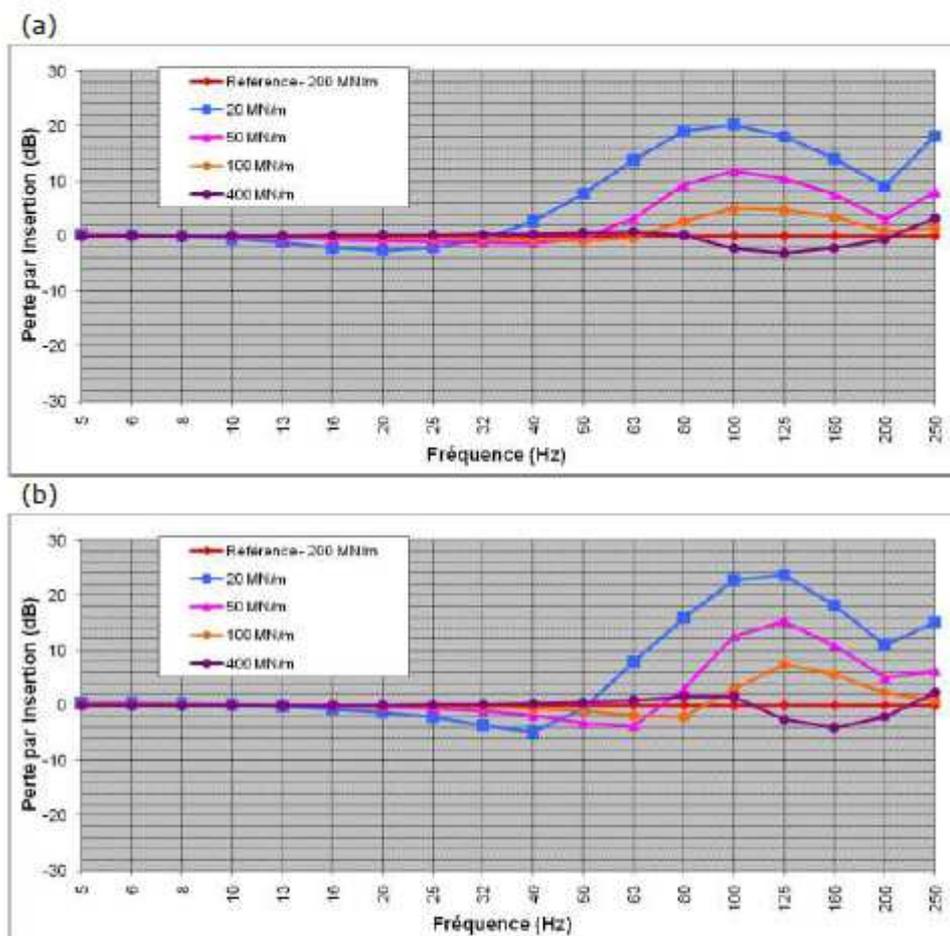


Figure 3.3.4 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la raideur de la semelle sous traverse ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.3.5 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la raideur de la semelle sous traverse (référence 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
20 MN/m	2.7	7.7	13.8	19.0	-4.8	-0.5	7.9	15.9
50 MN/m	-1.3	-0.5	3.3	9.2	-1.9	-3.3	-3.8	3.0
100 MN/m	-0.6	-0.8	-0.3	2.6	-0.6	-1.0	-1.9	-2.2
400 MN/m	0.3	0.5	0.8	0.1	0.3	0.5	0.9	1.6

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

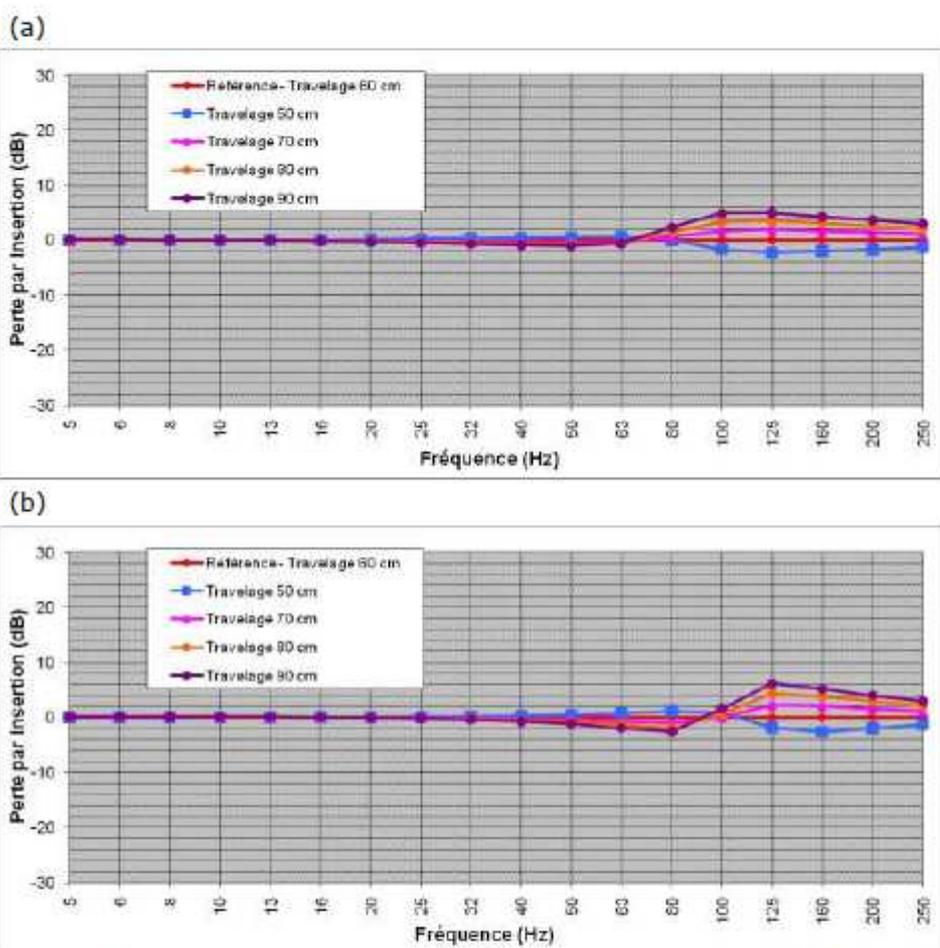


Figure 3.3.5 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la distance entre traverse (travelage) ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.3.6 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de la distance entre traverse (travelage référence 60 cm).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
50 cm	0.4	0.5	0.6	0.0	0.3	0.5	0.7	1.1
70 cm	-0.3	-0.4	-0.4	0.5	-0.3	-0.4	-0.7	-1.1
80 cm	-0.6	-0.8	-0.6	1.3	-0.5	-0.8	-1.3	-1.9
90 cm	-0.9	-1.1	-0.6	2.3	-0.7	-1.1	-1.9	-2.6

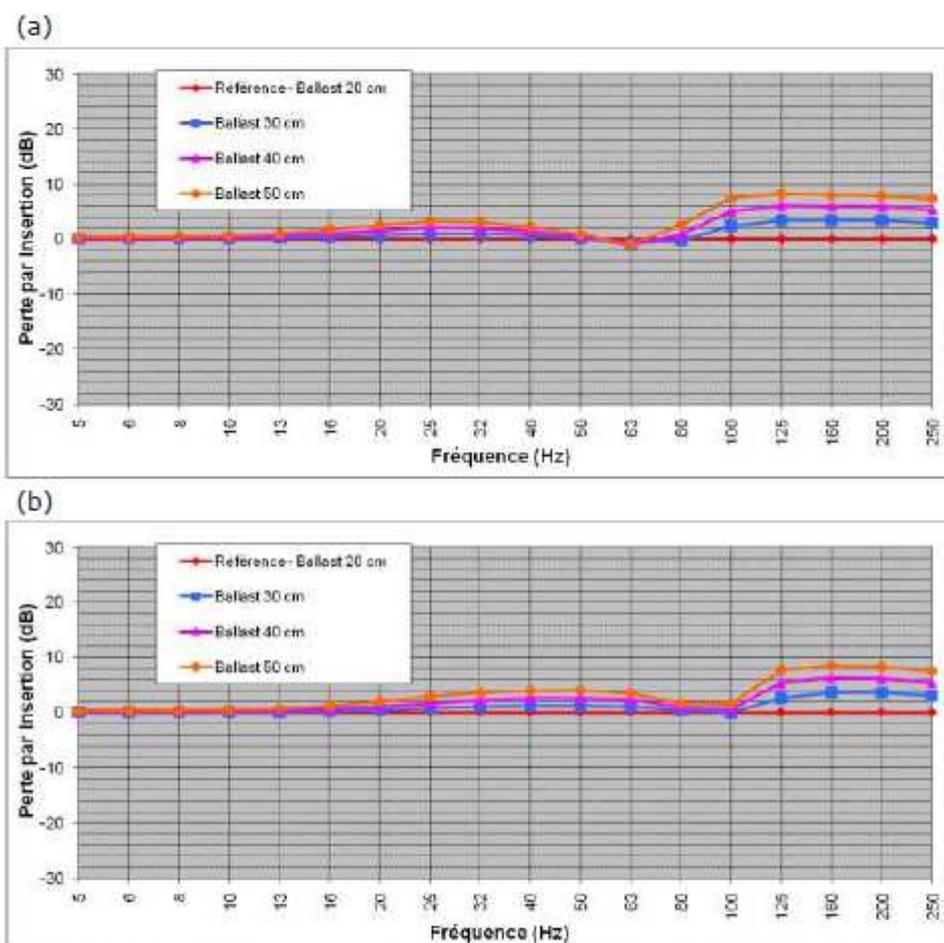


Figure 3.3.6 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de l'épaisseur de ballast ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.3.7 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet de l'épaisseur de ballast (référence 20 cm).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
30 cm	0.7	0.1	-0.8	-0.2	1.2	1.3	1.1	0.4
40 cm	1.5	0.4	-1.1	0.8	2.6	2.6	2.3	1.0
50 cm	2.3	0.8	-1.0	2.5	4.0	4.0	3.6	1.6

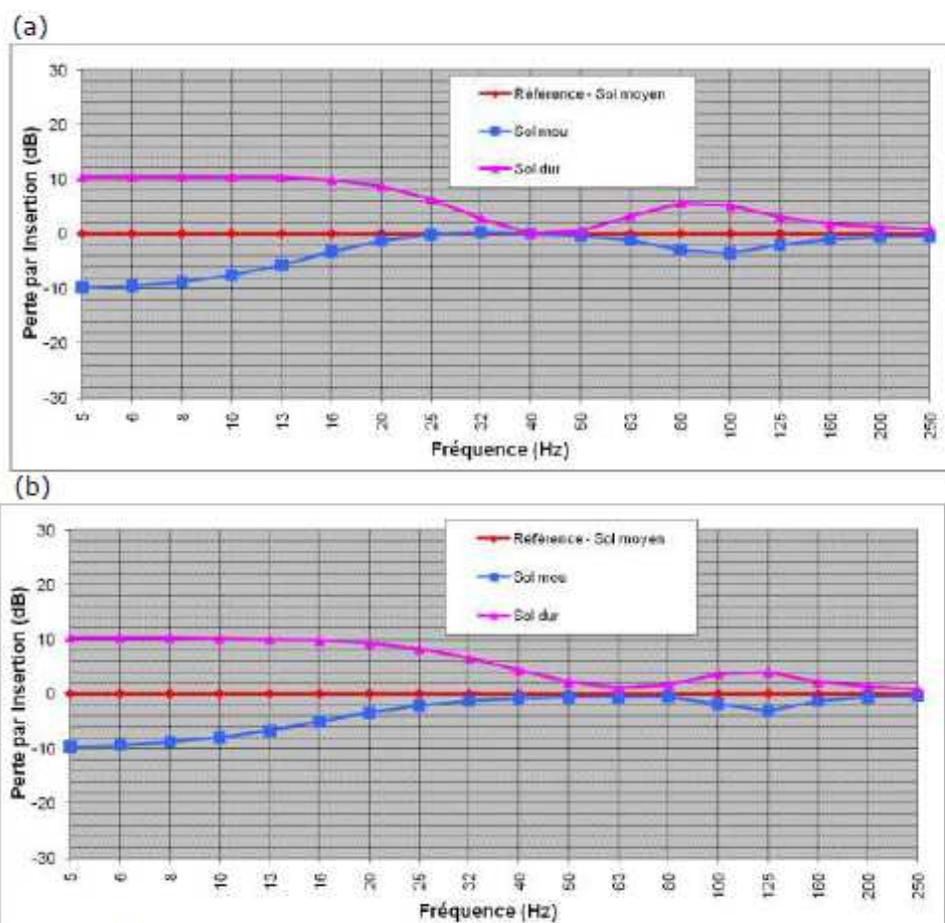


Figure 3.3.7 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet du type de sol ;
(a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.3.8 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet du type de sol (référence sol moyen).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Sol mou	0.0	-0.4	-1.2	-3.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.5
Sol dur	0.0	0.6	3.3	5.7	4.3	2.3	1.1	1.7



ER-712-080014-712-BAT

42/67

Les remarques notées précédemment pour les Groupes 1 et 2 restent globalement valables. La présence d'une semelle sous traverse très souple (20 MN/m) permet d'obtenir une perte par insertion positive à partir du tiers d'octave 40 Hz pour le fret et 63 Hz pour le TER. Cependant à cause de la contrainte sur la déflexion statique, cette raideur n'est pas envisageable en pratique.

La Figure 3.3.8 montre la comparaison en termes de perte par insertion entre une traverse avec une semelle sous selle (Groupe 2) et une traverse avec une semelle sous traverse (Groupe 3) pour des semelles résilientes de 200 MN/m par rapport une pose de voie standard (Groupe 1) avec seulement une semelle sous rail (220 MN/m). Le Tableau 3.3.9 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. On observe que le Groupe 2 et le Groupe 3 correspondent à une performance relativement proche : le Groupe 3 permet d'obtenir une perte par insertion un peu meilleure pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz notamment pour le fret, cependant le Groupe 2 est associée à une meilleure performance au dessus du tiers d'octave 100-125 Hz.

La Figure 3.3.9 montre la comparaison en termes de perte par insertion entre une traverse avec une semelle sous selle (Groupe 2) et une traverse avec une semelle sous traverse (Groupe 3). Pour chacun des types de traverse, le cas de base correspond à une semelle sous selle (SsS) et sous traverse (SsT) de 200 MN/m. Le Tableau 3.3.10 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. Pour une même raideur de semelle, le Groupe 2 et le Groupe 3 correspondent à une performance relativement proche : le Groupe 3 permet d'obtenir une perte par insertion un peu meilleure pour les tiers d'octave autour du minimum de la perte par insertion, alors que le Groupe 2 est associée à une meilleure performance au dessus du tiers d'octave plus élevés.

La Figure 3.3.10 montre l'effet combiné d'une variation de la raideur de la semelle sous rail et de la semelle sous traverse. Le cas de base correspond à une semelle sous rail (SsR) de 220 MN/m et une semelle sous traverse (SsT) de 200 MN/m. Le Tableau 3.3.11 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. On peut observer que l'effet de la semelle sous traverse est dominant pour la perte par insertion, cependant la diminution de la raideur de la semelle sous rail permet d'améliorer la perte par insertion.



ER-712-080014-712-BAT

43/67

La Figure 3.3.11 montre l'effet combiné d'une variation de la raideur de la semelle sous selle et du type de sol. Le cas de base correspond à une semelle sous traverse (SsT) de 200 MN/m et un sol moyen. Le Tableau 3.3.12 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. On retrouve que la perte par insertion des systèmes de pose de voie quelle que soit la raideur de la semelle sous traverse est meilleure sur un sol dur par rapport à un sol moyen et mou.

La Figure 3.3.12 montre l'effet combiné d'une variation de la raideur de la semelle sous selle et du travelage. Le cas de base correspond à un travelage de 60 cm et une semelle sous traverse (SsT) de 200 MN/m. Le Tableau 3.3.13 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. Encore une fois, l'effet de la semelle sous selle est dominant dans la perte par insertion. L'augmentation de la distance entre traverse (augmentation du travelage, associée à une diminution de la raideur par unité de longueur de la voie) permet d'améliorer la perte par insertion pour les tiers d'octave situés au dessus de celui correspondant au minimum de la perte par insertion (soit entre 50 et 63 Hz pour une semelle sous selle de 50 MN/m et un travelage de 60 cm).

La Figure 3.3.13 montre l'effet combiné d'une variation de la raideur de la semelle sous selle et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 50 cm. Le cas de base correspond à un travelage de 60 cm, une épaisseur de ballast de 20 cm et une semelle sous traverse (SsT) de 200 MN/m. Le Tableau 3.3.14 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. Une augmentation de l'épaisseur de ballast permet une amélioration de la perte par insertion sur certains tiers d'octave entre 40 et 80 Hz suivant la raideur de la semelle sous traverse.

La Figure 3.3.14 montre l'effet combiné d'une variation de la raideur de la semelle sous selle et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 70 cm. Le cas de base correspond à un travelage de 60 cm, une épaisseur de ballast de 20 cm et une semelle sous traverse (SsT) de 200 MN/m. Le Tableau 3.3.15 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. La perte par insertion pour les tiers d'octave 63 et 80 Hz est généralement améliorée en augmentant l'épaisseur du ballast.

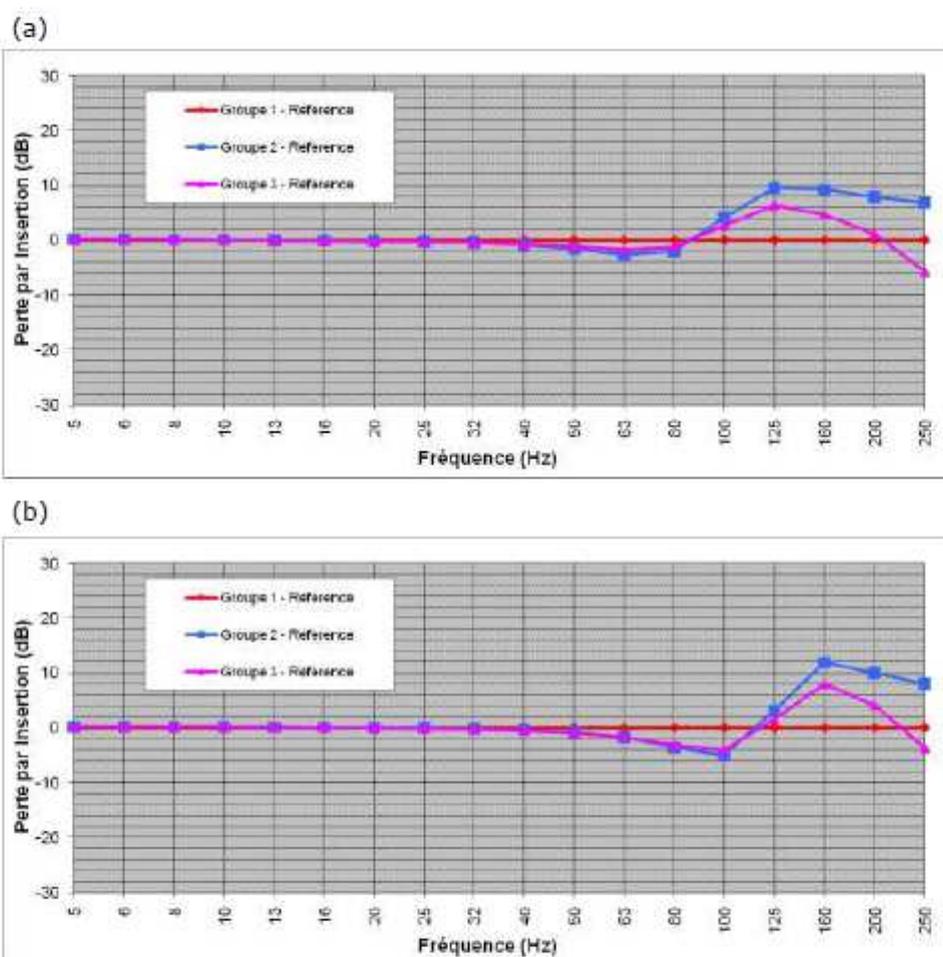


Figure 3.3.8 : Comparaison entre le cas de référence du Groupe 2 (semelle sous selle) et celui du Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) par rapport au cas de référence du Groupe 1 (semelle sous rail seulement); (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.3.9 : Perte par insertion en dB pour le cas de référence du Groupe 2 (semelle sous selle) et celui du Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) par rapport au cas de référence du Groupe 1 (semelle sous rail seulement).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Groupe 2 SsS 200 MN/m	-0.9	-1.6	-2.7	-2.0	-0.4	-0.8	-1.7	-3.6
Groupe 3 SsT 200 MN/m	-0.7	-1.1	-1.7	-1.3	-0.5	-1.0	-1.7	-3.1

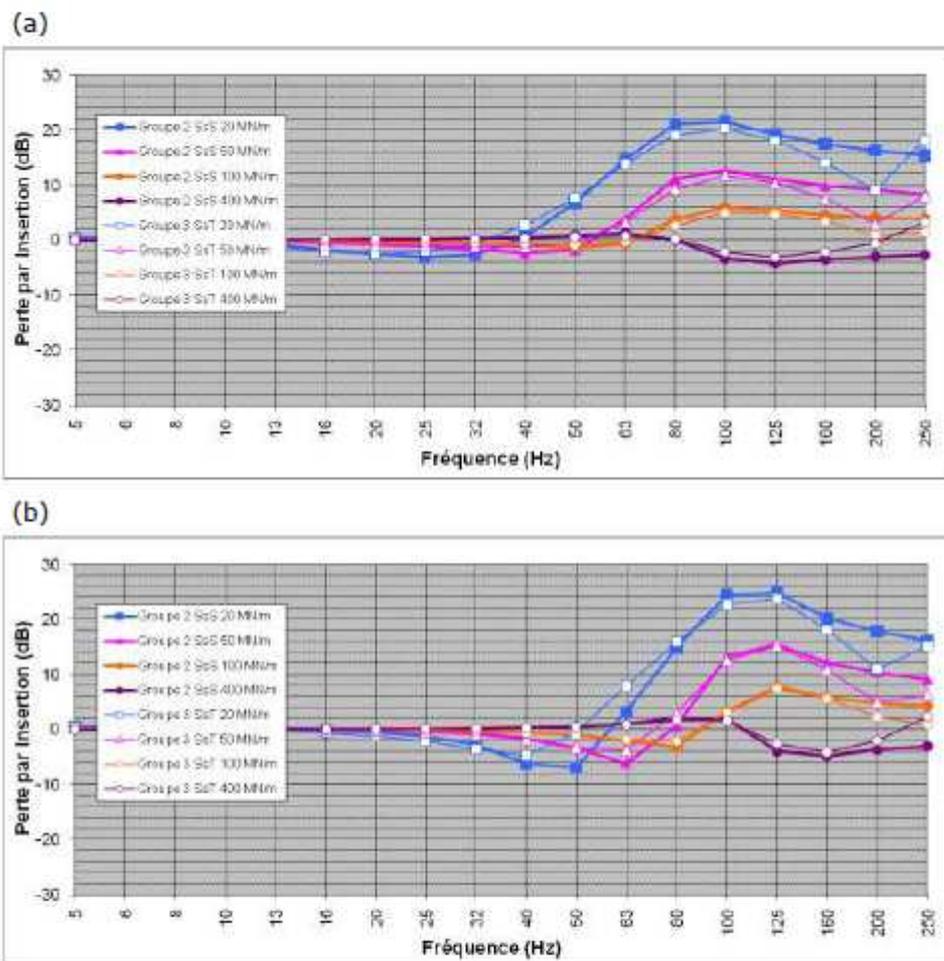


Figure 3.3.9 : Comparaison entre Groupe 2 (semelle sous selle) et Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet la raideur de la semelle; (a) Fret et (b) TER.



Tableau 3.3.10 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 2 (semelle sous selle) et le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet la raideur de la semelle sous (référence Semelle sous Selle et Semelle sous Traverse 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
SsS 20 MN/m	0.6	6.7	14.5	21.0	-6.2	-7.0	3.2	14.8
SsS 50 MN/m	-2.4	-1.8	3.7	11.2	-1.6	-3.4	-6.2	0.5
SsS 100 MN/m	-0.9	-1.5	-0.7	3.8	-0.5	-1.0	-2.1	-3.3
SsS 400 MN/m	0.5	0.8	1.3	0.0	0.3	0.5	0.9	1.9
SsT 20 MN/m	2.7	7.7	13.8	19.0	-4.8	-0.5	7.9	15.9
SsT 50 MN/m	-1.3	-0.5	3.3	9.2	-1.9	-3.3	-3.8	3.0
SsT 100 MN/m	-0.6	-0.8	-0.3	2.6	-0.6	-1.0	-1.9	-2.2
SsT 400 MN/m	0.3	0.5	0.8	0.1	0.3	0.5	0.9	1.6

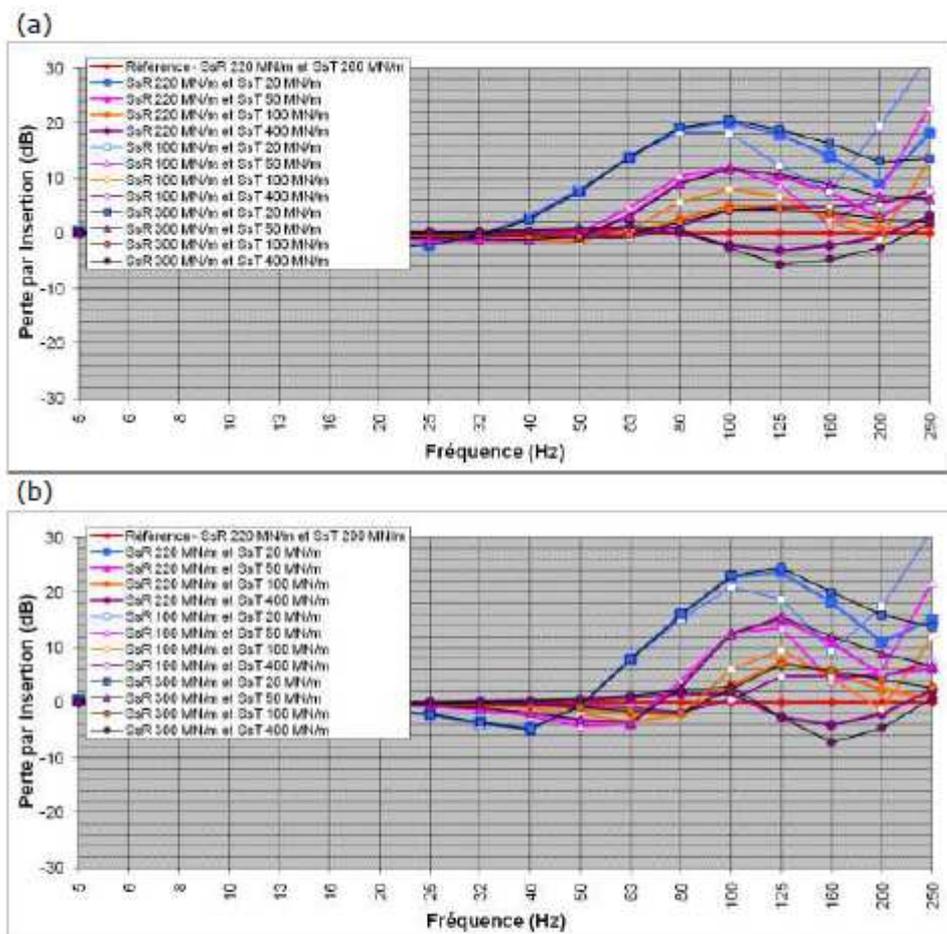


Figure 3.3.10 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous rail et de la semelle sous traverse ; (a) Fret et (b) TER.



Tableau 3.3.11 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous rail et de la semelle sous traverse (référence Semelle sous Rail 220 MN/m et Semelle sous Traverse 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
SsR 100 MN/m SsT 20 MN/m	3.1	8.1	13.8	18.3	-4.9	-0.3	7.9	15.2
SsR 100 MN/m SsT 50 MN/m	-1.4	0.1	4.7	10.4	-2.4	-4.2	-3.8	4.1
SsR 100 MN/m SsT 100 MN/m	-1.3	-1.4	0.6	5.6	-1.1	-2.0	-3.6	-2.1
SsR 100 MN/m SsT 400 MN/m	-0.5	-0.8	-0.9	1.4	-0.2	-0.4	-0.9	-1.7
SsR 220 MN/m SsT 20 MN/m	2.7	7.7	13.8	19.0	-4.8	-0.5	7.9	15.9
SsR 220 MN/m SsT 50 MN/m	-1.3	-0.5	3.3	9.2	-1.9	-3.3	-3.8	3.0
SsR 220 MN/m SsT 100 MN/m	-0.6	-0.8	-0.3	2.6	-0.6	-1.0	-1.9	-2.2
SsR 220 MN/m SsT 400 MN/m	0.3	0.5	0.8	0.1	0.3	0.5	0.9	1.6
SsR 300 MN/m SsT 20 MN/m	2.6	7.6	13.8	19.2	-4.8	-0.6	7.9	16.0
SsR 300 MN/m SsT 50 MN/m	-1.2	-0.5	3.0	9.0	-1.8	-3.1	-3.7	2.7
SsR 300 MN/m SsT 100 MN/m	-0.5	-0.6	-0.3	2.1	-0.5	-0.8	-1.5	-1.9
SsR 300 MN/m SsT 400 MN/m	0.5	0.9	1.3	0.8	0.4	0.7	1.3	2.4
SsR 400 MN/m SsT 20 MN/m	2.5	7.6	13.8	19.3	-4.7	-0.6	7.9	16.1
SsR 400 MN/m SsT 50 MN/m	-1.2	-0.6	2.8	8.8	-1.7	-3.0	-3.6	2.6
SsR 400 MN/m SsT 100 MN/m	-0.3	-0.5	-0.2	1.7	-0.4	-0.7	-1.3	-1.6
SsR 400 MN/m SsT 400 MN/m	0.7	1.1	1.7	1.5	0.4	0.8	1.5	2.9
SsR Rigide SsT 20 MN/m	2.4	7.4	13.8	19.6	-4.6	-0.7	7.9	16.4
SsR Rigide SsT 50 MN/m	-1.0	-0.6	2.4	8.2	-1.5	-2.6	-3.3	2.2
SsR Rigide SsT 100 MN/m	0.0	0.1	0.3	1.1	-0.2	-0.3	-0.5	-0.6
SsR Rigide SsT 400 MN/m	1.1	1.8	3.0	3.6	0.6	1.2	2.3	4.4

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

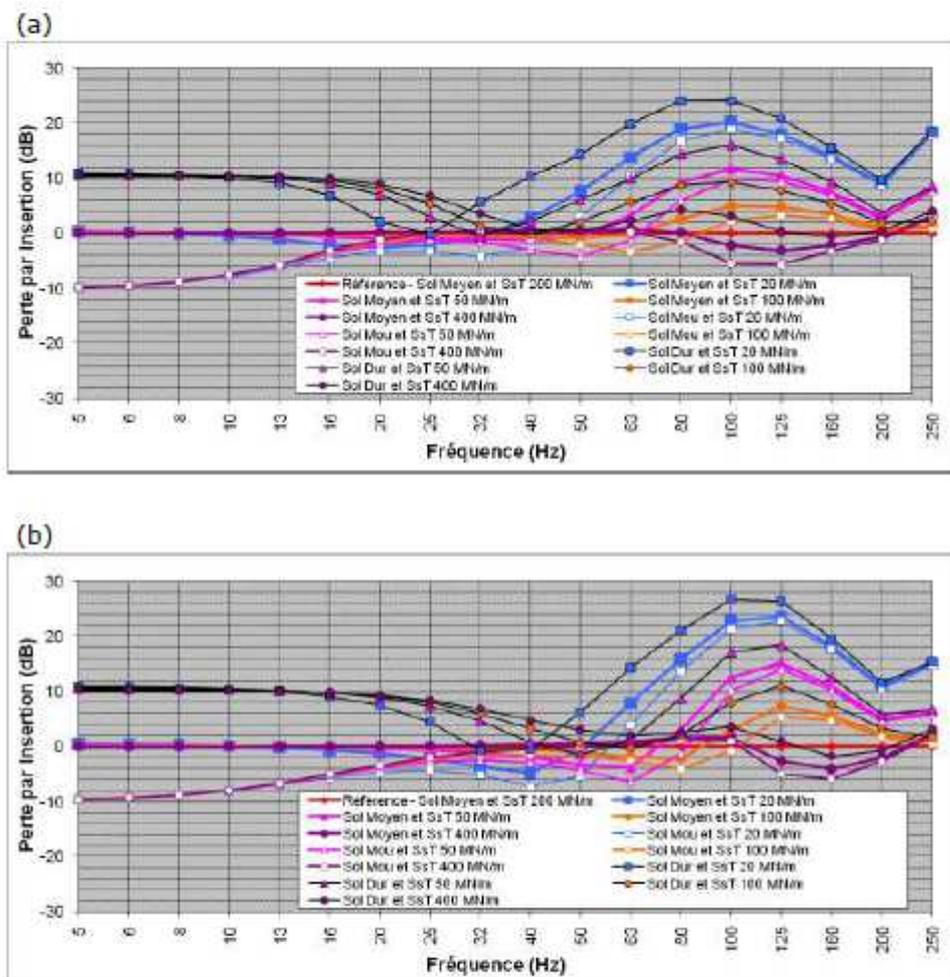


Figure 3.3.11 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous traverse et du type de sol ; (a) Fret et (b) TER.



Tableau 3.3.12 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous traverse et du type de sol (référence Sol Moyen et Semelle sous Traverse 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Sol Moyen SsT 20 MN/m	2.7	7.7	13.8	19.0	-4.8	-0.5	7.9	15.9
Sol Moyen SsT 50 MN/m	-1.3	-0.5	3.3	9.2	-1.9	-3.3	-3.8	3.0
Sol Moyen SsT 100 MN/m	-0.6	-0.8	-0.3	2.6	-0.6	-1.0	-1.9	-2.2
Sol Moyen SsT 400 MN/m	0.3	0.5	0.8	0.1	0.3	0.5	0.9	1.6
Sol Mou SsT 20 MN/m	-2.7	3.0	10.4	16.9	-7.2	-5.4	3.9	13.6
Sol Mou SsT 50 MN/m	-3.0	-4.2	-1.3	6.1	-3.0	-4.3	-6.4	-1.3
Sol Mou SsT 100 MN/m	-1.0	-2.1	-3.4	-1.5	-1.5	-1.8	-2.6	-4.1
Sol Mou SsT 400 MN/m	0.5	0.5	0.2	-1.6	-0.4	-0.1	0.4	1.2
Sol Dur SsT 20 MN/m	10.4	14.3	19.9	24.1	-0.6	6.3	14.3	21.1
Sol Dur SsT 50 MN/m	2.1	6.2	10.0	14.4	0.8	-1.4	1.2	8.8
Sol Dur SsT 100 MN/m	-0.3	2.1	5.6	8.7	3.2	0.7	-0.4	2.0
Sol Dur SsT 400 MN/m	0.7	0.4	2.3	4.3	4.8	3.0	2.0	2.6

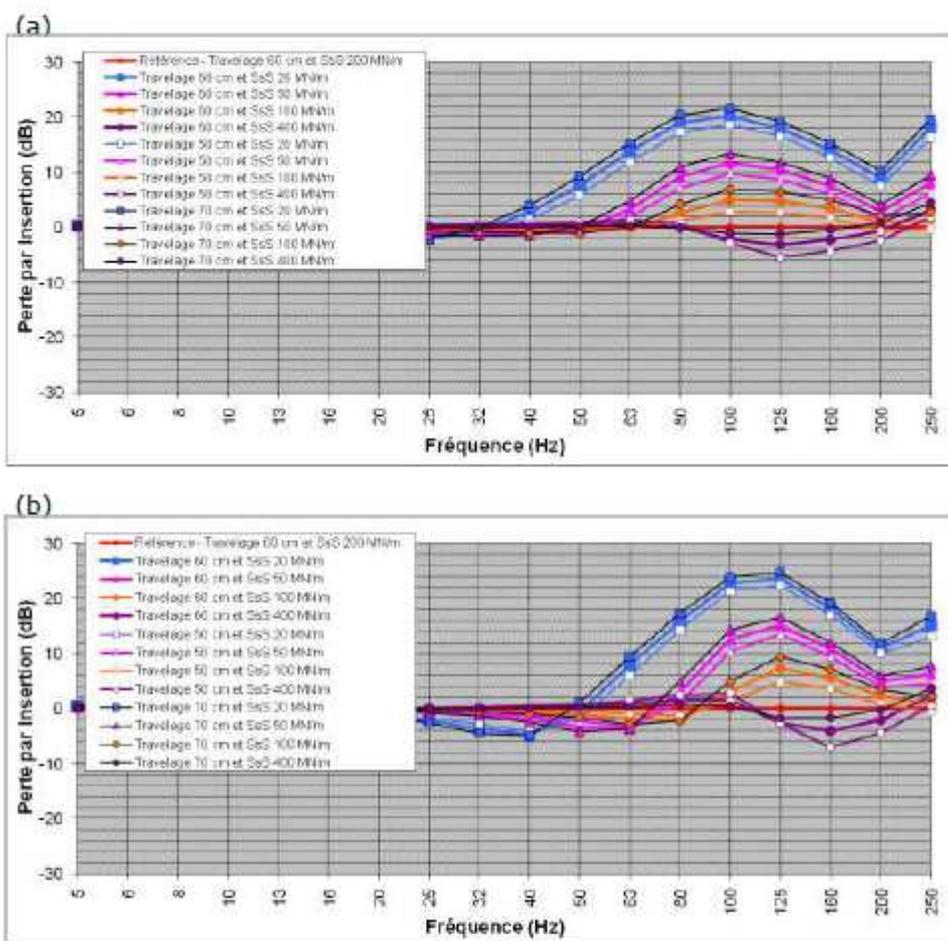


Figure 3.3.12 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous traverse et du travelage ; (a) Fret et (b) TER.



Tableau 3.3.13 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous traverse et du travelage (référence Travelage de 60 cm et Semelle sous Traverse 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Travelage 50 cm SsT 20 MN/m	1.4	5.8	11.9	17.3	-4.2	-1.8	6.0	14.3
Travelage 50 cm SsT 50 MN/m	-0.9	-0.7	1.8	7.1	-1.3	-2.3	-3.3	1.0
Travelage 50 cm SsT 100 MN/m	-0.2	-0.3	-0.2	1.2	-0.2	-0.4	-0.9	-1.3
Travelage 50 cm SsT 400 MN/m	0.7	1.0	1.3	0.7	0.5	0.9	1.4	2.5
Travelage 60 cm SsT 20 MN/m	2.7	7.7	13.8	19.0	-4.8	-0.5	7.9	15.9
Travelage 60 cm SsT 50 MN/m	-1.3	-0.5	3.3	9.2	-1.9	-3.3	-3.8	3.0
Travelage 60 cm SsT 100 MN/m	-0.6	-0.8	-0.3	2.6	-0.6	-1.0	-1.9	-2.2
Travelage 60 cm SsT 400 MN/m	0.3	0.5	0.8	0.1	0.3	0.5	0.9	1.6
Travelage 70 cm SsT 20 MN/m	4.1	9.4	15.4	20.4	-4.9	1.0	9.5	17.2
Travelage 70 cm SsT 50 MN/m	-1.4	0.2	4.9	11.0	-2.5	-4.2	-3.6	4.9
Travelage 70 cm SsT 100 MN/m	-1.0	-1.2	0.1	4.2	-0.9	-1.6	-2.9	-2.3
Travelage 70 cm SsT 400 MN/m	0.1	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.8

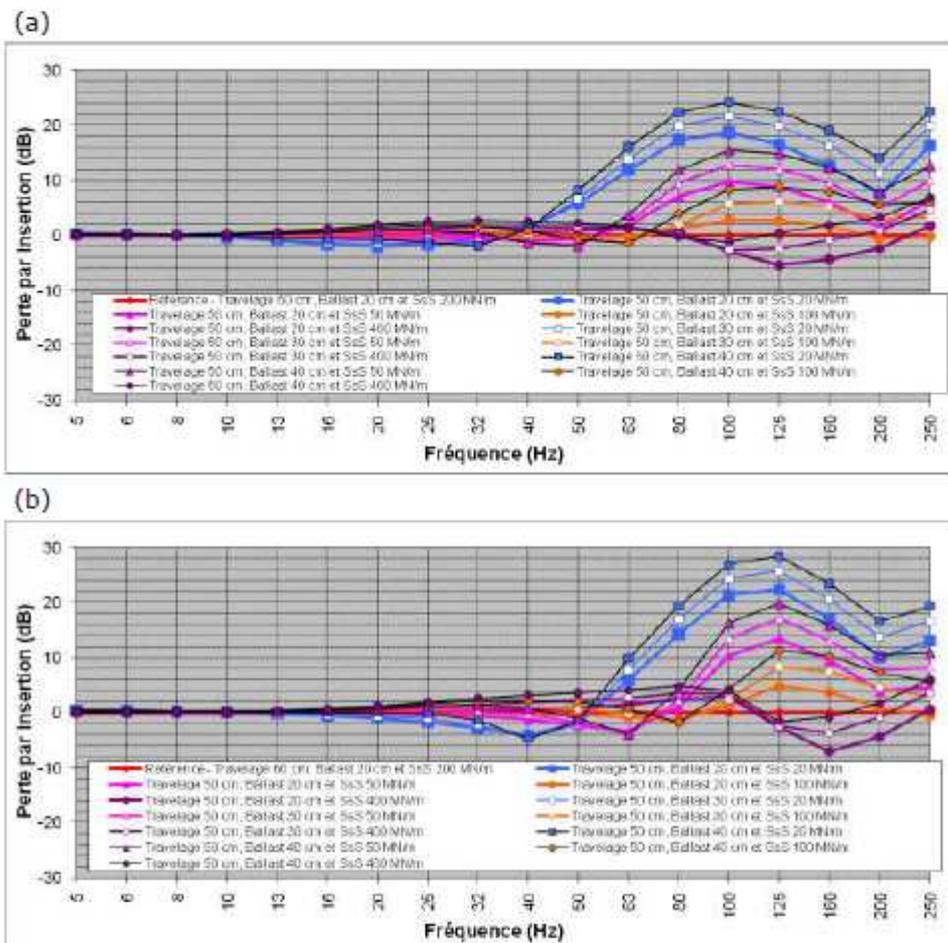


Figure 3.3.13 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous traverse, et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 50 cm ; (a) Fret et (b) TER.



Tableau 3.3.14 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous traverse, et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 50 cm (référence Travelage de 60 cm, Ballast 20 cm et Semelle sous Traverse 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Travelage 50 cm Ballast 20 cm SsT 20 MN/m	1.4	5.8	11.9	17.3	-4.2	-1.8	6.0	14.3
Travelage 50 cm Ballast 20 cm SsT 50 MN/m	-0.9	-0.7	1.8	7.1	-1.3	-2.3	-3.3	1.0
Travelage 50 cm Ballast 20 cm SsT 100 MN/m	-0.2	-0.3	-0.2	1.2	-0.2	-0.4	-0.9	-1.3
Travelage 50 cm Ballast 20 cm SsT 400 MN/m	0.7	1.0	1.3	0.7	0.5	0.9	1.4	2.5
Travelage 50 cm Ballast 30 cm SsT 20 MN/m	0.9	6.7	13.9	19.9	-4.6	-2.1	7.7	16.9
Travelage 50 cm Ballast 30 cm SsT 50 MN/m	-1.2	-1.7	2.2	9.5	-0.3	-1.8	-4.0	2.2
Travelage 50 cm Ballast 30 cm SsT 100 MN/m	0.3	-0.6	-1.3	1.9	1.0	0.7	-0.2	-1.8
Travelage 50 cm Ballast 30 cm SsT 400 MN/m	1.6	1.6	1.4	-0.1	1.8	2.2	2.7	3.6
Travelage 50 cm Ballast 40 cm SsT 20 MN/m	1.2	8.3	16.0	22.3	-4.7	-1.5	9.8	19.3
Travelage 50 cm Ballast 40 cm SsT 50 MN/m	-1.4	-2.0	3.8	12.0	0.8	-1.1	-3.9	4.2
Travelage 50 cm Ballast 40 cm SsT 100 MN/m	0.8	-0.8	-1.4	3.9	2.2	1.9	0.7	-1.8
Travelage 50 cm Ballast 40 cm SsT 400 MN/m	2.5	2.2	1.6	-0.3	3.2	3.6	4.1	4.8

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

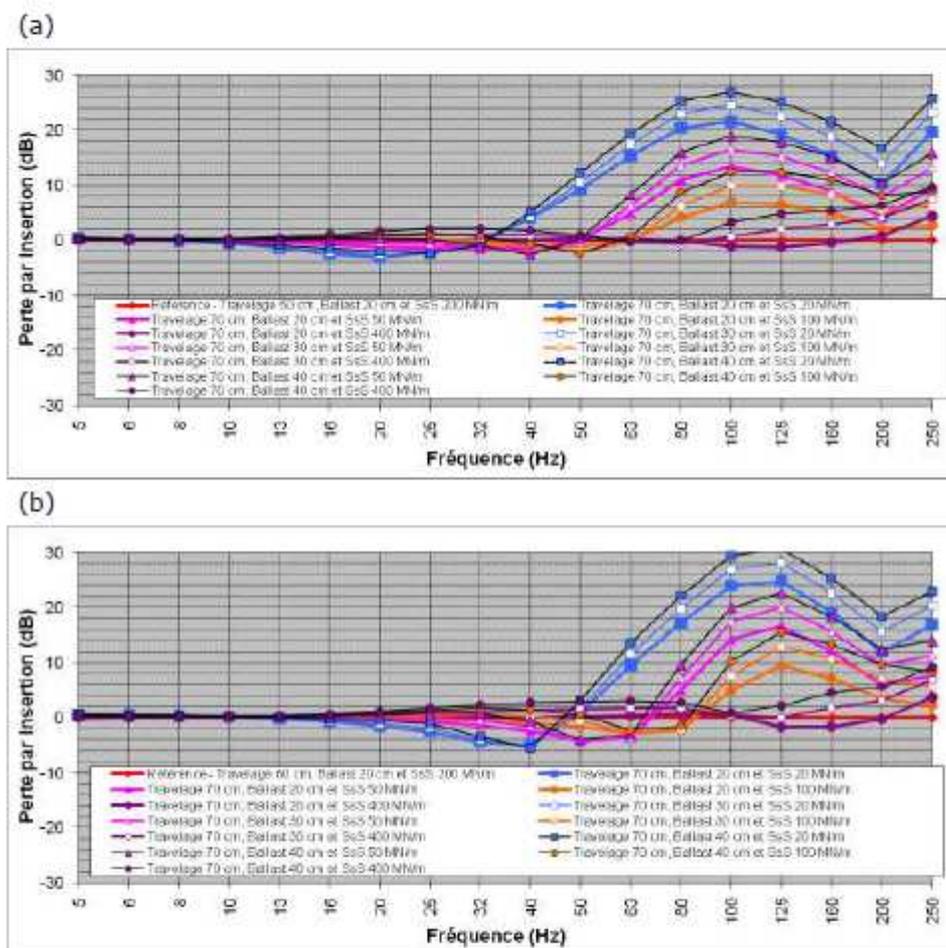


Figure 3.3.14 : Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous traverse, et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 70 cm ; (a) Fret et (b) TER.



Tableau 3.3.15 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 3 (semelle sous traverse sans selle) – Effet combiné de la raideur de la semelle sous traverse, et de l'épaisseur de ballast pour un travelage de 70 cm (référence Travelage de 60 cm, Ballast 20 cm et Semelle sous Traverse 200 MN/m).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Travelage 70 cm Ballast 20 cm SsT 20 MN/m	4.1	9.4	15.4	20.4	-4.9	1.0	9.5	17.2
Travelage 70 cm Ballast 20 cm SsT 50 MN/m	-1.4	0.2	4.9	11.0	-2.5	-4.2	-3.6	4.9
Travelage 70 cm Ballast 20 cm SsT 100 MN/m	-1.0	-1.2	0.1	4.2	-0.9	-1.6	-2.9	-2.3
Travelage 70 cm Ballast 20 cm SsT 400 MN/m	0.1	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.8
Travelage 70 cm Ballast 30 cm SsT 20 MN/m	4.2	10.7	17.4	23	-5.5	1.8	11.5	19.8
Travelage 70 cm Ballast 30 cm SsT 50 MN/m	-2.2	-0.3	6.3	13.6	-1.6	-4.3	-3.8	7.2
Travelage 70 cm Ballast 30 cm SsT 100 MN/m	-0.9	-2.0	-0.3	6.3	0.2	-0.7	-2.7	-2.3
Travelage 70 cm Ballast 30 cm SsT 400 MN/m	0.9	0.5	-0.2	-0.7	1.3	1.5	1.6	1.7
Travelage 70 cm Ballast 40 cm SsT 20 MN/m	5.2	12.4	19.4	25.3	-5.5	3.2	13.6	22.1
Travelage 70 cm Ballast 40 cm SsT 50 MN/m	-2.6	0.4	8.4	16.0	-0.6	-4.0	-3.1	9.6
Travelage 70 cm Ballast 40 cm SsT 100 MN/m	-0.7	-2.4	0.7	8.7	1.4	0.5	-2.3	-1.6
Travelage 70 cm Ballast 40 cm SsT 400 MN/m	1.8	1.0	-0.3	-0.1	2.7	2.9	3.0	2.7

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010

3.4 - Groupe 4 : Tapis sous ballast

Dans ce cas, un deuxième étage résilient est ajouté par l'intermédiaire d'un tapis sous ballast ; la semelle sous rail est conservée et la traverse ne comporte pas de selle. Le Tableau 3.4.1 rappelle le cas de référence et les différentes variations utilisées pour l'étude paramétrique plus limitée portant sur un système de pose de voie avec ces deux éléments résilients (une semelle sous rail et un tapis sous ballast).

Tableau 3.4.1 : Systèmes avec tapis sous ballast considérés.

Éléments	Base	Variations
Rail	UIC60 60 kg/m	-
Semelle sous rail	220 MN/m	-
Traverse	300 kg	-
Travelage	0.6 m	-
Épaisseur du ballast	20 cm	30, 40 et 50 cm
Tapis sous ballast	30 MN/m ³	15 MN/m ³ et 60 MN/m ³
Sol	Moyen	Mou et Dur

Les Figures 3.4.1 et 3.4.4 montrent la perte par insertion obtenue pour les différentes variations des paramètres par rapport au cas de base, pour un matériel roulant de type fret et TER. Les Tableaux 3.4.2 à 3.4.5 détaillent la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz.

L'efficacité d'un tapis sous ballast est relativement bonne : pour un tapis sous ballast de raideur dynamique 30 MN/m³ la perte par insertion (par rapport à un système sans tapis sous ballast) est positive dès le tiers d'octave 31.5 Hz pour le fret et 40 Hz pour le TER. Une augmentation (une diminution) de cette raideur décale vers les hautes (basses) fréquences le tiers d'octave à partir duquel la perte par insertion devient positive. L'importance du type de sol est aussi retrouvée dans le cas d'une pose de voie avec tapis sous ballast.

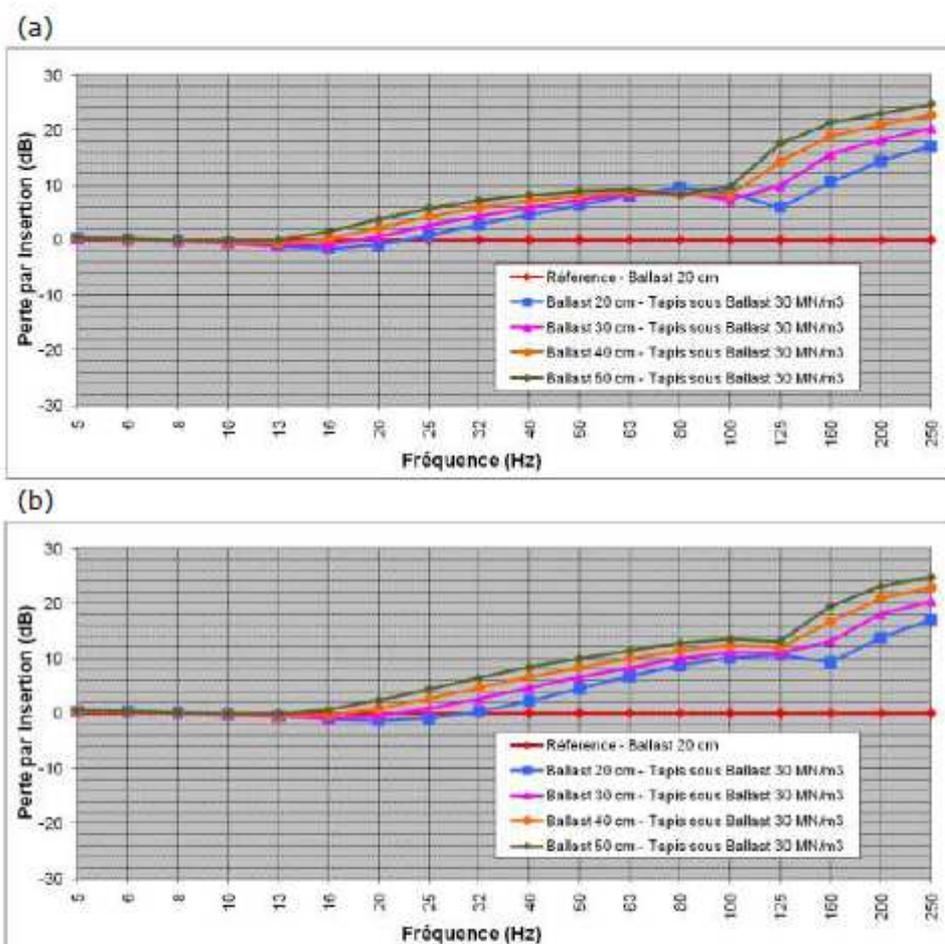


Figure 3.4.1 : Groupe 4 – Tapis sous ballast 30 MN/m³ – Effet de l'épaisseur de ballast ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.4.2 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 4 – Tapis sous ballast 30 MN/m³ – Effet de l'épaisseur de ballast (référence 20 cm sans tapis).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
20 cm – Tapis 30 MN/m ³	4.6	6.4	8.1	9.4	2.3	4.5	6.8	8.7
30 cm – Tapis 30 MN/m ³	6.0	7.3	8.3	8.6	4.7	6.6	8.4	10.0
40 cm – Tapis 30 MN/m ³	7.2	8.1	8.7	8.3	6.7	8.4	10.0	11.4
50 cm – Tapis 30 MN/m ³	8.3	8.9	9.2	8.3	8.4	10.0	11.5	12.8

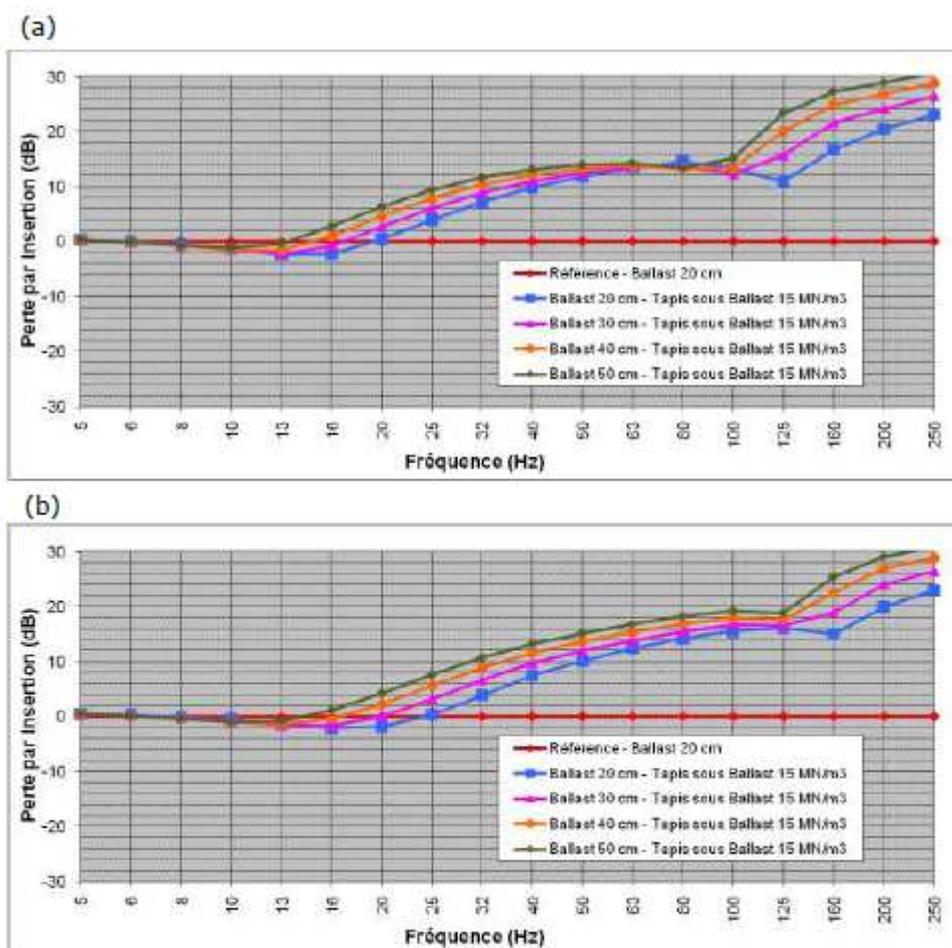


Figure 3.4.2 : Groupe 4 – Tapis sous ballast 15 MN/m³ – Effet de l'épaisseur de ballast ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.4.3 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 4 – Tapis sous ballast 15 MN/m³ – Effet de l'épaisseur de ballast (référence 20 cm sans tapis).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
20 cm – Tapis 15 MN/m ³	9.8	11.8	13.5	14.5	7.5	10.2	12.5	14.3
30 cm – Tapis 15 MN/m ³	11.1	12.5	13.5	13.7	9.8	12.0	13.9	15.4
40 cm – Tapis 15 MN/m ³	12.1	13.2	13.8	13.3	11.6	13.6	15.3	16.9
50 cm – Tapis 15 MN/m ³	13.1	14.0	14.3	13.4	13.3	15.2	16.8	18.3

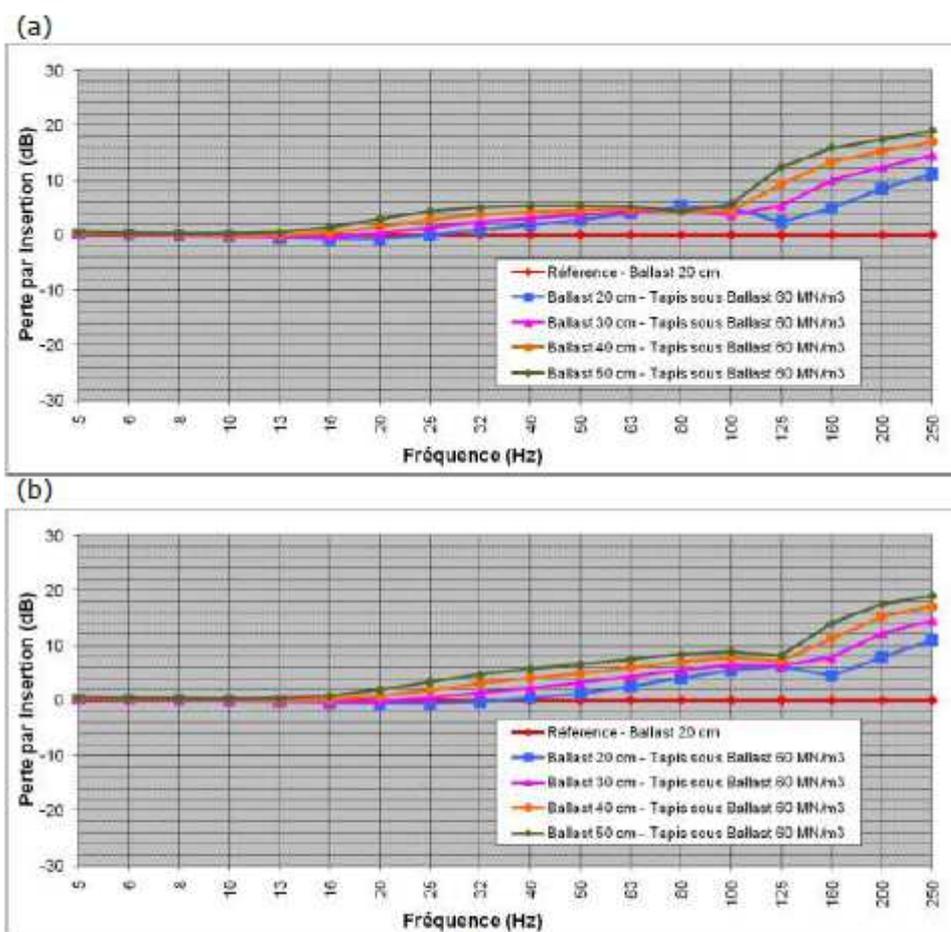


Figure 3.4.3 : Groupe 4 – Tapis sous ballast 60 MN/m³ – Effet de l'épaisseur de ballast ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.4.4 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 4 – Tapis sous ballast 60 MN/m³ – Effet de l'épaisseur de ballast (référence 20 cm sans tapis).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
20 cm – Tapis 60 MN/m ³	1.8	2.8	4.0	5.2	0.4	1.3	2.6	4.1
30 cm – Tapis 60 MN/m ³	3.1	3.7	4.3	4.6	2.3	3.2	4.3	5.5
40 cm – Tapis 60 MN/m ³	4.2	4.6	4.8	4.3	4.1	5.0	6.0	7.0
50 cm – Tapis 60 MN/m ³	5.3	5.4	5.3	4.3	5.8	6.6	7.5	8.4

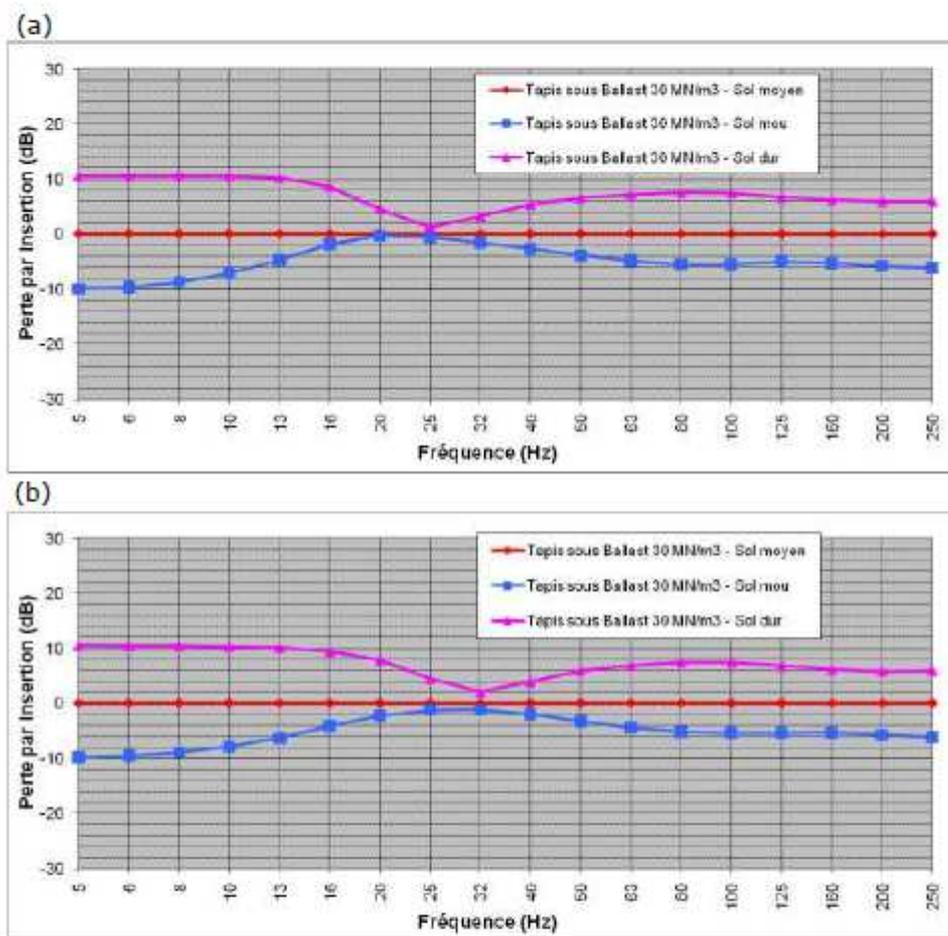


Figure 3.4.4 : Groupe 4 (tapis sous ballast) – Effet du type de sol ; (a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.4.5 : Perte par insertion en dB pour le Groupe 4 (tapis sous ballast) – Effet du type de sol (référence sol moyen et tapis 30 MN/m³).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Sol mou– Tapis 30 MN/m ³	-2.7	-3.9	-4.9	-5.5	-2.0	-3.2	-4.4	-5.1
Sol dur– Tapis 30 MN/m ³	5.4	6.6	7.3	7.6	3.9	5.9	7.0	7.4



ER-712-080014-712-BAT

62/67

La Figure 3.4.5 montre l'effet combiné d'un tapis sous ballast et d'une semelle sous selle sur la perte par insertion. Le cas de référence correspond à une pose de voie standard avec seulement une semelle sous rail (Groupe 1 – 220 MN/m). Le Tableau 3.4.6 détaille la perte par insertion en dB pour les tiers d'octave entre 40 et 80 Hz. Il est nettement observé que la combinaison d'un tapis sous ballast et d'une semelle sous selle n'est pas appropriée : la performance obtenue par l'utilisation du tapis sous ballast est nettement réduite par l'ajout d'une semelle sous selle dans la zone fréquentielle d'intérêt (entre les tiers d'octave 40 et 80 Hz). A dessus de 100 ou 125 Hz, la perte par insertion du système combiné est cependant améliorée lorsque les deux étages résilients (semelle sous selle et tapis sous ballast) sont utilisés.

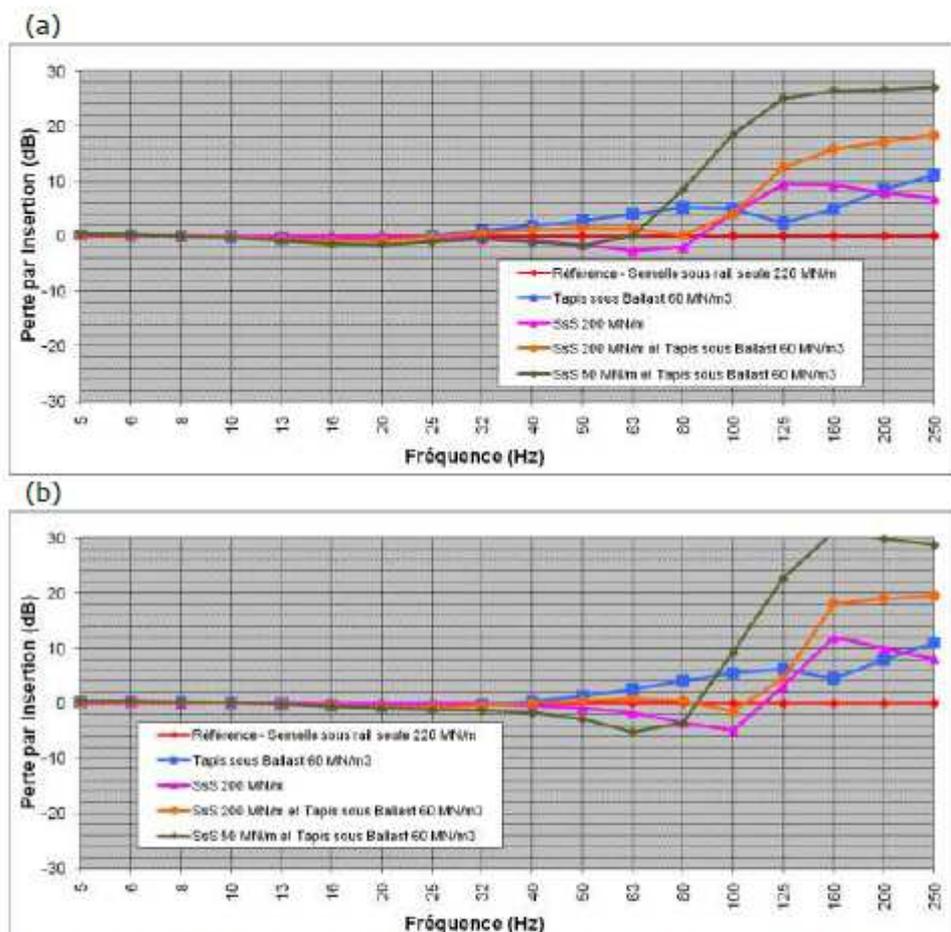


Figure 3.4.5 : Effet combiné d'un tapis sous ballast et d'une semelle sous selle ;
(a) Fret et (b) TER.

Tableau 3.4.6 : Perte par insertion en dB – Effet combiné d'un tapis sous ballast
et d'une semelle sous selle (référence Groupe 1).

Tiers d'octave (Hz)	Fret				TER			
	40	50	63	80	40	50	63	80
Tapis 60 MN/m ³	1.8	2.8	4.0	5.2	0.4	1.3	2.6	4.1
SsS 200 MN/m	-0.9	-1.6	-2.7	-2.1	-0.4	-0.8	-1.7	-3.6
SsS 200 MN/m et Tapis 60 MN/m ³	1.2	1.5	1.3	0.1	-0.0	0.4	0.8	0.5
SsS 50 MN/m et Tapis 60 MN/m ³	-0.9	-1.7	0.1	8.4	-1.8	-2.9	-5.2	-3.5

Ref. DAE/2010-011/CG/GC
JANVIER 2010



4 - PROPOSITIONS DE SOLUTION

Tout d'abord, le Tableau 4.1.1 montre dans le cas du fret pour les semelles permettant de répondre à la contrainte sur la déflexion statique (maximum de 2 mm), la perte par insertion obtenue par rapport à une pose de voie standard (semelle sous rail seulement) dans la configuration de base du Tableau 3.1.1. Similairement, le Tableau 4.1.2 montre les mêmes résultats dans le cas du TER.

Tableau 4.1.1 : Perte par insertion en dB – Fret.

Groupe 2 – Semelle sous selle				
Tiers d'octave	50 MN/m	100 MN/m	200 MN/m	400 MN/m
40 Hz	-3.3	-1.8	-0.9	-0.4
50 Hz	-3.4	-3.0	-1.6	-0.8
63 Hz	1.0	-3.4	-2.7	-1.4
80 Hz	9.1	1.8	-2.1	-2.0
Groupe 3 – Semelle sous traverse				
Tiers d'octave	50 MN/m	100 MN/m	200 MN/m	400 MN/m
40 Hz	-2.0	-1.3	-0.7	-0.4
50 Hz	-1.6	-2.0	-1.1	-0.6
63 Hz	1.6	-2.0	-1.7	-1.0
80 Hz	7.9	1.3	-1.3	-1.2

Tableau 4.1.2 : Perte par insertion en dB – TER.

Groupe 2 – Semelle sous selle				
Tiers d'octave	50 MN/m	100 MN/m	200 MN/m	400 MN/m
40 Hz	-2.0	-0.9	-0.4	-0.1
50 Hz	-4.2	-1.9	-0.8	-0.4
63 Hz	-7.9	-3.8	-1.7	-0.8
80 Hz	-3.1	-6.9	-3.6	-1.7
Groupe 3 – Semelle sous traverse				
Tiers d'octave	50 MN/m	100 MN/m	200 MN/m	400 MN/m
40 Hz	-2.4	-1.1	-0.5	-0.3
50 Hz	-4.3	-2.0	-1.0	-0.5
63 Hz	-5.5	-3.6	-1.7	-0.9
80 Hz	-0.2	-5.3	-3.1	-1.5



ER-712-080014-712-BAT

65/67

On notera que pour ces situations, il n'est pas possible d'obtenir une perte par insertion positive (diminution de la pollution vibratoire) pour les tiers d'octave de 40 et 50 Hz. Cependant dans le cas du fret, une perte par insertion positive est obtenue pour les tiers d'octave de 63 et 80 Hz lorsque la semelle sous selle ou sous traverse correspond une raideur de 50 MN/m. Il faut indiquer que pour cette raideur la déflexion statique (2.3 mm) dépasse légèrement celle fixée (2 mm).

Les deux Tableaux 4.1.1 et 4.1.2 indiquent que globalement il est préférable d'utiliser une semelle sous traverse plutôt qu'une semelle sous selle (pour une raideur identique) ; cependant il faut rappeler que l'effet du court-circuit vibratoire par le ballast sur la traverse n'est pas pris en compte et devrait diminuer la perte par insertion obtenue dans le cas d'une semelle sous traverse.

Les Tableaux 4.1.3 et 4.1.4 montrent pour une raideur de 50 MN/m de la semelle sous traverse et celle sous selle respectivement la perte par insertion obtenue pour les tiers d'octave de 40 à 60 Hz dans le cas de quelques variations du système de pose voie (masse traverse, distance de travelage et épaisseur de ballast). Aucune des variations ne permet d'obtenir une perte par insertion positive sur tous les tiers d'octave considérés. Les Tableaux 4.1.5 et 4.1.6 montrent la même chose pour une raideur de 100 MN/m de la semelle sous traverse et celle sous selle respectivement.

**Tableau 4.1.3 : Perte par insertion en dB – Semelle sous traverse 50 MN/m.**

Groupe 3 – Semelle sous traverse 50 MN/m						
Traverse	300 kg	500 kg				
Travelage	60 cm	60 cm	70 cm	70 cm	50 cm	50 cm
Ballast	20 cm	20 cm	20 cm	30 cm	20 cm	30 cm
Fret						
40 Hz	-2.0	-1.3	-1.5	-2.3	-0.9	-1.3
50 Hz	-1.6	-0.9	-0.3	-0.8	-1.1	-2.1
63 Hz	1.6	2.2	3.6	5.1	0.8	1.2
80 Hz	7.9	8.1	9.8	12.5	6.1	8.6
TER						
40 Hz	-2.4	-2.0	-2.7	-2.2	-1.3	-0.6
50 Hz	-4.3	-3.6	-4.4	-4.9	-2.5	-2.6
63 Hz	-5.5	-3.6	-3.2	-3.2	-3.4	-4.2
80 Hz	-0.2	2.1	4.8	6.3	0.4	2.2

Tableau 4.1.4 : Perte par insertion en dB – Semelle sous selle 50 MN/m - Fret.

Groupe 2 – Semelle sous selle 50 MN/m						
Traverse	300 kg	500 kg				
Travelage	60 cm	60 cm	70 cm	70 cm	50 cm	50 cm
Ballast	20 cm	20 cm	20 cm	30 cm	20 cm	30 cm
Fret						
40 Hz	-3.3	-3.6	-3.8	-4.4	-3.0	-3.1
50 Hz	-3.4	-3.9	-2.7	-2.4	-4.7	-5.1
63 Hz	1.0	1.5	3.5	5.7	-1.0	0.9
80 Hz	9.1	10.3	11.9	14.3	8.2	10.7
TER						
40 Hz	-2.0	-1.6	-2.3	-1.2	-1.0	0.2
50 Hz	-4.2	-4.0	-5.2	-4.3	-2.7	-1.5
63 Hz	-7.9	-8.1	-8.2	-7.6	-6.8	-6.3
80 Hz	-3.1	-2.4	0.5	2.9	-5.7	-4.3

**Tableau 4.1.5 : Perte par insertion en dB – Semelle sous traverse 100 MN/m.**

	Groupe 3 – Semelle sous traverse 100 MN/m					
Traverse	300 kg	500 kg	500 kg	500 kg	500 kg	500 kg
Travelage	60 cm	60 cm	70 cm	70 cm	50 cm	50 cm
Ballast	20 cm	20 cm	20 cm	30 cm	20 cm	30 cm
Fret						
40 Hz	-1.3	-0.8	-1.3	-1.2	-0.3	0.1
50 Hz	-2.0	-1.5	-1.9	-2.8	-0.9	-1.4
63 Hz	-2.0	-1.8	-1.5	-1.8	-1.6	-2.7
80 Hz	1.3	1.2	2.8	4.8	-0.1	0.7
TER						
40 Hz	-1.1	-0.7	-1.1	-0.1	-0.2	0.8
50 Hz	-2.0	-1.5	-2.2	-1.5	-0.8	0.1
63 Hz	-3.6	-3.1	-4.1	-4.3	-2.0	-1.7
80 Hz	-5.3	-4.3	-4.4	-4.4	-3.6	-4.3

Tableau 4.1.6 : Perte par insertion en dB – Semelle sous selle 100 MN/m.

	Groupe 2 – Semelle sous selle 100 MN/m					
Traverse	300 kg	500 kg	500 kg	500 kg	500 kg	500 kg
Travelage	60 cm	60 cm	70 cm	70 cm	50 cm	50 cm
Ballast	20 cm	20 cm	20 cm	30 cm	20 cm	30 cm
Fret						
40 Hz	-1.8	-1.7	-2.2	-2.0	-1.1	-0.5
50 Hz	-3.0	-3.4	-3.8	-4.4	-2.7	-2.9
63 Hz	-3.4	-4.0	-2.9	-2.2	-4.5	-4.7
80 Hz	1.8	2.5	4.5	7.1	0.0	2.4
TER						
40 Hz	-0.9	-0.5	-0.9	0.3	0.0	1.2
50 Hz	-1.9	-1.5	-2.1	-0.9	-0.7	0.5
63 Hz	-3.8	-3.6	-4.8	-3.9	-2.4	-1.1
80 Hz	-6.9	-7.1	-7.1	-6.3	-6.0	-5.5



CSTB
le futur en construction

Affaire n° ER-712-080014-712-BAT

OFFRE N° 26013090 VIBSOLFRET – PHASE 3 MESURES EN LABORATOIRE

Rapport final

Catherine GUIGOU
Roland WETTA

Michel VILLOT
Chef de Pôle

Demandeur de l'étude
ADEME

N/Réf. DAE/2010-198/CG/GC

Auteur(s)	Approbation	Vérificatrice
C. GUIGOU	M. VILLOT	G. CAPOURET
R. WETTA		

Toute reproduction partielle susceptible de dénaturer le contenu du présent document, qu'il s'agisse d'une omission, d'une modification ou d'une adaptation engage la responsabilité du client vis-à-vis du CSTB ainsi que des tiers concernés.



VIBSOLFRET – PHASE 3 MESURES EN LABORATOIRE

Rapport final

Demandeur de l'étude
ADEME
500 Route des Lucioles
06560 SOPHIA ANTIPOLIS

N/Réf. DAE/2010-198/CG/GC

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
ÉTABLISSEMENT DE GRENOBLE | 24 RUE JOSEPH FOURIER | 38400 SAINT-MARTIN D'HERÈS
TÉL. (33) 04 76 76 25 25 | FAX. (33) 04 76 44 20 46 | SIRET 775 688 229 000 50 | www.estb.fr
SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77647 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 7
ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MEAUX 775 688 229 | TVA FR 70 775 688 229
MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS



ER-712-080014-712-BAT

SOMMAIRE

1 - PRINCIPE GÉNÉRAL DES MESURES.....	4
2 - BANC D'ESSAIS AU LABORATOIRE SATEBA DE CHALON SUR SAONE ...	4
3 - RESULTATS POUR SYSTÈME DE POSE DE VOIE AVEC SEMELLE RÉSILIENTE SOUS TRAVERSE	13
3.1 - PERTE PAR INSERTION.....	13
3.1.1 - <i>Semelle Getzner SLN1510 G.....</i>	13
3.1.2 - <i>Semelle CDM.....</i>	14
3.1.3 - <i>Comparaison des deux types de semelle résiliente</i>	17
3.2 - NIVEAUX DE VITESSE	19
4 - RESULTATS POUR SYSTÈME DE POSE DE VOIE AVEC SEMELLE RÉSILIENTE SOUS SELLE	23
4.1 - PERTE PAR INSERTION.....	23
4.1.1 - <i>Semelle standard.....</i>	24
4.1.2 - <i>Semelle Getzner SLN1510 G.....</i>	24
4.1.3 - <i>Semelle EDILON 3000</i>	25
4.1.4 - <i>Semelle EDILON 4000</i>	27
4.1.5 - <i>Comparaison des différents types de semelle sous selle.....</i>	28
4.2 - NIVEAUX DE VITESSE	31
5 - ANNEXE A – DONNÉES TECHNIQUES DES TRAVERSES.....	34
5.1 - TRAVERSE M450.....	34
5.2 - TRAVERSE HAS	34
6 - ANNEXE B – DONNÉES TECHNIQUES DES SEMELLES TESTÉES	37
6.1 - DONNÉES TECHNIQUES POUR LA SEMELLE RÉSILIENTE SL1510 G.....	37
6.2 - DONNÉE TECHNIQUE POUR LA SEMELLE RÉSILIENTE CDM.....	40
6.3 - DONNÉE TECHNIQUE POUR LA SEMELLE RÉSILIENTE EDILON 3000.....	41
6.4 - DONNÉE TECHNIQUE POUR LA SEMELLE RÉSILIENTE EDILON 4000.....	47
6.5 - DESCRIPTION DE LA SEMELLE SOUS SELLE STANDARD	52



ER-712-080014-712-BAT

1 - PRINCIPE GÉNÉRAL DES MESURES

La perte par insertion est évaluée à partir de la différence du niveau vibratoire mesuré à l'interface ballast/sol lorsque une semelle résiliente est présente soit en sous-face de la traverse, soit sous la selle de rail et celui mesuré pour la traverse sans cette semelle résiliente.

Le montage expérimental comprend une boîte remplie de ballast tassé de 20 cm d'épaisseur sur lequel la traverse vient reposer. Pour représenter le sol présent en dessous du ballast dans la mise en place in situ, un tapis résilient est positionné entre le fond de la boîte contenant le ballast et le sol en béton du laboratoire.

Les niveaux vibratoires sont mesurés en plusieurs positions sur le fond de la boîte contenant le ballast et les moyennes de ces niveaux vibratoires sans et avec la semelle résiliente sont utilisées pour évaluer l'effet associé à la présence de la semelle résiliente.

Le découplage vibratoire entre les rails et l'interface ballast/sol est aussi calculé par la différence des niveaux vibratoires mesurés sur les deux rails et des niveaux vibratoires mesurés en plusieurs positions sur le fond de la boîte contenant le ballast.

2 - BANC D'ESSAIS AU LABORATOIRE SATEBA DE CHALON SUR SAONE

Le laboratoire SATEBA à Chalon/Saône (France) possède un pulsateur dynamique permettant d'appliquer une charge statique verticale jusqu'à 500 kN. Ce banc d'essai a été adapté pour permettre des mesures vibratoires. Une photo du banc d'essai est présentée à la Figure 2.1.



Figure 2.1 : Vue d'ensemble du banc d'essai.

La charge statique est appliquée au système traverse + rails par l'intermédiaire d'un support en U et quatre supports souples d'isolation de vibration. Chacun de ces quatre supports souples est constitué de plusieurs couches d'un résilient élastique. L'excitation dynamique, générée par le pot vibrant électrodynamique, est appliquée directement à un support en forme de 8 posé sur les deux rails. Le cadre de la caisse à ballast est fabriqué à l'aide de poutres d'acier en forme de I

Ref. DAE/2010-198/CG/GC
Juillet 2010

de 200 mm de hauteur. Le fond de la caisse est constitué d'une plaque d'acier de 2 mm d'épaisseur. La caisse est remplie de ballast (granulats pour voies ferrées) qui est ensuite compacté. Un tapis de raideur dynamique de 20 GN/m³ et de 13 mm d'épaisseur est placé sous la caisse à ballast (entre le fond de la caisse et le sol en béton du laboratoire, voir Figure 2.2). Les caractéristiques de ce tapis ont été choisies pour représenter un sol moyen sur lequel le ballast est réparti in-situ.



Figure 2.2 : Détail du système expérimental – Tapis sous caisse à ballast.

Le pot vibrant est suspendu au support en U par quatre ressorts de suspension (type Paulstra Référence V1B1116-02A) pour le découpler : la fréquence de résonance pour la masse totale du pot vibrant et de sa plaque d'attache (environ 55 kg) est autour de 2.8 Hz (cf. Figure 2.3). Une vue de ces suspensions est montrée à la Figure 2.3. La connexion du pot vibrant et du support en forme de 8 (reposant sur les deux rails) est réalisée par une tige d'attache visée aux deux extrémités (voir aussi la Figure 2.3).

Un accéléromètre est monté sur chacun des rails. Un accéléromètre est aussi monté sur la traverse en vis-à-vis de chacun des rails. La Figure 2.4 montre l'attachement de l'accéléromètre sur le rail avant avec l'accéléromètre correspondant positionné sur la traverse ; le même type de montage se retrouve sur le rail arrière. De plus, huit tiges sont soudées sur le fond de la caisse à ballast et quatre accéléromètres (vissés sur ces tiges) sont utilisés pour mesurer les vibrations du fond de la caisse (les mesures sont effectuées en deux fois). La

Figure 2.5 montre les différentes tiges autour de la traverse et un schéma simplifié de leur position. La position précise des différentes tiges est donnée à la Figure 2.6.

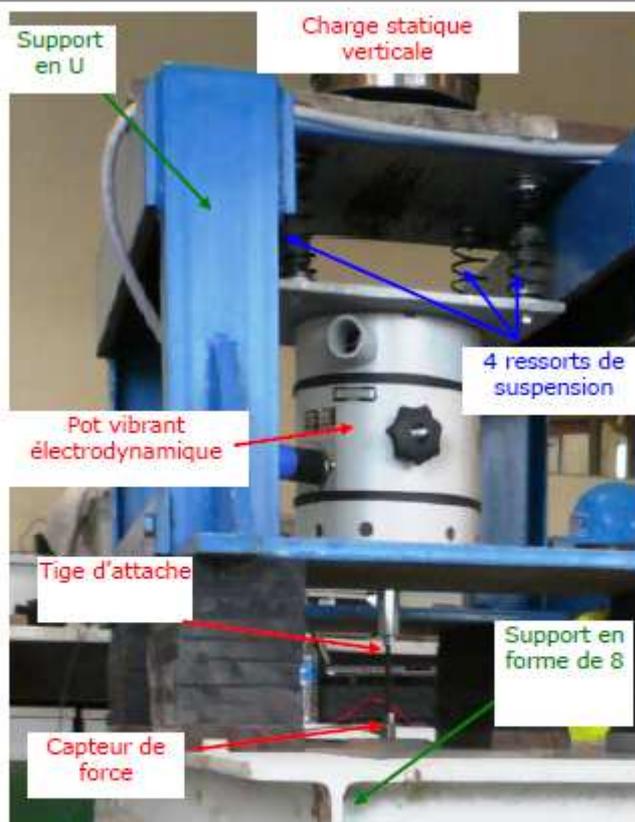


Figure 2.3 : Détail du système expérimental – Montage du pot vibrant.



Figure 2.4 : Détail du système expérimental – Montage des accéléromètres au niveau du rail avant.

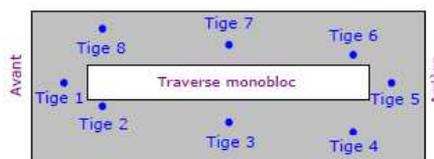


Figure 2.5 : Détail du système expérimental – Montage des accéléromètres sur les tiges.

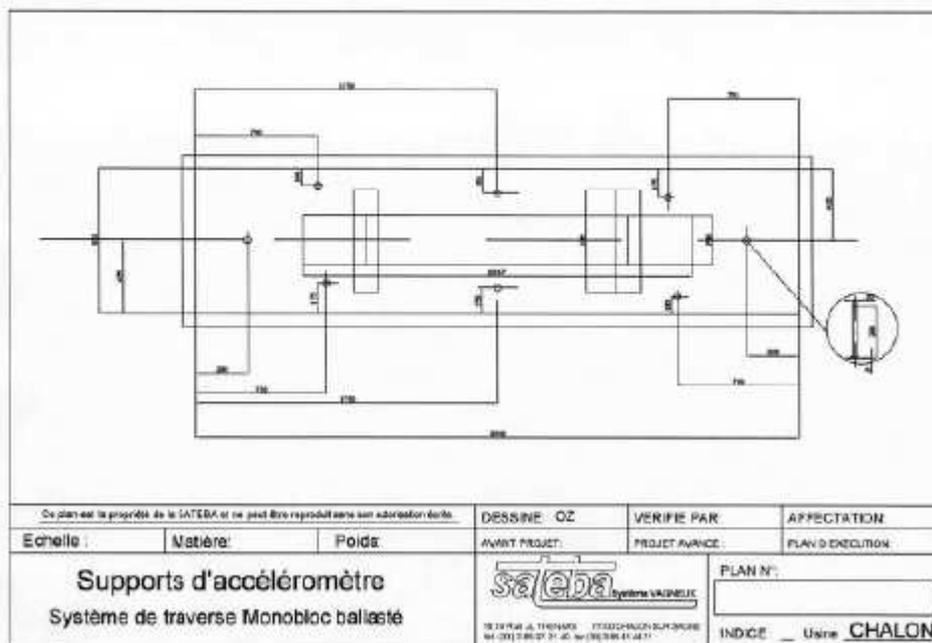


Figure 2.6 : Positions des tiges sur le fond de la caisse à ballast.

La Figure 2.7 montre comment la traverse peut reposer sur un lit de ballast de 10 cm ballast, ou être noyée en partie dans le ballast (épaisseur de 20 cm au total). Cette remontée de ballast autour de la traverse induit des courts-circuits vibratoires qui détériorent la performance en termes de perte par insertion associée à une semelle résiliente sous traverse.

Deux types de traverse monobloc ont été testés sur le banc de mesure : la première traverse monobloc de type M450 est associée avec une semelle résiliente sous traverse ; le deuxième traverse de type HAS est associée à une semelle résiliente sous selle (la selle métallique étant placée sous la semelle sous rail). La Figure 2.8 montre ces deux types de traverse. Une description des traverses est donnée à l'Annexe A. La traverse monobloc de type M450 correspond à une surface de 660400 mm² et pèse environ 296 kg ; la traverse monobloc de type HAS correspond à une surface de 787500 mm² et pèse environ 407 kg.

Les résultats des mesures effectuées sont donnés aux Sections 3 et 4 pour ces deux types de traverse. Des charges statiques de 0, 30, 60, 90 et 120 kN ont été utilisées pour charger la traverse par l'intermédiaire du vérin hydraulique. Les mesures seront effectuées pour les tiers d'octave entre 8 et 400 Hz. Toutes les mesures des vitesses vibratoires sont référencées à la force injectée (par le pot vibrant).

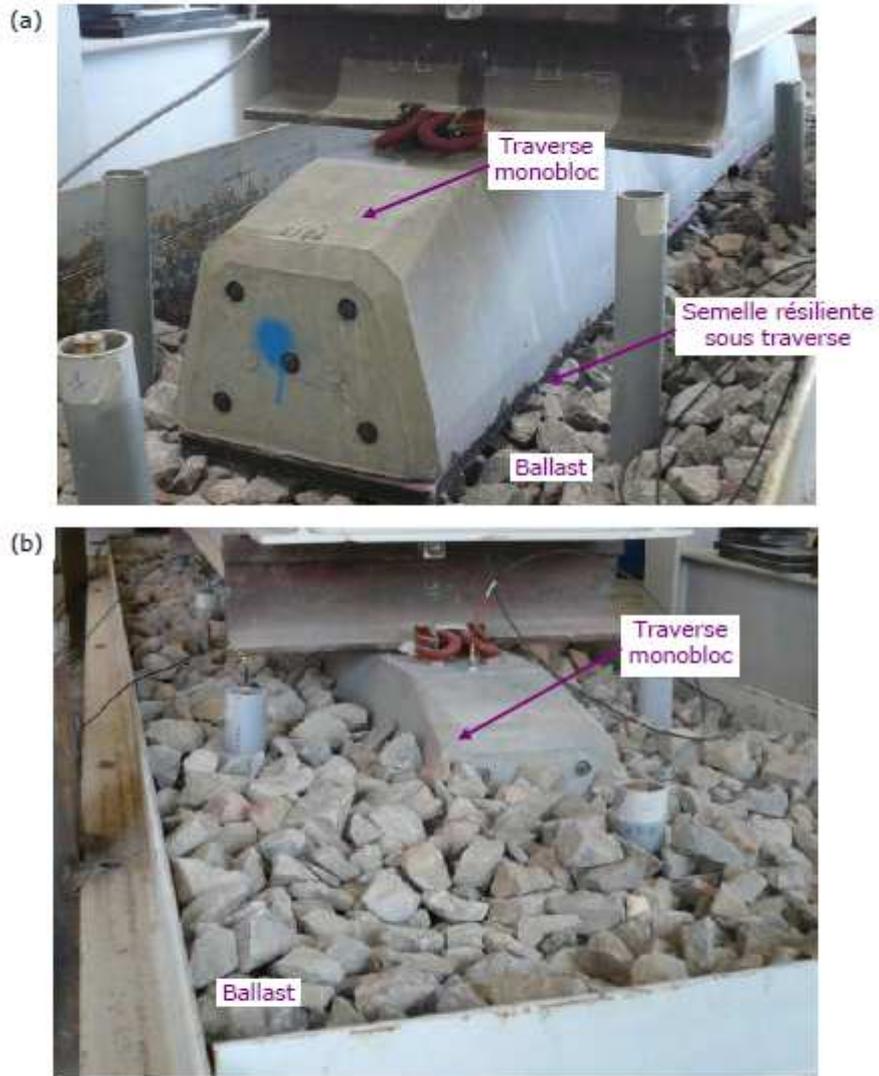


Figure 2.7 : Détails du système expérimental – (a) Traverse posée sur le ballast et (b) Ballast jusqu'à mi-hauteur de la traverse.

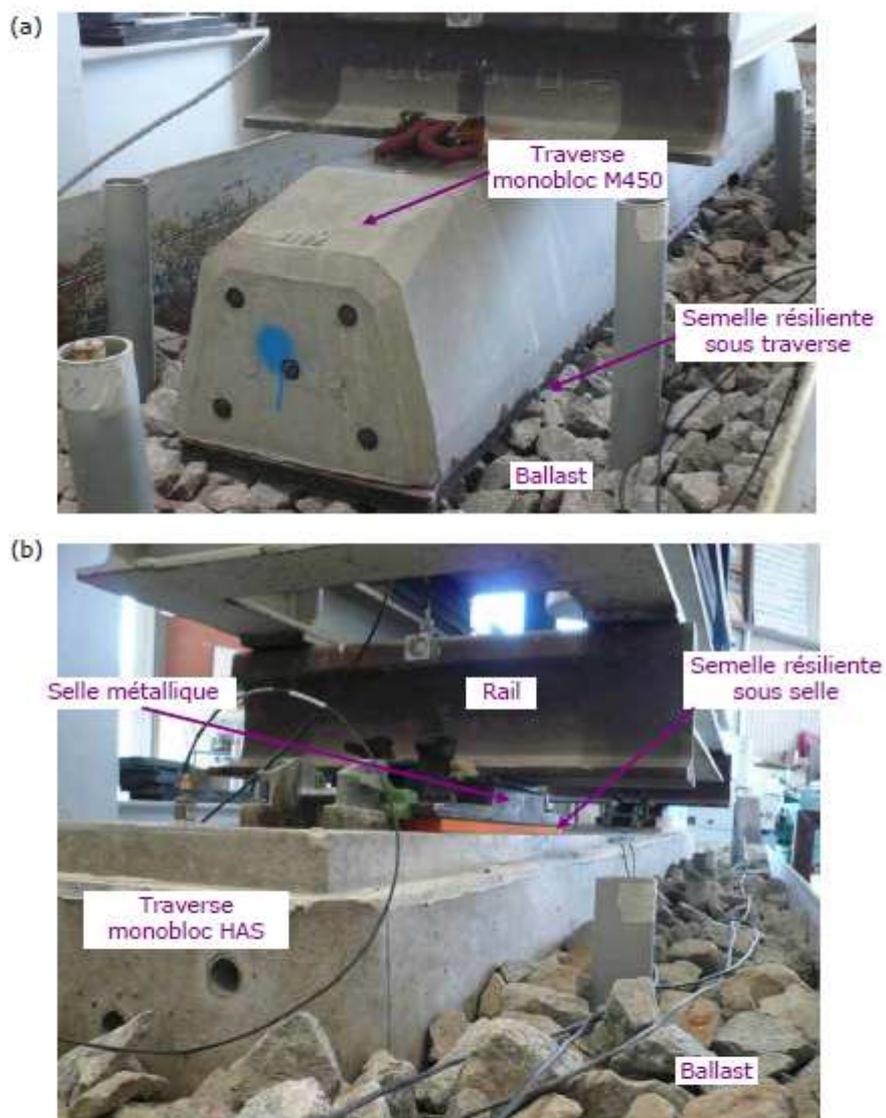


Figure 2.8 : Types de traverse considérée – (a) Système avec semelle résiliente sous traverse et (b) Système avec semelle résiliente sous selle

3 - RESULTATS POUR SYSTÈME DE POSE DE VOIE AVEC SEMELLE RÉSILIENTE SOUS TRAVERSE

Dans cette section, la traverse monobloc M450 (environ 296 kg et une surface de 660400 mm²) est testée pour deux types de semelle résiliente : une semelle résiliente SLN1510 G en polyuréthane fabriquée par Getzner et une semelle résiliente en caoutchouc recyclé (pneumatiques) fabriquée par CDM. La description de ces deux semelles est donnée en Annexe B.

3.1 - Perte par insertion

Les essais visent à évaluer la perte par insertion associée à l'utilisation d'un étage résilient dans une traverse, dans le cas présent la semelle résiliente sous traverse. Ainsi la traverse de référence sans étage résilient correspond à la traverse posée directement sur le ballast (seules les semelles sous rail standards sont présentes).

3.1.1 - Semelle Getzner SLN1510 G

La Figure 3.1 montre la perte par insertion obtenue pour la semelle résiliente SLN1510 G de Getzner pour les différentes charges statiques considérées. On notera que le minimum de la perte par insertion (négative) varie entre 40 et 80 Hz lorsque la charge statique augmente entre 30 et 120 kN. Ce minimum correspond à la fréquence de résonance du système. La sous-couche résiliente devenant plus raide lorsque la charge statique augmente, cette fréquence de résonance augmente. Au-dessus de cette fréquence de résonance, la perte par insertion est positive et supérieure à 10 dB ; ce qui correspond à une diminution du niveau vibratoire transmis au ballast.

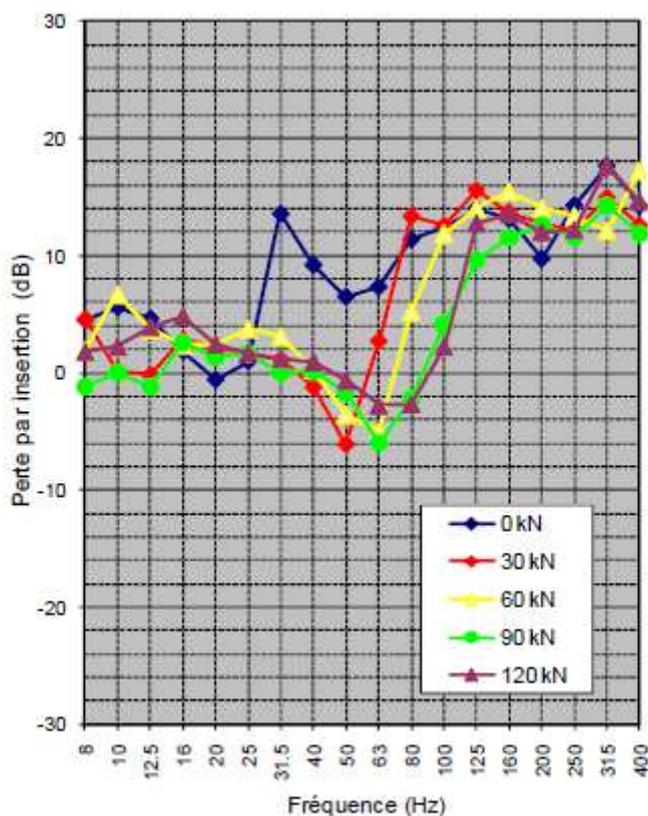


Figure 3.1 : Perte par insertion pour la semelle résiliente SLN1510 G.

3.1.2 - Semelle CDM

La Figure 3.2 montre la perte par insertion obtenue pour la semelle résiliente de CDM pour les différentes charges statiques considérées. Les résultats sont relativement similaires à ceux obtenus pour la semelle résiliente SLN1510 G. On notera que le minimum de la perte par insertion (négative) varie entre 50 et 80 Hz lorsque la charge statique augmente entre 30 et 120 kN. Au-dessus de ces fréquences, la perte par insertion est positive et supérieure à 10 dB. Le Tableau 3.1 donne la déflexion statique pour les différentes charges considérées, mesurée au niveau du blochet arrière ; pour la charge statique de 120 kN la déflexion statique reste en dessous de 4 mm.

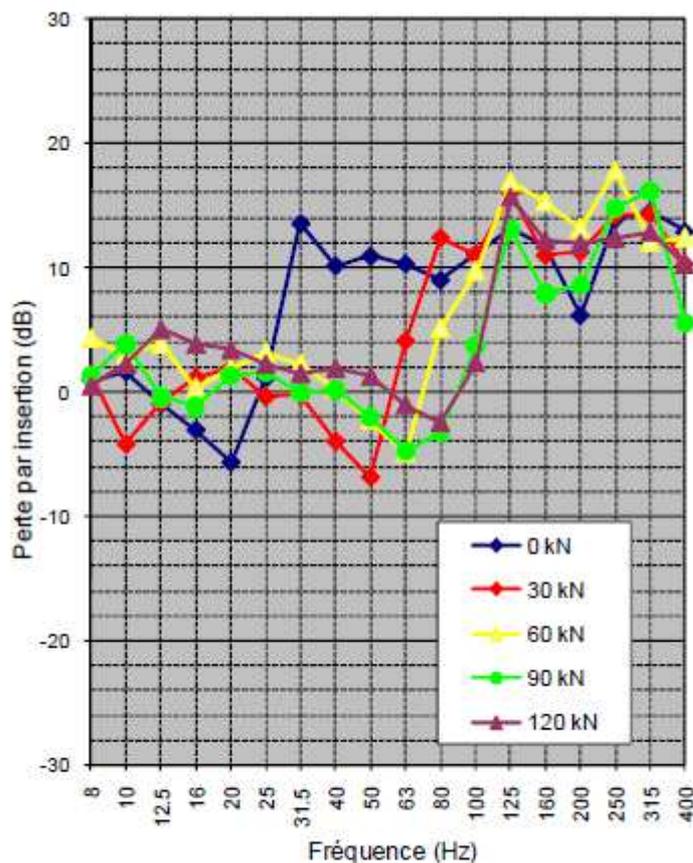


Figure 3.2 : Perte par insertion pour la semelle résiliente CDM.

Tableau 3.1 : Déflexion statique pour les différentes charges.

Charge statique en kN	Déflexion statique en mm
0	0
30	2.1
60	3.2
90	3.6
120	3.9

Dans un deuxième temps, le niveau de ballast est ramené jusqu'au-dessus de la hauteur de la traverse (voir Figure 2.7). La Figure 3.3 montre la différence de niveau vibratoire obtenu en moyenne sur le ballast (sur les tiges fixées en fond de la boîte à ballast)) lorsque la hauteur de ballast est augmentée de 10 cm (en dessous de la traverse) à 20 cm (enrobant la traverse jusqu'à mi-hauteur). On note que les valeurs globalement positives observées pour les différentes charges statiques montrent que le niveau vibratoire moyen sur le fond de la boîte à ballast est plus élevé lorsque la traverse avec sa semelle résiliente est enrobée par du ballast jusqu'à mi-hauteur ; ce phénomène est certainement à relier au court-circuit vibratoire associé au ballast autour de la traverse : les vibrations de la traverse sont transmises en partie directement au ballast. L'efficacité de la semelle résiliente est donc amoindrie lorsque le ballast enrobe la traverse ce qui est bien le cas en voie.

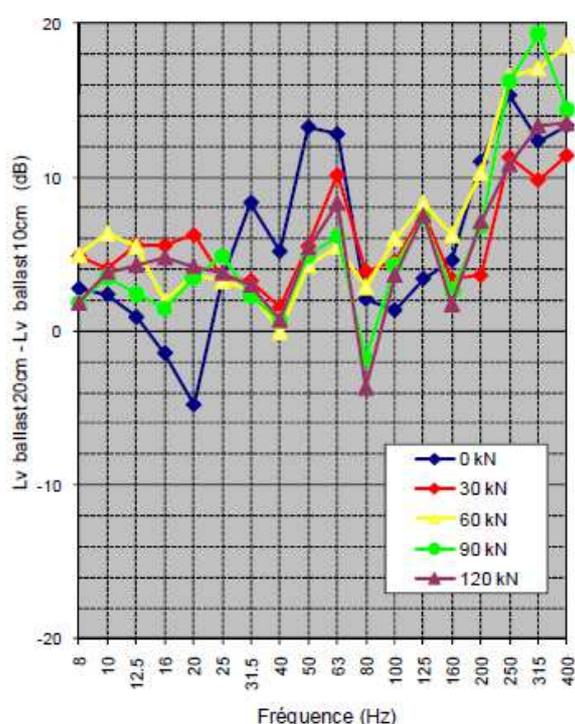


Figure 3.3 : Différence du niveau vibratoire du ballast associée à l'augmentation de la hauteur de ballast, pour la semelle résiliente CDM.

3.1.3 - Comparaison des deux types de semelle résiliente

La Figure 3.4 montre une comparaison pour les différentes charges statiques de la perte par insertion obtenue pour les deux semelles résilientes (SLN1510 G et CDM). Ces résultats correspondent à ceux obtenus lorsque la traverse repose sur 10 cm de ballast (pas de ballast autour de la traverse).

La performance en termes de perte par insertion pour les différentes charges statiques considérées, c'est-à-dire 30, 60, 90 et 120 kN est identiques pour les deux types de semelle résiliente.

Il faut noter que les vibrations dans le sol générées par la circulation du transport ferroviaire de marchandise (fret) présentent un maximum pour les tiers d'octave entre 31.5 et 50 Hz. Ces vibrations ne pourront pas être diminuées par l'utilisation des semelles résilientes sous traverse testées dans le cadre de cette étude.

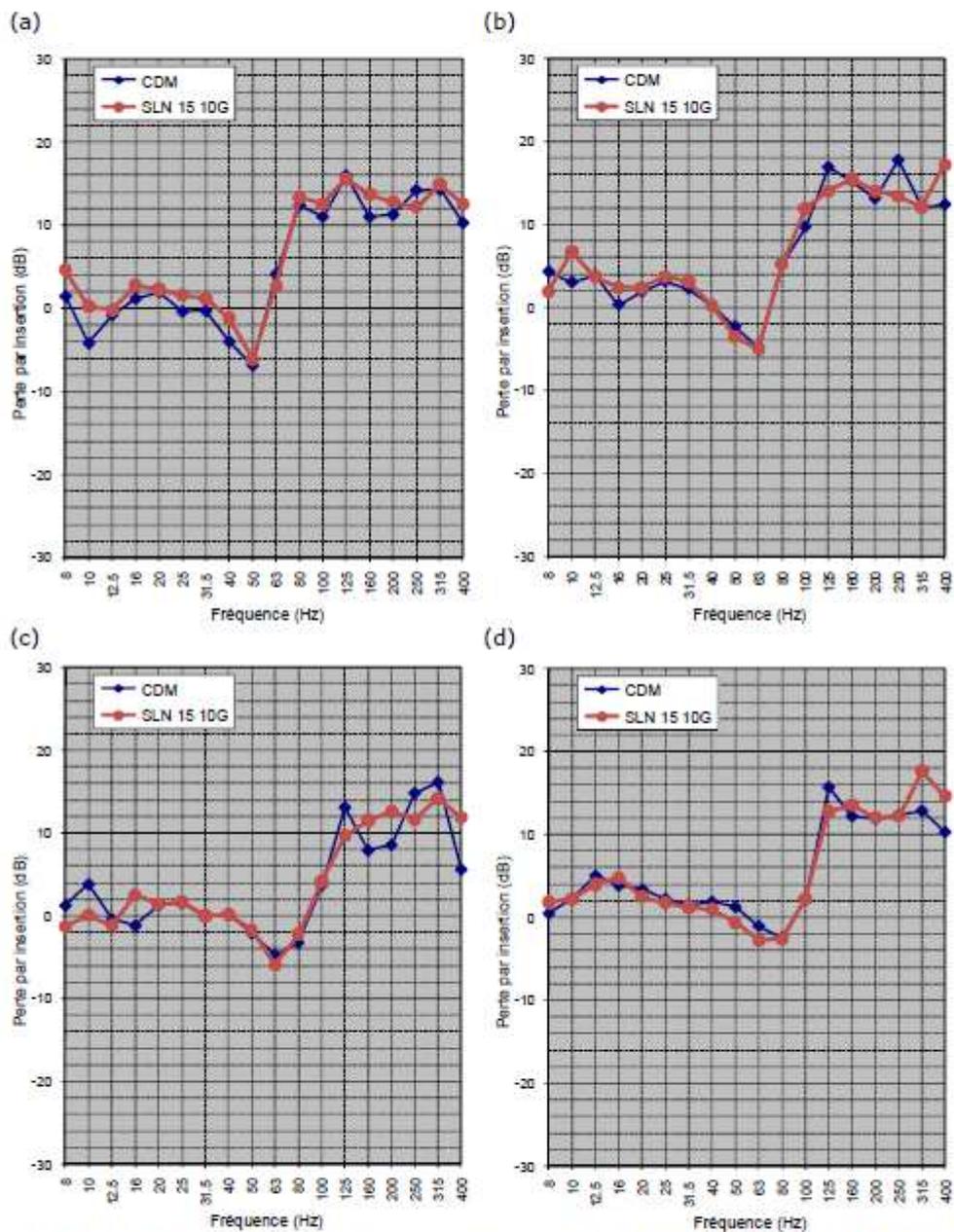


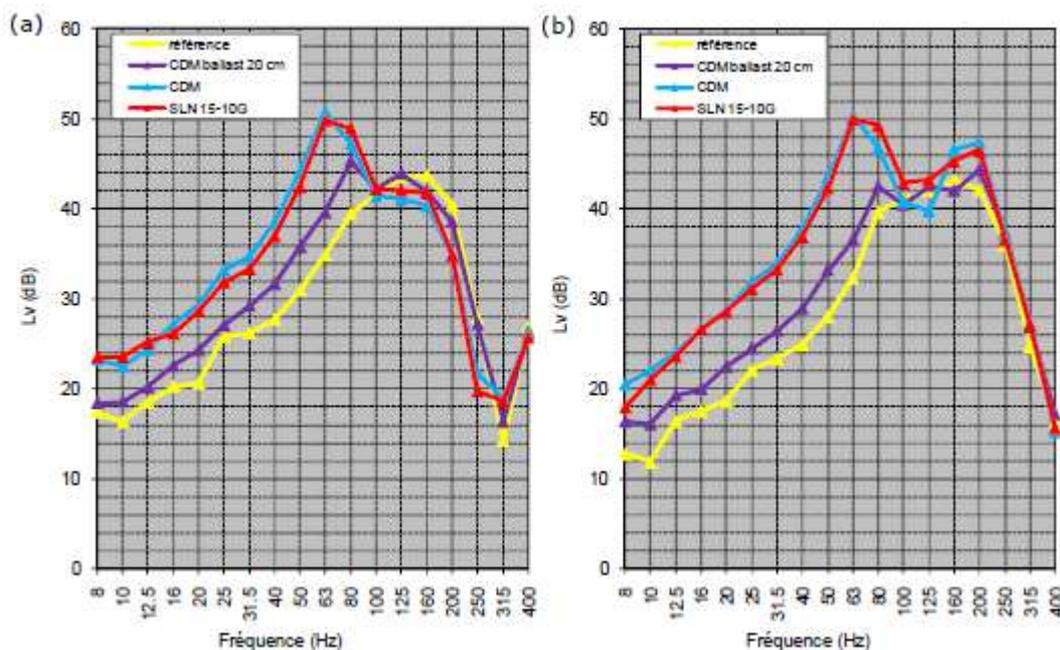
Figure 3.4 : Perte par insertion pour une charge statique de (a) 30 kN, (b) 60 kN, (c) 90 kN et (d) 120 kN.

3.2 - Niveaux de vitesse

Dans cette section, les niveaux vibratoires (référéncés à la force injectée) moyens mesurés sur le rail, la traverse et le ballast sont présentés à la Figure 3.5 et 3.6 pour respectivement une charge de 60 et 120 kN. Les résultats sont similaires pour les autres charges considérées.

Comme précédemment on peut noter que les résultats pour la semelle résiliente SLN1510 G et celle CDM sont identiques. Le niveau vibratoire moyen sur les rails est augmenté par la présence d'une semelle résiliente en dessous du tiers d'octave 100 Hz. La présence de ballast jusqu'à mi-hauteur de la traverse diminue l'augmentation du niveau vibratoire du rail associée à la présence de la semelle résiliente en dessous du tiers d'octave 100 Hz. Le comportement vibratoire de la traverse est assez similaire, si ce n'est que le niveau vibratoire est relativement élevé autour des tiers d'octave 160-200 Hz. Les niveaux de vitesse du ballast lorsque la traverse est équipée d'une semelle résiliente sont bien inférieurs à partir du tiers d'octave 80 Hz à ceux observés lorsque la traverse est directement posée sur le ballast. Lorsque le ballast remonte jusqu'à mi-hauteur de la traverse équipée d'une semelle résiliente, les niveaux vibratoires du ballast sont aussi plus faibles entre les tiers d'octave 80 ou 100 et 250 Hz que ceux mesurés lorsque la traverse repose directement sur le ballast.

Afin d'estimer la répétabilité des mesures, la configuration avec la traverse reposant directement sur le ballast sans sous couche a été mesurée une seconde fois pour une charge de 60 kN, après mesurage à 90 et 120 kN. La comparaison entre les deux séries de mesure est présentée Figure 3.7 ; la dispersion obtenue est correcte compte tenu des cycles de charge et décharge statiques encaissés par le ballast.



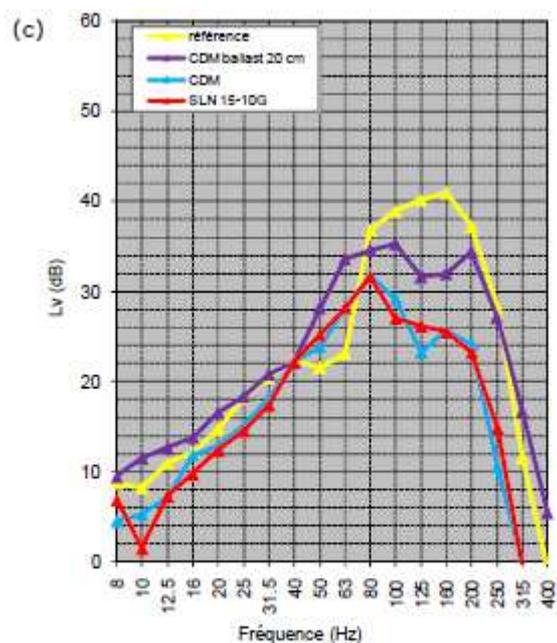
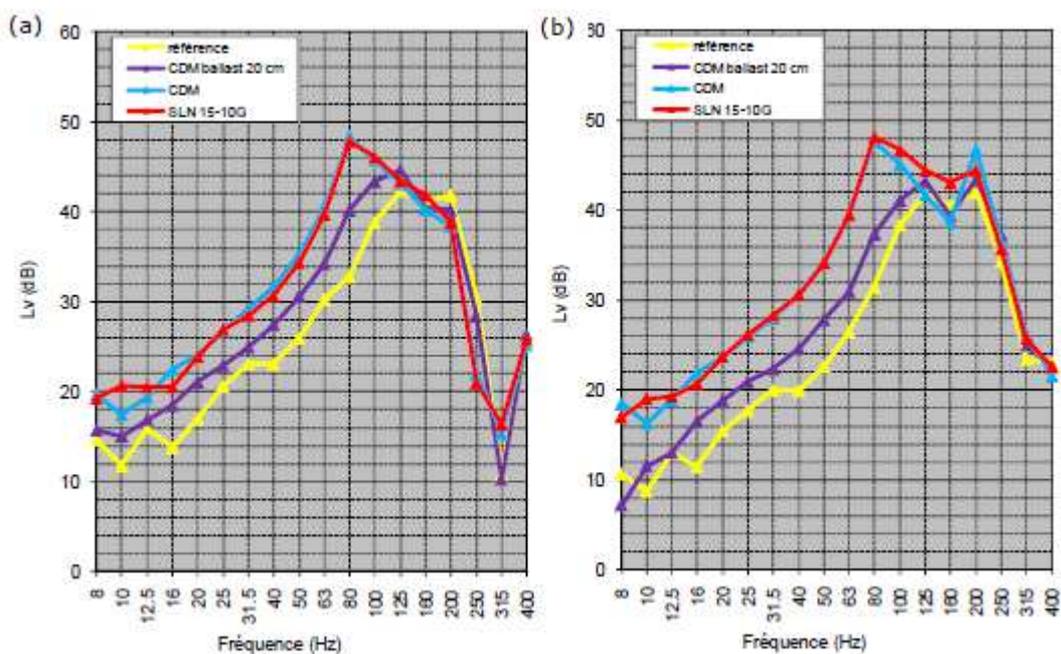


Figure 3.5 : Niveau de vitesse en dB (réf. 50 nm/s/N) pour une charge de 60 kN ;
(a) rail, (b) traverse et (c) ballast.



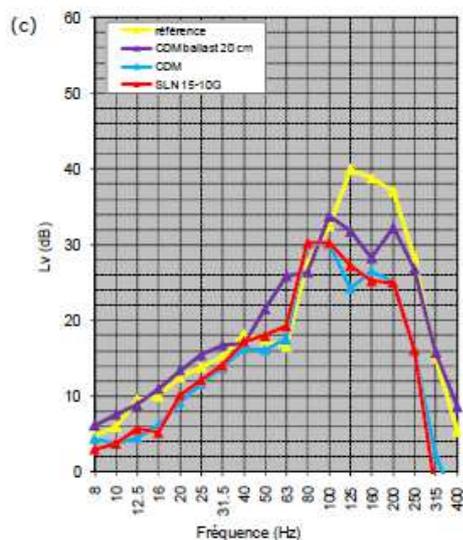


Figure 3.6 : Niveau de vitesse en dB (réf. 50 nm/s/N) pour une charge de 120 kN ; (a) rail, (b) traverse et (c) ballast.

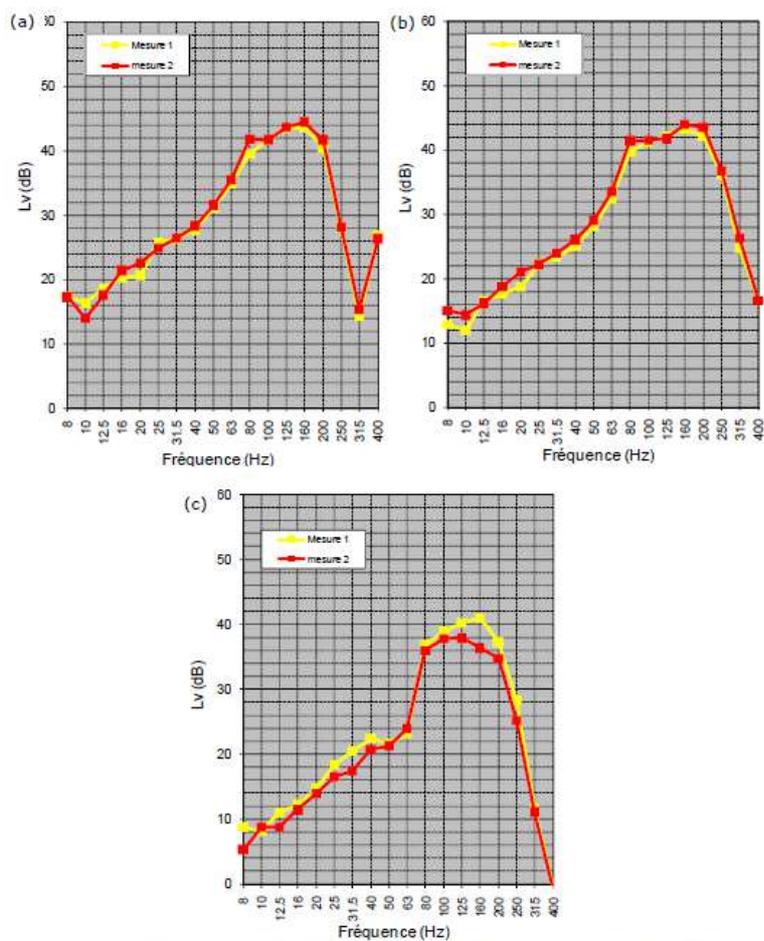


Figure 3.7: Différence des niveaux de vitesse en dB (réf. 50 nm/s/N) entre deux configurations identiques pour une charge de 60 kN ; (a) rail, (b) traverse et (c) ballast.

4 - RESULTATS POUR SYSTÈME DE POSE DE VOIE AVEC SEMELLE RÉSILIENTE SOUS SELLE

Dans cette section, la traverse monobloc HAS (environ 407 kg et une surface de 787500 mm²) est testée pour différents types de semelle résiliente sous selle : EDILON 3000 en épaisseur de 10 et 12 mm, EDILON 4000 d'épaisseur 10 mm, SLN1510 G en polyuréthane fabriquée par Getzner (identique à celle testée en semelle résiliente sous traverse). La semelle sous selle standard a aussi été évaluée. La description de ces semelles résilientes et celle standard sous selle est donnée en Annexe B. La traverse repose sur un peu plus de 10 cm de ballast ; le ballast remonte jusqu'à environ mi-hauteur de la traverse.

4.1 - Perte par insertion

Les essais visent à évaluer une perte par insertion associée à l'utilisation d'un étage résilient sous la selle. Ainsi le système de référence sans étage résilient correspond à la selle posée directement sur la traverse par l'intermédiaire d'une plaque rigide (les semelles sous rail standards restent bien entendu présentes) comme le montre la Figure 4.1.



Figure 4.1 : Système de référence pour l'évaluation de la perte par insertion – Semelle sous selle rigide.

4.1.1 - Semelle standard

La Figure 4.2 montre la perte par insertion obtenue pour la semelle sous selle standard pour les différentes charges statiques considérées. La perte par insertion est proche de 0 dB sur toute la bande de fréquence considérée. Le minimum de la perte par insertion (négative) est placé à 63 Hz pour les charges statiques de 30 et 60 kN et à 80 Hz pour les charges statiques de 90 et 120 kN.

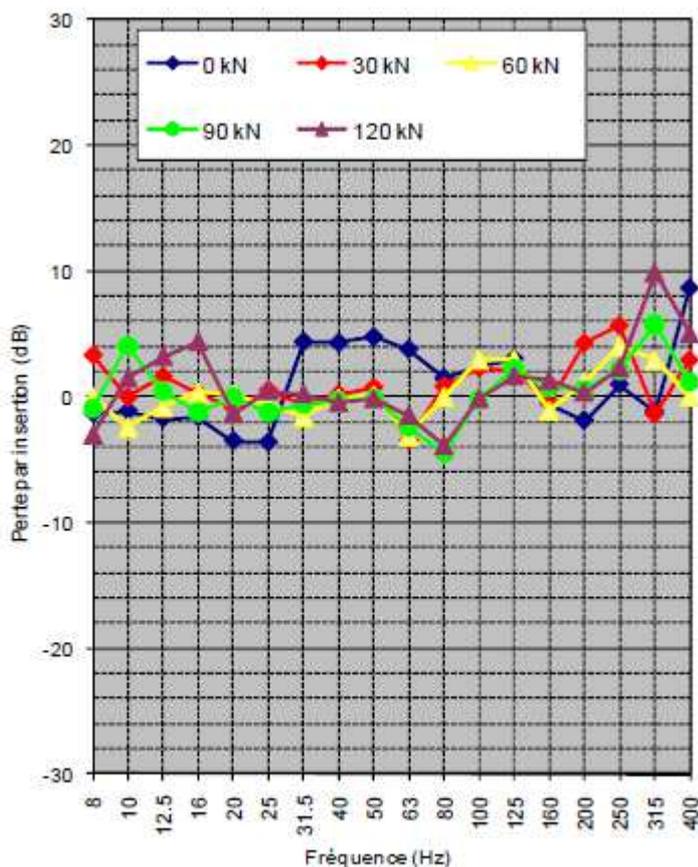


Figure 4.2 : Perte par insertion pour la semelle résiliente sous selle standard.

4.1.2 - Semelle Getzner SLN1510 G

La Figure 4.3 montre la perte par insertion obtenue pour la semelle résiliente sous selle SLN1510 G de Getzner pour les différentes charges statiques considérées.

Tout comme pour la semelle sous selle standard, la perte par insertion est proche de 0 dB sur toute la bande de fréquence considérée. Le minimum de la perte par insertion (négative) est aussi placé à 63 Hz pour les charges statiques de 30 et 60 kN et à 80 Hz pour les charges statiques de 90 et 120 kN.

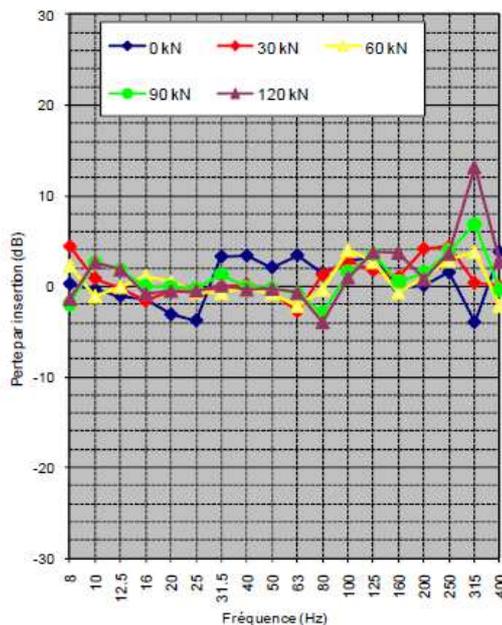


Figure 4.3 : Perte par insertion pour la semelle résiliente sous selle SLN1510 G.

4.1.3 - Semelle EDILON 3000

Les Figures 4.4 et 4.5 montrent pour les différentes charges statiques considérées la perte par insertion obtenue pour la semelle résiliente sous selle EDILON 3000 respectivement pour une épaisseur de 10 et 12 mm. La perte par insertion est légèrement positive au-dessus de la fréquence de résonance du système, soit au-dessus du tiers d'octave 63 Hz pour les charges statiques de 30 et 60 kN et 80 Hz pour les charges statiques de 90 et 120 kN. La perte par insertion est un peu meilleure au-dessus de la fréquence de résonance, lorsque l'épaisseur de la semelle résiliente sous selle passe de 10 à 12 mm.

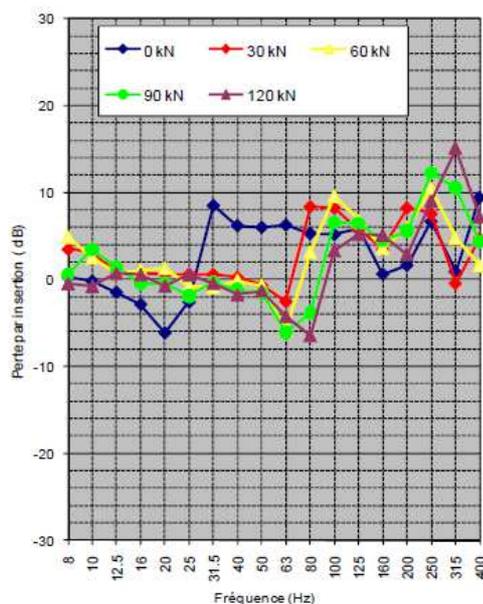


Figure 4.4 : Perte par insertion pour la semelle résiliente sous selle EDILON 3000 pour une épaisseur de 10 mm.

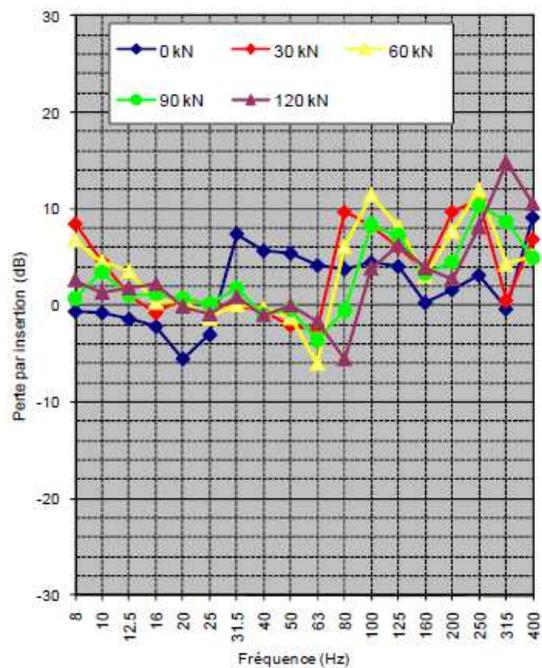


Figure 4.5 : Perte par insertion pour la semelle résiliente sous selle EDILON 3000 pour une épaisseur de 12 mm.

4.1.4 - Semelle EDILON 4000

La Figure 4.6 montre pour les différentes charges statiques considérées la perte par insertion obtenue pour la semelle résiliente sous selle EDILON 4000 (d'une épaisseur de 10 mm). La perte par insertion est positive mais limitée au-dessus de la fréquence de résonance du système, soit au-dessus du tiers d'octave 63 Hz pour les charges statiques de 30 et 60 kN et 80 Hz pour les charges statiques de 90 et 120 kN.

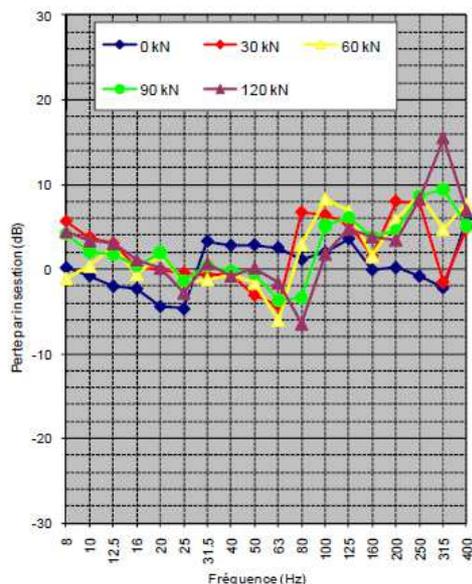


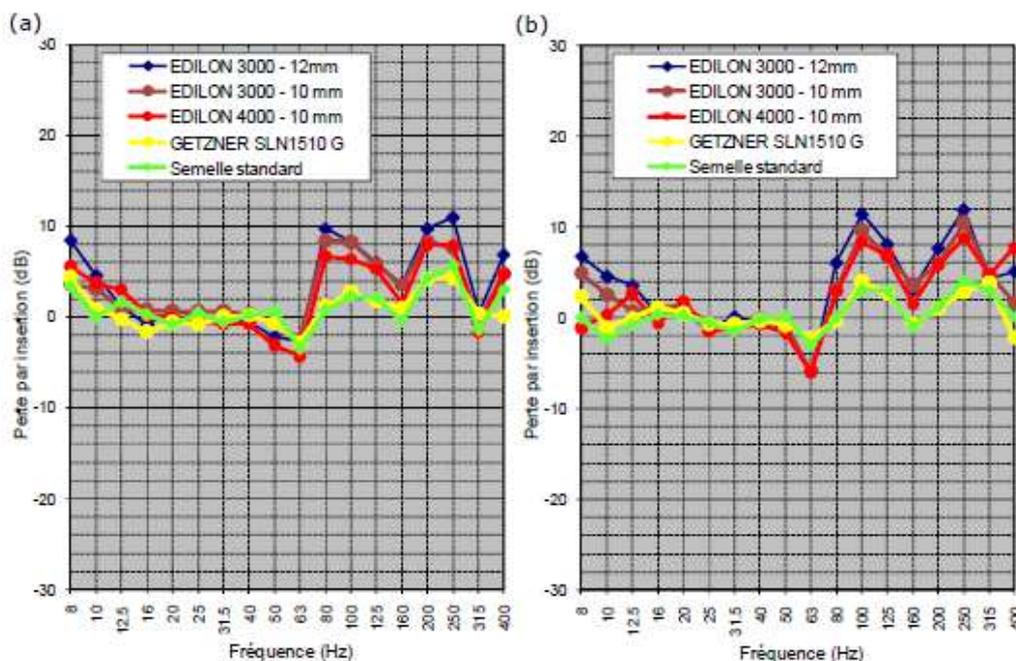
Figure 4.6 : Perte par insertion pour la semelle résiliente sous selle EDILON 4000.

4.1.5 - Comparaison des différents types de semelle sous selle

La Figure 4.7 montre une comparaison pour les différentes charges statiques de la perte par insertion obtenue pour les différentes semelles sous selle considérées résilientes.

La performance en termes de perte par insertion pour les différentes charges statiques considérées, c'est-à-dire 30, 60, 90 et 120 kN est similaire pour les semelles résilientes sous selle de type EDILON. La semelle sous selle standard est peu efficace en termes de perte par insertion. La perte par insertion associée à la semelle résiliente sous selle SLN 1510 G (fabriquée par Getzner) est très proche de celle standard pour les charges statiques de 30 et 60 kN, et un peu meilleure pour les charges statiques de 90 et 120 kN.

La performance en termes de perte par insertion est plus faible pour les semelles résilientes sous selle considérées que pour les semelles résilientes sous traverse évaluées. Comme précédemment indiqué, les vibrations dans le sol générées par la circulation du transport ferroviaire de marchandise (fret) présentant un maximum pour les tiers d'octave entre 31.5 et 50 Hz, elles ne pourront pas être diminuées par l'utilisation des semelles résilientes sous selle testées dans le cadre de cette étude.



Réf. DAE/2010-198/CG/GC
Juillet 2010

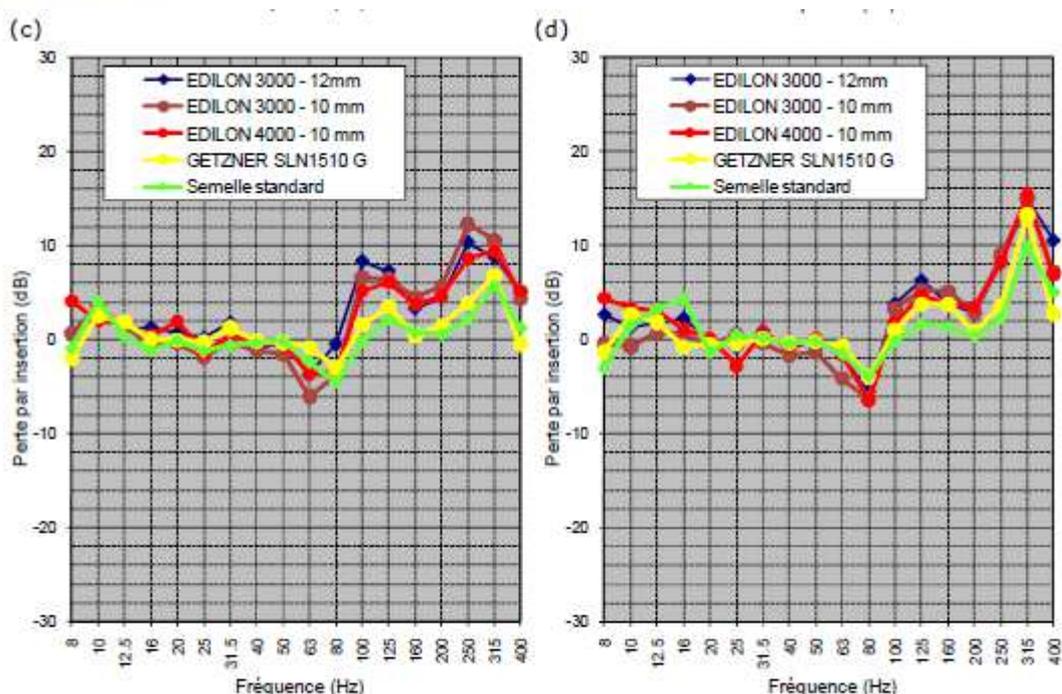


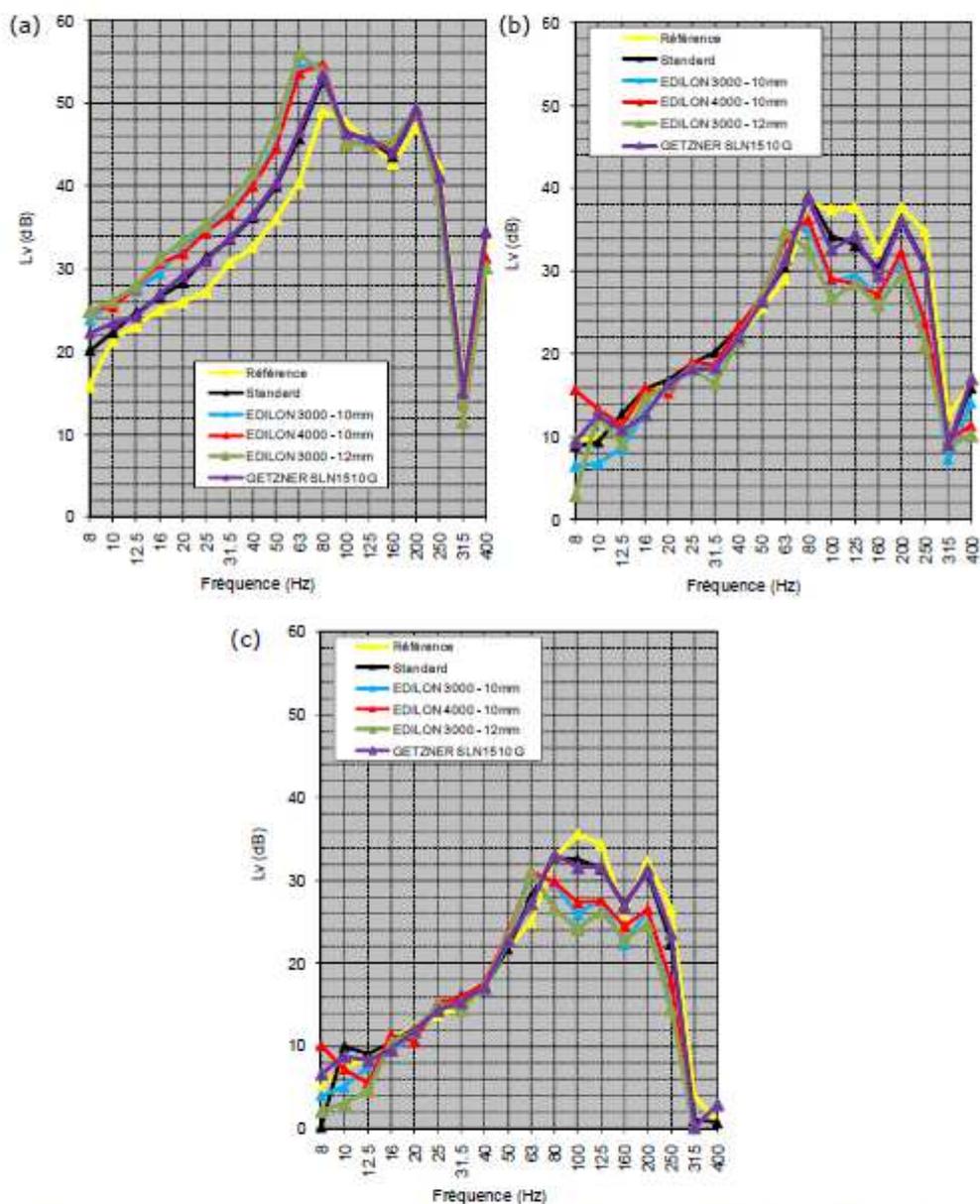
Figure 4.7 : Perte par insertion pour une charge statique de (a) 30 kN, (b) 60 kN, (c) 90 kN et (d) 120 kN.

4.2 - Niveaux de vitesse

Dans cette section, les niveaux vibratoires (référéncés à la force injectée) moyens mesurés sur le rail, la traverse et le ballast sont présentés à la Figure 4.8 et 4.9 pour respectivement une charge de 60 et 120 kN. Les résultats sont similaires pour les autres charges considérées.

Comme précédemment on peut noter que les résultats pour les trois types de semelles sous selle EDILON sont identiques. La semelle sous selle SLN1510 G de Getzner est intermédiaire entre les EDILON et la semelle sous selle standard.

Le niveau vibratoire moyen sur les rails est augmenté par la présence d'une semelle résiliente sous selle en dessous du tiers d'octave 80 Hz. Contrairement au cas où la semelle résiliente est placée sous la traverse, les niveaux vibratoires de la traverse pour les semelles résilientes positionnées sous la selle sont réduits par rapport à ceux des rails. Les niveaux de vitesse du ballast sont aussi diminués par rapport à ceux de la traverse.



**Figure 4.8 : Niveau de vitesse en dB (réf. 50 nm/s/N) pour une charge de 60 kN ;
(a) rail, (b) traverse et (c) ballast.**

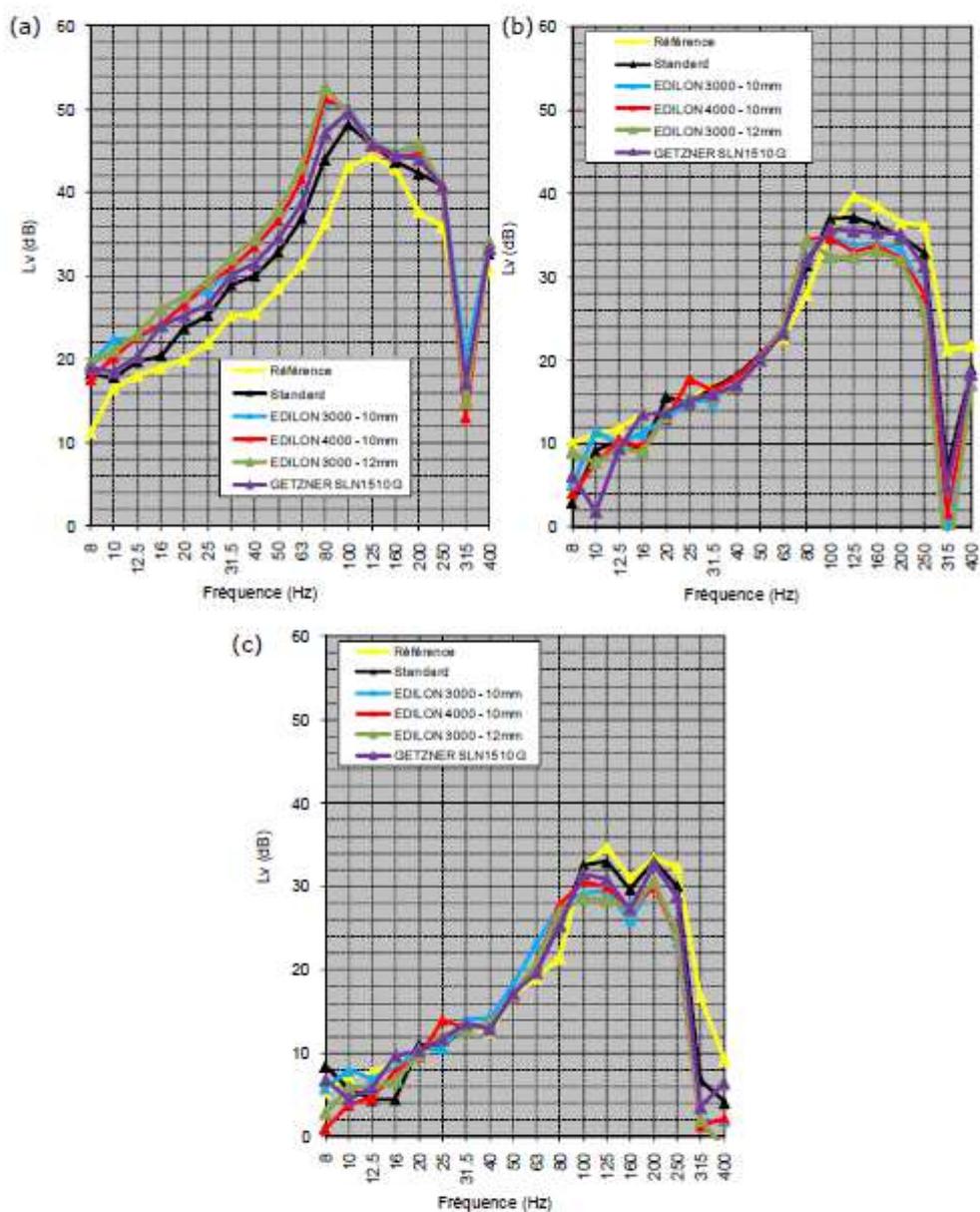


Figure 4.9 : Niveau de vitesse en dB (réf. 50 nm/s/N) pour une charge de 120 kN ; (a) rail, (b) traverse et (c) ballast.



ER-712-080014-712-BAT

5 - ANNEXE A – DONNÉES TECHNIQUES DES TRAVERSES

Les deux types de traverse monobloc testés sur le banc de mesure sont décrits dans cette annexe.

5.1 - Traverse M450

La Figure 5.1 montre un plan de la traverse M450 ; cette traverse correspond à une surface de 660400 mm² et pèse environ 296 kg.

5.2 - Traverse HAS

La Figure 5.2 montre un plan de la traverse HAS ; cette traverse correspond à une surface de 787500 mm² et pèse environ 407 kg.

Ref. DAE/2010-198/CG/GC
Juillet2010

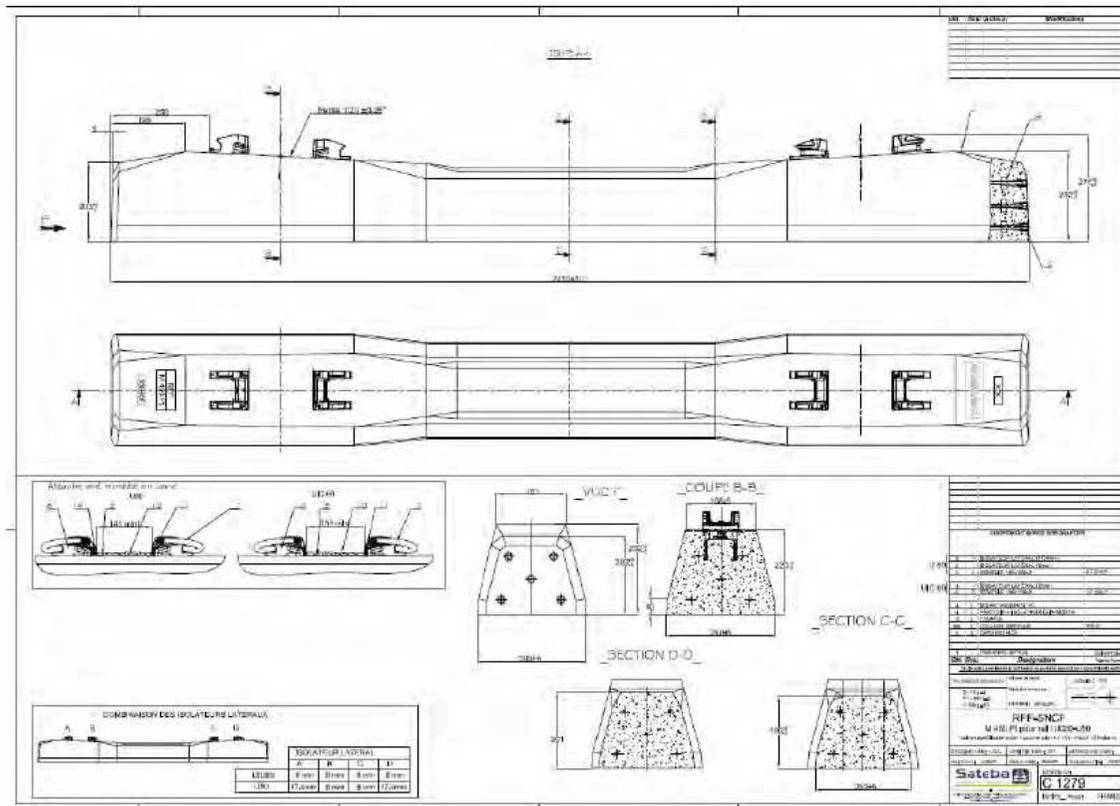


Figure 5.1 : Plan de la traverse M450.

Réf. DAE/2010-198/CG/GC
Juillet 2010

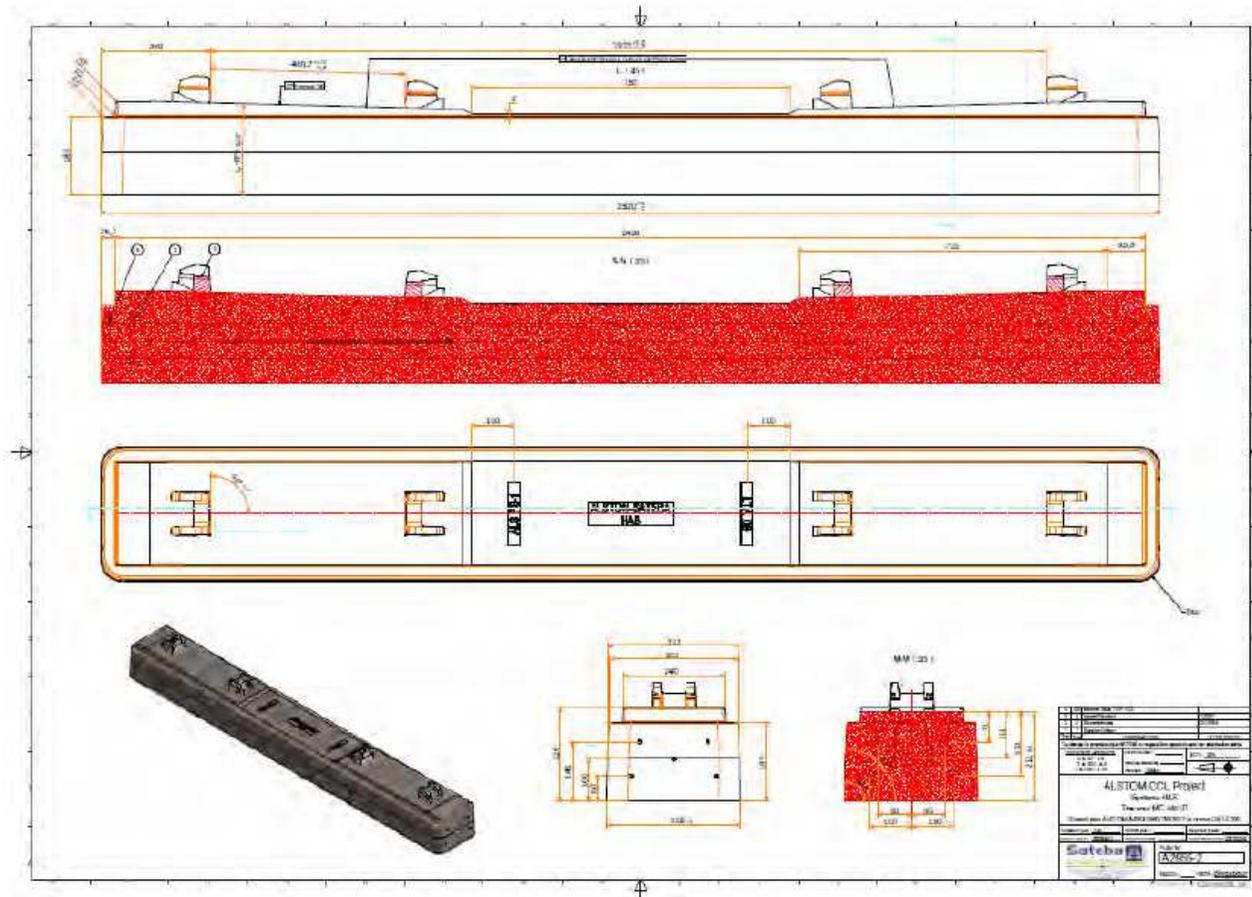


Figure 5.2 : Plan de la traverse HAS.

6 - ANNEXE B – DONNÉES TECHNIQUES DES SEMELLES TESTÉES

6.1 - Données techniques pour la semelle résiliente SL1510 G

La Figure 6.1 montre une photographie de la semelle résiliente SL1510 G dont l'épaisseur de la couche résiliente est d'environ 12 mm et qui comporte une couche fibreuse (d'environ 5 mm d'épaisseur) permettant l'accroche du béton sur la traverse sur la semelle résiliente, et une couche de géotextile de l'autre côté pour limiter les déchirures de la sous-couche par les roches du ballast. Cette sous-couche est en polyuréthane et correspond à une raideur statique de 15 GN/m³.



Figure 6.1 : Photographie de la sous-couche résiliente SL1510 G.

syldyn® Under Sleeper Pad SLN 1510 G

by getzner
syldyn®

Description:

Elastic Under Sleeper Pad made of Polyurethane with mounting mesh for assembly onto concrete sleepers

Application:

- in ballast track
- for ballast protection
- track stabilisation and improvement of track quality
- vibration isolation

Recommended application area:

Main Line

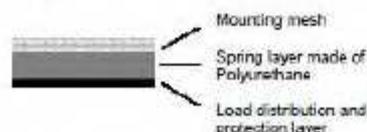
Binding modulus:

$c_{\text{stat}} = 0,15 \text{ N/mm}^2$

(Static secant stiffness, evaluated (according to DIN 45673-1) between 0,02 N/mm² and 0,15 N/mm² on ballast plate (according to DIN 45673-1), at room temperature)



Design:



Thickness including mounting mesh:

approx. 15 mm

Remain thickness without mounting mesh:

approx. 10 mm

Weight:

approx. 3 kg/m²

Form of delivery:

2 semi-parts per sleeper

Fixation on the sleeper:

Full surface connection provided by the mounting mesh which is directly produced into the wet concrete during the production process of the sleeper

Tearing strength of the connection Under Sleeper Pad - concrete sleeper:

min. 0,4 N/mm²,
average of all 3 samples min. 0,5 N/mm²

(Measurements according to DBS 918 145-1)

Fatigue test:

Test report: No. L2020-2008-11
(Détermination de la raideur relative avant et après Vibrogrit d'une traverse B91 SLN1510G)

(Measurements according to Vibrogrit)

Geometry:

Adjusted to the shape of the sleeper

(a distance of min. 10 mm between the sleeper edge and the used Under Sleeper Pad is recommended)

Getzner Werkstoffe GmbH
Helmweg 3
50769 Köln
Germany
Phone: +49 228 22 02 10
Fax: +49 228 22 02 999
mailto:info@getzner.com

Getzner Werkstoffe GmbH
Königsplatz 11
50829 Köln
Germany
Phone: +49 228 42 25 44 00
Fax: +49 228 42 25 44 00
mailto:info@getzner.com

Getzner Werkstoffe GmbH
Helmweg 3, 50769 Köln
Germany
Phone: +49 228 22 02 10
Fax: +49 228 22 02 999
mailto:info@getzner.com

Getzner Werkstoffe GmbH
Helmweg 3, 50769 Köln
Germany
Phone: +49 228 22 02 10
Fax: +49 228 22 02 999
mailto:info@getzner.com

Milan Getzner S.p.A.
L. 20149 011 10446 00
Italy
Phone: +39 02 24 42 10
Fax: +39 02 24 42 999

www.getzner.com


CSTB
le futur en construction

ER-712-080014-712-BAT

syldyn[®] Under Sleeper Pad SLN 1510 G

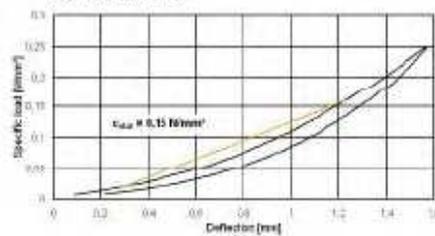
 by getzner
syldyn[®]

Static load deflection curve:

Measurement on the basis of DIN 45673-1

- **Sample size:**
300 mm x 300 mm x 10 mm
(without mounting mesh and concrete block)
- **Sample preparation:**
Storage prior to measurement min. 24h at standard climate (23°C, 50% relative humidity)
- **Measuring conditions:**
Measurement on ballast plate according to DIN 45673-1
- **Load cycles speed:**
0,01 N/mm²s
- **Measurement:**
During the 3rd load cycle
- **Evaluation:**
Static eccentric difference between:
0,02 N/mm² and 0,16 N/mm²

Load deflection curve

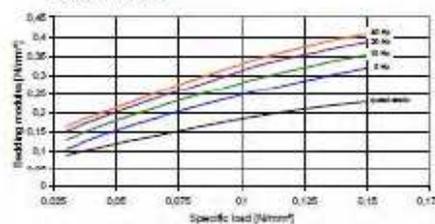


Dynamic bedding modulus:

Measurements on the basis of DIN 45673-1

- **Sample size:**
300 mm x 300 mm x 10 mm
(without mounting mesh and concrete block)
- **Sample preparation:**
Storage prior to the measurement min. 24h at standard climate (23°C, 50% relative humidity)
- **Measuring conditions:**
Measurement on ballast plate according to DIN 45673-1
- **Evaluation:**
Dynamic bedding modulus for velocity amplitude about 100 dB, (ref. 5×10^{-4} m/s)

Bedding modulus



All information and data is based on our current knowledge.
Further information can be found in our actual Under Sleeper Pad brochure.

Date of issue: December 2009, subject to modifications.

 Getzner Werkstoffe GmbH
 Hermann-Str.
 6704 Buxa
 Austria
 Phone +43 2822202110
 Fax +43 282220211000
 info@getzner.com

 Getzner Werkstoffe GmbH
 am Burgjahn 11
 4107 Berlin
 Germany
 Phone +49 30 455034-00
 Fax +49 30 455034 33
 info@getzner.com

 Getzner Werkstoffe GmbH
 Wäldchen-Wendehof Str. 27a
 82031 Garmisch
 Germany
 Phone +49 89 482200-0
 Fax +49 89 482200 11
 info@getzner.com

 Getzner Werkstoffe GmbH
 Middle East Regional Office
 Al-Bal'at Hamad Street Bld. 114
 Binawi Qatar - Doha
 P.O. Box 201 302
 Ar Rayyan 11965, Qatar
 Phone +952 5877348
 Fax +952 5877353
 info@getzner.com

 Mitsui Getzner A.R.
 1, Mishref Plaza 5F
 Sheikha Maysa Bin
 Saoud Street, Doha
 Qatar
 Phone +952 54622340
 Fax +952 54622378

 www.getzner.com

 Réf. DAE/2010-198/CG/GC
 Juillet 2010



ER-712-080014-712-BAT

6.2 - Donnée technique pour la semelle résiliente CDM

La Figure 6.2 montre une photographie de la semelle résiliente de CDM dont l'épaisseur de la couche résiliente est d'environ 15 mm et qui comporte une couche fibreuse géotextile permettant de limiter les déchirures de la sous-couche par les roches du ballast. Cette sous-couche est en caoutchouc recyclé; son comportement par rapport à l'eau doit être vérifié.

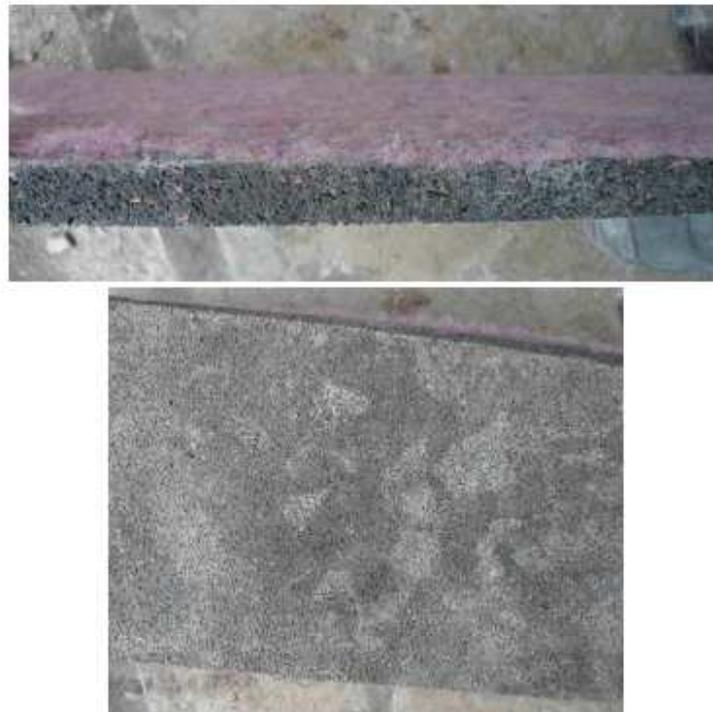


Figure 6.2 : Photographie de la sous-couche résiliente CDM.

6.3 - Donnée technique pour la semelle résiliente EDILON 3000

La Figure 6.3 montre une photographie de la semelle résiliente EDILON 3000 ; cette semelle a été testée en 2 épaisseurs : 10 et 12 mm. Cette sous-couche est en élastomère de polyuréthane ; les données techniques sont données ci-dessous.

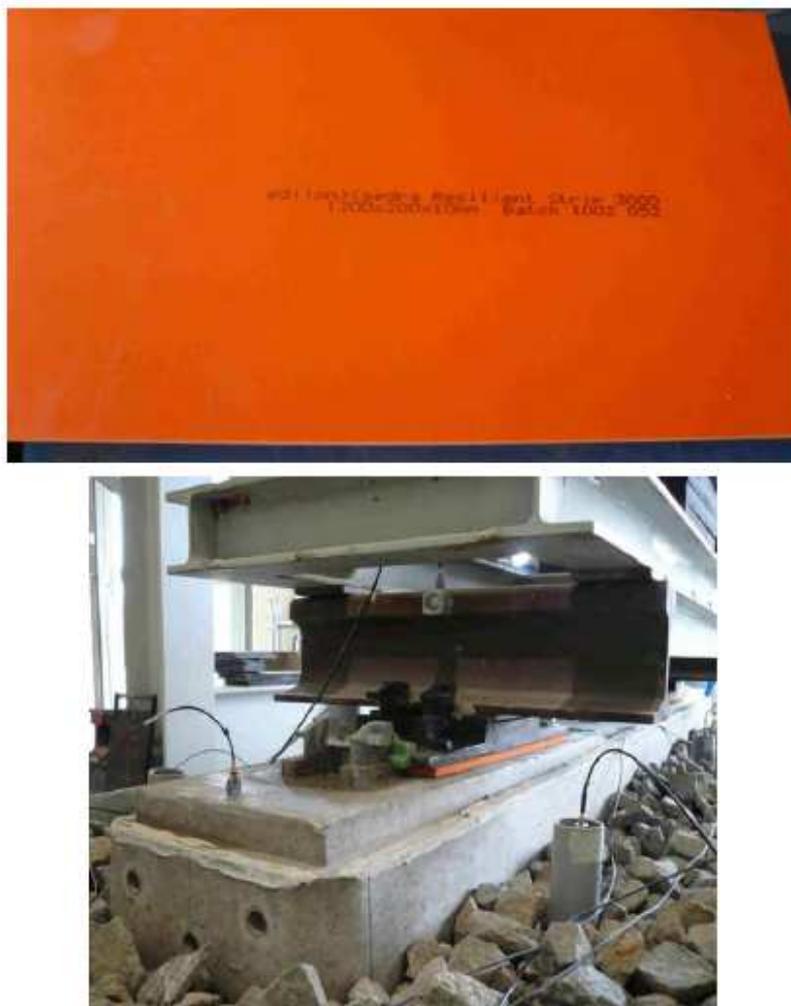


Figure 6.3 : Photographie de la sous-couche résiliente EDILON 3000.



ER-712-080014-712-BAT

Product information sheet

**EDILON Resilient EDF Pad 3000**

- 1 DESCRIPTION** **EDILON Resilient EDF Pad 3000** is a pre-shaped elastic pad based on a state-of-the-art elastomer material.
- The elastic properties of **EDILON Resilient EDF Pad 3000** are designed for the absorption of short, intensive dynamic loads and vibrations. The elastomer maintains these properties even after large numbers of load repetitions under various climatic conditions.
- EDILON Resilient EDF Pad 3000** also accommodates the insulation of electric currents in the rail. This is an effective prevention against stray currents.
- 2 INTENDED USE** **EDILON Resilient EDF Pad 3000** is developed for use in rail fastening systems for light rail (trams and metros) and highspeed trains, and is part of the **EDILON Direct Fastening System (EDF)**. **EDILON Resilient EDF Pad 3000** provides an elastic support of the rail.
- The application of **EDILON Resilient EDF Pad 3000** in **EDILON Direct Fastening Systems** provides reduced support stiffness for improved damping of noise and vibration in comparison with applications without **EDILON Resilient EDF Pad 3000** or with **EDILON Resilient EDF Pad 4000**.
- 3 FEATURES & BENEFITS**
- | Features | Benefits |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> State-of-the-art product composition for rail tracks Available in dimensions fitting the baseplate | <ul style="list-style-type: none"> Excellent applicable in EDILON Direct Fastening Systems Always the right and quick application No cutting of pads needed |
| <ul style="list-style-type: none"> Outstanding dynamic over static stiffness ratio of only 1.1 Absorbs vibration energy Resists long lasting dynamic loads Excellent electrical insulation | <ul style="list-style-type: none"> Very low dynamic load amplification Optimal damping of noise and vibrations Good fatigue resistance properties Guarantees a durable elastic rail support Prevents effectively stray current leakage |
| <ul style="list-style-type: none"> very good temperature stability | <ul style="list-style-type: none"> Constant properties over a broad temperature range |
| <ul style="list-style-type: none"> Mechanically high strength properties | <ul style="list-style-type: none"> Excellent resistance against dynamic loads in rail tracks |
| <ul style="list-style-type: none"> Resistant against deterioration in aggressive environments Weatherproof under harsh conditions Very limited water absorption | <ul style="list-style-type: none"> Guarantees a durable elastic rail support |
| <ul style="list-style-type: none"> Easy to process Easy to remove | <ul style="list-style-type: none"> Quick installation and replacement possible |
- 4 POINTS OF ATTENTION**
- | Point of attention | Explanation |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> None | <ul style="list-style-type: none"> Not applicable |
- 5 COMPOSITION** **EDILON Resilient EDF Pad 3000** is a flexible Integra skin elastomer based on polyurethane. **EDILON Resilient EDF Pad 3000** is optionally available with an additional protective top layer of 1mm thickness.
- 6 PRODUCT APPROVAL** **EDILON Resilient EDF Pad 3000** is approved by several rail administrations.

edilon|sedra bv

Wivernheidsweg 23
NL-2031 GN HaarlemP.O. Box 1000
NL-2003 RZ HaarlemT +31 / (0)23 / 511 95 19
F +31 / (0)23 / 511 07 51mail@edilonsedra.com
www.edilonsedra.comProduct information sheet
EDILON Resilient EDF Pad 3000Reference: DATA Resilient EDF Pad 3000 (GB) 071106 rev 01
Page: 1 of 5



7 PACKAGING EDILON Resilient EDF Pad 3000 is supplied on standard Euro-pallets, packed and protected for transport and storage. EDILON Resilient EDF Pad 3000 is available in standard and custom dimensions. For packaging only one dimension can be supplied.

8 STORAGE Store EDILON Resilient EDF Pad 3000 either in the depot or at the place of work under dry conditions, well-sealed and away from direct sunlight.

9 CHEMICAL & PHYSICAL PROPERTIES

Property	Standard	Value	Unit	Additional Information
Colour	-	Orange	-	
Volume resistivity	DIN VDE 0100-516 DIN VDE 0313-30 (IEC 60093)	3000 100	MΩm	Dry Wet
Water absorption after 7 days at + 23 °C	EN ISO 62	< 4.0	%	
UV-resistance	ASTM G53-98	Colour change	-	

- The applied test samples and test methods can be changed without further notice.
- Volume resistivity Wet is measured after 48 hours in 0.1% NaCl solution and 2 hours drying.

10 MECHANICAL PROPERTIES

Property	Standard	Value	Unit	Additional Information
Tensile strength	EN ISO 527	> 3.0	MPa	
Modulus of elasticity	EN ISO 527	1.8	MPa	
Tensile strain at break	EN ISO 527	> 360	%	
Shear modulus	ISO 1827	Not determined	MPa	
Shear strength	ISO 1827	Not determined	MPa	
Compressive modulus	EN ISO 604	2.2 2.4	MPa	Static: 0.05 – 0.30 MPa Dyn.: 5 Hz: 0.05 – 0.30 MPa
		2.8 3.6	MPa	Static: 0.05 – 0.80 MPa Dyn.: 5 Hz: 0.05 – 0.80 MPa
Dynamic stiffening	EN ISO 604	1.1	-	Dynamic: 5 Hz relative to static
Loss factor (tangent delta)	EN ISO 604	0.1	-	Dyn.: 5Hz: 0.05 – 0.30 MPa
Glass transition temperature (DMTA)	ASTM E1641	- 38	°C	
Relative difference in stiffness - 15 °C relative to + 23 °C	ASTM E1641	+ 80	%	DMTA "dual cantilever" test at 1 Hz, + 1 °C/minute Test sample size: 10 x 16 x 60 mm
Relative difference in stiffness + 50 °C relative to + 23 °C	ASTM E1641	- 16	%	
Tear strength	ISO 34	> 20	N/mm	
Rubber hardness after 7 days	DIN 53 505	45 ± 5	Shore A	
Surface wear resistance (TWA)	ISO 9352	39.8	µl / 1000 rotations	
Compression set after 7 days at + 23 °C	DIN 53 517	< 16	%	

- The applied test samples and test methods can be changed without further notice.

Static compression stress-strain curve



Product information sheet
EDILON Resilient EDF Pad 3000

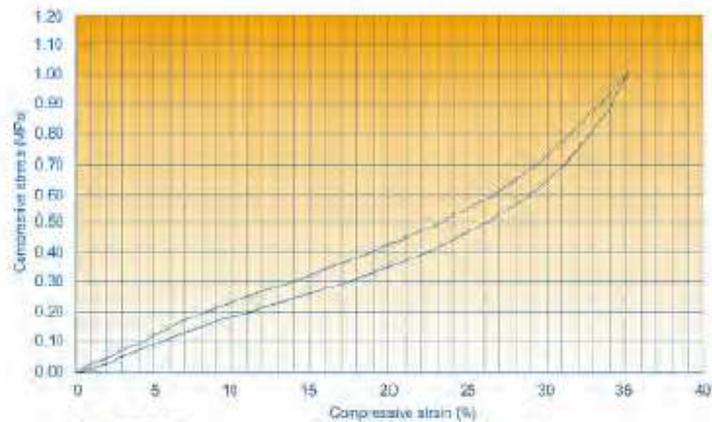
Reference: DATA Resilient EDF Pad 3000 (GB) 071196 rev 01
Page: 2 of 5



CSTB
le futur en construction

ER-712-080014-712-BAT

edilon) sedra



Test sample size 136 mm diameter x 10 mm thickness
 Shape factor 3.4
 Loading speed 20 mm/min
 Test sample temperature 20 ± 3 °C
 No. of preloading cycles 5
 Compressive modulus 2.3 MPa, between 0.05 - 0.60 MPa

The support stiffness is dependent on length, width and thickness of the pad. Pads are normally supplied as rectangular shaped pads, including 2 or 4 holes. Pads in other dimensions and shapes are available on request.

Based on a design with two holes, a permanent preload of approx. 2x2 kN and a load range 0.05 - 0.60 MPa, the following support stiffness values apply:

Resilient pad length (mm)	Resilient pad width (mm)	Resilient pad thickness (mm)	Static support stiffness (kN/mm)
378	165	10	± 14
378	165	12	± 12



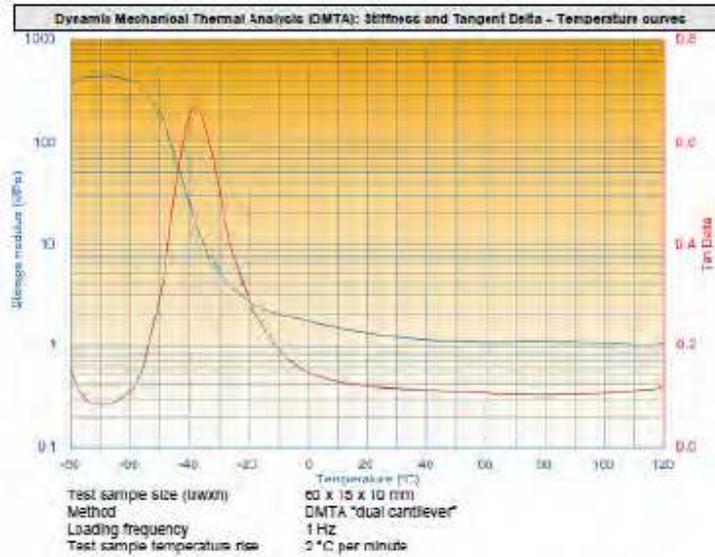
Product information sheet
EDILON Resilient EDF Pad 3000

Reference: DATA Resilient EDF Pad 3000 (05) 071104 rev 01
Page: 3 of 5

Réf. DAE/2010-198/CG/GC
Juillet 2010



ER-712-080014-712-BAT



11 USER INSTRUCTIONS For detailed user instructions for EDILON Resilient EDF Pad 3000 in an EDILON Direct Fastening System refer to the EDILON EDF System information sheet.

12 DISPOSAL CONSIDERATIONS The following waste products can arise at the application of EDILON Resilient EDF Pad 3000:

Description	Type of waste	Waste code
EDILON Resilient EDF Pad 3000	Non-hazardous waste	-

The waste products should be incinerated in a suitable installation and according to the local authority regulations or disposed according to the prescriptions of the European list of waste products.

13 COLOUR TINT The colour tint of EDILON Resilient EDF Pad 3000 might change by environmental influences (chemicals, high temperature, UV radiation).

14 PRODUCT ADVICE Before deciding upon the use of EDILON Resilient EDF Pad 3000, we strongly advise contacting edilon|sedra to provide further assistance for your application. At the same time you can take advantage of our extensive experience in design and application.
 All technical information given in this Product Information Sheet is based on many years experience and is correct to the best of our knowledge. As the technical information given here is of a general nature, it is therefore not intended for specification purposes.



Product information sheet
 EDILON Resilient EDF Pad 3000

Reference: DATA Resilient EDF Pad 3000 (GB) 071106 rev 01
 Page: 4 of 6

Réf. DAE/2010-198/CG/GC
 Juillet 2010



ER-712-080014-712-BAT



The edilon)sedra advice in regard to technical applications either verbal, written or by means of experiments is given in good faith and to the best of our knowledge. It is given as a general indication and without obligation, also in respect of third party protection. This does not remove the users obligation to control that the delivered edilon)sedra product is suitable for the intended purpose and that the necessary precautionary measures have been taken. Application, use and processing of the edilon)sedra products take place outside the control possibilities of edilon)sedra bv. They therefore fall under the responsibility of the end user. Naturally, edilon)sedra bv stands by its guarantee of the quality of its products. We kindly refer you to our standard sales conditions. It is sometimes useful to perform application tests or to develop special variations for certain projects. For more detailed or specific information concerning specifications and applications please contact edilon)sedra bv. By issue of this product information sheet earlier revisions are no longer valid. Applicable sampling and test methods are subject to change without notice.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photo print, microfilm or any other means without the prior written consent of edilon)sedra bv.

| = CHANGES COMPARED TO THE PREVIOUS VERSION, ALWAYS CHECK THAT YOU HAVE THE MOST RECENT REVISION.

071106/2006-0201-1/1106 rev 01

Date of issue: 18-11-2008



edilon)sedra bv

Nijverheidsweg 23
NL-2631 CN HaarlemP.O. Box 1030
NL-2566 RZ HaarlemT +31 (0)23 / 631 95 19
F +31 (0)23 / 631 97 51mail@edilonsedra.com
www.edilonsedra.comProduct information sheet
EDILON Resilient EDF Pad 3000Reference: DATA Resilient EDF Pad 3000 (GB) 071106 rev 01
Page: 5 of 5



ER-712-080014-712-BAT

6.4 - Donnée technique pour la semelle résiliente EDILON 4000

La Figure 6.4 montre une photographie de la semelle résiliente EDILON 4000 ; cette semelle a une épaisseur de 10 mm. Cette sous-couche est en élastomère de polyuréthane ; les données techniques sont données ci-dessous. On notera que cette sous-couche EDILON 4000 est plus raide que celle EDILON 3000.



Figure 6.4 : Photographie de la sous-couche résiliente EDILON 4000.



ER-712-080014-712-BAT

Product information sheet

**EDILON Resilient EDF Pad 4000**

- 1 DESCRIPTION** EDILON Resilient EDF Pad 4000 is a pre-shaped elastic pad based on a state-of-the-art elastomer material.
- The elastic properties of EDILON Resilient EDF Pad 4000 are designed for the absorption of short, intensive dynamic loads and vibrations. The elastomer maintains these properties even after large numbers of load repetitions under various climatic conditions.
- EDILON Resilient EDF Pad 4000 also accommodates the insulation of electric currents in the rail. This is an effective prevention against stray currents.
- 2 INTENDED USE** EDILON Resilient EDF Pad 4000 is developed for use in rail fastening systems for light rail (trams and metros) and heavy rail (freight and passenger trains, including high speed trains), and is part of the EDILON Direct Fastening System (DFS). EDILON Resilient EDF Pad 4000 provides an elastic support of the rail.
- The application of EDILON Resilient EDF Pad 4000 in EDILON Direct Fastening Systems provides reduced support stiffness for improved damping of noise and vibration in comparison with applications without EDILON Resilient EDF Pad 4000.
- 3 FEATURES & BENEFITS**
- | Features | Benefits |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> State-of-the-art product composition for rail tracks Available in dimensions fitting the baseplate | <ul style="list-style-type: none"> Excellent applicable in EDILON Direct Fastening Systems Always the right and quick application No cutting of pads needed |
| <ul style="list-style-type: none"> Outstanding dynamic over static stiffness ratio of only 1.2 Absorbs vibration energy Resists long lasting dynamic loads Excellent electrical insulation | <ul style="list-style-type: none"> Very low dynamic load amplification Optimal damping of noise and vibrations Good fatigue resistance properties Guarantees a durable elastic rail support Prevents effectively stray current leakage |
| <ul style="list-style-type: none"> Very good temperature stability | <ul style="list-style-type: none"> Constant properties over a broad temperature range |
| <ul style="list-style-type: none"> Mechanically high strength properties | <ul style="list-style-type: none"> Excellent resistance against dynamic loads in rail tracks |
| <ul style="list-style-type: none"> Resistant against deterioration in aggressive environments Weatherproof under harsh conditions Very limited water absorption | <ul style="list-style-type: none"> Guarantees a durable elastic rail support |
| <ul style="list-style-type: none"> Easy to process Easy to remove | <ul style="list-style-type: none"> Quick installation and replacement possible |
- 4 POINTS OF ATTENTION**
- | Point of attention | Explanation |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> None | <ul style="list-style-type: none"> Not applicable |
- 5 COMPOSITION** EDILON Resilient EDF Pad 4000 is a flexible integral skin elastomer based on polyurethane. EDILON Resilient EDF Pad 4000 is optionally available with an additional protective top layer of 1mm thickness.
- 6 PRODUCT APPROVAL** EDILON Resilient EDF Pad 4000 material is approved by several rail administrations.

edilon|sedra bv
Niverheidsweg 23
NL-2031 CN Haarlem

P.O. Box 1000
NL-2003 RZ Haarlem

T +31 / (0)23 / 531 95 19
F +31 / (0)23 / 531 07 51

mail@edilionsedra.com
www.edilionsedra.com



Product information sheet
EDILON Resilient EDF Pad 4000

Reference: DATA Resilient EDF Pad 4000 (GB) 071102 rev 01
Page: 1 of 4



ER-712-080014-712-BAT

**7 PACKAGING**

EDILON Resilient EDF Pad 4000 is supplied on standard Euro-pallets, packed and protected for transport and storage. EDILON Resilient EDF Pad 4000 is available in standard and custom dimensions. Per packaging only one dimension can be supplied.

8 STORAGE

Store EDILON Resilient EDF Pad 4000 either in the depot or at the place of work under dry conditions, well-sealed and away from direct sunlight.

9 CHEMICAL & PHYSICAL PROPERTIES

Property	Standard	Value	Unit	Additional Information
Colour	-	Orange	-	
Volume resistivity	DIN VDE 0100-610 DIN VDE 0303-30 (IEC 60393)	Not determined	MΩm	Dry Wet
Water absorption after 7 days at +23 °C	EN ISO 652	< 4.0	%	
UV-resistance	ASTM G53-16	Colour change	+	

* The applied test samples and test methods can be changed without further notice.
* Volume resistivity: Wet is measured after 48 hours in 0.1% NaCl solution and 2 hours drying.

10 MECHANICAL PROPERTIES

Property	Standard	Value	Unit	Additional Information
Tensile strength	EN ISO 527	> 6.0	MPa	
Modulus of elasticity	EN ISO 527	2.8	MPa	
Tensile strain at break	EN ISO 527	> 330	%	
Shear modulus	ISO 1527	Not determined	MPa	
Shear strength	ISO 1527	Not determined	MPa	
Compressive modulus	EN ISO 504	4.6 6.4	MPa	Static: 0.05 – 0.30 MPa Dym.: 5 Hz: 0.05 – 0.30 MPa
		4.8 6.7	MPa	Static: 0.05 – 0.60 MPa Dym.: 5 Hz: 0.05 – 0.60 MPa
Dynamic stiffening	EN ISO 504	1.2	-	dynamic: 5 Hz relative to static
Loss factor (tangent delta)	EN ISO 504	6.1	-	Dym.: 5 Hz: 0.05 – 0.30 MPa
Glass transition temperature (DMTA)	ASTM E1640	- 98	°C	
Relative difference in stiffness + 15 °C relative to + 20 °C	ASTM E1640	+ 88	%	DMTA "dual cantilever" test at 1 Hz, + 2 °C/minute Test sample size: 10 x 15 x 60 mm
Relative difference in stiffness + 50 °C relative to + 20 °C	ASTM E1640	+ 15	%	
Tear strength	ISO 34	> 25	N/mm	
Rubber hardness after 7 days	DIN 53 505	65 ± 5	Shore A	
Surface wear resistance (TWA)	ISO 9352	14.8	µl / 1000 rotations	
Compression set after 7 days at + 23 °C	DIN 53 517	< 4	%	

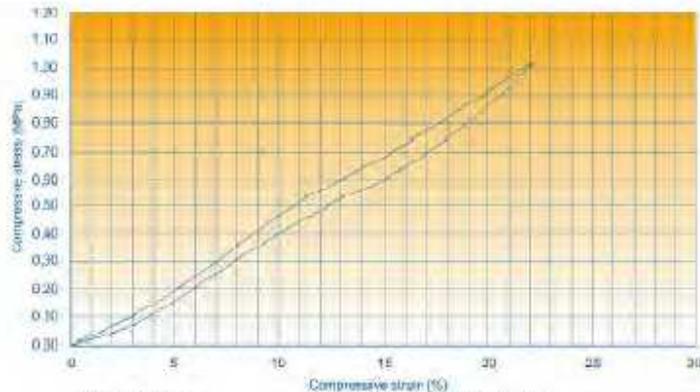
* The applied test samples and test methods can be changed without further notice.

Static compression stress-strain curve



Product information sheet
EDILON Resilient EDF Pad 4000

Reference: DATA Resilient EDF Pad 4000 (08) 071102 rev 41
Page: 2 of 4



Test sample size 135 mm diameter x 10 mm thickness
 Shape factor 3.4
 Loading speed 25 mm/min
 Test sample temperature 20 ± 3 °C
 No. of preloading cycles 5
 Compressive modulus 4.6 MPa, between 0.05 – 0.60 MPa

The support stiffness is dependent on length, width and thickness of the pad. Pads are normally supplied as rectangular shaped pads, including 2 or 4 holes. Pads in other dimensions and shapes are available on request.

Based on a design with two holes, a permanent preload of approx. 2x2 kN and a load range 0.05 – 0.50 MPa, the following support stiffness values apply:

Resilient Pad length (mm)	Resilient Pad width (mm)	Resilient Pad thickness (mm)	Static support stiffness (kN/mm)
300	220	12	± 32
360	220	14	± 36
378	164	13	± 30
418 (trapezoid)	190	15	± 22

11 USER INSTRUCTIONS For detailed user instructions for EDILON Resilient EDF Pad 4000 in an EDILON Direct Fastening System refer to the EDILON EDF System Information Sheet.

12 DISPOSAL CONSIDERATIONS The following waste products can arise at the application of EDILON Resilient EDF Pad 4000:

Description	Type of waste	Waste code
EDILON Resilient EDF Pad 4000	Non-hazardous waste	-

The waste products should be incinerated in a suitable installation and according to the local authority regulations or disposed according to the prescriptions of the European list of waste products.





ER-712-080014-712-BAT



- 13 COLOUR TINT** The colour tint of EDILON Resilient EDF Pad 4000 might change by environmental influences (chemicals, high temperature, UV radiation).
- 14 PRODUCT ADVICE** Before deciding upon the use of EDILON Resilient EDF Pad 4000, we strongly advise contacting edilon|sedra to provide further assistance for your application. At the same time you can take advantage of our extensive experience in design and application.
- All technical information given in this Product Information Sheet is based on many years experience and is correct to the best of our knowledge. As the technical information given here is of a general nature, it is therefore not intended for specification purposes.

The edilon|sedra advice in regard to technical applications either verbal, written or by means of experiments is given in good faith and to the best of our knowledge. It is given as a general indication and without obligation, also in respect of third party protection. This does not remove the legal obligation to ensure that the delivered edilon|sedra product is suitable for the intended purpose and that the necessary precautionary measures have been taken. Application, use and processing of the edilon|sedra products take place outside the control possibilities of edilon|sedra. They therefore fall under the responsibility of the end user. Naturally, edilon|sedra stands by its guarantee of the quality of its products. We kindly refer you to our standard sales conditions. It is sometimes useful to perform application tests or to develop special variations for certain projects. For more detailed or specific information concerning specifications and applications please contact edilon|sedra. By issue of this product information sheet earlier revisions are no longer valid. Applicable sampling and test methods are subject to change without notice.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photo print, microfilm or any other means without the prior written consent of edilon|sedra bv.

[- CHANGES COMPARED TO THE PREVIOUS VERSION, ALWAYS CHECK THAT YOU HAVE THE MOST RECENT REVISION.

071102/2006-0241-1/1106 rev 01

Date of issue: 16-11-2008



edilon|sedra bv
Nijverheidsweg 23
NL-3501 DK Haarlem

P.O. Box 1600
NL-3509 RZ Haarlem

T +31 (0)23 / 531 96 18
F +31 (0)23 / 531 07 51

mail@edilonsedra.com
www.edilonsedra.com



Product information sheet
EDILON Resilient EDF Pad 4000

Reference: DATA Resilient EDF Pad 4000 (08) 071102 rev 01
Page: 4 of 4

Réf. DAE/2010-198/CG/GC
Juillet 2010



ER-712-080014-712-BAT

6.5 - Description de la semelle sous selle standard

La Figure 6.5 montre une photographie de la semelle sous selle standard.



Figure 6.5 : Photographie de la semelle sous selle standard.

Projet VIBSOLFRET
Etude numérique paramétrique sous
TRAFFIC :
efficacité de solutions de réduction apportées à
la voie

E. Bongini, G. Lombaert, S. François

Ce document a pour objet l'étude paramétrique menée à l'aide du logiciel TRAFFIC développé par KUL pour tester l'efficacité, sur le niveau vibratoire induit en champ libre, de modifications de paramètres dynamiques des organes constitutifs de la voie.

Chacune de ces modifications a été apportée pour 3 types de sol différents :

- un sol moyen, de vitesse des ondes de cisaillement égale à $200m/s$ pour une masse volumique de $1600kg/m^3$
- un sol dur, de vitesse des ondes de cisaillement égale à $400m/s$ pour une masse volumique de $1800kg/m^3$
- un sol mou, de vitesse des ondes de cisaillement égale à $100m/s$ pour une masse volumique de $1400kg/m^3$

et différents types de matériels roulants à différentes vitesses de circulation :

- un TER type AGC circulant à $80km/h$
- un TGVA circulant à $300km/h$
- un convoi Fret composé d'une motrice, de wagons 7 de type Rilmms-R0, bogie Y25 et de 20 wagons de type Sgss-S06, bogie Y25

Chapitre 1

Souplesse de la voie

En premier lieu, le spectre de souplesse de la voie a été calculé pour les différents types de sols puis les différentes valeurs des paramètres dynamiques de la voie testées, figure 1.1.

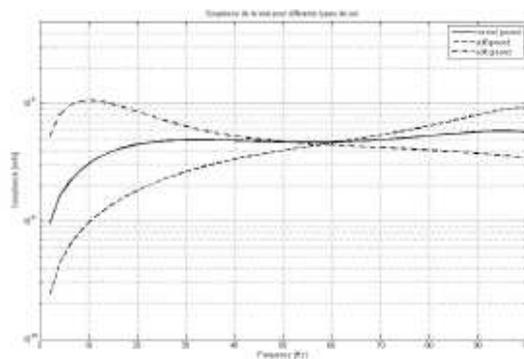


FIGURE 1.1 – souplesse de la voie standard

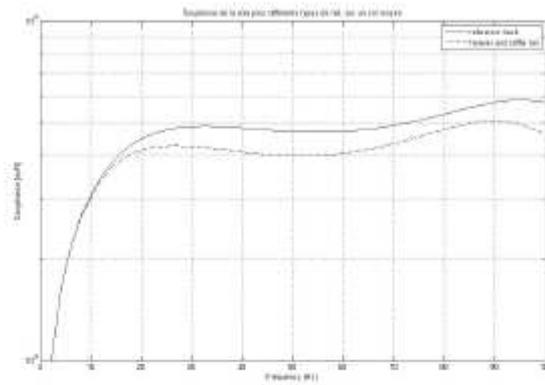
Les souplesses de la voie ont aussi été calculées dans le cas d'un rail modifié (rigidifié : sa raideur en flexion est doublée, et alourdi : sa masse volumique passe d'une valeur de référence de $60,34\text{kg/m}$ à 100kg/m), pour les 3 types de sol, présentées en figure 1.2.

L'alourdissement et la rigidification du rail, quelque soit le type de sol, rigidifie la voie sur l'ensemble du spectre. Cette modification n'entraîne cependant pas un changement significatif du comportement de la voie.

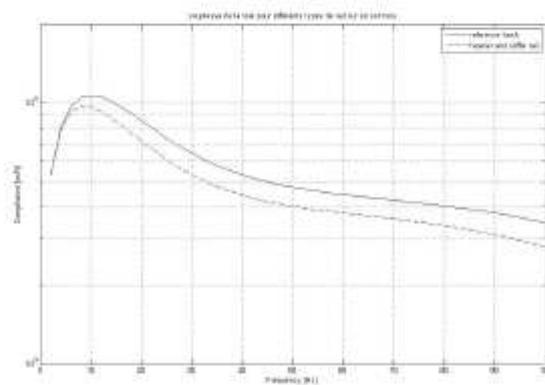
Les souplesses de la voie ont aussi été calculées pour différentes raideurs dynamiques de semelles sous rail (URP pour under rail pad), pour les 3 types de sol, figure 1.3. Les raideurs de semelles testées sont égales respectivement à $1,67e8\text{MN/m}^2$ pour une semelle souple, $3,67\text{MN/m}^2$ pour le cas dit de référence et $6,67\text{MN/m}^2$ pour la semelle la plus rigide.

Les trois graphiques présentés en figure 1.3 montre que la raideur de la semelle sous rail influe sur la souplesse de la voie sur l'ensemble du spectre.

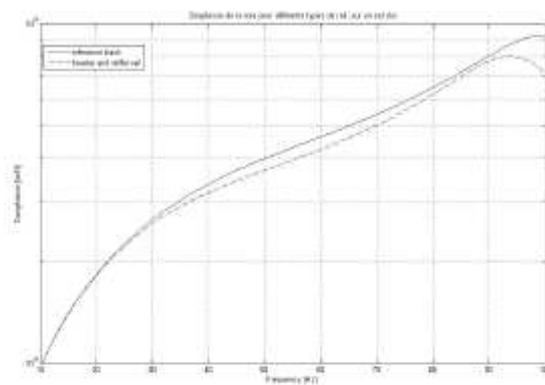
Les souplesses de la voie ont été calculées pour différentes masses de traverses, une traverse de référence de 500kg/m , une traverse allégée, de 333kg/m et une traverse alourdie de masse linéique égale à 1000kg/m .



(a) sol moyen

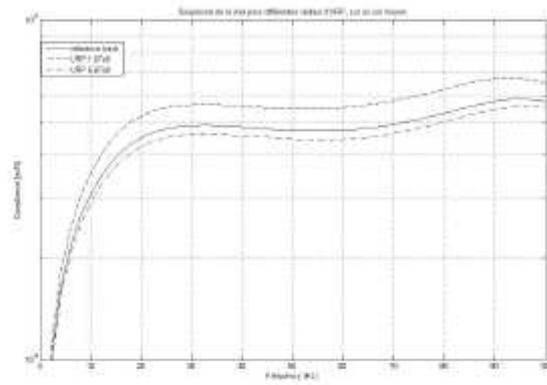


(b) sol mou

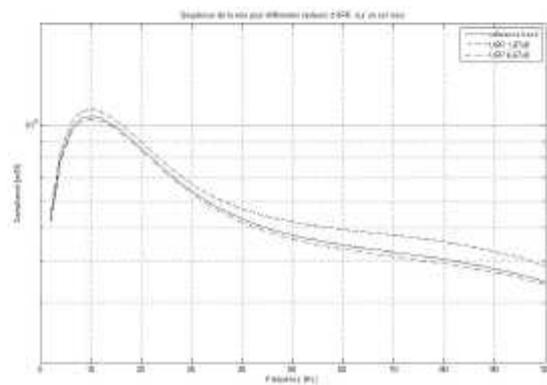


(c) sol dur

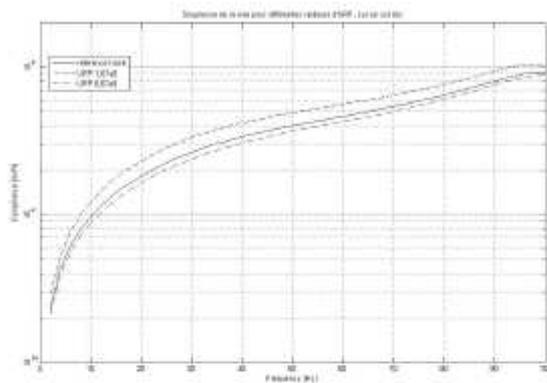
FIGURE 1.2 – souplesses de la voie pour un rail rigidifié et alourdi



(a) sol moyen

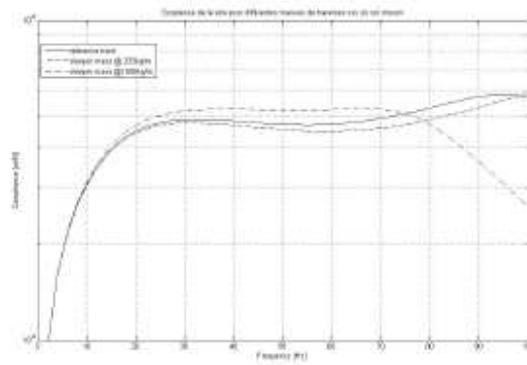


(b) sol mou

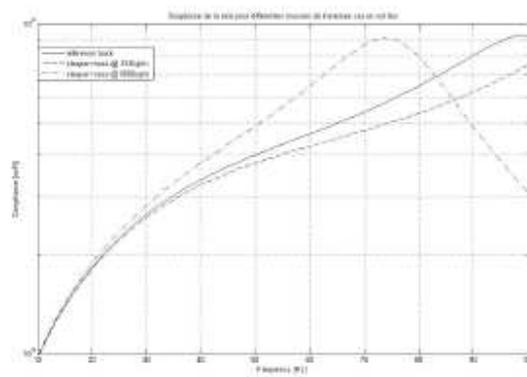


(c) sol dur

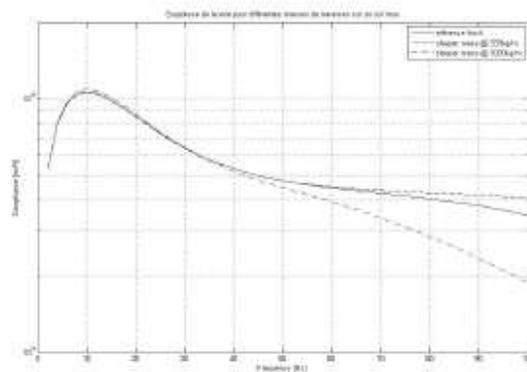
FIGURE 1.3 – souplesses de la voie pour différentes raideurs dynamiques de semelles sous rail



(a) sol moyen



(b) sol mou



(c) sol dur

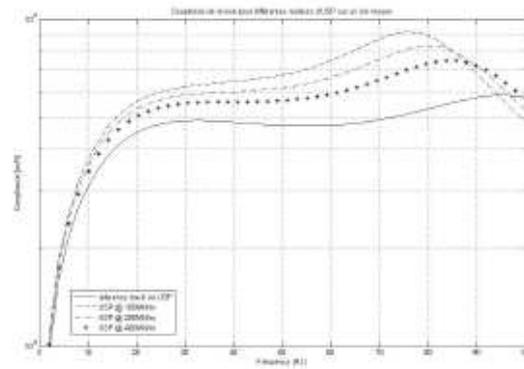
FIGURE 1.4 – souplesses de la voie pour différentes masses de traverses

La figure 1.4 illustre les souplesses de voie pour les différentes masses de traverses, pour

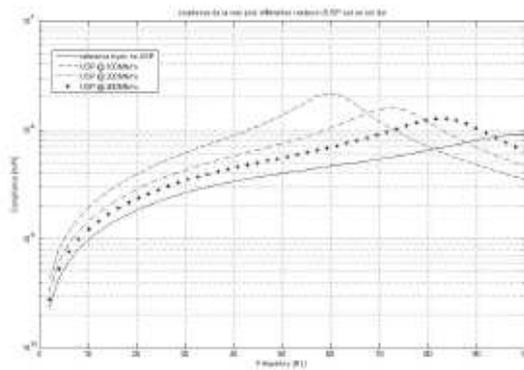
les 3 types de sol étudiés.

Enfin, les souplesses de voie ont été calculées dans le cas d'insertion de semelles sous traverses (USP pour under sleeper pad), celles-ci pouvant présenter différentes raideurs dynamiques. Les 3 raideurs testées correspondent à $100MN/m$, $200MN/m$ et $400MN/m$. Ces configurations sont comparées à la configuration de référence dans laquelle aucune semelle sous traverse n'est prise en compte.

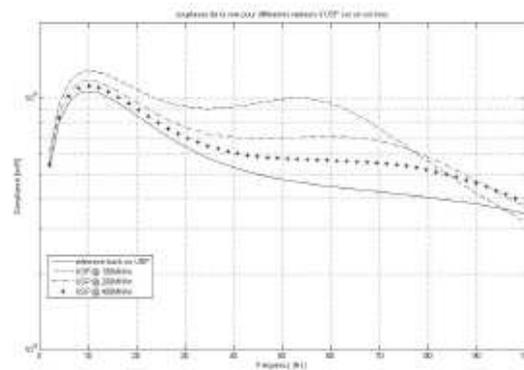
La figure 1.5 présente les spectres de souplesse de la voie pour les différentes configurations d'USP, sur les 3 types de sol étudiés.



(a) sol moyen



(b) sol mou



(c) sol dur

FIGURE 1.5 – souplesses de la voie pour différentes raideurs dynamiques de semelles sous traverses

Chapitre 2

Etude paramétrique sur sol de rigidité moyenne

Dans le chapitre suivant, les données présentées sont les niveaux vibratoires à 3 distances de la voie : 3m, 15m et 30m, pour 4 types de circulation (TER, TGVA, Fret à 2 vitesses), la voie reposant sur un sol de rigidité moyenne. Les différents paragraphes qui suivent présentent, sous la forme de spectres de niveaux vibratoires, l'impact de modifications des organes de la voie sur les vibrations induites en champ libre.

2.1 modification de la raideur du rail

Le cas de référence, pour lequel le rail présente une masse linéique de $60,34\text{kg/m}$ et une raideur en flexion de $6,45\text{MN/m}$ est comparé à une configuration pour laquelle le rail a été alourdi et rigidifié (masse linéique de 100kg/m et une raideur en flexion de $12,9\text{MN/m}$).

Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h, illustré par les graphes de la figure 2.1.

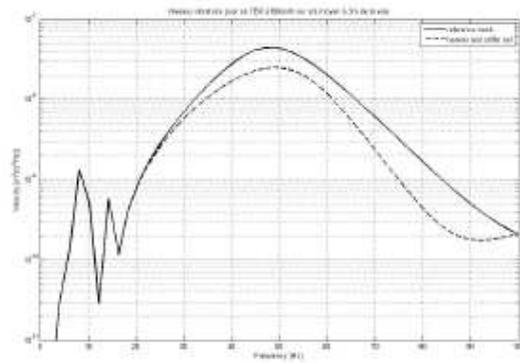
Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h, illustré par les graphes de la figure 2.2.

Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 2.3 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h.

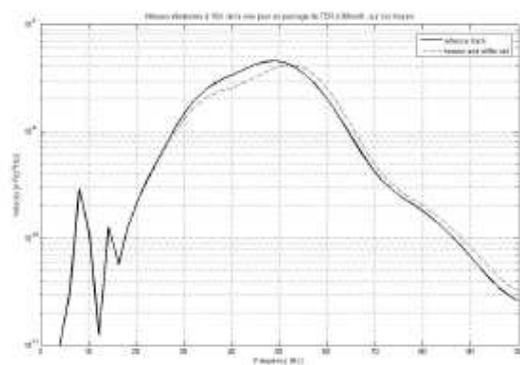
La modification de la raideur du rail a un impact très minime sur les niveaux vibratoires induits en champ libre, dans le cas d'un sol de rigidité moyenne.

Dans le cas d'une circulation TER à 80km/h, cf figure 2.1, un impact positif (réduction des niveaux vibratoires) de la rigidification/alourdissement du rail est constaté sur toute la gamme fréquentielle à 3m de la voie, comme illustré sur la figure 2.1(a). Dès 15m, cette diminution des niveaux vibratoires n'est valable qu'en-deçà de 50Hz ; au-delà de 50Hz, la rigidification/alourdissement du rail tend à très légèrement augmenter les niveaux vibratoires en champ libre.

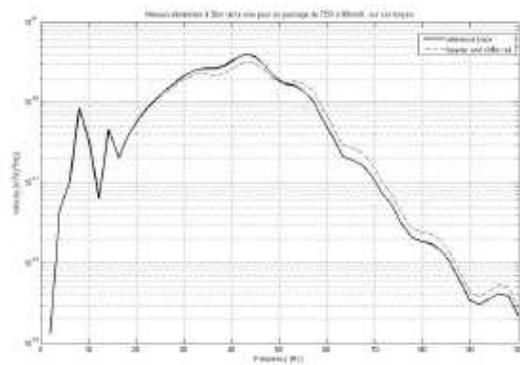
Pour une circulation TGVA à 300km/h, cf figure 2.2, les mêmes conclusions que pour le TER peuvent être dressées. L'impact négatif (augmentation des niveaux) au-dessus de 50Hz est valable dès 3m de distance à la voie.



(a) A 3m de la voie

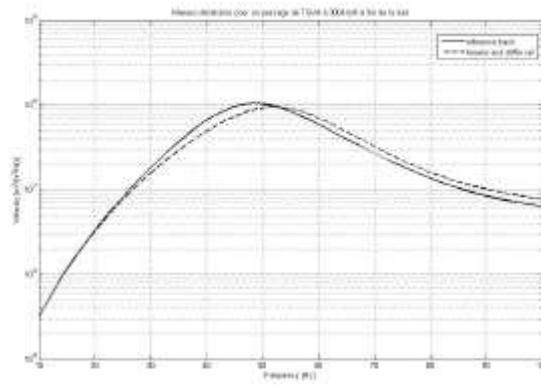


(b) A 15m de la voie

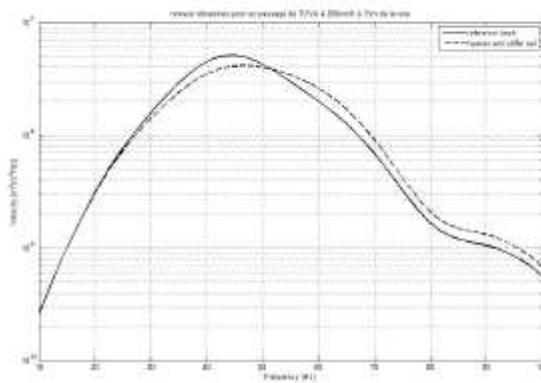


(c) A 30m de la voie

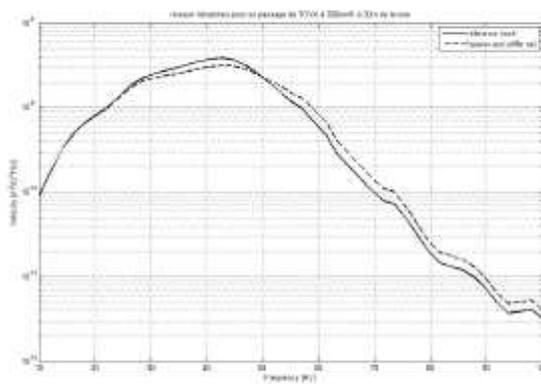
FIGURE 2.1 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour un rail modifié



(a) A 3m de la voie

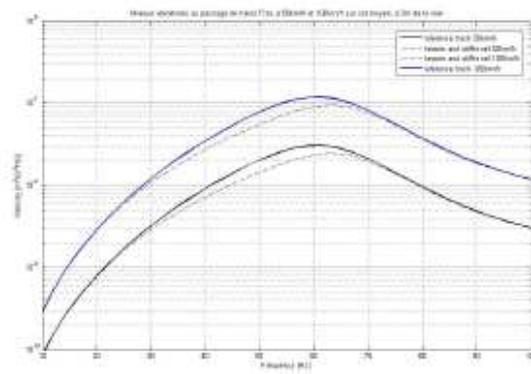


(b) A 15m de la voie

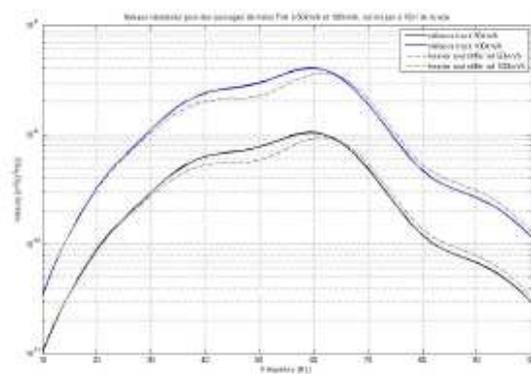


(c) A 30m de la voie

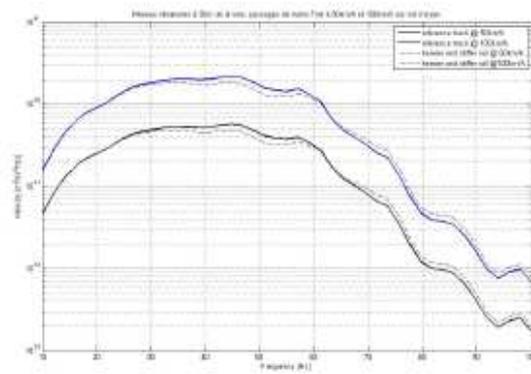
FIGURE 2.2 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour un rail modifié



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 2.3 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour un rail modifié

Dans le cas de circulations Fret, figure 2.3, le basculement entre réduction et augmentation des niveaux dus à un alourdissement/rigidification du rail est décalé à une fréquence de 65Hz. Comme pour la circulation TER, à 3m de la voie, la modification du rail est toujours bénéfique, quelque soit la vitesse de circulation (50km/h ou 100km/h).

2.2 modification de la raideur de la semelle sous rail

Le cas de référence, pour lequel la semelle sous rail présente une raideur dynamique linéique de $3,67MN/m^2$ est comparé à une configuration pour laquelle la semelle a été assouplie et présente une raideur de $1,67MN/m^2$ et une configuration où cette même semelle a été rigidifiée et présente une raideur dynamique linéique de $6,67MN/m^2$.

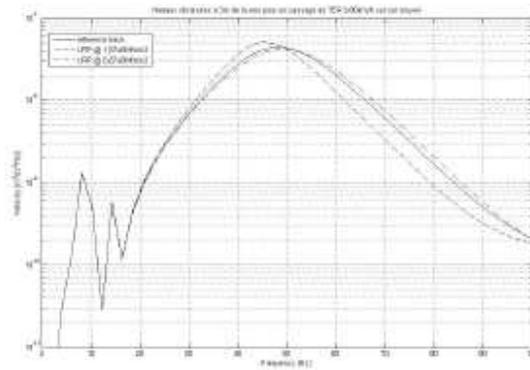
Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h, par les graphes de la figure 2.4.

Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h, illustré par les graphes de la figure 2.5.

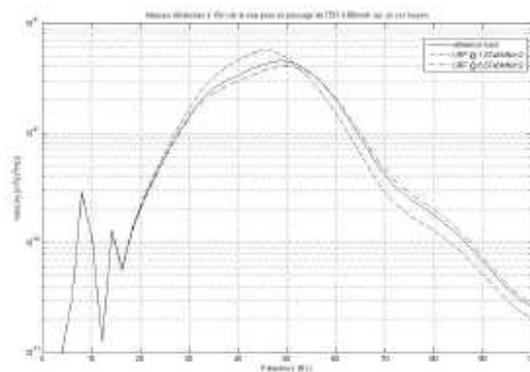
Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 2.6 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h.

Quelle que soit le type de circulation observée, figures 2.4, 2.5 et 2.6, une rigidification de l'URP n'a pas un impact majeur sur les niveaux vibratoires en champ libre, aux 3 distances d'observation. Elle induit, dans le cas d'un trafic Fret, figure 2.6, une légère diminution des niveaux en deçà de 60Hz et une augmentation négligeable au-delà.

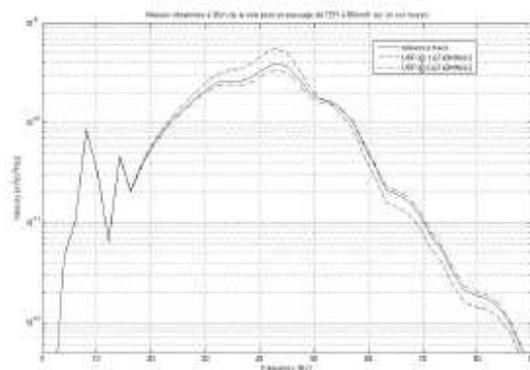
L'assouplissement de l'URP par rapport au cas de référence induit une augmentation des niveaux vibratoires en champ libre pour des fréquences inférieures à 50Hz dans le cas du TER et du TGVA et en-dessous 65Hz pour les circulations Fret.



(a) A 3m de la voie

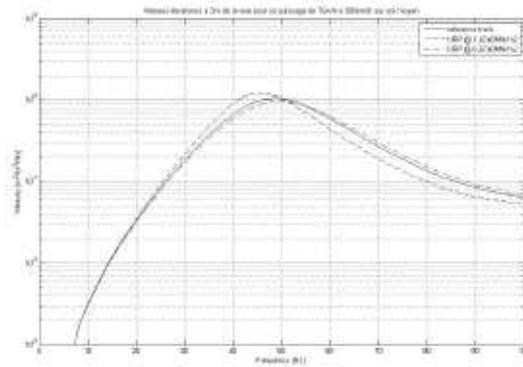


(b) A 15m de la voie

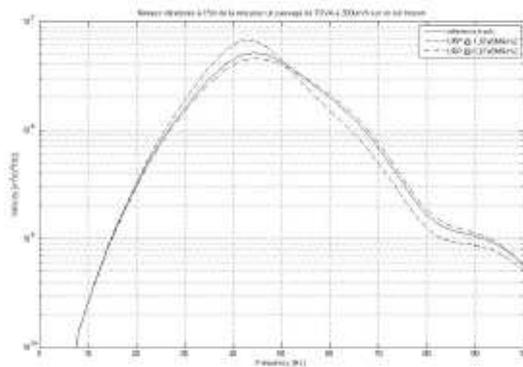


(c) A 30m de la voie

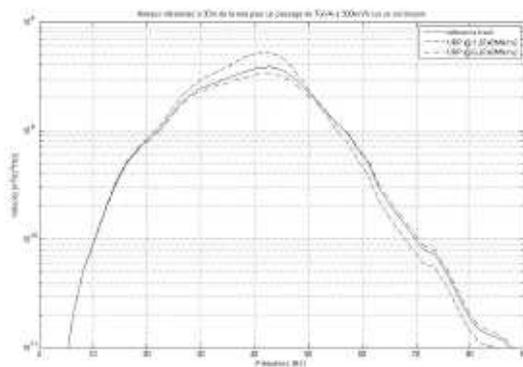
FIGURE 2.4 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une raideur dynamique d'URP modifiée



(a) A 3m de la voie

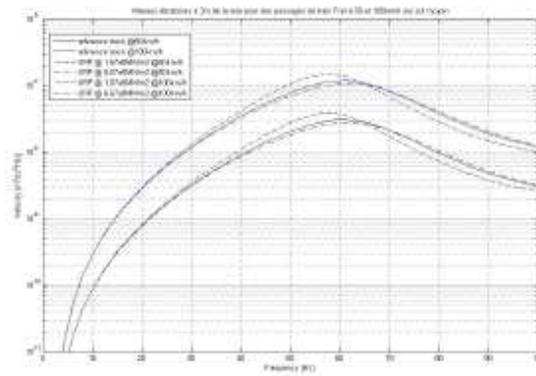


(b) A 15m de la voie

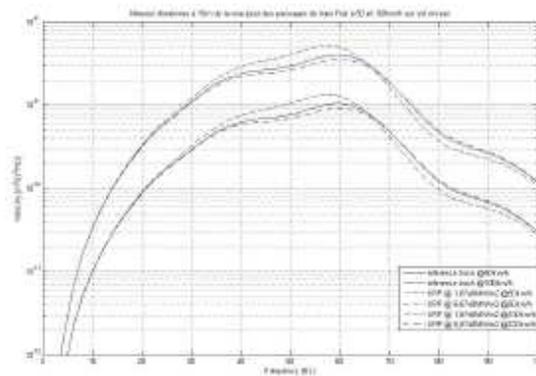


(c) A 30m de la voie

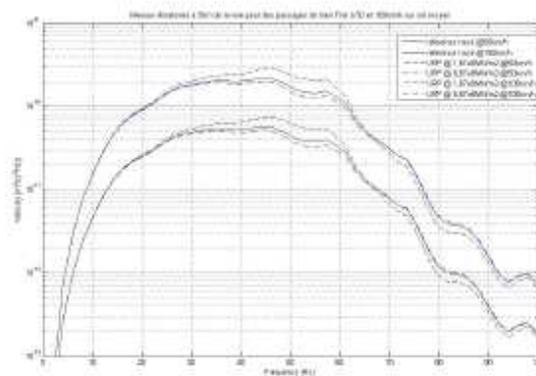
FIGURE 2.5 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une raideur dynamique d'URP modifiée



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 2.6 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une raideur dynamique d'URP modifiée

2.3 modification de la masse de la traverse

Le cas de référence, pour lequel la traverse présente une masse linéique de 500kg/m est comparé à une configuration pour laquelle la traverse est allégée et présente une masse linéique de 333kg/m et une configuration où cette même traverse est alourdie et présente une masse linéique de 1000kg/m .

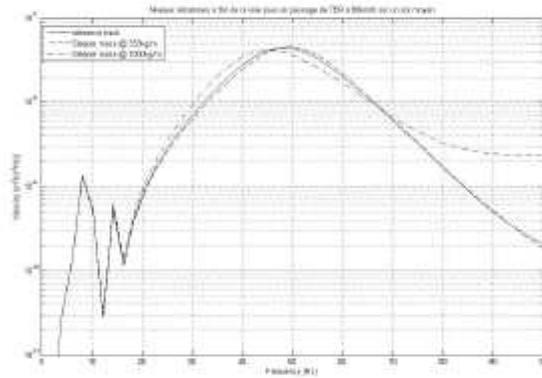
Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h , illustré par les graphes de la figure 2.7.

Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h , illustré par les graphes de la figure 2.8.

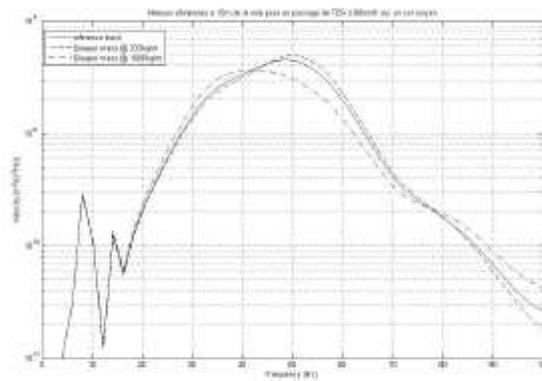
Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 2.9 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h .

A partir de 40Hz pour un passage de TER à 80km/h , figure 2.7, ou TGVA à 300km/h , figure 2.8, et à partir de 50Hz dans le cas de circulations Fret, figure 2.9, quelque soit la distance de mesure à la voie, un alourdissement de la traverse permet de réduire les niveaux vibratoires en champ libre. En dessous de ces fréquences limites, les niveaux sont très légèrement augmentés dans le cas de traverses plus lourdes que dans le cas de référence.

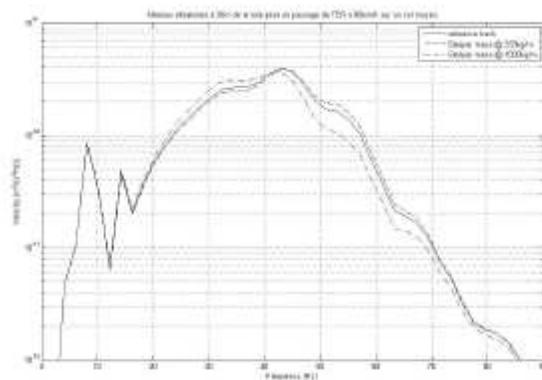
La tendance inverse est observée pour une réduction de la masse linéique des traverses.



(a) A 3m de la voie

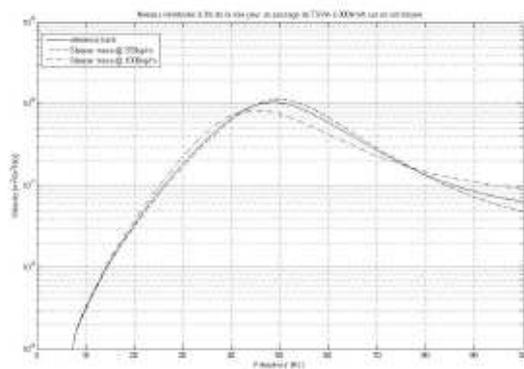


(b) A 15m de la voie

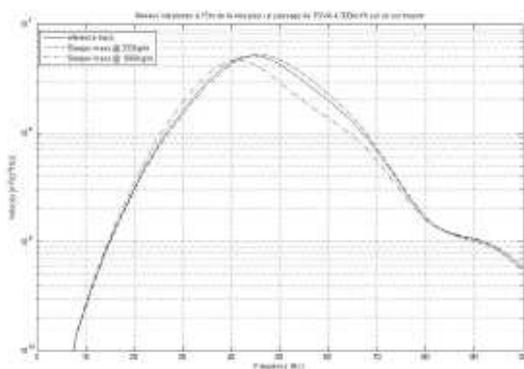


(c) A 30m de la voie

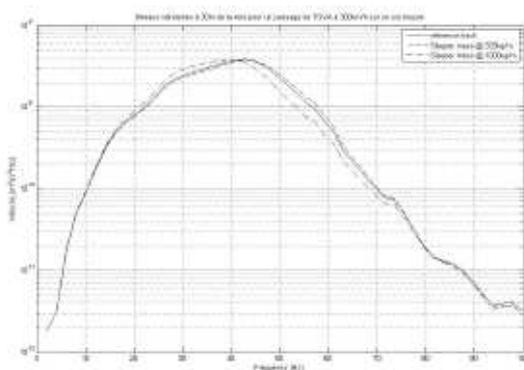
FIGURE 2.7 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une masse de traverse modifiée



(a) A 3m de la voie

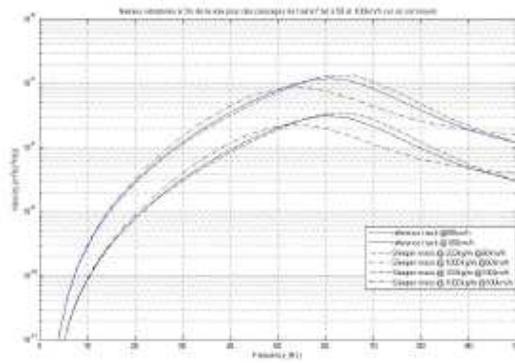


(b) A 15m de la voie

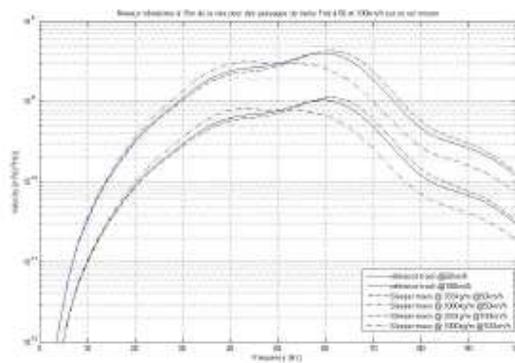


(c) A 30m de la voie

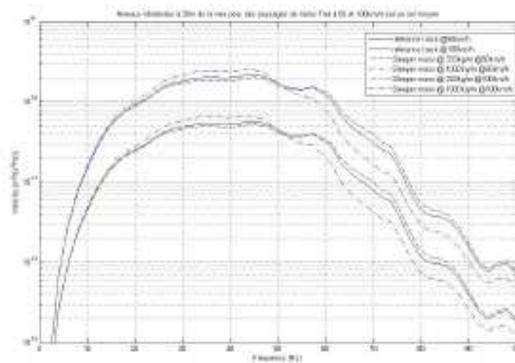
FIGURE 2.8 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une masse de traverse modifiée



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 2.9 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une masse de traverse modifiée

2.4 Insertion d'une semelle sous traverse et modification de sa raideur

Le cas de référence correspond à l'absence d'une semelle sous traverse. Celui-ci est comparé à différentes configurations dans lesquelles une USP a été insérée. La raideur dynamique de cette dernière varie alors de $100MN/m$, à $200MN/m$ et finalement $400MN/m$.

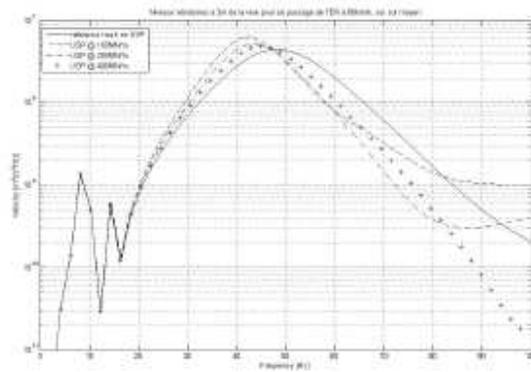
Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h, par les graphes de la figure 2.10.

Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h, illustré par les graphes de la figure 2.11.

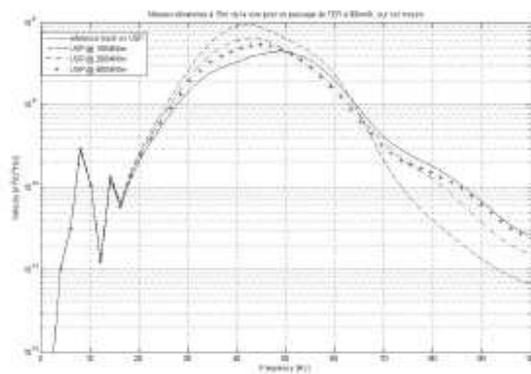
Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 2.12 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h.

Quelque soit le trafic, figures 2.10, 2.11 et 2.12, l'insertion d'une semelle sous traverse (les différentes raideurs testées correspondent à des déflexions statiques acceptables) tend à augmenter les niveaux vibratoires en champ libre entre 10Hz et au minimum 50Hz, et ce pour le cas le moins dommageable correspondant à l'USP la plus raide, de raideur égale à $400MN/m$. Le pic de résonance de la super-structure sur le ballast ou de la voie sur le sol (?) est toujours plus élevé en présence d'une USP. Il serait dès lors intéressant de considérer l'USP non plus comme un simple élément de raideur (variable) mais comme un élément raideur/amortissement en parallèle. L'amortissement dans l'USP pourrait alors diminuer le pic de résonance et assurer des niveaux moindres en dessous de 50Hz.

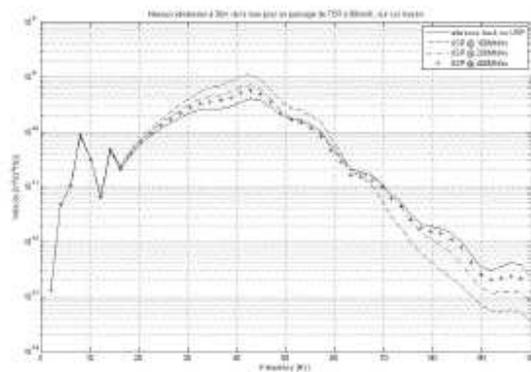
Se pose la question du module de l'amortissement à affectuer à cette semelle.



(a) A 3m de la voie

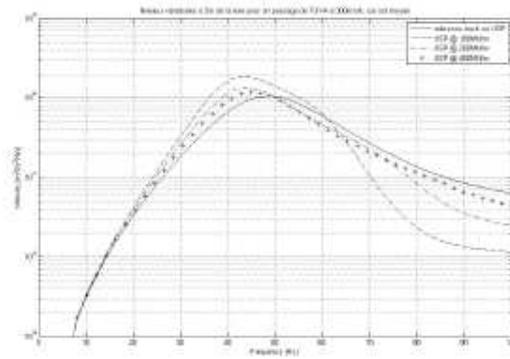


(b) A 15m de la voie

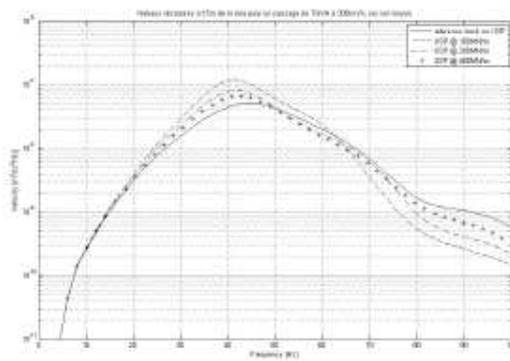


(c) A 30m de la voie

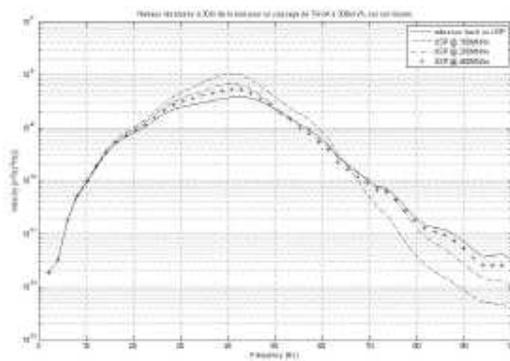
FIGURE 2.10 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, sans et avec une semelle sous traverses, pour différentes raideurs de cette semelle



(a) A 3m de la voie

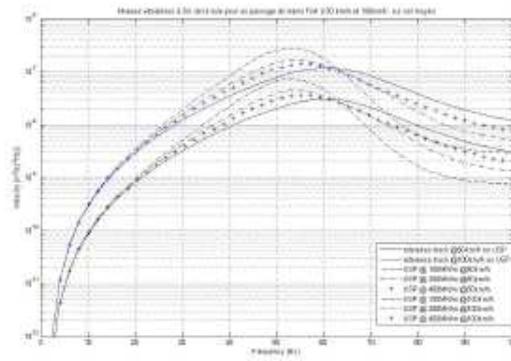


(b) A 15m de la voie

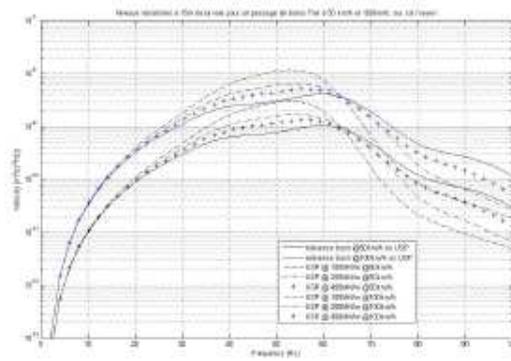


(c) A 30m de la voie

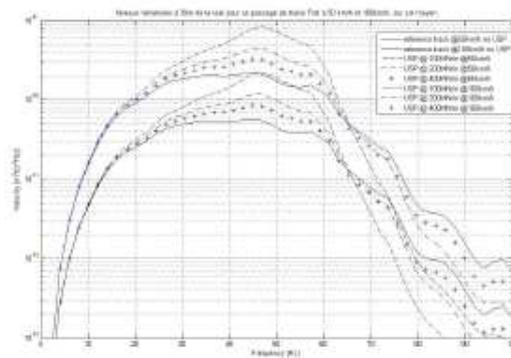
FIGURE 2.11 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, sans et avec une semelle sous traverses, pour différentes raideurs de cette semelle



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 2.12 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par les passages d'un convoi fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, sans et avec une semelle sous traverses, pour différentes raideurs de cette semelle

Chapitre 3

Etude paramétrique sur sol de grande rigidité

Dans le chapitre suivant, les données présentées sont les niveaux vibratoires à 3 distances de la voie : 3m, 15m et 30m, pour 4 types de circulation (TER, TGVA, Fret à 2 vitesses), la voie reposant sur un sol de forte rigidité. Les différents paragraphes qui suivent présentent, sous la forme de spectres de niveaux vibratoires, l'impact de modifications des organes de la voie sur les vibrations induites en champ libre.

3.1 modification de la raideur du rail

Le cas de référence, pour lequel le rail présente une masse volumique de $60,34\text{kg/m}$ et une raideur en flexion de $6,45\text{MN/m}$ est comparé à une configuration pour laquelle le rail a été alourdi (masse volumique de 100kg/m et une raideur en flexion de $12,9\text{MN/m}$).

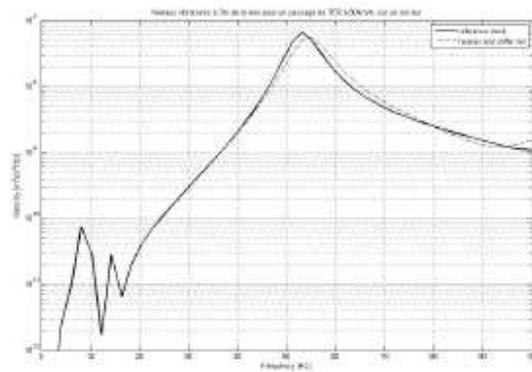
Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h , par les graphes de la figure 3.1.

Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h , illustré par les graphes de la figure 3.2.

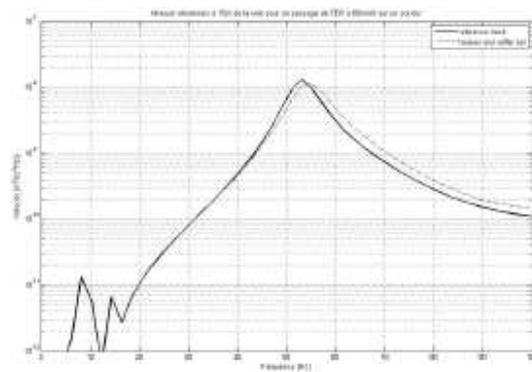
Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 3.3 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h .

Dans le cas d'une voie sur sol rigide, l'alourdissement et la rigidification du rail ont globalement un impact négatif dans le cas des circulation TER, figure 3.1 et TGVA, figure 3.2 : ils ne permettent pas une diminution du pic de résonance de la voie sur le sol et augmentent les niveaux au-delà de ce pic.

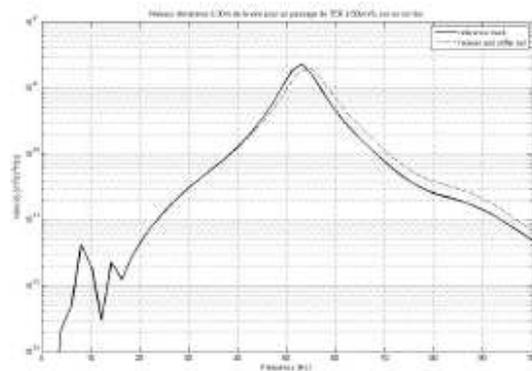
Pour des circulations FRET, figure 3.3, les niveaux vibratoires en champ libre sont augmentés au-delà de la résonance de la voie sur le sol mais le module du pic de résonance (autour de 65Hz) est diminué en présence d'un rail plus lourd et plus rigide.



(a) A 3m de la voie

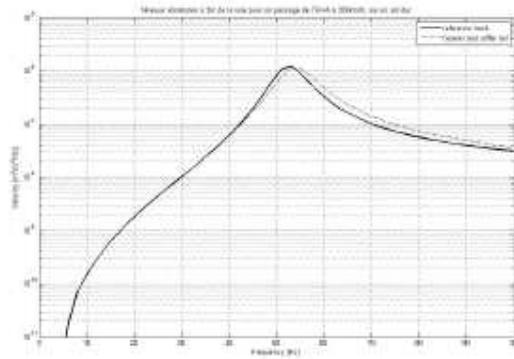


(b) A 15m de la voie

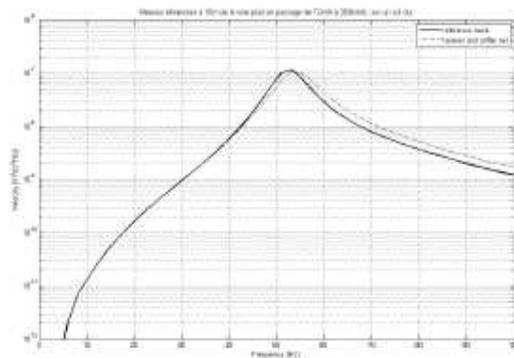


(c) A 30m de la voie

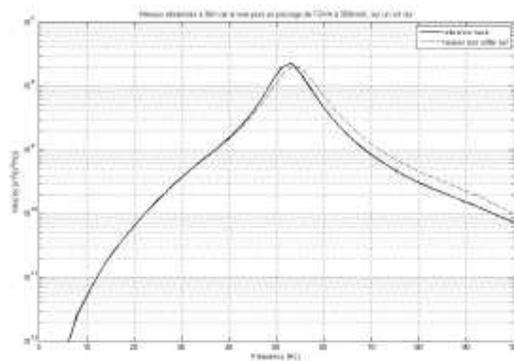
FIGURE 3.1 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour un rail modifié



(a) A 3m de la voie

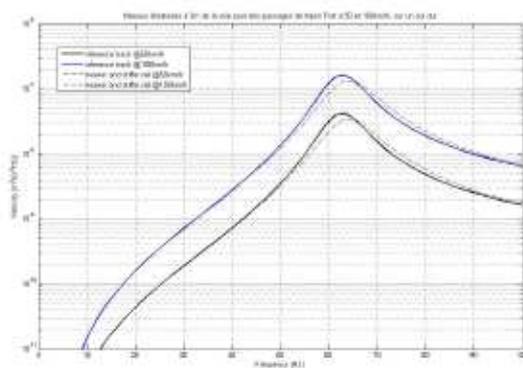


(b) A 15m de la voie

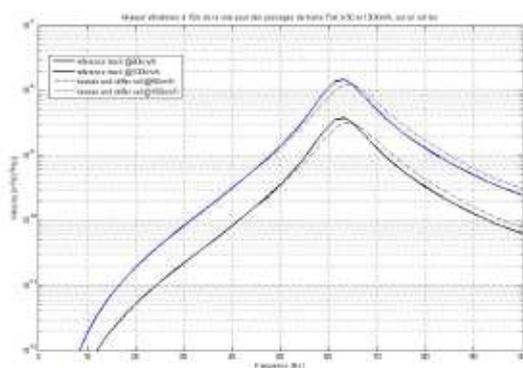


(c) A 30m de la voie

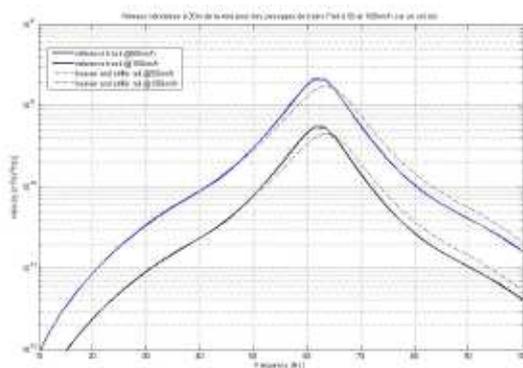
FIGURE 3.2 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour un rail modifié



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 3.3 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour un rail modifié

3.2 modification de la raideur de la semelle sous rail

Le cas de référence, pour lequel la semelle sous rail présente une raideur dynamique linéique de $3,67MN/m^2$ est comparé à une configuration pour laquelle la semelle a été assouplie et présente une raideur de $1,67MN/m^2$ et une configuration où cette même semelle a été rigidifiée et présente une raideur dynamique linéique de $6,67MN/m^2$.

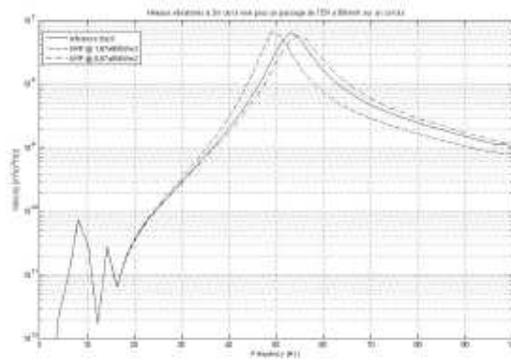
Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h, par les graphes de la figure 3.4.

Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h, illustré par les graphes de la figure 3.5.

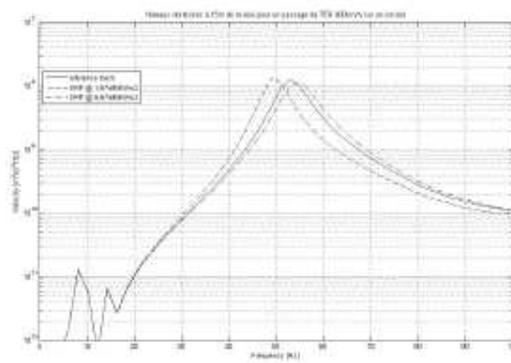
Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 3.6 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h.

Dans les cas des circulations TER, figure 3.4 ou TGV figure 3.5, les niveaux vibratoires en champ libre sont très peu modifiés par un changement de la raideur de l'URP. La fréquence du pic de résonance de ces niveaux est soit plus faible dans le cas de la semelle plus souple, soit légèrement plus élevée dans le cas de la semelle plus rigide mais le module du pic n'est pas modifié.

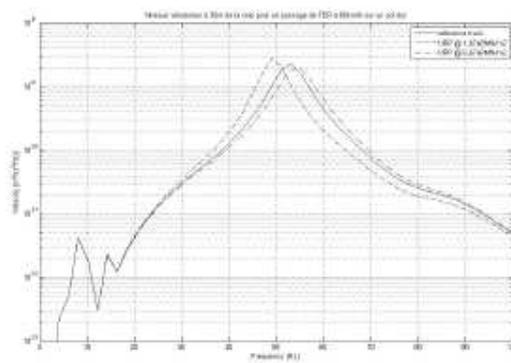
Dans le cas de circulations Fret, figure 3.6, une semelle plus souple induit un module du pic de résonance plus élevé ; une semelle plus rigide permet de diminuer très légèrement le module de ce pic, tout en induisant une augmentation des niveaux au-delà de cette résonance, ie après 65Hz.



(a) A 3m de la voie

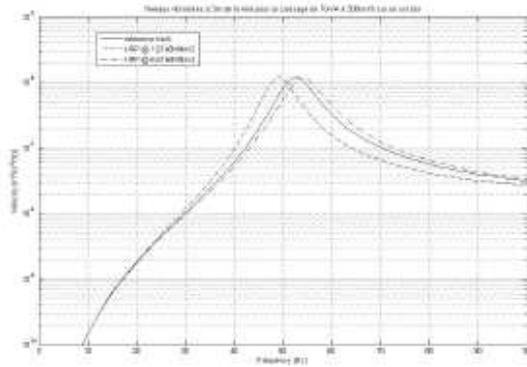


(b) A 15m de la voie

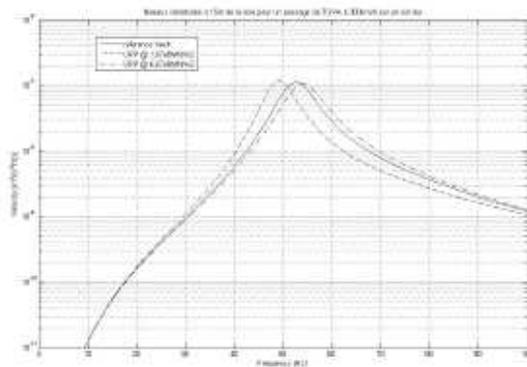


(c) A 30m de la voie

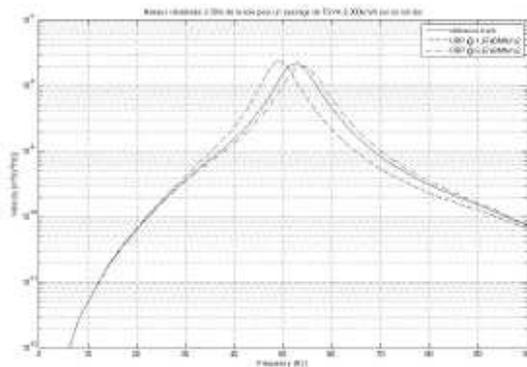
FIGURE 3.4 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une raideur dynamique d'URP modifiée



(a) A 3m de la voie

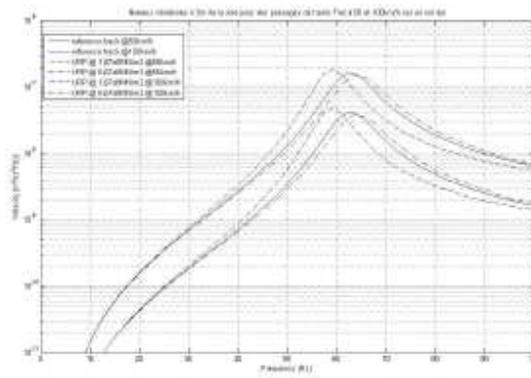


(b) A 15m de la voie

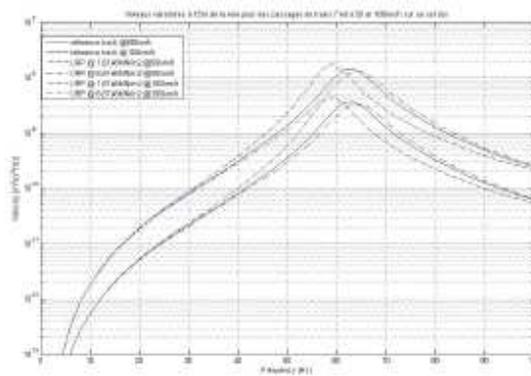


(c) A 30m de la voie

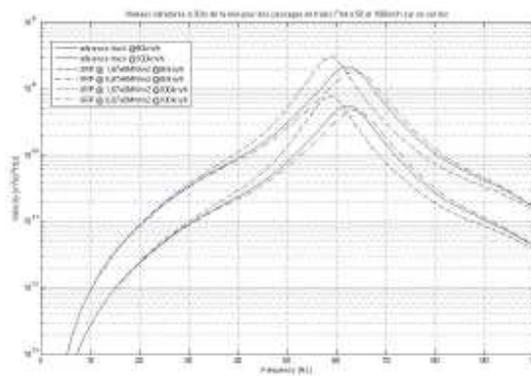
FIGURE 3.5 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une raideur dynamique d'URP modifiée



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 3.6 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une raideur dynamique d'URP modifiée

3.3 modification de la masse de la traverse

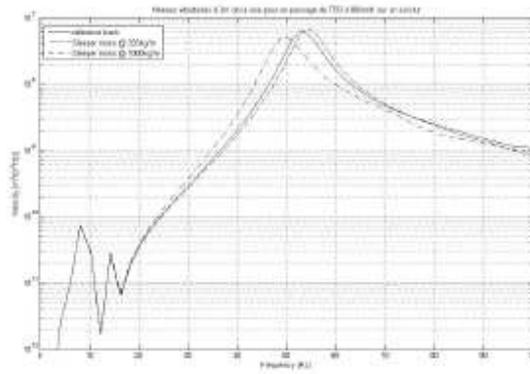
Le cas de référence, pour lequel la traverse présente une masse linéique de 500kg/m est comparé à une configuration pour laquelle la traverse est allégée et présente une masse linéique de 333kg/m et une configuration où cette même traverse est alourdie et présente une masse linéique de 1000kg/m .

Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h , par les graphes de la figure 3.7.

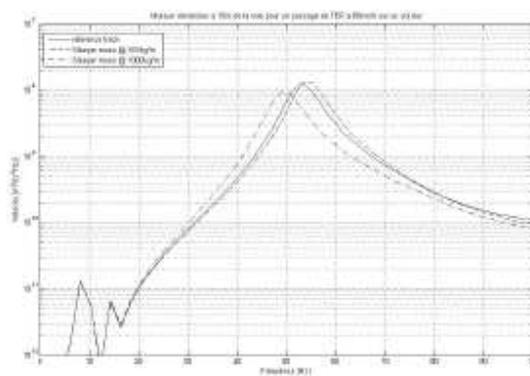
Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h , illustré par les graphes de la figure 3.8.

Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 3.9 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h .

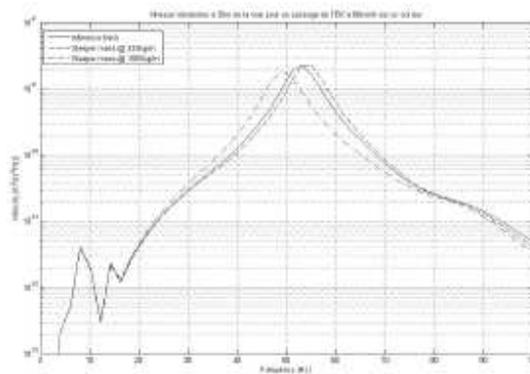
Dans le cas d'un sol rigide, un alourdissement de la traverse décale le pic de résonance vers des fréquences plus faibles, cf figures 3.7, 3.8, 3.9. Le module de ce pic est plus faible pour des traverses plus lourdes au plus proche de la voie (à 3m de distance). Ce niveau maximum du module des vibrations n'est que très peu impacté par cette modification lorsqu'on s'éloigne de la voie (à 15m ou 30m).



(a) A 3m de la voie

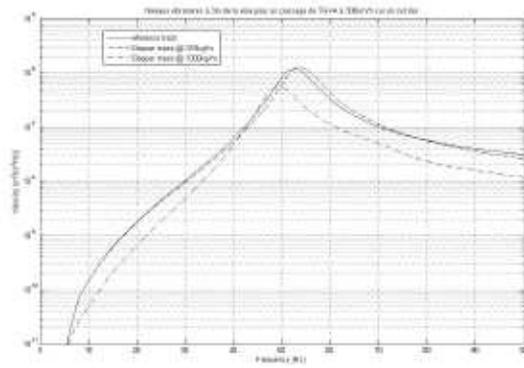


(b) A 15m de la voie

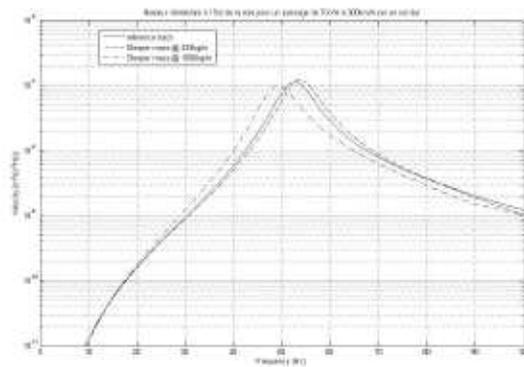


(c) A 30m de la voie

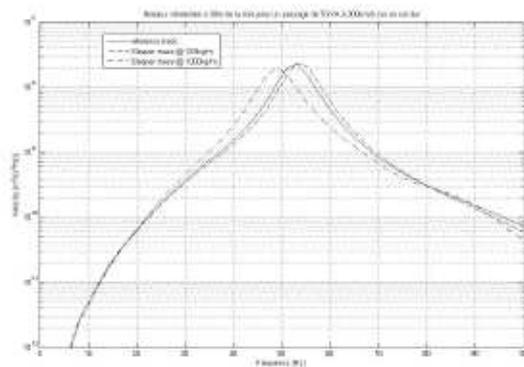
FIGURE 3.7 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une masse de traverse modifiée



(a) A 3m de la voie

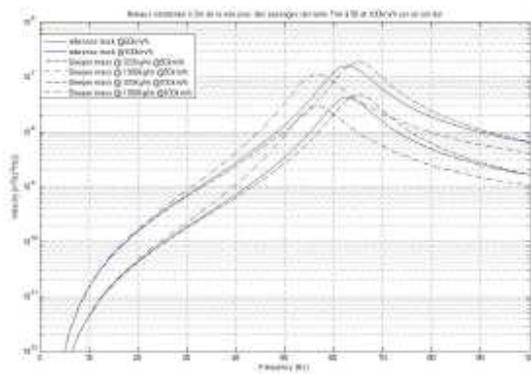


(b) A 15m de la voie

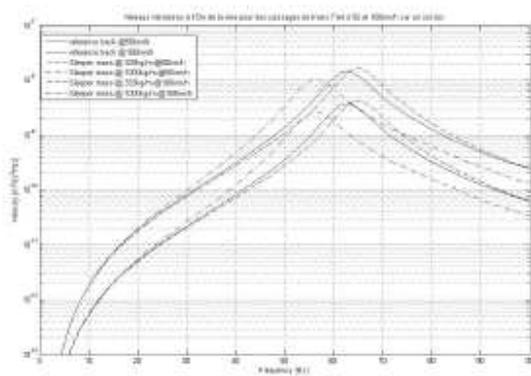


(c) A 30m de la voie

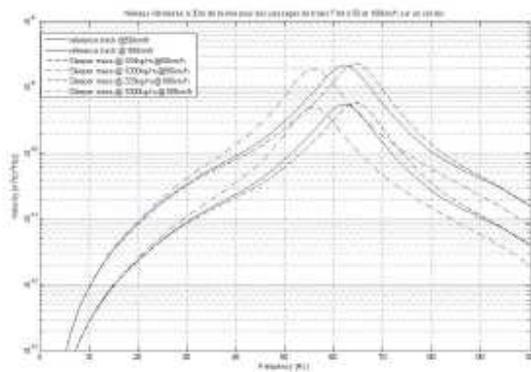
FIGURE 3.8 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une masse de traverse modifiée



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 3.9 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par les passages d'un convoi fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une masse de traverse modifiée

3.4 Insertion d'une semelle sous traverse et modification de sa raideur

Le cas de référence correspond à l'absence d'une semelle sous traverse. Celui-ci est comparé à différentes configurations dans lesquelles une USP a été insérée. La raideur dynamique de cette dernière varie alors de $100MN/m$, à $200MN/m$ et finalement $400MN/m$.

Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h, par les graphes de la figure 3.10.

Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h, illustré par les graphes de la figure 3.11.

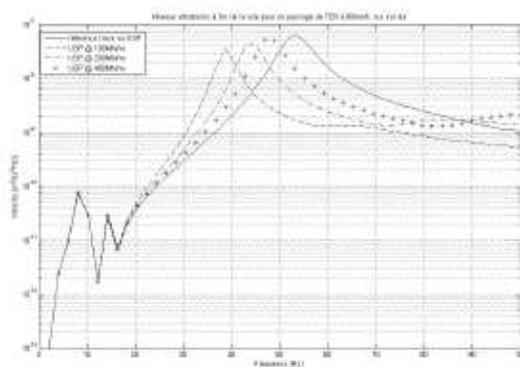
Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 3.12 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h.

Sur un sol rigide, l'insertion d'une semelle sous traverse décale le pic de résonance vers les fréquences plus faibles.

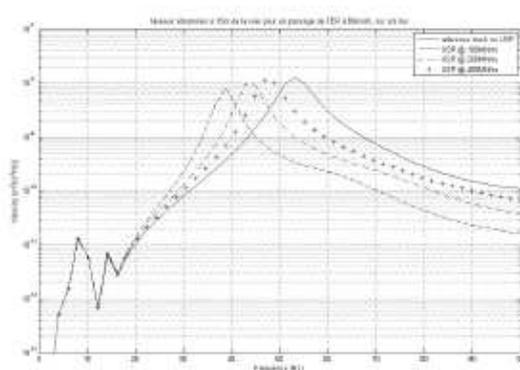
Dans le cas d'une circulation TER, figure 3.10 ou TGV, figure 3.11, d'une résonance autour de 55Hz pour le cas de référence sans USP, on passe à une fréquence de résonance de 40Hz pour une USP de $100MN/m$ de raideur.

Dans les cas de circulations Fret, figure 3.12, la résonance des niveaux accélérométriques pour le cas de référence se situe autour de 65Hz et se décale autour de 45Hz en insérant une USP de $100MN/m$ de raideur.

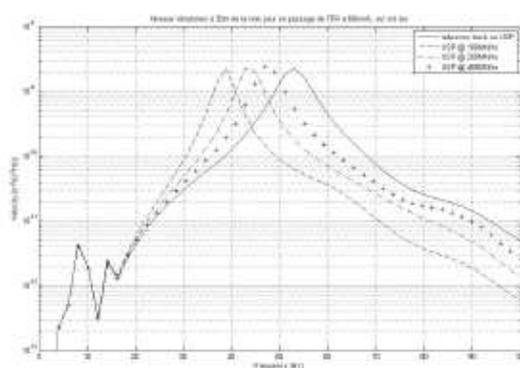
Par ailleurs, l'insertion d'une USP tend à diminuer le module du pic de résonance à 3m et 15m de la voie. Cette insertion n'a aucun impact sur le module du pic à 30m de la voie, voire un impact négatif (augmentation des niveaux) dans le cas des circulations Fret, cf figure 3.12(c).



(a) A 3m de la voie

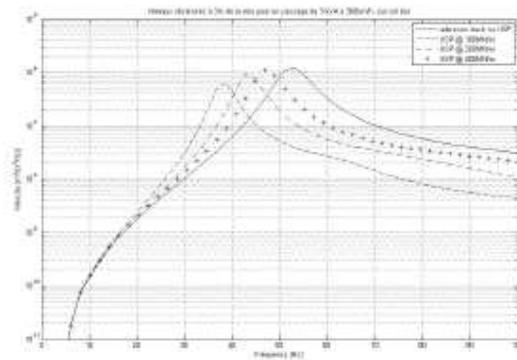


(b) A 15m de la voie

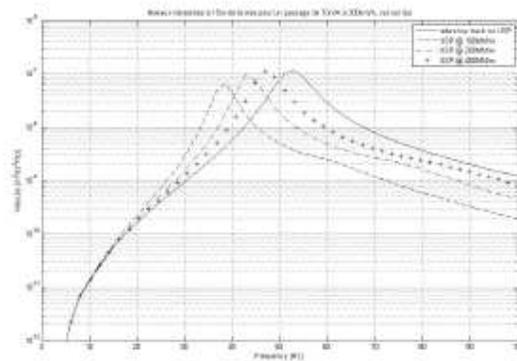


(c) A 30m de la voie

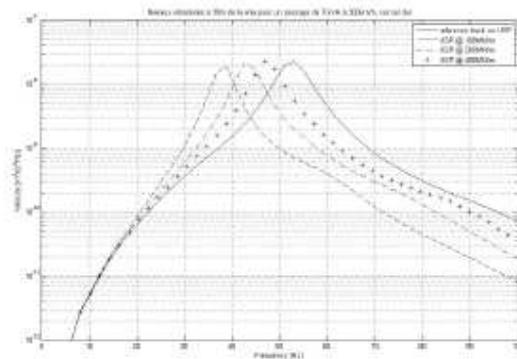
FIGURE 3.10 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, sans et avec une semelle sous traverses, pour différentes raideurs de cette semelle



(a) A 3m de la voie

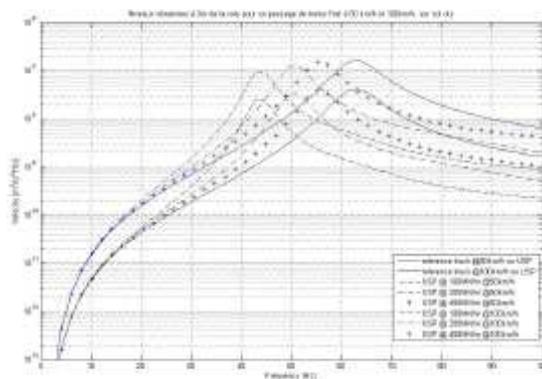


(b) A 15m de la voie

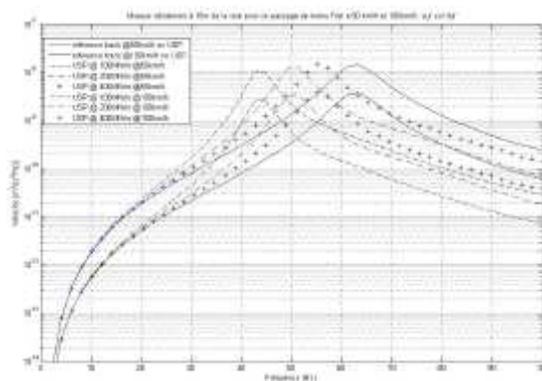


(c) A 30m de la voie

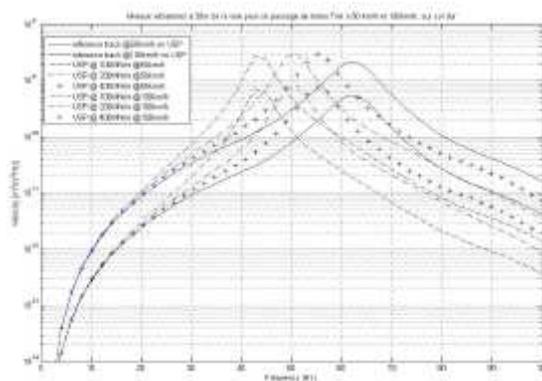
FIGURE 3.11 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, sans et avec une semelle sous traverses, pour différentes raideurs de cette semelle



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 3.12 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, sans et avec une semelle sous traverses, pour différentes raideurs de cette semelle

Chapitre 4

Etude paramétrique sur sol de faible rigidité

Dans le chapitre suivant, les données présentées sont les niveaux vibratoires à 3 distances de la voie : 3m, 15m et 30m, pour 4 types de circulation (TER, TGVA, Fret à 2 vitesses), la voie reposant sur un sol de faible rigidité. Les différents paragraphes qui suivent présentent, sous la forme de spectres de niveaux vibratoires, l'impact de modifications des organes de la voie sur les vibrations induites en champ libre.

4.1 modification de la raideur du rail

Le cas de référence, pour lequel le rail présente une masse volumique de $60,34\text{kg/m}$ et une raideur en flexion de $6,45\text{MN/m}$ est comparé à une configuration pour laquelle le rail a été alourdi (masse volumique de 100kg/m et une raideur en flexion de $12,9\text{MN/m}$).

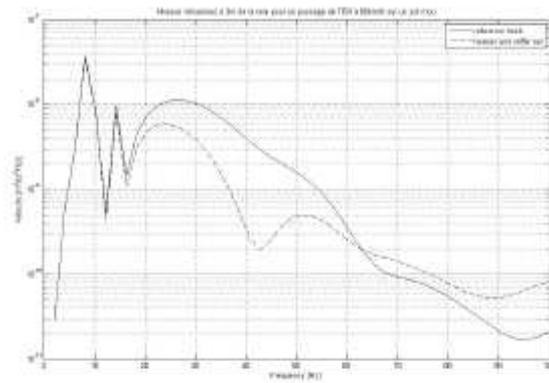
Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h , par les graphes de la figure 4.1.

Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h , illustré par les graphes de la figure 4.2.

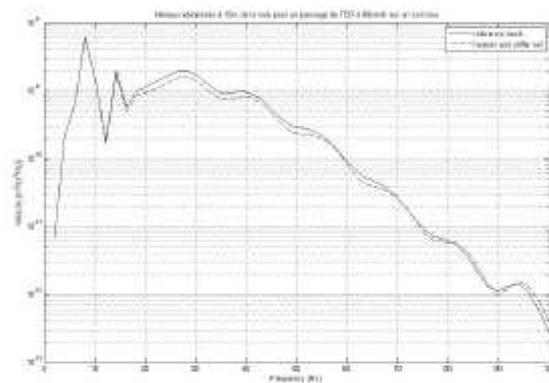
Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 4.3 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h .

Pour les circulations TER, figure 4.1 et TGV, figure 4.2, l'alourdissement et la rigidification du rail, sur un sol souple, ont un effet positif sur les niveaux vibratoires à 3m et 15m de la voie, entre 15Hz et 50Hz. Une augmentation des niveaux est par ailleurs constatée au-delà de 50Hz pour la circulation TGV. Cette modification n'a plus d'impact à 30m de la voie, cf figures 4.1(c) et 4.2(c).

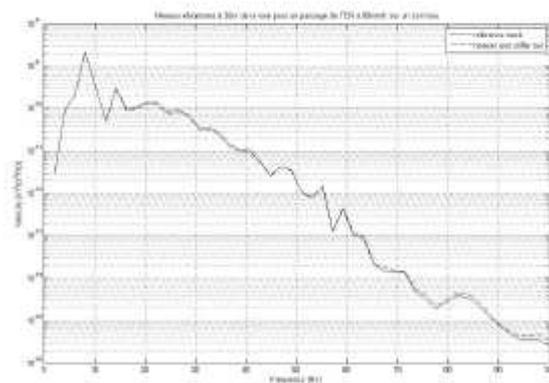
Dans le cas de circulations Fret, figure 4.3, l'impact positif est constaté une nouvelle fois à 3m de la voie sur toute la gamme fréquentielle et à 15m de la voie, entre 15Hz et 50Hz. A 30m, l'impact de cette modification est négligeable, comme illustré sur le graphe (c) de la figure 4.3.



(a) A 3m de la voie

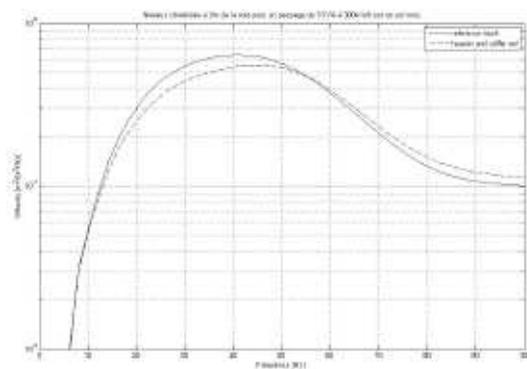


(b) A 15m de la voie

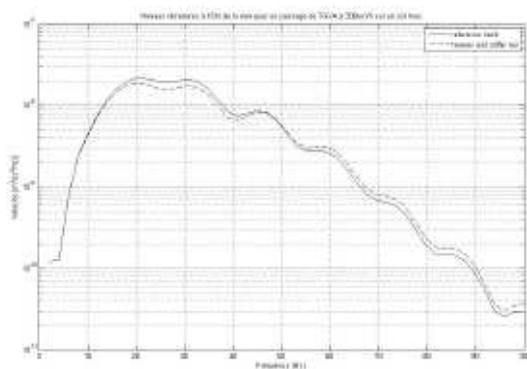


(c) A 30m de la voie

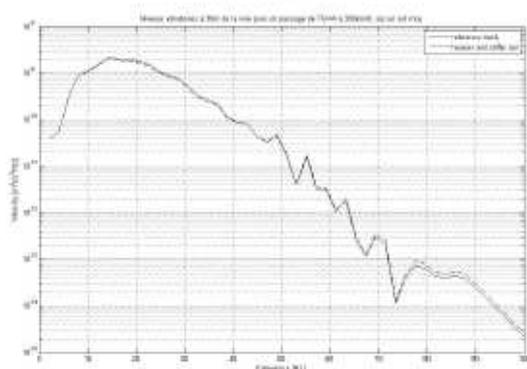
FIGURE 4.1 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour un rail modifié



(a) A 3m de la voie

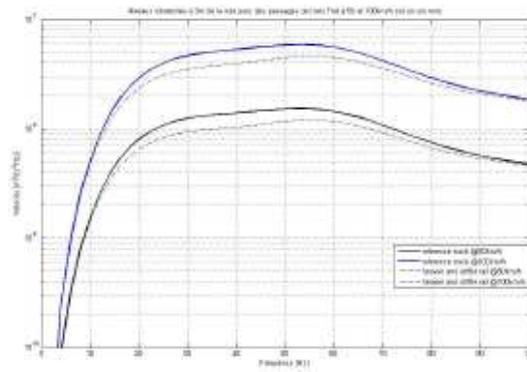


(b) A 15m de la voie

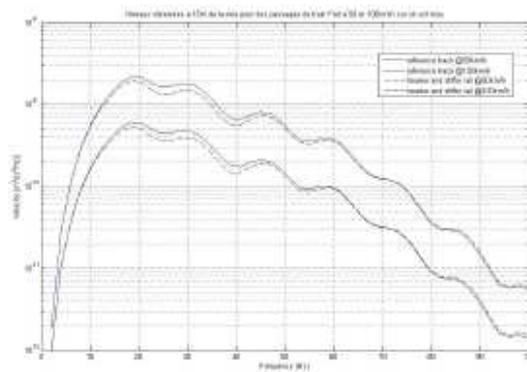


(c) A 30m de la voie

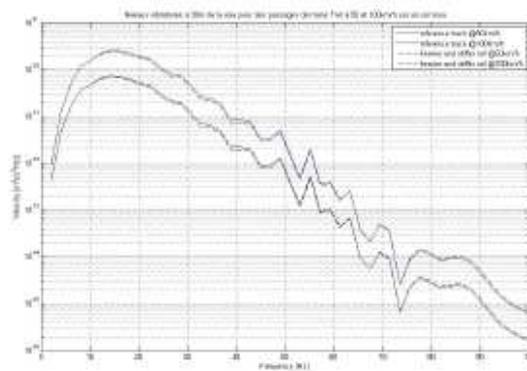
FIGURE 4.2 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour un rail modifié



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 4.3 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour un rail modifié

4.2 modification de la raideur de la semelle sous rail

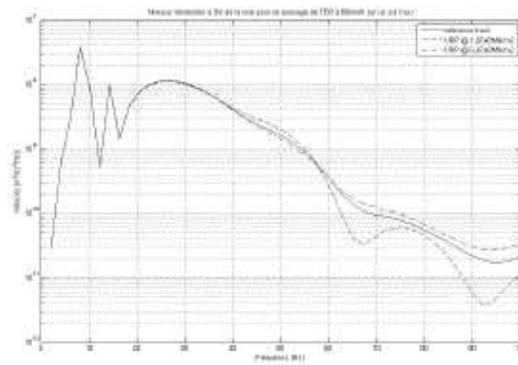
Le cas de référence, pour lequel la semelle sous rail présente une raideur dynamique linéique de $3,67MN/m^2$ est comparé à une configuration pour laquelle la semelle a été assouplie et présente une raideur de $1,67MN/m^2$ et une configuration où cette même semelle a été rigidifiée et présente une raideur dynamique linéique de $6,67MN/m^2$.

Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h, par les graphes de la figure 4.4.

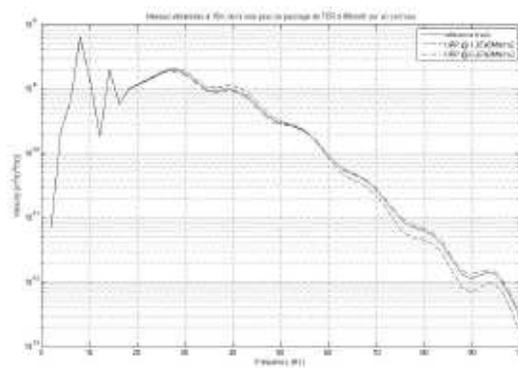
Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h, illustré par les graphes de la figure 4.5.

Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 4.6 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h.

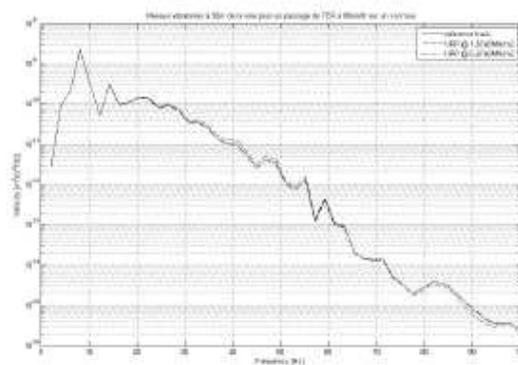
En-dehors du point d'observation à 3m de distance de la voie sur un sol mou, figures 4.4(a) et 4.5(a), la rigidification de la semelle sous le rail n'a pas d'impact sur les niveaux vibratoires en champ libre. Une semelle sous rail plus souple est toujours dommageable sur les niveaux vibratoires en champ libre, dans le cas d'une voie reposant sur un sol souple.



(a) A 3m de la voie

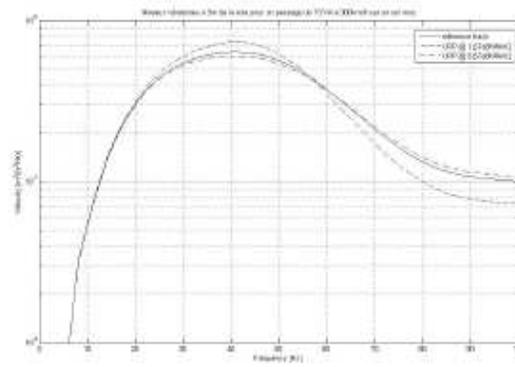


(b) A 15m de la voie

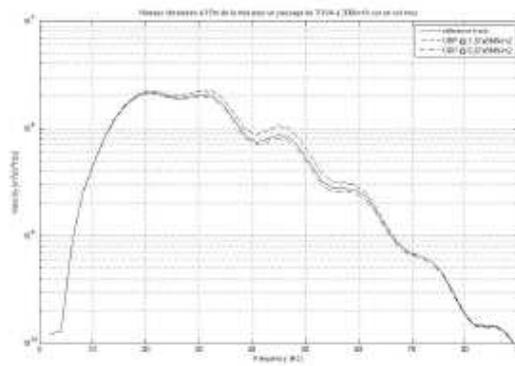


(c) A 30m de la voie

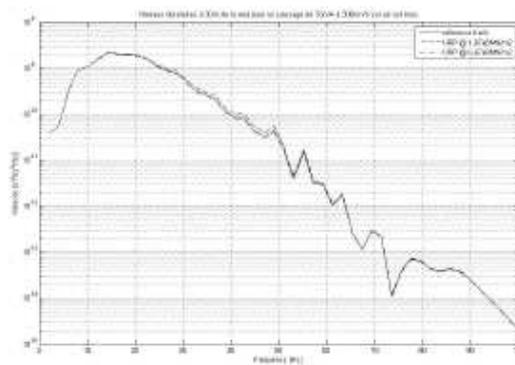
FIGURE 4.4 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une raideur dynamique d'URP modifiée



(a) A 3m de la voie

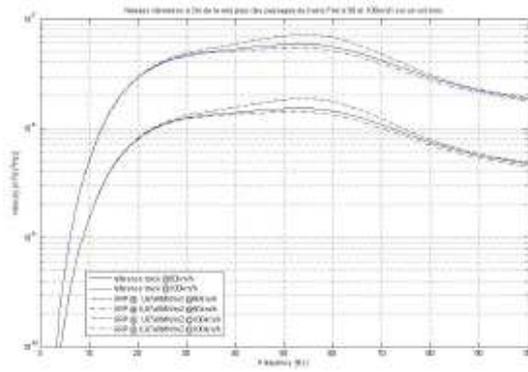


(b) A 15m de la voie

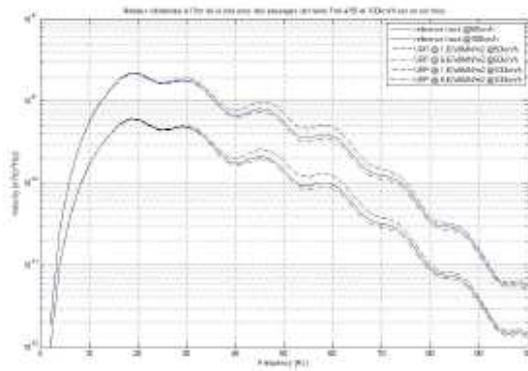


(c) A 30m de la voie

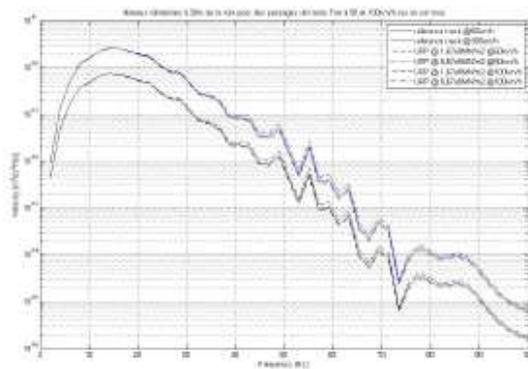
FIGURE 4.5 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une raideur dynamique d'URP modifiée



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 4.6 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une raideur dynamique d'URP modifiée

4.3 modification de la masse de la traverse

Le cas de référence, pour lequel la traverse présente une masse linéique de 500kg/m est comparé à une configuration pour laquelle la traverse est allégée et présente une masse linéique de 333kg/m et une configuration où cette même traverse est alourdie et présente une masse linéique de 1000kg/m .

Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h , par les graphes de la figure 4.7.

Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h , illustré par les graphes de la figure 4.8.

Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 4.9 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h .

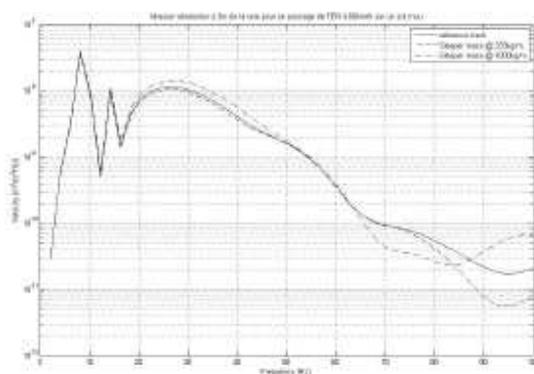
Dans le cas d'une circulation TER à 80km/h , le changement de la masse linéique de la traverse sur sol souple n'impacte pas les niveaux vibratoires, figure 4.7.

Lors d'un passage de TGVA à 300km/h , figure 4.8, cette modification entraîne une diminution des niveaux :

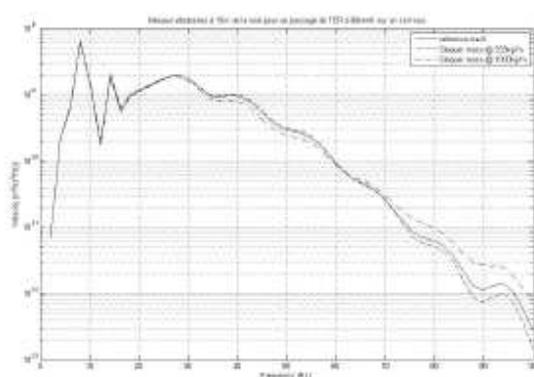
- à 3m de la voie entre 25Hz et 65Hz
- à 15m et à 30m de la voie, à partir de 30Hz

Pour des circulations Fret, figure 4.9 l'alourdissement de la traverse permet d'obtenir des niveaux plus faibles :

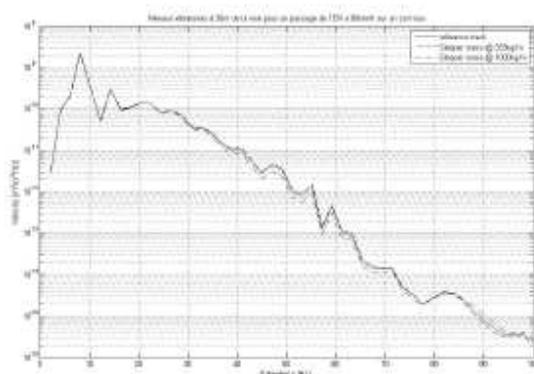
- à 3m de la voie à partir de 30Hz
- à 15m et à 30m de la voie, à partir de 40Hz



(a) A 3m de la voie

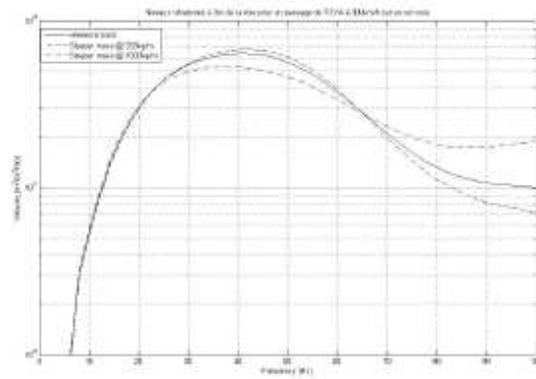


(b) A 15m de la voie

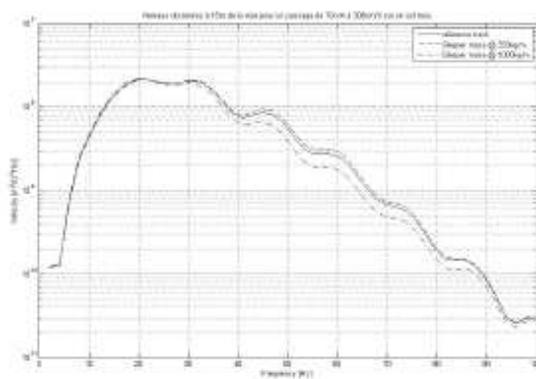


(c) A 30m de la voie

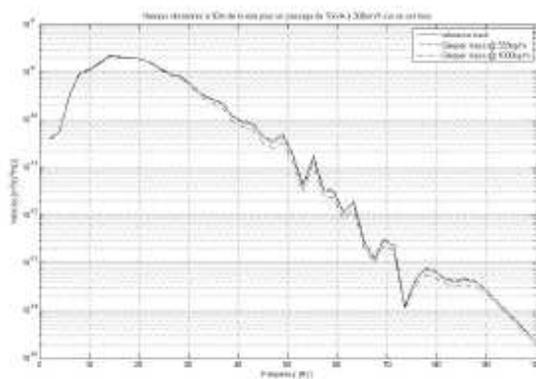
FIGURE 4.7 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une masse de traverse modifiée



(a) A 3m de la voie

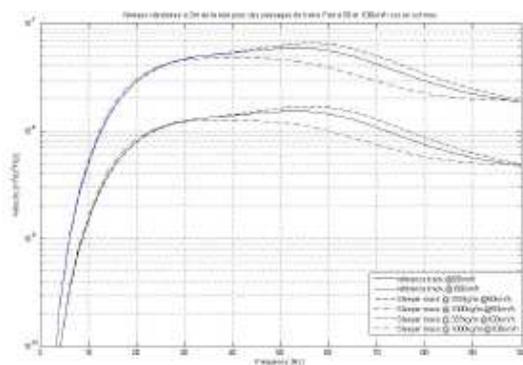


(b) A 15m de la voie

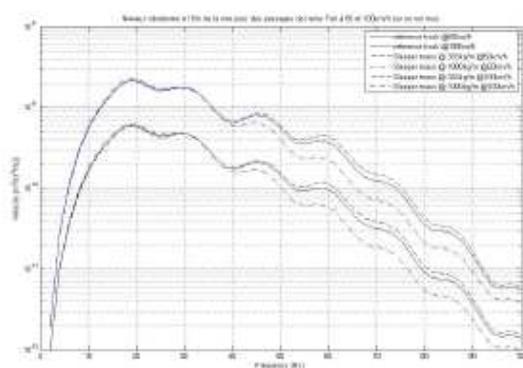


(c) A 30m de la voie

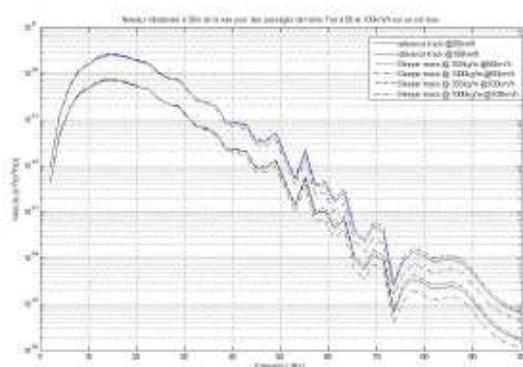
FIGURE 4.8 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une masse de traverse modifiée



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 4.9 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, pour une masse de traverse modifiée

4.4 Insertion d'une semelle sous traverse et modification de sa raideur

Le cas de référence correspond à l'absence d'une semelle sous traverse. Celui-ci est comparé à différentes configurations dans lesquelles une USP a été insérée. La raideur dynamique de cette dernière varie alors de $100MN/m$, à $200MN/m$ et finalement $400MN/m$.

Le premier cas de trafic correspond à une circulation d'un TER à 80km/h, par les graphes de la figure 4.10.

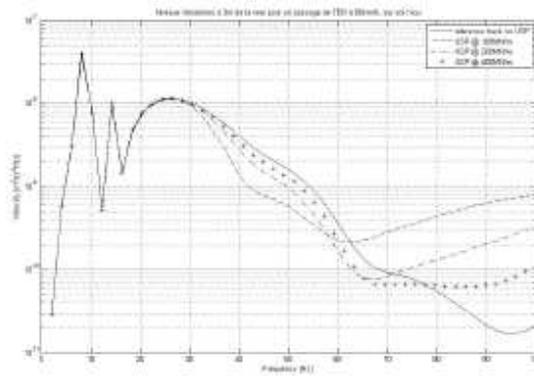
Le second cas de trafic correspond au passage de TGVA à 300km/h, illustré par les graphes de la figure 4.11.

Les troisième et quatrième cas de circulation sont représentés sur les mêmes graphiques de la figure 4.12 : ils correspondent aux passages d'un même convoi Fret à 2 vitesses de passage différentes, 50km/h et 100km/h.

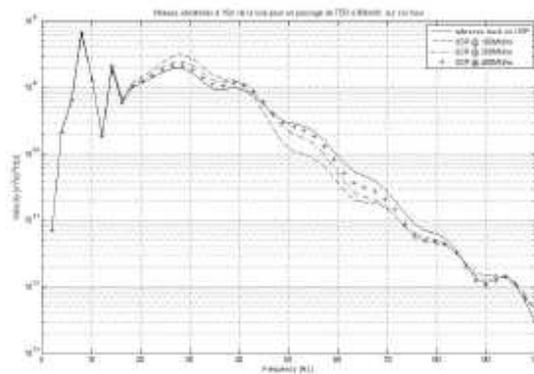
Quelque soit le cas de trafic étudié, l'insertion d'une USP dans le cas d'une voie sur sol souple est dommageable dans les fréquences inférieures à la fréquence de résonance et a un effet positif au-delà.

Pour un cas de trafic TER, figure 4.10 ou TGV figure 4.11, cette fréquence où l'effet bascule se situe autour de 40Hz (pour la semelle sous traverse la plus souple). Pour les circulations Fret, figure 4.12, elle se situe autour de 50Hz.

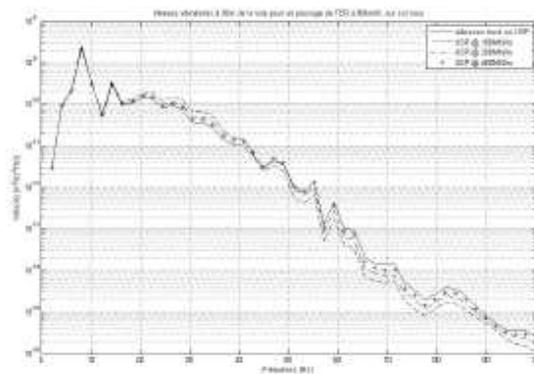
Une nouvelle fois, il serait intéressant de rajouter à l'élément ressort représentant l'USP, un élément amortisseur, en parallèle, pour figurer la dissipation d'énergie vibratoire induite par l'USP. Se pose alors la question de la valeur de l'amortissement à affecter à l'USP.



(a) A 3m de la voie

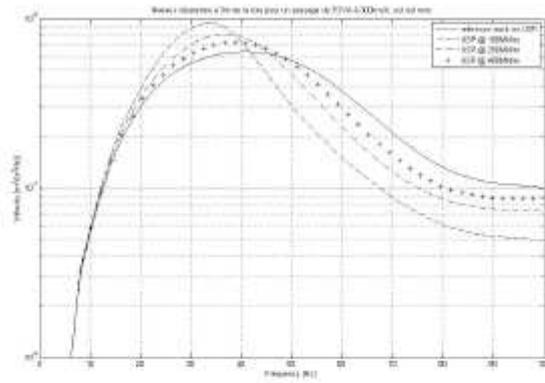


(b) A 15m de la voie

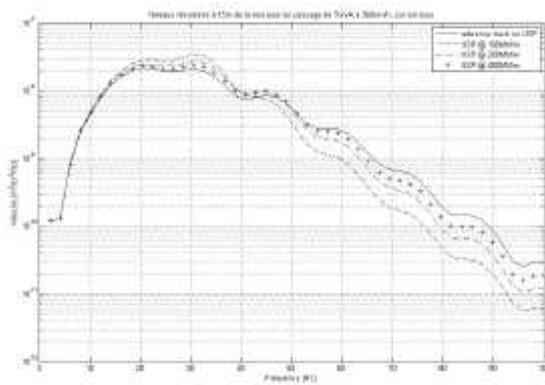


(c) A 30m de la voie

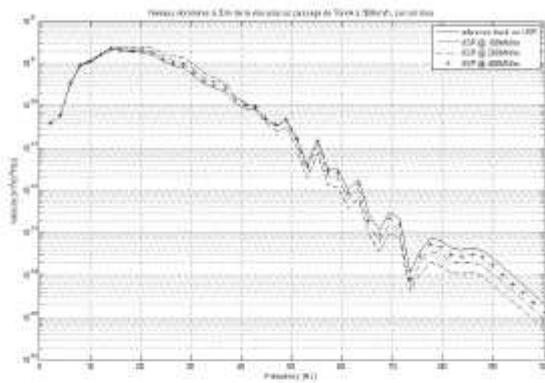
FIGURE 4.10 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TER à 80km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, sans et avec une semelle sous traverses, pour différentes raideurs de cette semelle



(a) A 3m de la voie

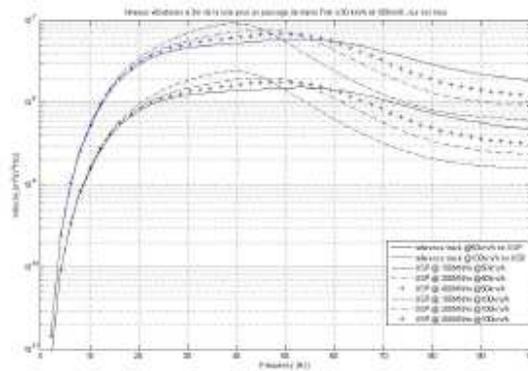


(b) A 15m de la voie

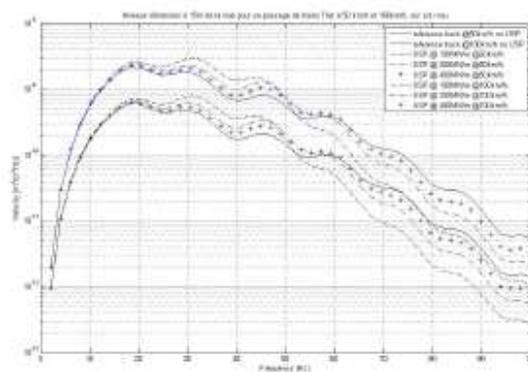


(c) A 30m de la voie

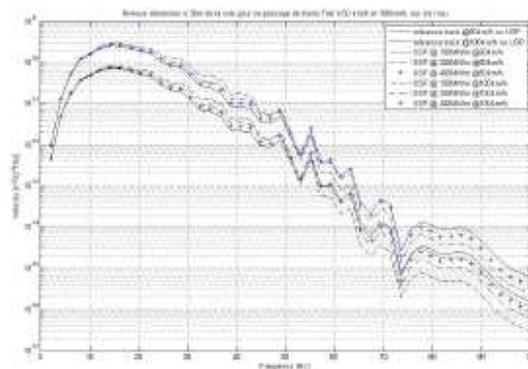
FIGURE 4.11 – Spectres de niveaux vibratoires sur le T_p induits par le passage d'un TGVA à 300km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, sans et avec une semelle sous traverses, pour différentes raideurs de cette semelle



(a) A 3m de la voie



(b) A 15m de la voie



(c) A 30m de la voie

FIGURE 4.12 – Spectres de niveaux vibratoires sur le Tp induits par les passages d'un convoi Fret à 50km/h et 100km/h, à 3m, 15m et 30m de la voie, sans et avec une semelle sous traverses, pour différentes raideurs de cette semelle

Chapitre 5

conclusion

Pour tout type de sol et tout type de modifications apportées aux organes de la voie, on constate que le chargement par un trafic Fret décale le domaine d'efficacité des solutions à impact positif vers de plus hautes fréquences que dans le cas d'un trafic TER ou TGVA. Aucune solution n'est efficace pour tout type de sol et tout type de circulation. Cette absence de solution *universelle* n'est pas en soit problématique. Ce qui est davantage gênant c'est qu'une solution, quelle qu'elle soit, n'est efficace que sur un sous-domaine du domaine fréquentiel représenté (le domaine s'étend de 0 à 100Hz), et en-dehors de ce sous-domaine, elle a tendance à accroître les niveaux vibratoires. Il faut donc avoir un domaine précis/réduit de fréquences sur lesquelles la solution doit être efficace. Enfin, on constate que l'efficacité d'une solution tend à s'estomper, à mesure que l'on s'éloigne de la voie, l'amortissement dû au sol prenant le dessus. Cela est peut-être dû à une mauvaise estimation des amortissements relatifs entre organes de la voie et sol.

Rem : Plus spécifiquement dans le cas du trafic TER, on constate un pic des niveaux vibratoires autour de 10Hz qui correspond à priori à la charge statique : cela vient peut-être de suspensions primaire et secondaire mal prises en compte de sorte que la caisse n'est pas isolée suffisamment de l'essieu et que la charge non suspendue devient alors importante.



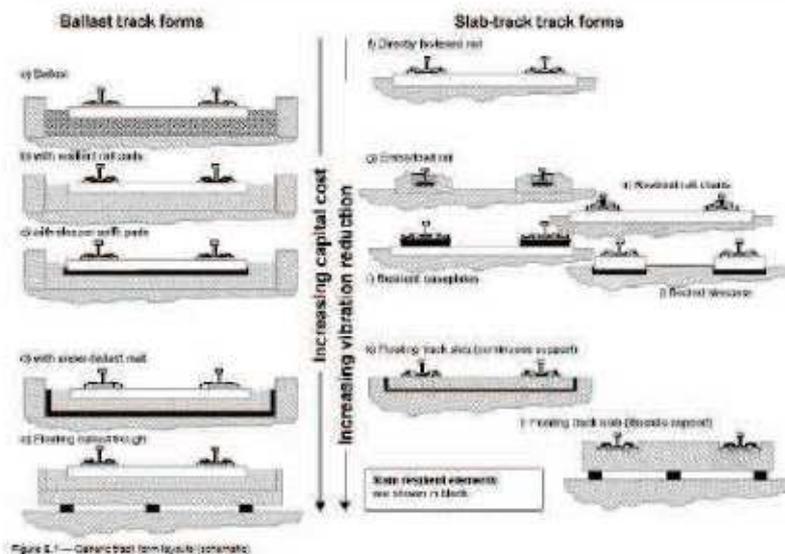
PROJET : « VIBRATION SOL »

Phase 5 : Solutions anti-vibratiles existantes

Bibliographie

Rapport VIBRATEC réf. 205.093.RA.06.A pour le compte de

La SNCF



CONTACTS VIBRATEC

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

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

www.vibratec.fr

Cécile DOCHE
Eric AUGIS
Christophe MALICZAK

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr

