

1997

## Essais en vibration de sièges pour autobus urbains. Phase 1 : évaluation du siège Recaro CL-1

Paul-Émile Boileau  
*IRSST*

Subhash Rakheja  
*Concordia University*

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

---

### Citation recommandée

Boileau, P.-É. et Rakheja, S. (1997). *Essais en vibration de sièges pour autobus urbains. Phase 1 : évaluation du siège Recaro CL-1* (Rapport n° R-160). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter [pharesst@irsst.qc.ca](mailto:pharesst@irsst.qc.ca).

**Essais en vibration  
de sièges  
pour autobus urbains**  
Phase 1 : Évaluation du siège  
Recaro CL-1

**ÉTUDES ET  
RECHERCHES**

Paul-Émile Boileau  
Subbash Rakheja

Juin 1997

R-160

**RAPPORT**



**IRSST**  
Institut de recherche  
en santé et en sécurité  
du travail du Québec

## La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

### ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal  
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications  
505, boul. de Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2  
Téléphone : (514) 288-1 551  
Télécopieur: (514) 288-7636  
Site internet : [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)  
© Institut de recherche en santé  
et en sécurité du travail du Québec,

**Essais en vibration  
de sièges  
pour autobus urbains  
Phase 1 : Évaluation du siège  
Recaro CL-1**

**Paul-Émile Boileau**  
Programme sécurité-ingénierie, IRSST  
**Subbash Rakheja**  
Université Concordia



**RAPPORT**

## RÉSUMÉ

Les caractéristiques de transmissibilité vibratoire du siège Recaro CL-1 muni de un, puis de deux amortisseurs sont évaluées en régime d'excitation sinusoïdale entre 0.5 et 10 Hz pour différents réglages de course disponibles sur le siège et différentes positions en hauteur. Dans un second temps, la performance d'atténuation du siège Recaro CL-1 est évaluée sous 9 classes d'excitation aléatoire représentatives de l'environnement vibratoire propre à différents modèles d'autobus urbains circulant sur différents types de parcours à des vitesses fixes pour des conditions de charge définies. Les résultats de ces essais démontrent un degré de performance supérieur pour le siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour lequel un réglage est sélectionné, permettant l'utilisation complète de la pleine course disponible sur le siège. De plus, l'utilisation du siège à suspension Recaro CL-1 apparaît comme étant le plus bénéfique sur un parcours de route accidenté lorsque l'ajustement en hauteur du siège correspond le plus près possible à sa position mi-course. Selon le mode d'installation actuel du siège dans les autobus urbains, une telle position en hauteur serait favorisée principalement par les conducteurs de grande taille. Pour les conducteurs de plus petite taille favorisant une position en hauteur plus basse, le degré de performance du siège pourrait être largement détérioré, pouvant même devenir inférieur à celui d'un siège conventionnel non suspendu dont le coussin aurait des propriétés d'atténuation adaptées au véhicule. Par ailleurs, le coussin du siège Recaro CL-1 n'apparaît pas contribuer à l'atténuation rapportée pour ce siège dans un environnement vibratoire propre aux autobus urbains, laissant ce rôle seul à la suspension du siège même. Les essais réalisés ont permis en plus de définir des critères de performance établissant la conformité des sièges pour les différentes classes spectrales associées à l'environnement vibratoire des autobus urbains. Sur un parcours incluant des rues de ville et une autoroute en bon état, il est apparu que le siège Recaro CL-1 satisfait aux exigences de ces critères, de même qu'un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain. Sur un parcours accidenté cependant, seul le siège Recaro CL-1 pourrait satisfaire aux exigences pour certaines conditions de réglage et dans certains types d'autobus.

## NOTE

Ce rapport fait référence à des annexes qui peuvent être  
obtenues sur demande seulement en contactant les auteurs

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	i
NOTE .....	ii
LISTE DES FIGURES .....	v
LISTE DES TABLEAUX .....	ix
REMERCIEMENTS .....	x
1.0 INTRODUCTION .....	1
2.0 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE .....	3
3.0 DESCRIPTION DU SIÈGE RECARO CL-1 À L'ESSAI .....	5
4.0 CARACTÉRISATION DES CLASSES SPECTRALES DES VIBRATIONS VERTICALES TRANSMISES AU POSTE DE CONDUITE DANS LES AUTOBUS URBAINS .....	9
4.1 Sélection des autobus .....	9
4.2 Sélection du parcours .....	9
4.3 Conditions retenues pour les mesures .....	10
4.4 Méthodologie de mesures de vibrations .....	10
4.5 Définition des classes spectrales .....	12
4.6 Caractérisation des classes spectrales d'excitation vibratoire .....	14
4.7 Reproduction des classes spectrales sur simulateur de vibrations ..	17

5.0	CARACTÉRISTIQUES DE TRANSMISSIBILITÉ VERTICALE DU SIÈGE RECARO CL-1 . . . . .	21
5.1	Caractéristiques de l'excitation sinusoïdale . . . . .	21
5.2	Conditions retenues pour l'évaluation de la transmissibilité vibratoire	21
5.3	Déroulement des essais de transmissibilité en régime sinusoïdal . .	23
5.4	Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni des deux amortisseurs . . . . .	23
5.5	Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur . . . . .	30
5.6	Comparaison des caractéristiques de transmissibilité avec un et deux amortisseurs . . . . .	37
6.0	ESSAIS DE PERFORMANCE DU SIÈGE RECARO CL-1 EN RÉGIME D'EXCITATION ALÉATOIRE . . . . .	43
6.1	Influence de la masse du sujet sur les caractéristiques d'atténuation du siège . . . . .	44
6.2	Détermination du facteur SEAT du siège Recaro sous les classes d'excitations vibratoires associées aux autobus urbains . . . . .	47
6.3	Efficacité du siège Recaro CL-1 par rapport aux limites d'exposition aux vibrations globales du corps applicables . . . . .	60
7.0	ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ D'ATTÉNUATION DES VIBRATIONS PAR LES COUSSINS DE SIÈGES . . . . .	63
7.1	Évaluation du coussin du siège Recaro CL-1 . . . . .	63
7.2	Évaluation d'un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain	66
8.0	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS . . . . .	79

**BIBLIOGRAPHIE**

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Caractérisation de la hauteur du siège Recaro CL-1 . . . . .	7
Figure 2 :	Identification des points de mesure dans les autobus. . . . .	12
Figure 3 :	Densité spectrale de l'accélération verticale à la base du siège pour chacune des classes d'excitation vibratoire applicables aux autobus urbains .	16
Figure 4 :	Représentation schématique du simulateur de vibrations . . . . .	18
Figure 5 :	Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage permettant la pleine course (réglage #1) et des positions en hauteur variées . . . . .	24
Figure 6 :	Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage permettant la moitié de la course (réglage #2) et des positions en hauteur variées . . . . .	25
Figure 7 :	Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage de suspension bloquée (réglage #3) et des positions en hauteur variées . . . . .	26
Figure 8 :	Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage de course #1 en position mi-course . . . . .	27
Figure 9 :	Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage de course #1 en position 50 mm sous la mi-course . . . . .	28
Figure 10 :	Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage de course #3 en position 25 mm au-dessus de la mi-course . . . . .	29
Figure 11 :	Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage permettant la pleine course (réglage #1) et des positions en hauteur variées . . . . .	31

Figure 12 :	Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage permettant la moitié de la course (réglage #2) et des positions en hauteur variées . . . . .	32
Figure 13 :	Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage de suspension bloquée (réglage #3) et des positions en hauteur variées . . . . .	33
Figure 14 :	Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage de course #1 en position mi-course . . . . .	34
Figure 15 :	Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage de course #1 en position 50 mm en-dessous de la mi-course . . . . .	35
Figure 16 :	Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage de course #1 en position 25 mm au-dessus de la mi-course . . . . .	36
Figure 17 :	Influence de l'amortissement du siège Recaro CL-1 pour un réglage permettant la pleine course (réglage #1) et différentes positions en hauteur . . . . .	38
Figure 18 :	Influence de l'amortissement du siège Recaro CL-1 pour un réglage permettant la moitié de la course (réglage #2) et différentes positions en hauteur . . . . .	39
Figure 19 :	Influence de l'amortissement du siège Recaro CL-1 pour un réglage de suspension bloquée (réglage #3) et différentes positions en hauteur . . . . .	40
Figure 20 :	Influence de la masse du sujet sur les caractéristiques spectrales des vibrations transmises sur le siège pour une position en hauteur à mi-course et la classe d'excitation 4 . . . . .	45
Figure 21 :	Influence de la masse du sujet sur les caractéristiques spectrales des vibrations transmises sur le siège pour une position en hauteur 25 mm sous la mi-course et la classe d'excitation 4 . . . . .	46
Figure 22 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 1 . . . . .	49

Figure 23 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 2 . . . . .	50
Figure 24 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 3 . . . . .	51
Figure 25 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 4 . . . . .	52
Figure 26 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 5 . . . . .	53
Figure 27 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 6 . . . . .	54
Figure 28 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 7 . . . . .	55
Figure 29 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 8 . . . . .	56
Figure 30 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 9 . . . . .	57
Figure 31 :	Transmissibilité verticale du coussin du siège Recaro CL-1 . . . . .	65
Figure 32 :	Transmissibilité verticale d'un siège non suspendu conventionnel d'autobus urbain . . . . .	67
Figure 33 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 1 . . . . .	69

Figure 34 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 2 . . . . .	70
Figure 35 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 3 . . . . .	71
Figure 36 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 4 . . . . .	72
Figure 37 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 5 . . . . .	73
Figure 38 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 6 . . . . .	74
Figure 39 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 7 . . . . .	75
Figure 40 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 8 . . . . .	76
Figure 41 :	Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 9 . . . . .	77

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 :	Évaluation de la course verticale disponible et de la position mi-course pour chacun des réglages de course disponibles sur le siège Recaro à l'essai . . . . .	7
TABLEAU 2 :	Caractéristiques vibratoires mesurées pour chaque autobus et condition d'essai . . . . .	13
TABLEAU 3 :	Caractérisation des classes spectrales d'excitation vibratoire par l'identification de segments de signaux vibratoires précis . .	15
TABLEAU 4 :	Caractéristiques des classes spectrales d'excitation vibratoire reproduites sur le simulateur de vibrations . . . . .	19
TABLEAU 5 :	Positions en hauteur considérées pour les essais de transmissibilité du siège Recaro en régime sinusoïdal . . . . .	22
TABLEAU 6 :	Caractéristiques du siège Recaro CL-1 établies pour chacune des configurations et réglages considérés . . . . .	41
TABLEAU 7 :	Influence de la masse du sujet sur le facteur SEAT du siège Recaro pour deux positions en hauteur spécifiques . . . . .	44
TABLEAU 8 :	Facteur SEAT(accélération pondérée) mesuré pour chaque configuration du siège Recaro CL-1 et chaque position en hauteur sous les classes spectrales associées aux autobus urbains . .	48
TABLEAU 9 :	Valeurs SEAT maximales calculées et applicables pour les différentes classes spectrales d'excitation vibratoire propres aux autobus urbains . . . . .	61

## REMERCIEMENTS

Cette étude, réalisée à la demande du Service technique et du Comité de santé et de sécurité de la Société de transport de la Rive-Sud de Montréal (STRSM), a été financée en partie par la STRSM et par le Ministère des Transports du Québec (MTQ), Service de la recherche-développement en transport terrestre des personnes. Aussi tenons-nous à remercier les représentants des ces organismes qui ont suivi le déroulement des travaux, en particulier madame Hughette Bourgeois et monsieur Yves Boulanger de la STRSM, ainsi que monsieur Luc Lefebvre du MTQ. Nous désirons aussi transmettre nos remerciements au personnel technique du programme sécurité-ingénierie de l'IRSSST et du Centre de recherche CONCAVE de l'Université Concordia impliqué dans la réalisation des essais. De façon particulière, nos remerciements sont adressés à messieurs Jérôme Boutin et Pierre Drouin de l'IRSSST ainsi qu'à messieurs Ajai Singh, Patrick Sauvé, Danius Juras et Dale Rathwell du Centre CONCAVE, sans qui les essais n'auraient pu être effectués. Enfin, nous désirons remercier monsieur A. Caron de la STRSM qui a assumé le rôle de chauffeur dans tous les essais impliquant la conduite d'autobus sur les parcours identifiés.

## 1.0 INTRODUCTION

Depuis 1989, un nombre important d'autobus utilisés pour le transport urbain sont munis d'un siège de conducteur à suspension pneumatique de marque Recaro. Le siège, dont le modèle est connu comme étant le CL-1, possède différents réglages manuels, électriques et pneumatiques qui agissent à différents niveaux pour ajuster la posture du conducteur en fonction des exigences liées au poste de travail. La suspension, dont le rôle est d'atténuer les vibrations et les chocs transmis au conducteur, est constituée d'une cinématique à croisillons, d'un ballon pneumatique, d'amortisseurs et de butées élastiques visant à limiter la course. Il s'agit d'une suspension agissant uniquement en direction verticale, pour laquelle des modifications ont été apportées par le manufacturier au cours des années. Parmi les plus importantes modifications apportées à la suspension initiale du modèle Recaro CL-1, on compte l'ajout d'un deuxième amortisseur en parallèle avec le premier, et l'incorporation de butées inférieures plus volumineuses. C'est d'ailleurs sur cette version la plus récente du siège Recaro CL-1 que la présente étude est axée.

Tel que mentionné précédemment, le rôle premier d'un siège à suspension est celui d'atténuer les vibrations et les chocs dont les niveaux pourraient constituer un risque pour la santé et la sécurité des conducteurs. Bien qu'aucune relation dose-effet spécifique n'existe à ce jour pour exprimer le risque d'atteinte à la santé lié à l'exposition aux vibrations et aux chocs, la plupart des études épidémiologiques effectuées sur des populations de conducteurs supportent l'existence d'un lien entre l'apparition de maux de dos, principalement de lombalgies, et l'exposition prolongée aux vibrations, particulièrement lorsque des chocs sont impliqués [1,2]. Pour minimiser les risques, il apparaît donc souhaitable d'intégrer au véhicule des dispositifs visant à assurer que les niveaux d'exposition vibratoire pour le conducteur n'excèdent pas des niveaux recommandés comme limites dans des guides comme celui de la norme internationale ISO 2631/1 [3].

L'intégration au véhicule d'un siège à suspension apparaît à première vue comme étant une solution relativement simple pour réduire les niveaux d'exposition aux vibrations et aux chocs en raison de son coût relativement faible et de sa simplicité d'installation dans différents véhicules. Cependant, l'installation d'un siège à suspension dans un véhicule ne garantit pas en soi que les vibrations et les chocs seront réduits si aucune précaution particulière n'est prise pour s'assurer que les caractéristiques physiques de la suspension sont choisies en fonction des caractéristiques des vibrations à atténuer dans

le véhicule. En effet, un siège mal adapté à l'environnement vibratoire du véhicule pourrait même amplifier les niveaux d'exposition vibratoire pour le conducteur. Pour faire un choix éclairé, il importe donc de connaître les caractéristiques (intensité, fréquence) des vibrations propres au véhicule au point d'installation du siège, ainsi que les caractéristiques de transmissibilité vibratoire spécifique au siège lui-même.

Pour certaines catégories de véhicules [4,5,6], des classes spectrales existent, définissant les caractéristiques vibratoires propres aux véhicules, tout en tenant compte des différentes marques et modèles ainsi que des variations dans leurs conditions d'opération. Cependant, de telles classes spectrales n'ont pas été définies pour les autobus urbains, ce qui rend difficile l'établissement d'exigences vibratoires spécifiques pour le siège dans ces véhicules. De même, les caractéristiques de transmissibilité vibratoire du siège Recaro CL-1 ne sont pas connues, d'autant plus que la configuration de ce siège favorise une variation de ces caractéristiques en fonction du réglage en hauteur, du fait qu'il soit effectué par l'entremise du ballon pneumatique qui agit également sur la raideur de la suspension. Conséquemment, un réglage en position basse engendre une suspension souple, tandis qu'un réglage en position élevée résulte en une suspension plus rigide, ce qui modifie les caractéristiques d'atténuation du siège. Aux deux extrémités de la course, il existe de plus des risques évidents d'impact avec les butées visant à limiter la course, un problème fréquemment rapporté par les chauffeurs. Ainsi, l'établissement des caractéristiques de transmissibilité vibratoire du siège Recaro CL-1 nécessite qu'elles soient évaluées pour différents réglages en hauteur du siège.

## 2.0 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Cette étude vise essentiellement à déterminer en laboratoire les caractéristiques de transmissibilité vibratoire du siège Recaro CL-1 et à estimer sa performance d'atténuation des niveaux d'exposition aux vibrations pour le conducteur dans des environnements vibratoires typiques associés à différents modèles d'autobus urbains parmi les plus utilisés. Ceci nécessite au préalable la caractérisation de l'environnement vibratoire vertical propre aux autobus urbains et la reproduction de ces classes spectrales sur un simulateur de vibrations servant de banc d'essai pour le siège. Dans un deuxième temps, des modifications mineures sont apportées à la configuration du siège retenu pour l'étude et les essais sont répétés dans le but d'évaluer l'influence de ces changements sur les niveaux d'exposition aux vibrations pour le conducteur. Parmi les modifications considérées, on note le blocage total de la suspension, ainsi que l'utilisation d'un seul et puis de deux amortisseurs. Enfin, des essais sont réalisés en utilisant un siège conventionnel non suspendu d'autobus dans le but de comparer l'efficacité d'atténuation vibratoire de ce siège à celle du siège Recaro CL-1.

En résumé, les objectifs spécifiques de l'étude consistent à :

- Caractériser l'environnement vibratoire en direction verticale au point de fixation du siège dans différents types d'autobus urbains sur des parcours variés pour des configurations de charges différentes;
- Reproduire sur un simulateur de vibrations verticales les classes spectrales caractérisant l'environnement vibratoire propre aux différentes catégories de véhicules dans des conditions prescrites;
- Évaluer les caractéristiques de transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 sous excitation sinusoïdale pour différents réglages de la hauteur du siège et de la course;
- Évaluer la performance d'atténuation du siège Recaro CL-1 sous les classes spectrales caractérisant l'environnement vibratoire des différentes catégories d'autobus urbains pour différents réglages en hauteur du siège;

- Varier la configuration du siège Recaro CL-1 (i.e. 1 et 2 amortisseurs, suspension bloquée) et évaluer l'influence de ces modifications sur la performance d'atténuation du siège sous les différentes classes spectrales caractérisant l'environnement vibratoire des autobus;
- Évaluer la performance d'atténuation d'un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain sous les classes spectrales caractérisant l'environnement vibratoire des différentes catégories d'autobus urbains et comparer avec les résultats obtenus avec le siège Recaro CL-1.

### 3.0 DESCRIPTION DU SIÈGE RECARO CL-1 À L'ESSAI

Le siège Recaro CL-1 considéré dans cette étude est de la nouvelle génération de ce modèle de siège qui comporte deux amortisseurs inclinés installés en parallèle. Compte tenu que certains vices d'assemblage aient été notés au préalable sur certains des sièges livrés, une inspection du siège retenu pour les essais a été effectuée sur place par les représentants de Recaro et par le service d'entretien de la STRSM afin de s'assurer que le siège sélectionné était conforme aux spécifications du fabricant et que toutes les pièces étaient bien fixées.

Le siège Recaro CL-1 est muni de différents réglages manuels, électriques et pneumatiques permettant d'ajuster le siège selon les exigences du conducteur. Les réglages manuels comprennent entre autres l'avancement et le recul du siège, l'ajustement de l'angle de l'assise et du haut du dossier et le resserrement des appuis latéraux. L'angle d'inclinaison du dossier et le gonflement des trois sacs lombaires intégrés au dossier sont ajustés par des boutons de contrôle électrique intégrés dans une console fixée au siège. Enfin, un bouton de contrôle pneumatique est utilisé pour régler la hauteur du siège et pour dégonfler la suspension complètement afin de faciliter la descente du conducteur.

Parmi les différents réglages du siège, l'ajustement de la hauteur est celui qui a une influence directe sur la qualité de la suspension puisqu'il est effectué en contrôlant le gonflement du ballon pneumatique. Conséquemment, la raideur de la suspension est directement affectée par le positionnement en hauteur. Idéalement, le gonflement (i.e. raideur) du ballon devrait être tel que le siège se positionne à mi-course indépendamment du poids du conducteur pour favoriser un degré d'efficacité optimal. Pour le siège Recaro considéré, un tel positionnement n'est seulement possible que pour certaines personnes dont la taille et le poids permettent la sélection d'un ajustement en hauteur coïncidant avec la position mi-course, ce qui n'est pas évident puisqu'aucun indicateur n'est intégré qui permettrait d'identifier cette position. Dans le cas de personnes dont la taille et le poids ne favorisent pas le choix d'une hauteur correspondant à la position mi-course, la possibilité que la suspension du siège puisse opérer de façon optimale reste donc très limitée. De plus, un réglage est intégré à l'arrière du siège Recaro CL-1 qui permet de modifier l'ampleur de la course en offrant trois possibilités: pleine course (réglage 1), course réduite de moitié (réglage 2) et suspension bloquée (réglage 3), ce dernier réglage permettant cependant un faible débattement de la suspension. De ces trois positions, le réglage 1 est celui qui est normalement recommandé afin de permettre de bénéficier de tous les avantages qu'offre la suspension.

Selon le fabricant, les deux autres réglages permettent d'affermir la suspension dans les cas où le véhicule aurait à se déplacer sur une mauvaise route. Cependant, il est généralement non recommandé d'utiliser le réglage 3.

Selon les recommandations du fabricant, la pression d'alimentation en air comprimé nécessaire au bon fonctionnement du siège Recaro CL-1 est de 110 livres par pouce carré, soit 758 kPa. En raison de la faible hauteur du siège, il a été établi que ce dernier devait être installé dans les autobus sur une base dont la hauteur est de 4 pouces, soit environ 102 mm, afin de permettre un ajustement en hauteur adapté au poste de conduite. Sous la pression d'air recommandée, l'évaluation de la course totale du siège muni des deux amortisseurs a été effectuée pour les trois réglages de course disponibles alors que le siège était fixé sur la base de 102 mm.

La figure 1 présente un schéma du siège sur lequel sont également indiqués les points de référence utilisés pour mesurer la hauteur de l'assise par rapport au plancher, et ainsi déterminer les hauteurs minimale et maximale de l'assise, la position mi-course et la course totale pour chacun des trois réglages de course disponibles. Le point de référence R est celui utilisé dans cette étude et correspond à un point identifié par une tête de vis bien évidente sur la console comportant les contrôles électriques du siège. Le point de référence P correspond quant à lui au point de pivot du dossier. Les hauteurs respectives à chacun de ces deux points de référence sont identifiées par  $h_r$  et  $h_p$ , lesquelles incluent également la hauteur de la plate-forme de fixation  $h_0$  fixée à 102 mm. Ces valeurs apparaissent dans le tableau 1 pour chacun des trois réglages de course disponibles sur le siège. La hauteur en position inférieure est mesurée une fois le ballon complètement dégonflé, tandis que pour obtenir la position supérieure, le ballon est gonflé au maximum de sa capacité toujours en maintenant une pression d'alimentation de 758 kPa.

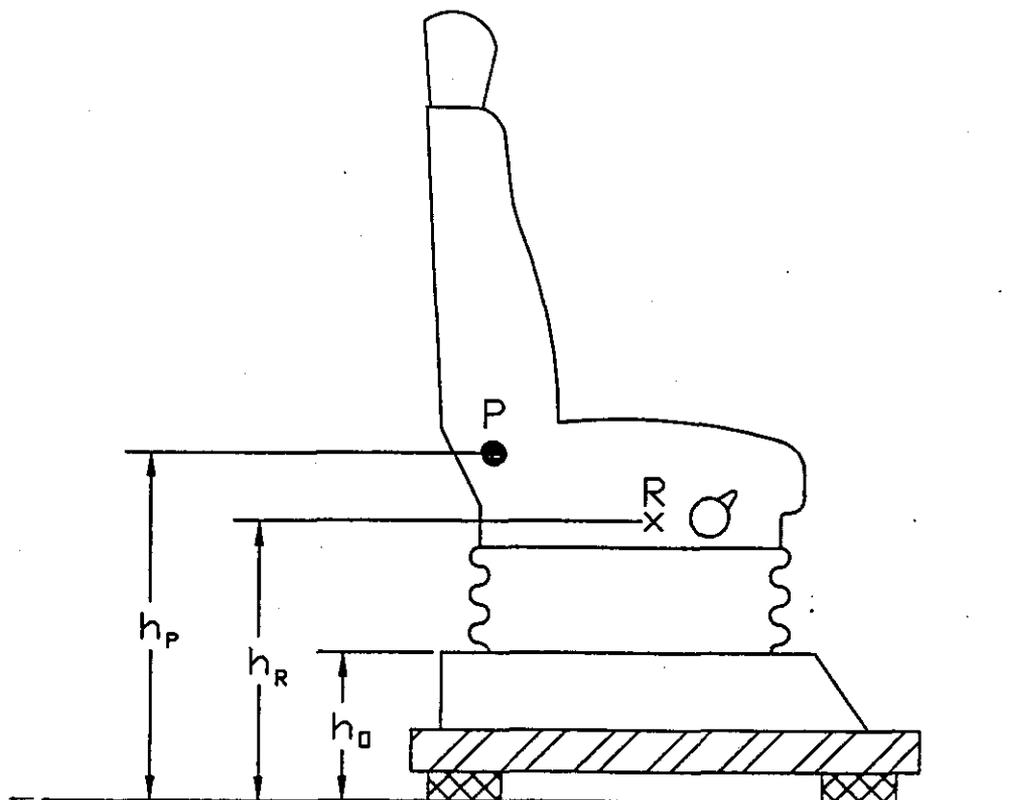


Figure 1: Caractérisation de la hauteur du siège Recaro CL-1.

TABEAU 1 : Évaluation de la course verticale disponible et de la position mi-course pour chacun des réglages de course disponibles sur le siège Recaro à l'essai.

Réglage de la suspension	Position	$h_R^*$ (mm)	$h_p^*$ (mm)	Course totale (mm)
1 (pleine course)	Inférieure	260	373	134
	Supérieure	394	507	
	Mi-course	327	440	
2 (demie course)	Inférieure	260	373	83
	Supérieure	343	456	
	Mi-course	301.5	414.5	
3 (bloquée)	Inférieure	308	421	21
	Supérieure	329	442	
	Mi-course	318.5	431.5	

\* Incluant la hauteur de la base de fixation  $h_0$ , fixée à 102 mm.

## **4.0 CARACTÉRISATION DES CLASSES SPECTRALES DES VIBRATIONS VERTICALES TRANSMISES AU POSTE DE CONDUITE DANS LES AUTOBUS URBAINS**

Cette partie de l'étude consiste à caractériser l'environnement vibratoire des autobus urbains en direction verticale au point de fixation du siège dans le but de reproduire ces vibrations sur un simulateur permettant d'effectuer les essais de siège en laboratoire. Cette caractérisation implique nécessairement que soient effectuées des mesures de vibrations dans des autobus dont les modèles soient représentatifs de ceux utilisés par les Sociétés de transport urbain. Ces mesures doivent également prévoir les variations possibles dans les conditions d'opération des véhicules incluant les variations de charge, de vitesse de conduite et de la qualité de la route susceptibles d'influencer les caractéristiques des vibrations transmises. Les détails relatifs à la description des mesures ainsi que les résultats sont traités dans les sections qui suivent.

### **4.1 Sélection des autobus**

Le choix des autobus a été réalisé par la Société de transport de la Rive-Sud de Montréal (STRSM) et visait à retenir les marques et modèles de véhicules pouvant constituer une certaine représentativité de leur flotte de véhicules. Trois autobus ont été identifiés:

- GM NewLook 1982 (#8-207);
- GM Classic 1990 (#9-029);
- Van Hool 1989 (#8-906) de type articulé.

À ceux-ci, un quatrième véhicule a été intégré, constituant un prototype d'autobus développé par Nova Bus et connu comme étant un "autobus à plancher bas". La version du prototype disponible en début d'année 1996 est celle qui fut considérée dans cette étude.

### **4.2 Sélection du parcours**

Le choix du parcours a été effectué en tenant compte du fait qu'il se devait de comporter des portions dont la qualité de la chaussée et la vitesse de conduite des véhicules seraient différentes, tout en étant représentatives des conditions rencontrées lors de l'exploitation du réseau. Le parcours a été

sélectionné sur un circuit d'exploitation de la STRSM sur la Rive-Sud de Montréal et comportait trois sections distinctes :

- Une section de la voie de service de l'autoroute Marie-Victorin en direction est. Cette section était particulièrement cahoteuse du fait que l'autobus circulait à l'extrême droite de la chaussée où les cahots sont les plus nombreux;
- Une section de l'autoroute 132 en direction ouest. Cette section était en très bon état puisque des travaux de réfection de la chaussée venaient d'être complétés;
- Des rues de la Ville de Longueuil ne présentant pas de particularités évidentes et dont la qualité de la chaussée pourrait être considérée typique de celle des rues rencontrées dans la région métropolitaine à l'automne.

#### **4.3 Conditions retenues pour les mesures**

En plus des différences reliées au parcours, des variations ont été introduites au niveau de la charge, notamment en répétant les mesures sur le même parcours en circulant d'abord à vide (i.e. sans passagers à l'exception de la présence des quelques personnes impliquées dans les mesures), ensuite en transportant un certain nombre de personnes. Il ne s'agissait donc pas de conditions réelles d'exploitation impliquant la montée et la descente de passagers. Ainsi, pour chacun des autobus, le parcours devait être répété à vide et en charge tout en identifiant les segments se rapportant aux différentes sections du parcours. Afin d'uniformiser le plus possible les conditions liées à la conduite des véhicules, un seul et unique conducteur a été choisi pour réaliser l'ensemble des mesures.

#### **4.4 Méthodologie de mesures de vibrations**

Pour chacun des autobus et chacune des conditions de charge (i.e. à vide et en charge), des mesures de vibration ont été effectuées à différents sites identifiés dans l'autobus alors que le même parcours était utilisé comportant les sections telles qu'identifiées en 4.2. Le même conducteur a procédé à tous les essais et avait reçu comme consigne de s'assurer que le siège était bien ajusté selon ses propres exigences posturales, et que la vitesse de conduite était maintenue aussi constante que possible sur les trois sections de route constituant le circuit. Au départ, il avait été convenu d'installer le même siège

dans tous les autobus pour réaliser les mesures. Cette tentative a dû être abandonnée après avoir remarqué qu'au cours des mesures impliquant les deux premiers autobus, des failles importantes existaient au niveau de l'assemblage du siège qui empêchaient son bon fonctionnement. C'est ainsi que le siège retenu pour les essais en laboratoire s'est avéré être différent de ceux utilisés dans les autobus lors des mesures, ce qui ne constituait pas un problème en soi puisque l'accent devait être mis sur la mesure des vibrations au plancher des véhicules pour caractériser leur environnement vibratoire.

Bien que pour les besoins de cette étude, il était nécessaire de ne mesurer que les vibrations verticales (axe z) agissant au point de fixation du siège dans les autobus, des mesures additionnelles ont été effectuées à d'autres sites et dans d'autres directions dans le but éventuel d'utiliser ces données à d'autres fins. C'est ainsi que des mesures ont été effectuées dans les directions longitudinale (axe x), latérale (axe y) et verticale (axe z) sous le siège près de son point de fixation au plancher, en direction verticale à l'interface entre le siège et le conducteur, ainsi qu'en direction verticale au plancher à l'avant (1 capteur) et à l'arrière (2 capteurs) des véhicules, ces derniers étant utilisés pour déterminer les vibrations angulaires de roulis et de tangage. La figure 2 indique le positionnement des points et des axes de mesure, constituant en tout 7 canaux de mesure. De ceux-ci, seuls les résultats se rapportant aux mesures de vibration effectuées selon l'axe vertical ( $z_3$ ) au plancher près du point de fixation du siège sont traités dans cette étude.

Pour les fins des mesures, les sept canaux de mesure des signaux vibratoires provenant des accéléromètres et de leurs amplificateurs respectifs ont été enregistrés sur un enregistreur numérique multi-pistes de marque Sony DAT 808 comportant 8 pistes. Le huitième canal de l'enregistreur a été raccordé au compteur de vitesse des véhicules dans le but d'évaluer la vitesse de conduite lors des essais. Pour la réalisation d'un circuit complet dans une condition prescrite, la durée requise pour effectuer le trajet était de l'ordre de 30 minutes pendant laquelle les signaux étaient enregistrés. Les positions du ruban d'enregistrement correspondant à des sections spécifiques du parcours ont été identifiées de même que celles correspondant à des arrêts du véhicule pour permettre l'établissement d'une correspondance entre les caractéristiques vibratoires et les conditions de mesure.

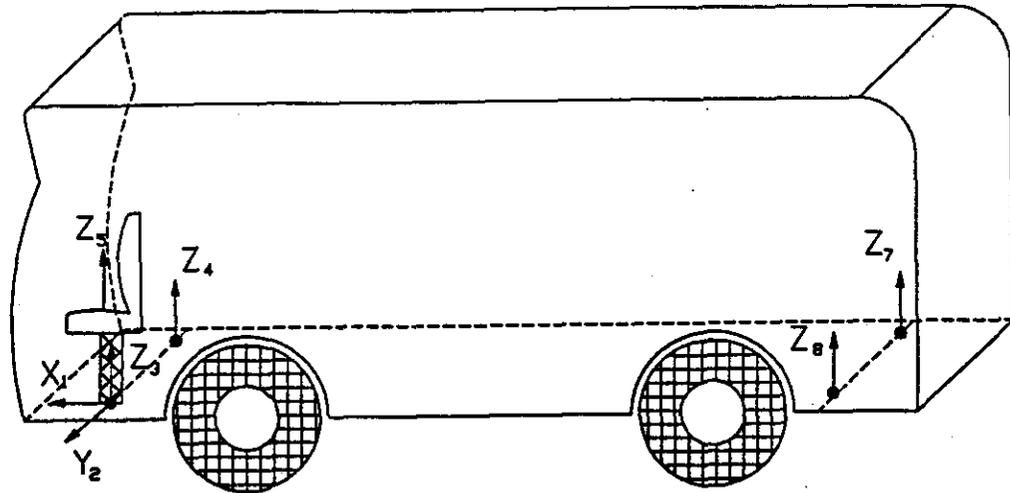


Figure 2 : Identification des points de mesure dans les autobus.

#### 4.5 Définition des classes spectrales

Pour chacun des quatre autobus (GM NewLook, GM Classic, Van Hool, Prototype de Nova Bus), des deux conditions de charge (à vide, en charge) et des trois catégories de route (accidentée, autoroute en bon état, rues de ville), des segments de signaux vibratoires enregistrés au plancher sous le siège en direction verticale ont été identifiés dont la durée était d'une minute sans interruption. Sur la base des segments vibratoires retenus pour chacune des 24 combinaisons d'essais (i.e 4 autobus x 2 charges x 3 routes), le spectre en fréquence moyen des vibrations a été établi en bandes de tiers d'octave entre 0.5 et 80 Hz. Un sommaire des résultats apparaît dans le tableau 2 qui présente le niveau moyen d'accélération globale pondérée ( $a_w$ ) et l'écart-type résultant de la moyenne de segments individuels, et qui identifie les bandes de fréquences dans lesquelles les niveaux pondérés de vibrations sont dominants pour chaque configuration d'essai. La pondération  $W_z$  définie dans la norme ISO 2631/1 (1985) [3] aux bandes de fréquence de tiers d'octave comprises entre 1.0 et 80 Hz est appliquée aux résultats des mesures de vibrations pour caractériser la variation de la sensibilité du corps humain en fonction de la fréquence des vibrations agissant en direction verticale.

**TABEAU 2 : Caractéristiques vibratoires mesurées pour chaque autobus et condition d'essai**

AUTOBUS	À VIDE			EN CHARGE		
	$a_w$ ( $ms^{-2}$ )			$a_w$ ( $ms^{-2}$ )		
	Accidenté	Route 132	Rues de ville	Accidenté	Route 132	Rues de ville
GM NewLook	1.27 ± .13 (2.0,10 Hz)	0.69 ± .02 (1.6,12.6 Hz)	0.68 ± .10 (1.6,12.6 Hz)	1.03 ± .26 (1.6,10 Hz)	0.57 ± .06 (1.3,12.6 Hz)	0.73 ± .25 (1.6,10 Hz)
GM Classic	0.86 ± .18 (1.0,10 Hz)	0.57 ± .05 (1.3,12.6 Hz)	0.59 ± .16 (1.6,12.6 Hz)	0.88 ± .08 (1.0,10 Hz)	0.53 ± .02 (1.3,10 Hz)	0.59 ± .20 (1.6,10 Hz)
Van Hool	1.05 ± .34 (1.3, 8 Hz)	0.56 ± .05 (1.3, 8 Hz)	0.62 ± .10 (1.0, 8 Hz)	0.96 ± .26 (1.3, 8 Hz)	0.52 ± .05 (1.3, 8 Hz)	0.67 ± .11 (1.0, 8 Hz)
Prototype Nova Bus	0.72 ± .13 (1.3,10 Hz)	0.50 ± .09 (1.3,12.6 Hz)	0.61 ± .12 (1.3,10 Hz)	0.66 ± .14 (1.0,10 Hz)	0.44 ± .10 (1.3, 8 Hz)	0.50 ± .17 (1.3,10 Hz)

\* Les valeurs entre parenthèses indiquent les fréquences dominantes des vibrations.

Sur la base des résultats apparaissant dans le tableau 2, la charge n'apparaît pas comme ayant une influence importante sur les niveaux pondérés de vibrations dans la plupart des autobus étudiés, à l'exception de l'autobus GM NewLook. Il convient cependant de préciser que les conditions de charge n'étaient pas extrêmes, se limitant au transport d'un groupe dont le nombre variait entre 22 et 37 personnes assises. De plus, les résultats présentés dans le tableau 2 n'indiquent pas de différences importantes entre les conditions de transport sur l'autoroute 132 à une vitesse moyenne de 100 km/h et celles se déroulant sur les rues de ville à une vitesse moyenne d'environ 50 km/h. Cependant, des différences apparaissent dans les caractéristiques vibratoires entre les différents modèles de véhicules, qui sont plus particulièrement évidentes sur parcours accidenté.

Aussi sur la base des 24 combinaisons d'essais réalisés, on en déduit que les caractéristiques de l'environnement vibratoire propre aux autobus urbains étudiés peuvent être représentées par 9 classes vibratoires distinctes dont les particularités apparaissent ci-dessous:

- **Classe 1:** autobus GM NewLook, à vide, sur parcours accidenté à environ 50 km/h;

- **Classe 2:** autobus GM NewLook, en charge, sur parcours accidenté à environ 50 km/h;
- **Classe 3:** autobus GM NewLook, sur autoroute 132 en bon état ( $\approx 100$  km/h) et rues de ville ( $\approx 50$  km/h);
- **Classe 4:** autobus GM Classic, sur parcours accidenté à environ 50 km/h;
- **Classe 5:** autobus GM Classic, sur autoroute 132 en bon état ( $\approx 100$  km/h) et rues de ville ( $\approx 50$  km/h);
- **Classe 6:** autobus Van Hool, sur parcours accidenté à environ 50 km/h;
- **Classe 7:** autobus Van Hool, sur autoroute 132 en bon état ( $\approx 100$  km/h) et rues de ville ( $\approx 50$  km/h);
- **Classe 8:** prototype Nova Bus, sur parcours accidenté à environ 50 km/h;
- **Classe 9:** prototype Nova Bus, sur autoroute 132 en bon état ( $\approx 100$  km/h) et rues de ville ( $\approx 50$  km/h).

#### 4.6 Caractérisation des classes spectrales d'excitation vibratoire

Pour chacune des neuf classes d'excitation vibratoire identifiées dans la section précédente, il convenait d'identifier un segment de signal vibratoire qui permettrait de définir les caractéristiques vibratoires propres à chacune des classes, et qui servirait à leur reproduction sur simulateur de vibrations. L'identification des segments d'une durée d'une minute a été effectuée en imposant les conditions suivantes :

- Que le niveau d'accélération globale pondérée  $a_w$  évalué pour le segment soit similaire à celui établi pour la classe spectrale en question sur la base du spectre moyen des vibrations combinant plusieurs segments;
- Que les fréquences dominantes du signal vibratoire du segment correspondent à celles prévues pour la classe spectrale sur la base du spectre moyen des vibrations combinant plusieurs segments;
- Que la vitesse moyenne du véhicule évaluée au cours de l'acquisition du segment soit similaire à la vitesse moyenne établie au cours de l'acquisition de tous les segments associés à chacune des classes spectrales.

Le tableau 3 présente un sommaire des valeurs cibles établies pour chacune des neuf classes spectrales ainsi que les valeurs obtenues sur la base des segments spécifiques de signaux vibratoires identifiés.

De façon générale, une bonne correspondance existe entre les valeurs cibles identifiées et celles établies sur la base de signaux d'accélération vibratoire dont la durée est de une minute.

**TABEAU 3 : Caractérisation des classes spectrales d'excitation vibratoire par l'identification de segments de signaux vibratoires précis**

CLASSE SPECTRALE	VALEURS CIBLES			VALEURS MESURÉES/SEGMENT		
	$a_w$ ( $ms^{-2}$ )	fréquences dominantes	V (km/h)	$a_w$ ( $ms^{-2}$ )	fréquences dominantes	V (km/h)
1	1.27	2.0, 10 Hz	50	1.35	2.0, 10 Hz	49
2	1.03	1.6, 10 Hz	50	1.04	1.6, 10 Hz	49
3	0.67	1.3, 12.6 Hz	100/50*	0.68	1.6, 12.6 Hz	101/48*
4	0.87	1.0, 10 Hz	50	0.98	1.3, 10 Hz	54
5	0.57	1.3, 12.6 Hz	100/50*	0.51	1.3, 10 Hz	103/48*
6	1.00	1.3, 8 Hz	50	1.11	1.3, 8 Hz	49
7	0.59	1.0, 8 Hz	100/50*	0.52	1.3, 8 Hz	100/47*
8	0.69	1.0, 10 Hz	50	0.79	1.3, 10 Hz	51
9	0.51	1.3, 10 Hz	100/50*	0.54	1.6, 10 Hz	84/50*

\* Vitesse autoroute 132/rues de ville

Les caractéristiques spectrales de chacune des classes d'excitation vibratoire définies à partir des segments de signaux identifiés apparaissent dans la figure 3 en terme de la densité spectrale de puissance (DSP) de l'accélération. Ces spectres démontrent clairement une concentration de l'énergie vibratoire dans deux plages de fréquences distinctes: 1 à 2 Hz et 8 à 12.6 Hz pour l'ensemble des autobus et des conditions d'essai. Il est évident d'après ces spectres que le parcours accidenté mène à des niveaux d'excitation vibratoire considérablement plus élevés que les autres et que des différences intrinsèques existent entre les différents modèles d'autobus.

Classe # 1 ——— Classe # 2 ——— Classe # 3 ——— Classe # 4 — - - Classe # 5  
 Classe # 6 ..... Classe # 7 - - - Classe # 8 ——— Classe # 9

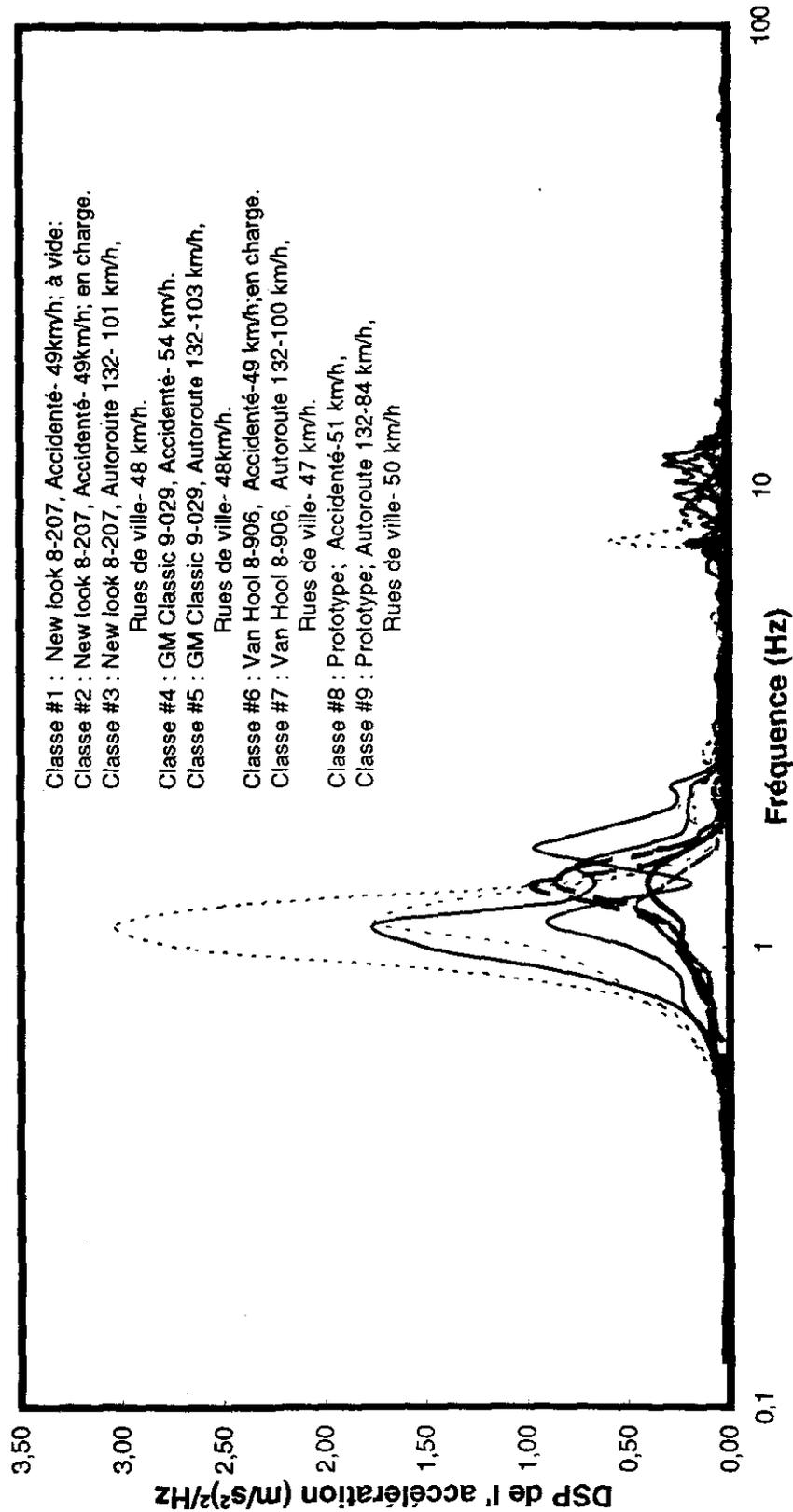


Figure 3: Densité spectrale de l'accélération verticale à la base du siège pour chacune des classes d'excitation vibratoire applicables aux autobus urbains.

#### 4.7 Reproduction des classes spectrales sur simulateur de vibrations

Dans le but de permettre une évaluation en laboratoire de la performance de sièges à suspension dans un environnement vibratoire typique aux autobus urbains, les caractéristiques vibratoires des classes spectrales identifiées précédemment sont reproduites sur un simulateur de vibrations. Le simulateur dont l'IRSST dispose consiste en deux vérins servo-hydrauliques sur lesquels repose une plate-forme dont les dimensions sont 1.37 m de long et 0.91 m de large. Les vérins permettent une course maximale de  $\pm 95$  mm en direction verticale uniquement. Différents mécanismes de contrôle et de sécurité sont intégrés au simulateur pour limiter le déplacement et la force et permettre l'arrêt immédiat du simulateur en situations d'urgence. La plate-forme prévoit l'installation des sièges à l'essai et comporte un volant pour simuler un poste de conduite. Les essais de vibration peuvent être réalisés avec un lest inerte sur le siège ou encore en utilisant des sujets humains tout en s'assurant du respect des règles d'éthique applicables. La figure 4 illustre le simulateur de vibrations.

Compte tenu du fait que le contrôle du simulateur doit être effectué par l'entremise de signaux de déplacement, les segments d'accélération vibratoire correspondant à chacune des neuf classes spectrales doivent être soumis à une double intégration afin de permettre leur utilisation comme signaux de contrôle du simulateur. Ceux-ci sont alors numérisés, définissant ainsi les signaux de contrôle du simulateur pour chacune des 9 classes spectrales. La qualité de reproduction des classes spectrales vibratoires est alors vérifiée en comparant les spectres en fréquences de l'accélération vibratoire reproduite sur la plate-forme du simulateur au point de fixation du siège à ceux mesurés dans les autobus urbains et caractérisés par les segments vibratoires individuels identifiés.

L'annexe A présente une comparaison des spectres en fréquences d'accélération vibratoire mesurée et reproduite exprimée en terme de la densité spectrale de puissance de l'accélération et de l'accélération efficace en bandes de tiers d'octave pour chacune des neuf classes spectrales définies. Les valeurs de l'accélération efficace pondérée et non pondérée sont également tabulées dans la gamme de bandes de fréquences de tiers d'octave variant entre 0.6 et 25 Hz, et les niveaux d'accélération globale correspondant y sont indiqués.

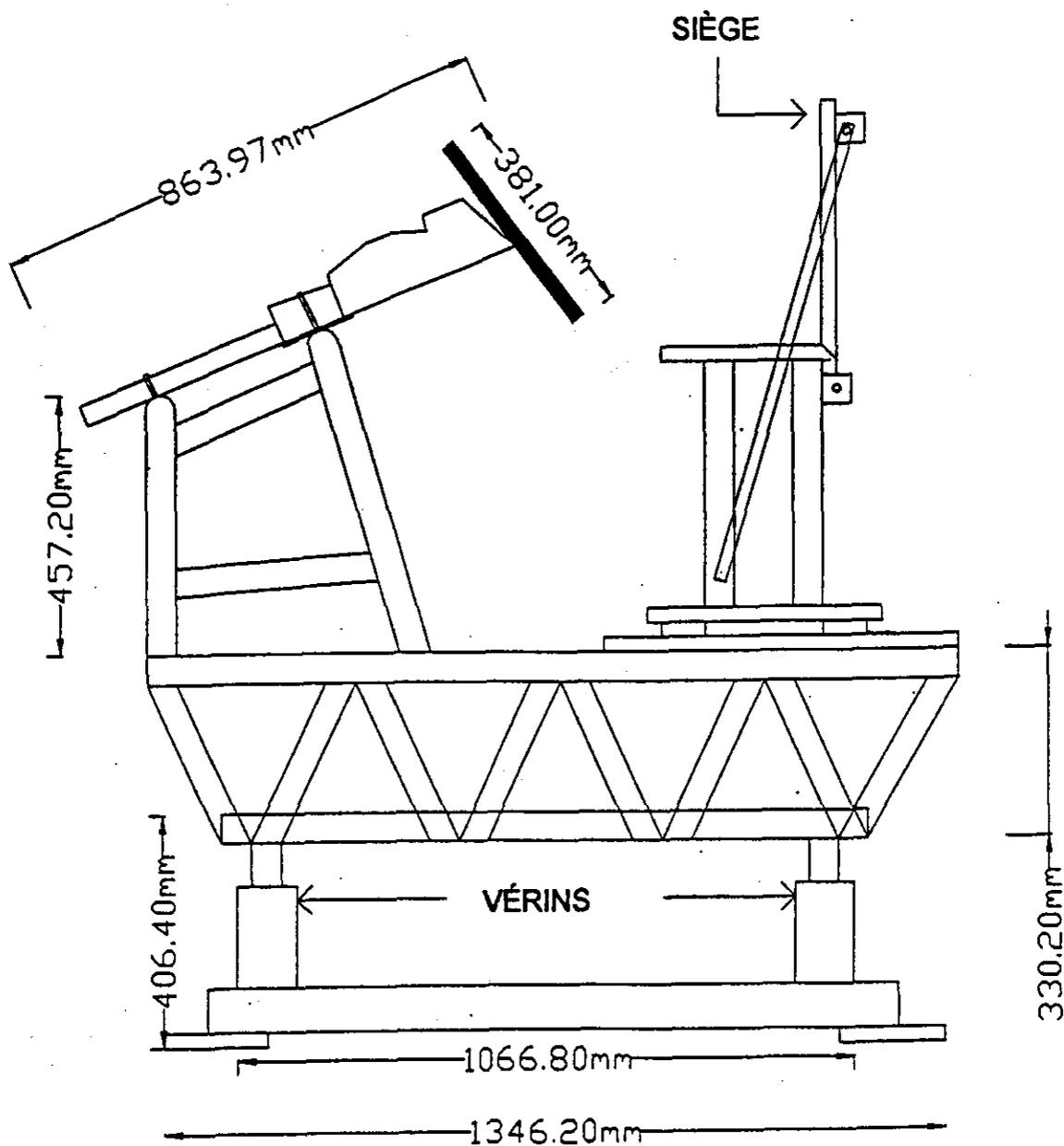


Figure 4 : Représentation schématique du simulateur de vibrations.

Ces résultats indiquent que la différence entre les niveaux d'accélération globale pondérée  $a_w$  reproduite et mesurée est généralement inférieure à 15%. Les difficultés de reproduction les plus importantes apparaissent pour les classes spectrales 4, 6 et 8 qui sont caractérisées par des niveaux importants d'accélération à proximité de 1 Hz. De telles accélérations requièrent des déplacements importants à basses fréquences qui excèdent les déplacements réalisables par le simulateur, lesquels sont limités pour maintenir un niveau de sécurité adéquat. Il convient cependant de constater que même s'il existe une difficulté à reproduire l'amplitude réelle d'excitation vibratoire à très basses fréquences pour quelques classes vibratoires, l'énergie vibratoire globale pondérée reproduite entre 1.0 et 25 Hz est dans l'ensemble très près de la réalité comme l'indique la proximité des niveaux d'accélération globale pondérée reproduite et mesurée.

Les caractéristiques spectrales des neuf classes d'excitation vibratoire propres aux autobus urbains sont donc établies sur la base des spectres en fréquences des accélérations reproduites par le simulateur. Un sommaire de ces caractéristiques apparaît dans le tableau 4 qui identifie l'accélération efficace globale non pondérée ( $a$ ) entre 0.6 et 25 Hz, l'accélération globale pondérée ( $a_w$ ) entre 1.0 et 25 Hz, ainsi que les bandes de fréquence de tiers d'octave auxquelles les niveaux de vibrations sont dominants. Toute référence subséquente aux classes spectrales suppose ainsi que les caractéristiques apparaissant dans le tableau 4 sont applicables.

**TABEAU 4 : Caractéristiques des classes spectrales d'excitation vibratoire reproduites sur le simulateur de vibrations.**

CLASSE SPECTRALE	Accélération non pondérée, $a$ ( $\text{ms}^{-2}$ )	Accélération globale pondérée, $a_w$ ( $\text{ms}^{-2}$ )	Bandes de tiers d'octave dominantes
1	2.07	1.51	2.0, 10
2	1.56	1.12	1.6, 10
3	0.94	0.67	1.6, 10
4	1.60	1.11	1.6, 10
5	0.71	0.48	1.3, 10
6	1.82	1.28	1.3, 8.0
7	0.76	0.52	1.3, 8.0
8	1.17	0.85	1.3, 8.0
9	0.70	0.51	1.6, 8.0

## 5.0 CARACTÉRISTIQUES DE TRANSMISSIBILITÉ VERTICALE DU SIÈGE RECARO CL-1

Des essais sont réalisés en régime sinusoïdal dans le but de définir les caractéristiques de transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1, et permettre l'identification de la fréquence de résonance et de l'amortissement du siège. À cet effet, la fonction de transfert des vibrations définissant la transmissibilité représente, à chaque fréquence, le rapport de l'accélération vibratoire transmise au siège à l'accélération vibratoire à la base du siège, sur le simulateur. La fréquence de résonance ( $f_r$ ) et le coefficient d'amortissement réduit ( $\zeta$ ) du siège sont estimés en utilisant les valeurs de transmissibilité maximale ou facteur d'amplification  $Q(f_r)$  mesurées à la fréquence de résonance. Pour le siège Recaro considéré, il est établi que le choix de réglage de l'ampleur de la course (i.e. réglage 1, 2 ou 3) et du positionnement en hauteur exerce une influence sur les caractéristiques de transmissibilité du siège. Dans cette partie de l'étude, les caractéristiques de transmissibilité verticale du siège Recaro sont donc évaluées pour différents réglages de course et de positions en hauteur, sous excitation sinusoïdale entre 0.5 et 10 Hz. Pour les besoins de l'étude, le siège est lesté d'une masse inerte de 63.6 kg formée de sacs de sable s'appuyant contre le coussin et le dossier du siège. La version la plus récente du siège comportant une combinaison de deux amortisseurs installés en parallèle est d'abord étudiée, après quoi les essais sont répétés en ne retenant qu'un seul amortisseur.

### 5.1 Caractéristiques de l'excitation sinusoïdale

L'excitation sinusoïdale utilisée procure un déplacement constant crête de 25 mm entre 0.5 et 2 Hz et une accélération constante crête de  $3.95 \text{ ms}^{-2}$  entre 2 et 10 Hz. L'excitation est appliquée au simulateur par un balayage en continu à un rythme d'un octave par minute entre 0.5 et 10 Hz. Un essai comporte au minimum un balayage complet en fréquences croissantes, suivi d'un balayage complet en fréquences décroissantes.

### 5.2 Conditions retenues pour l'évaluation de la transmissibilité vibratoire

La transmissibilité vibratoire du siège Recaro CL-1 est évaluée pour les trois réglages de course disponibles sur le siège: pleine course (réglage 1), course réduite de moitié (réglage 2), et suspension quasi-bloquée (réglage 3). Pour chacun de ces réglages contrôlant l'ampleur de la course, diverses

positions en hauteur sont identifiées pour réaliser les essais, dont les positions de référence initiales correspondent aux positions mi-course déterminées pour chacun des réglages. Dans le cas du réglage 1 qui procure la pleine course disponible, les hauteurs sont choisies pour coïncider avec la position mi-course, ainsi que 25 mm au dessus de la mi-course, 25 mm et 50 mm en dessous de la mi-course. Dans le cas du réglage 2, les hauteurs correspondent à la position mi-course associée à ce réglage, ainsi que 25 mm au dessus et en dessous de cette position. Pour le réglage 3, les hauteurs sont limitées à la position mi-course associée à ce réglage, ainsi que 9 mm au dessus. Les hauteurs  $h_R$  et  $h_P$  par rapport aux points de référence R et P correspondant aux différentes positions considérées apparaissent dans le tableau 5. À titre informatif, est également indiqué dans ce tableau la taille des chauffeurs auxquelles les hauteurs identifiées conviendraient, telle qu'établie dans une étude antérieure [7] impliquant ce siège. Il convient cependant de préciser qu'il s'agit là de données se rapportant à des hauteurs jugées préférables en moyenne par des groupes de chauffeurs dont la taille se situait selon le groupement identifié. Sur une base individuelle cependant, ces valeurs pourraient ne pas convenir.

**TABEAU 5 : Positions en hauteur considérées pour les essais de transmissibilité du siège Recaro en régime sinusoïdal**

RÉGLAGE DE LA SUSPENSION	POSITION	$h_R$ (mm)	$h_P$ (mm)	TAILLE DES CHAUFFEURS (m)
1 (pleine course)	+25 mm	327	440	$\geq 1.83$
	mi-course	352	465	$\geq 1.83$
	-25 mm	302	415	1.68-1.83
	-50 mm	276	389	$\leq 1.68$
2 (mi-course)	+25 mm	302	415	1.68-1.83
	mi-course	327	440	$\geq 1.83$
	-25 mm	276	389	$\leq 1.68$
3 (quasi-bloquée)	+9 mm	318.5	431.5	$\geq 1.83$
	mi-course	327	440	$\geq 1.83$

### 5.3 Déroulement des essais de transmissibilité en régime sinusoïdal

Les mesures de la transmissibilité vibratoire du siège Recaro CL-1 sont effectuées pour chacun des 9 ajustements identifiés dans le tableau 5. De plus, des mesures de répétabilité sont réalisées en répétant deux fois les essais pour les ajustements suivants:

- Réglage 1, position mi-course;
- Réglage 1, 50 mm en dessous de la position mi-course;
- Réglage 3, position supérieure à la position mi-course.

L'ensemble des 15 essais résultants sont répétés avec le siège Recaro CL-1 pour lequel on a retiré un des deux amortisseurs.

### 5.4 Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni des deux amortisseurs

Les courbes de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni des deux amortisseurs sont présentées dans les figures 5, 6 et 7 pour les réglages de course 1, 2 et 3 respectivement et pour chacune des hauteurs d'ajustement considérées. Les résultats des essais de répétabilité sont quant à eux présentés dans les figures 8, 9 et 10 pour les trois ajustements retenus et indiquent un excellent niveau de répétabilité.

Deux critères sont retenus pour juger de la performance d'un siège à suspension: i) pour être efficace, la fréquence de coupure ( $f$ ) à laquelle le siège commence à atténuer les vibrations (i.e. transmissibilité inférieure à 1.0) doit être la plus basse possible; ii) la transmissibilité à la fréquence de résonance du siège ne doit pas être excessive, tout en étant la plus faible possible à des fréquences supérieures à la résonance. Sur la base de ces critères, les résultats présentés dans les figures 5 à 7 indiquent que:

- L'ajustement en hauteur en position centrale (mi-course) est la plus avantageuse pour les trois réglages de course considérés;
- L'utilisation de la pleine course en optant pour le réglage 1 permet le plus haut niveau d'efficacité de toutes les configurations lorsque l'ajustement en hauteur est effectué pour les positions centrales (mi-course) et 25 mm en dessous de la position mi-course;

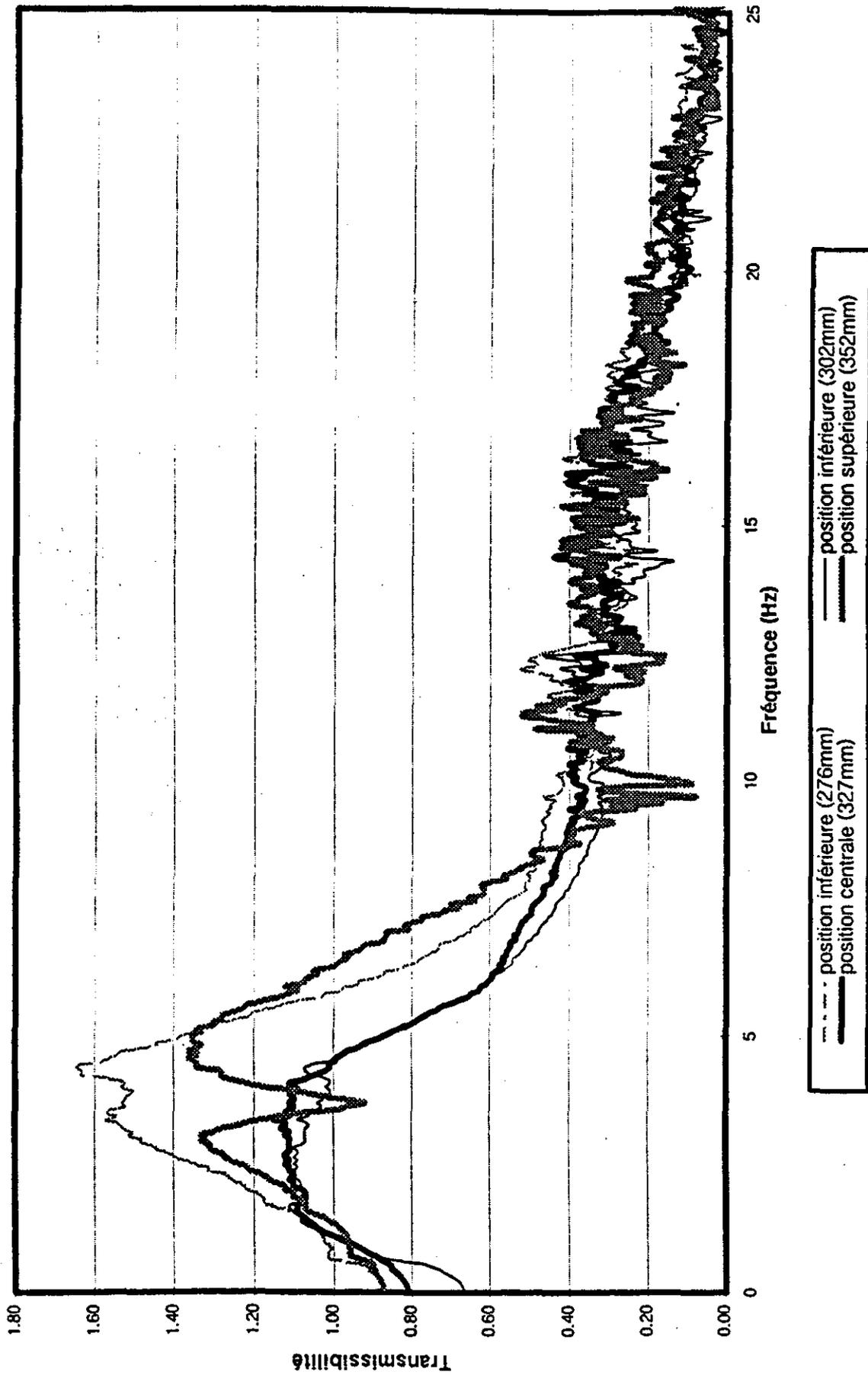


Figure 5: Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage permettant la pleine course (réglage #1) et des positions en hauteur variées.

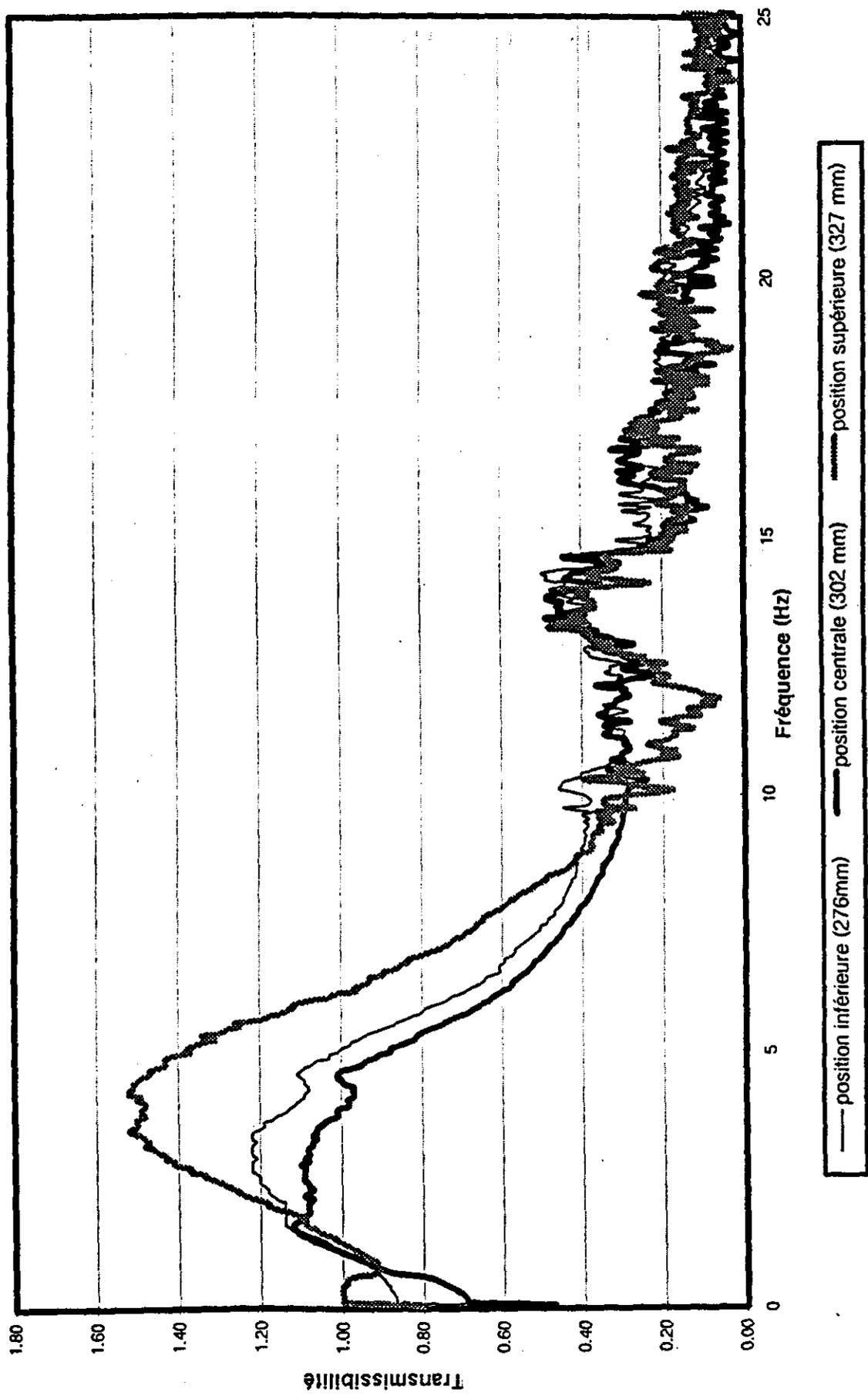


Figure 6: Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage permettant la moitié de la course (réglage #2) et des positions en hauteur variées.

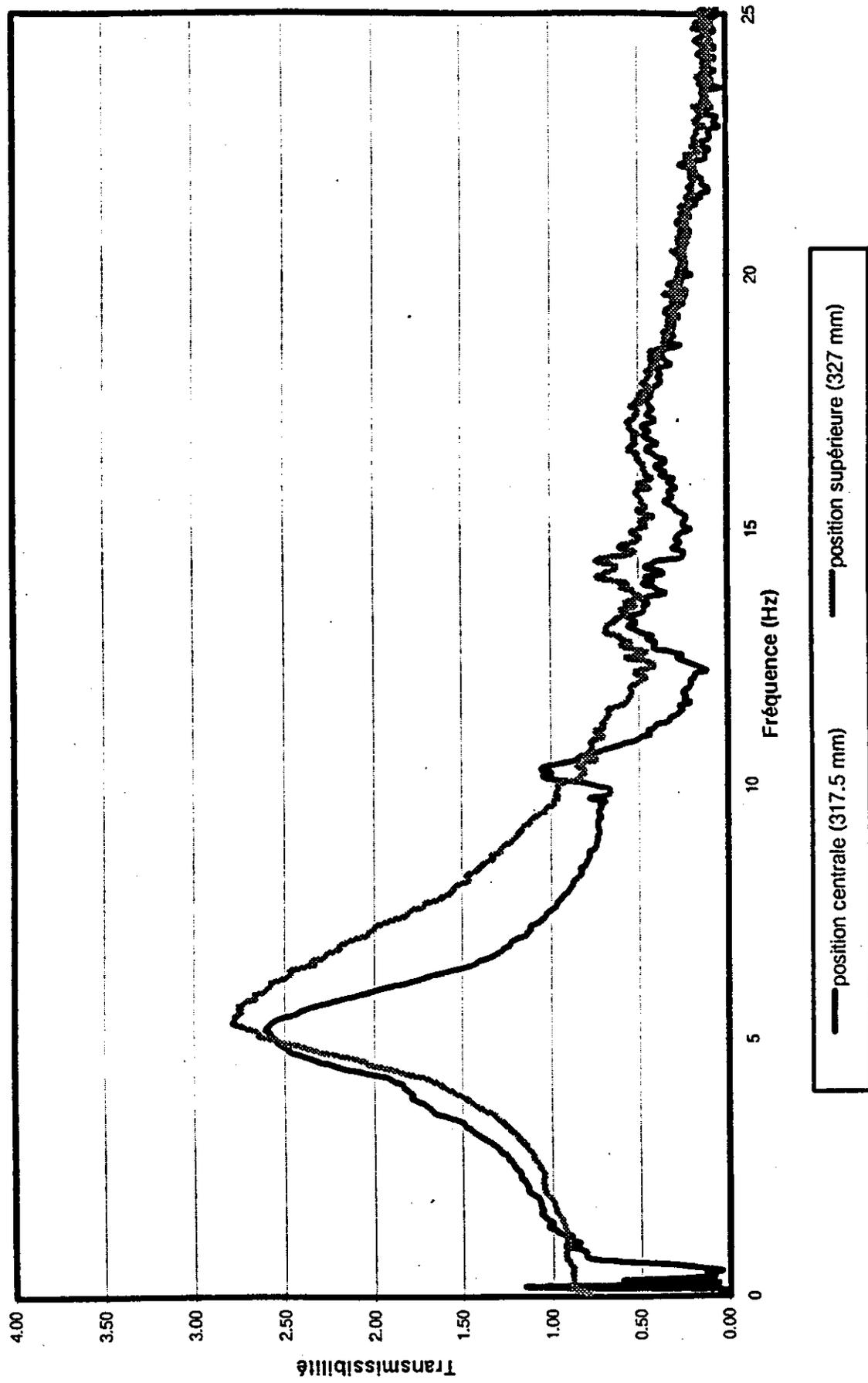


Figure 7: Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage de suspension bloquée (réglage #3) et des positions en hauteur variées.

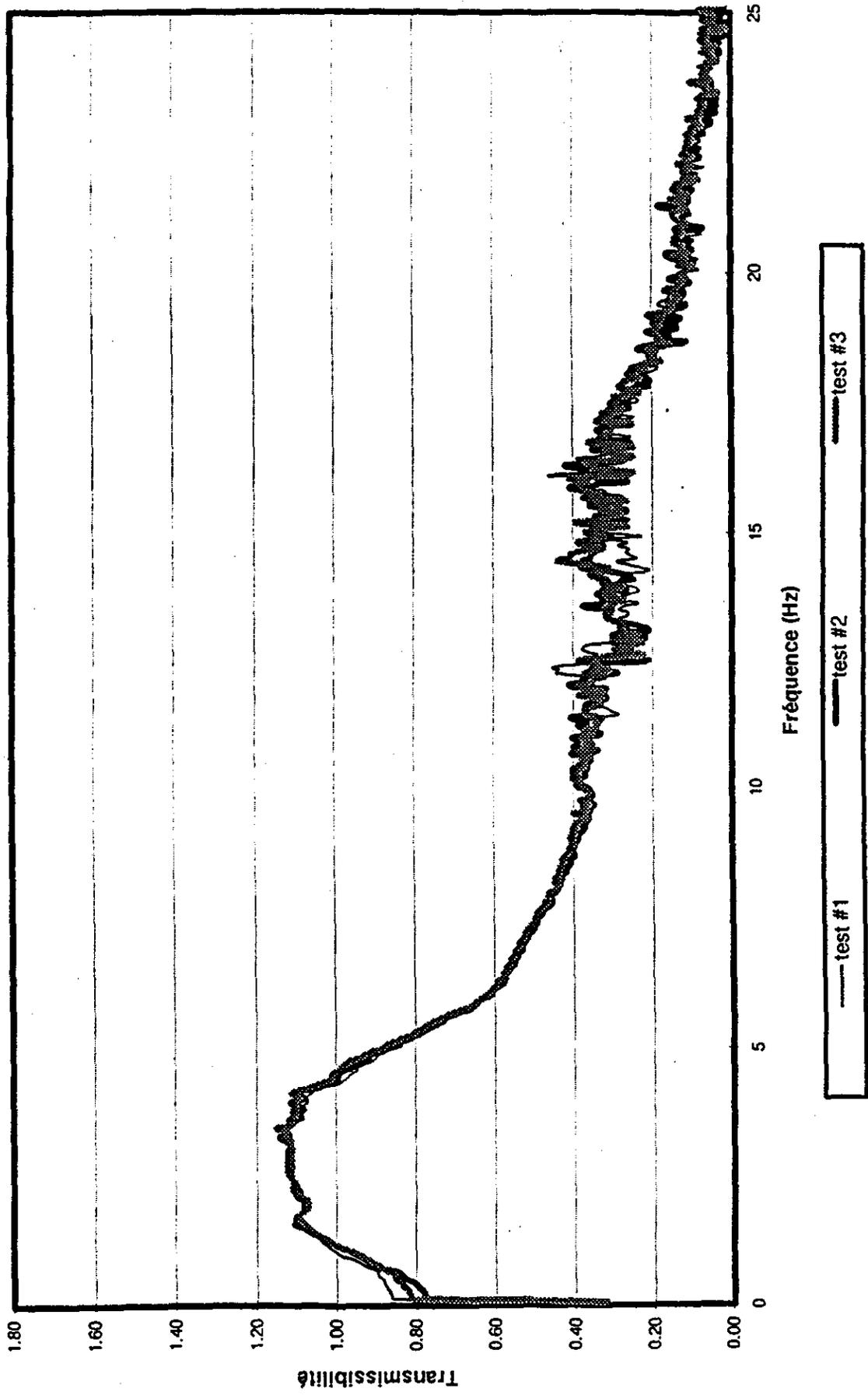


Figure 8: Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage de course #1 en position mi-course.

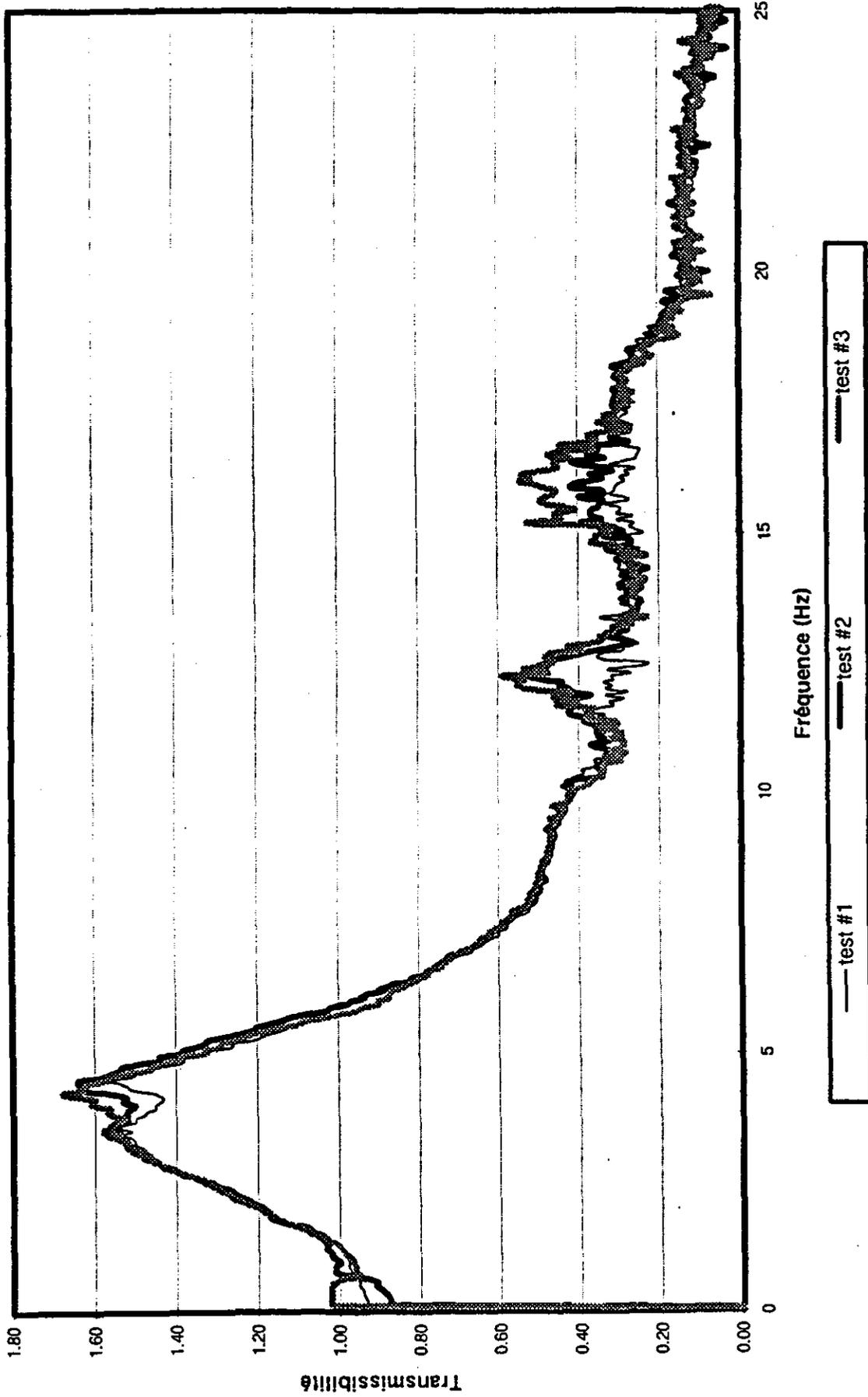
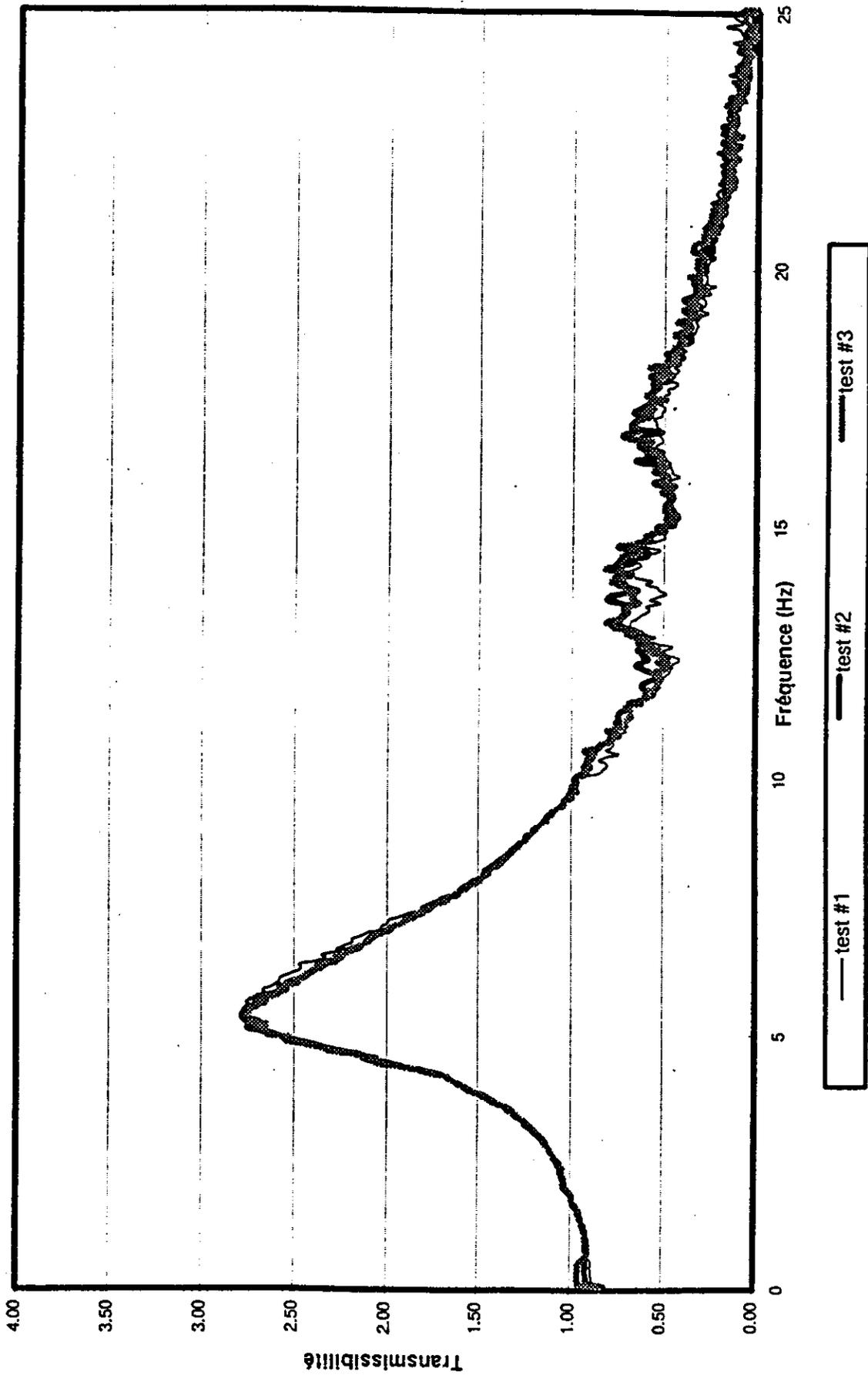


Figure 9: Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage de course #1 en position 50 mm sous la mi-course.



**Figure 10:** Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs pour un réglage de course #3 en position 25 mm au-dessus de la mi-course.

- L'utilisation du réglage 3 réduit l'efficacité d'atténuation des vibrations à des fréquences inférieures à 10 Hz en générant plus d'amplification que d'atténuation;
- Pour les 3 réglages, l'ajustement en hauteur en position supérieure mène à une dégradation importante de l'efficacité du siège, observation également applicable lorsque la hauteur est réglée à 50 mm sous la position mi-course pour le réglage 1.

On en conclut donc qu'une meilleure atténuation des vibrations de moins de 10 Hz est obtenue en utilisant la pleine course du siège Recaro CL-1 muni des deux amortisseurs (i.e. réglage 1) et en fixant la hauteur à mi-course ou encore 25 mm sous la mi-course. Si l'on applique les données apparaissant dans le tableau 5, de tels ajustements conviendraient à une population de chauffeurs dont la taille est en moyenne supérieure à 1.68 m. Cependant, la performance du siège serait grandement détériorée pour des chauffeurs favorisant un positionnement en hauteur 25 mm plus haut que la mi-course ou de façon plus marquée, à proximité de la limite inférieure de positionnement des butées (i.e. 50 mm en dessous de la mi-course).

### **5.5 Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur**

Les courbes de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur sont présentées dans les figures 11, 12 et 13 pour les réglages de course 1, 2 et 3 respectivement et pour chacune des hauteurs d'ajustement considérées. Les résultats des essais de répétabilité sont quant à eux présentés dans les figures 14, 15 et 16 pour les trois ajustements retenus et indiquent un excellent degré de répétabilité.

Sur la base des courbes de transmissibilité apparaissant dans les figures 11 à 13 pour le siège muni d'un seul amortisseur, les observations faites précédemment dans la section 5.4 sont en général applicables, sauf que pour le réglage 1, le positionnement en hauteur semble engendrer de moins grandes différences de transmissibilité que pour le siège muni de deux amortisseurs. En effet, les positions mi-course ainsi que 25 mm au-dessus et en-dessous de la mi-course mènent à des caractéristiques similaires pour le siège muni d'un seul amortisseur. Une fois de plus, cependant, l'efficacité du siège est de beaucoup réduite lorsque le positionnement en hauteur est fixé à 50 mm en-dessous de la mi-course.

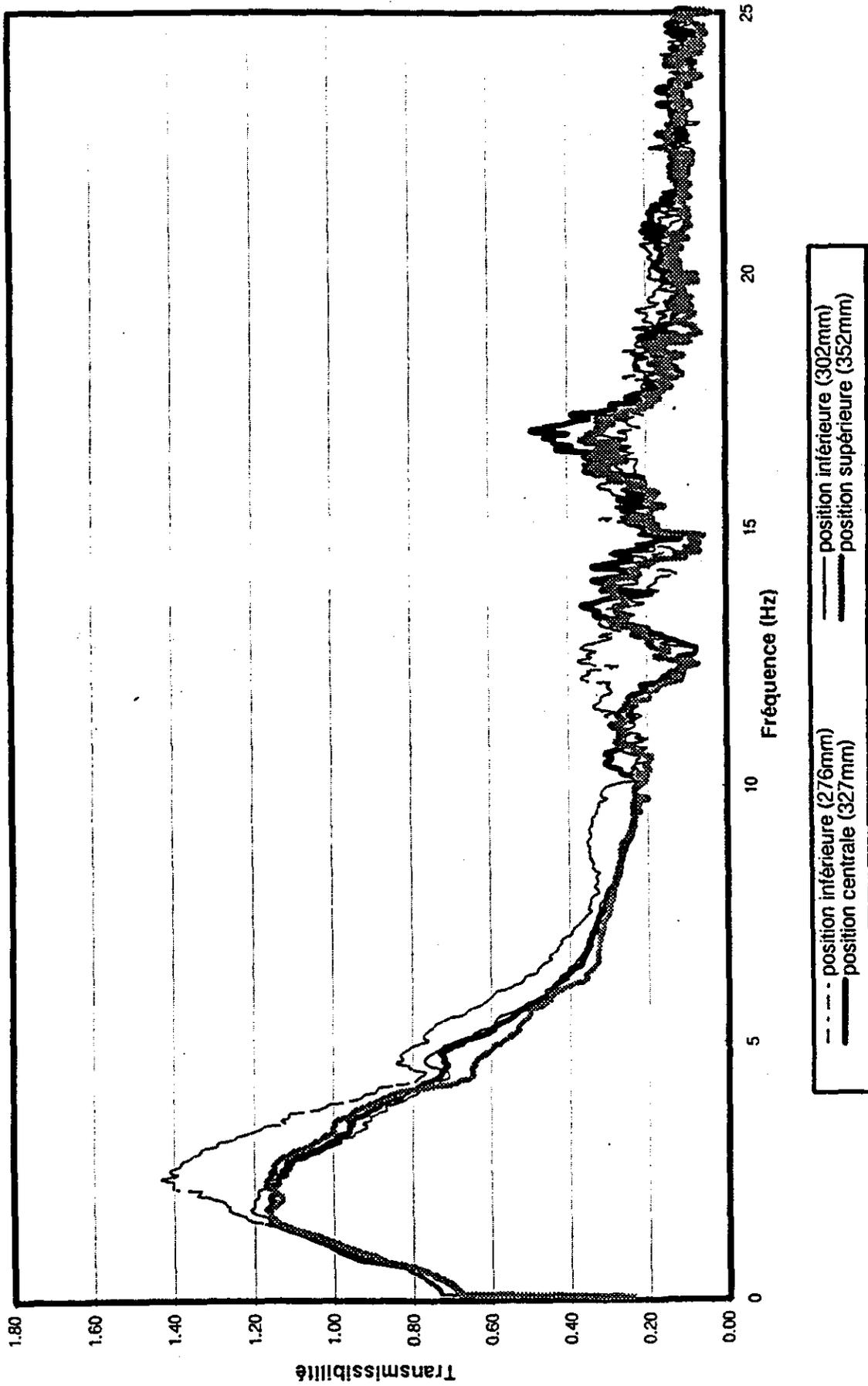
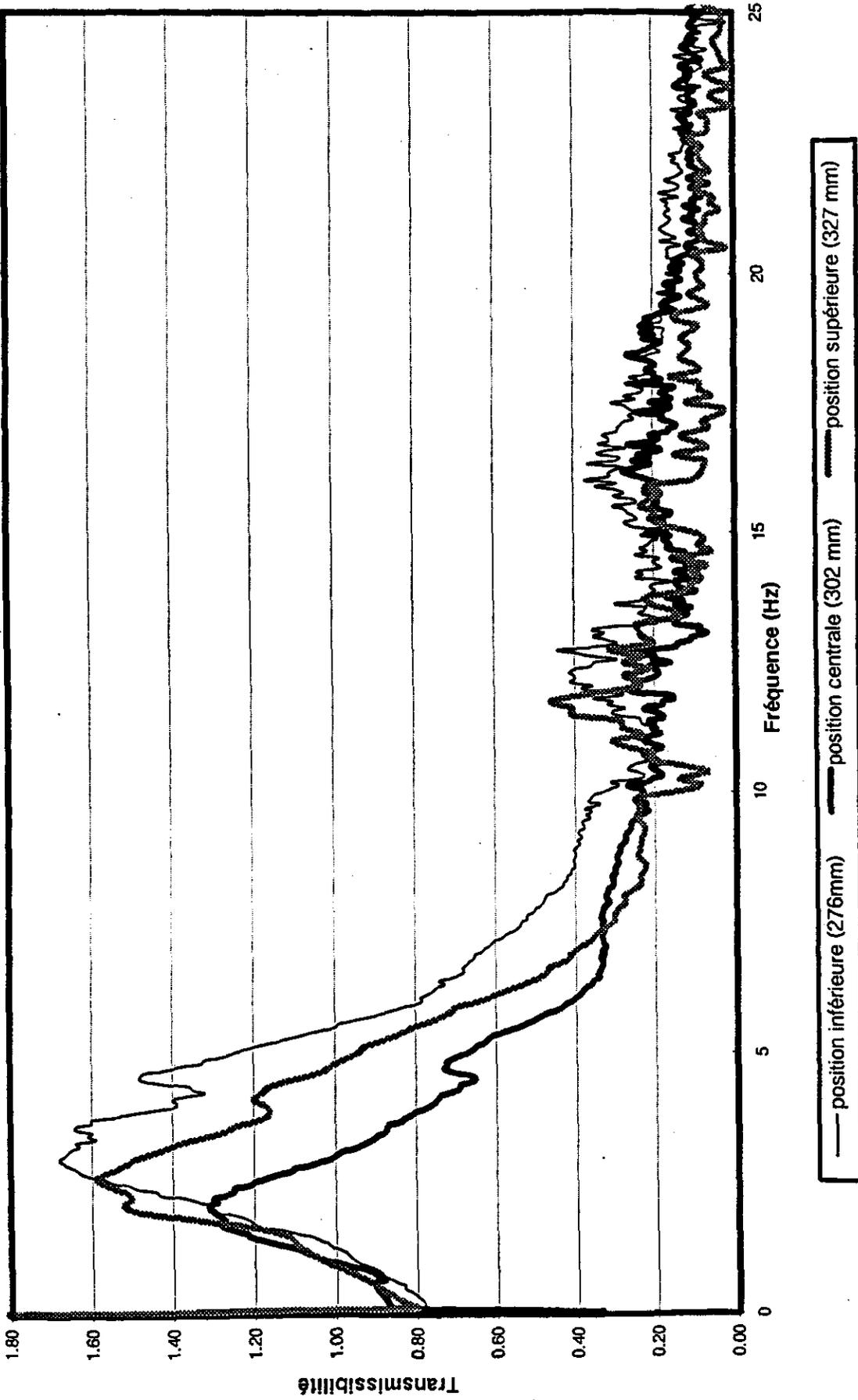
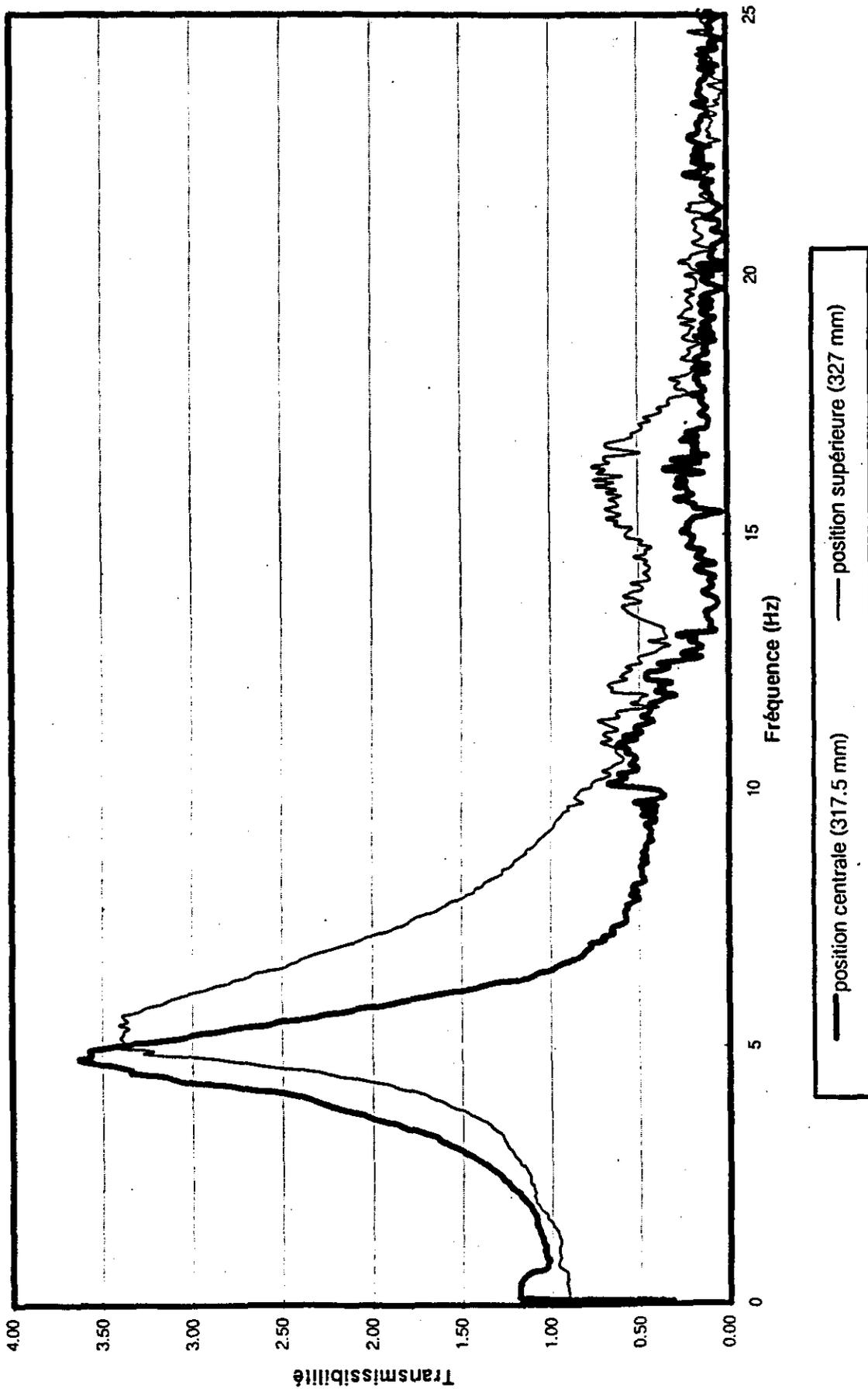


Figure 11: Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage permettant la pleine course (réglage #1) et des positions en hauteur variées.



**Figure 12:** Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage permettant la moitié de la course (réglage #2) et des positions en hauteur variées.



**Figure 13: Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage de suspension bloquée (réglage #3) et des positions en hauteur variées.**

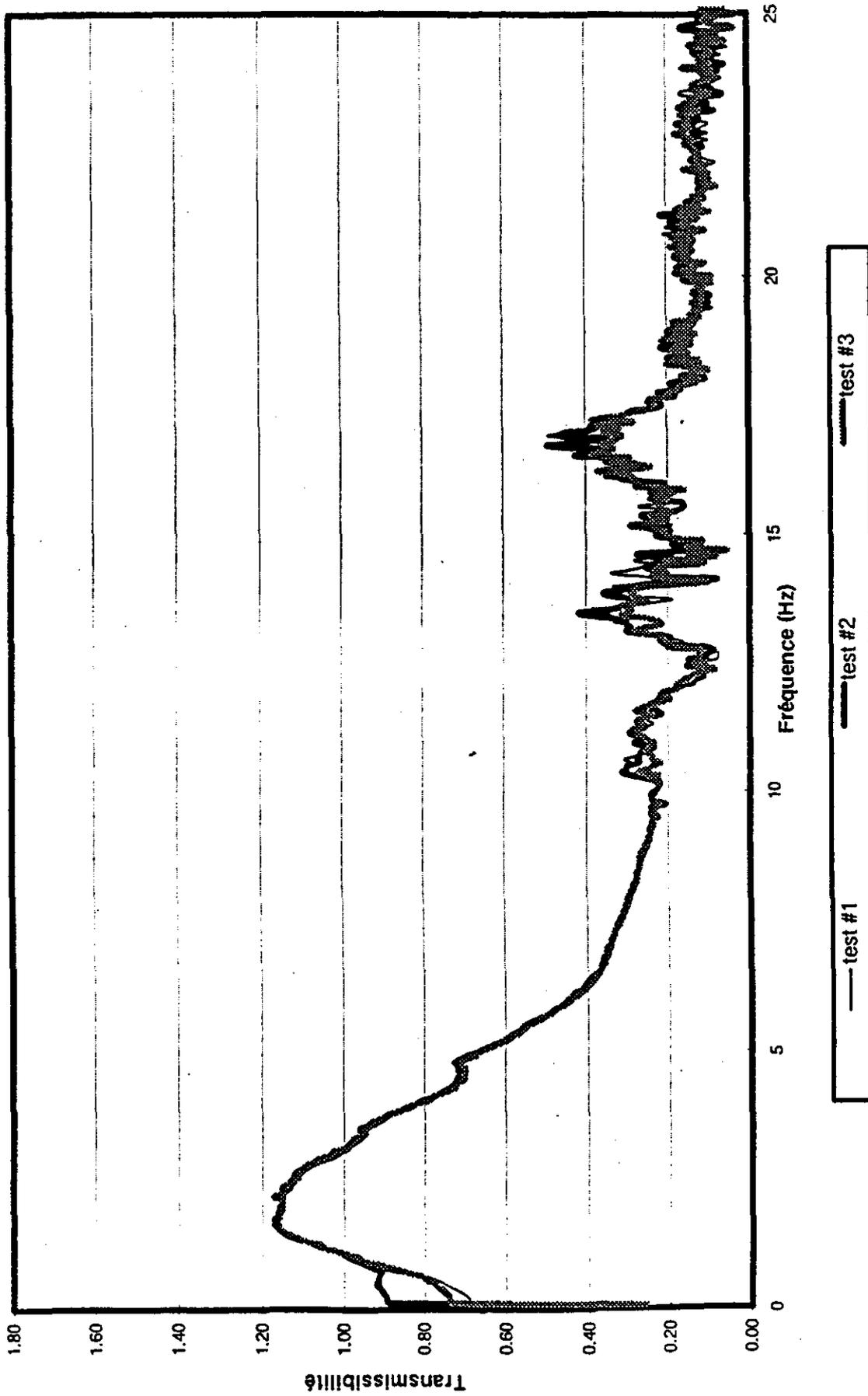


Figure 14: Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage de course #1 en position mi-course.

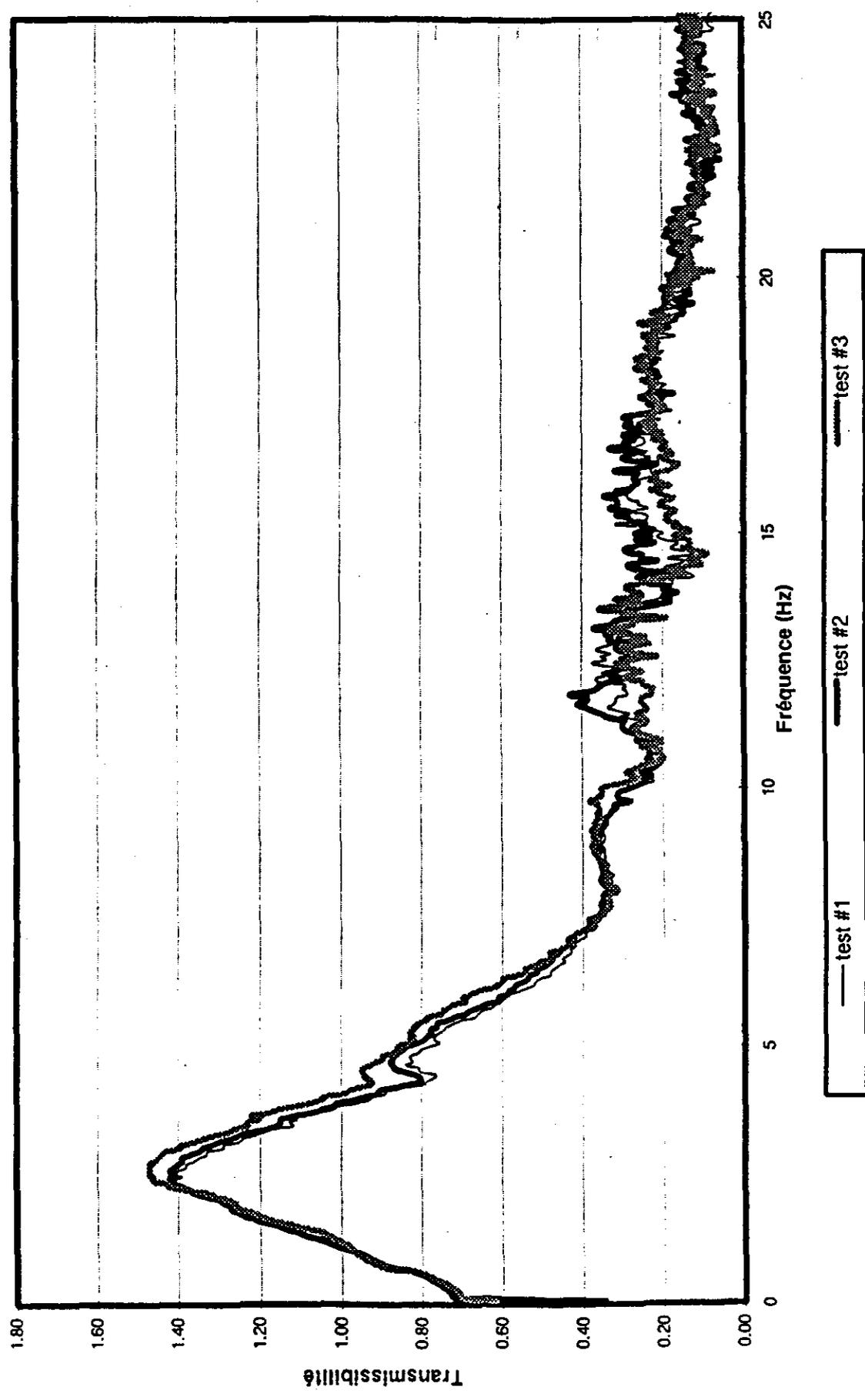


Figure 15: Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage de course #1 en position 50 mm en-dessous de la mi-course.

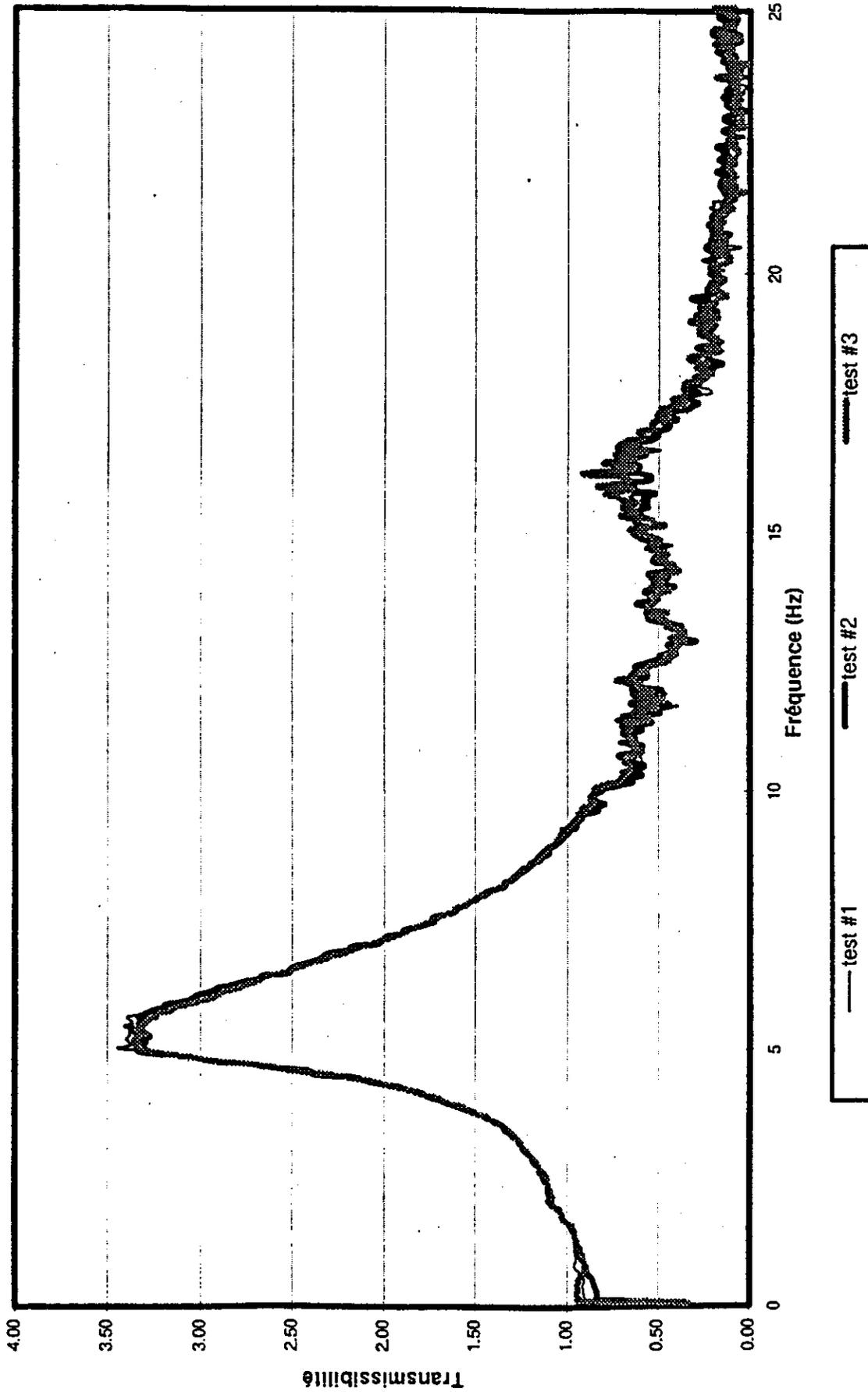


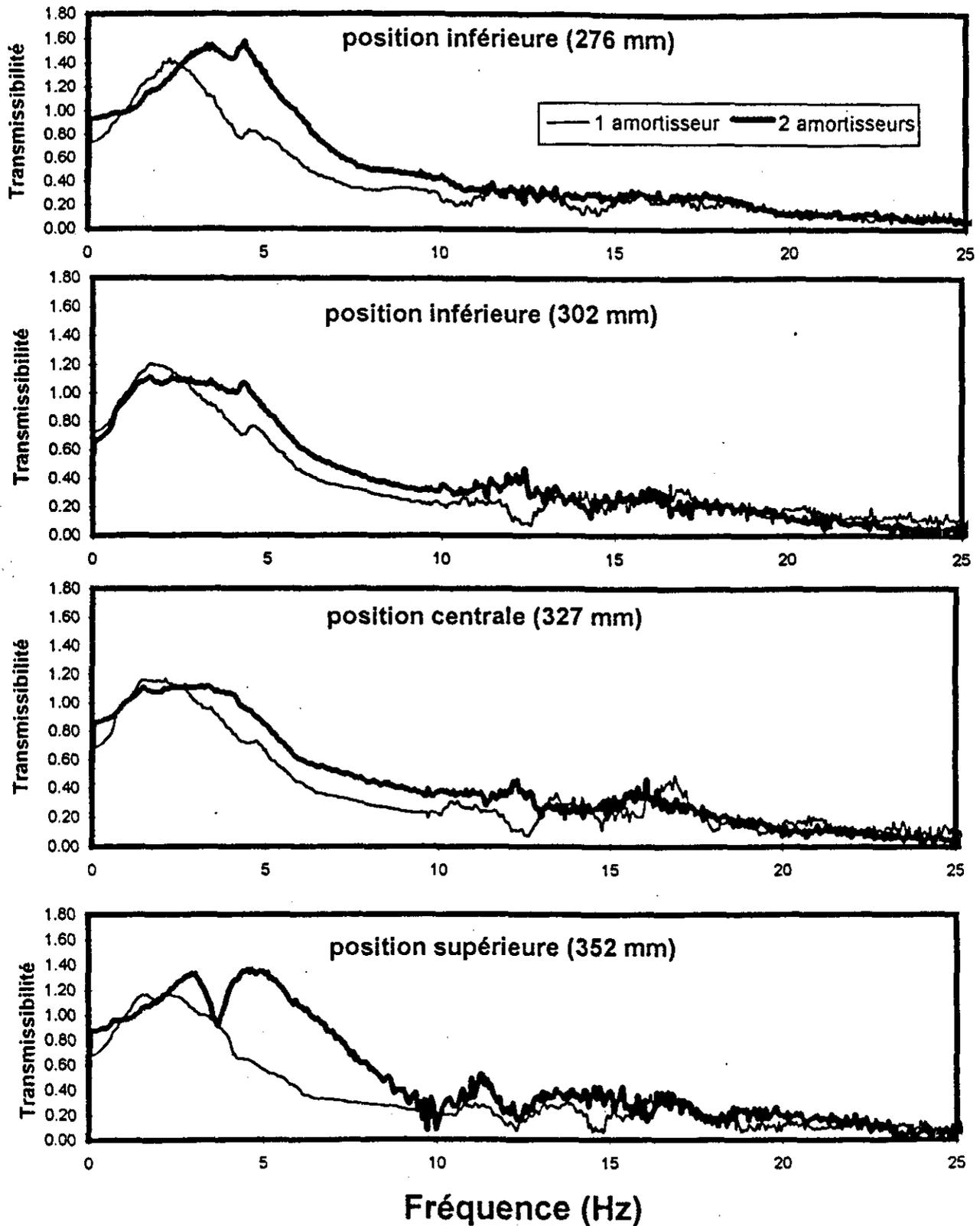
Figure 16: Essais de répétabilité de mesures de transmissibilité du siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur pour un réglage de course #1 en position 25 mm au-dessus de la mi-course.

## 5.6 Comparaison des caractéristiques de transmissibilité avec un et deux amortisseurs

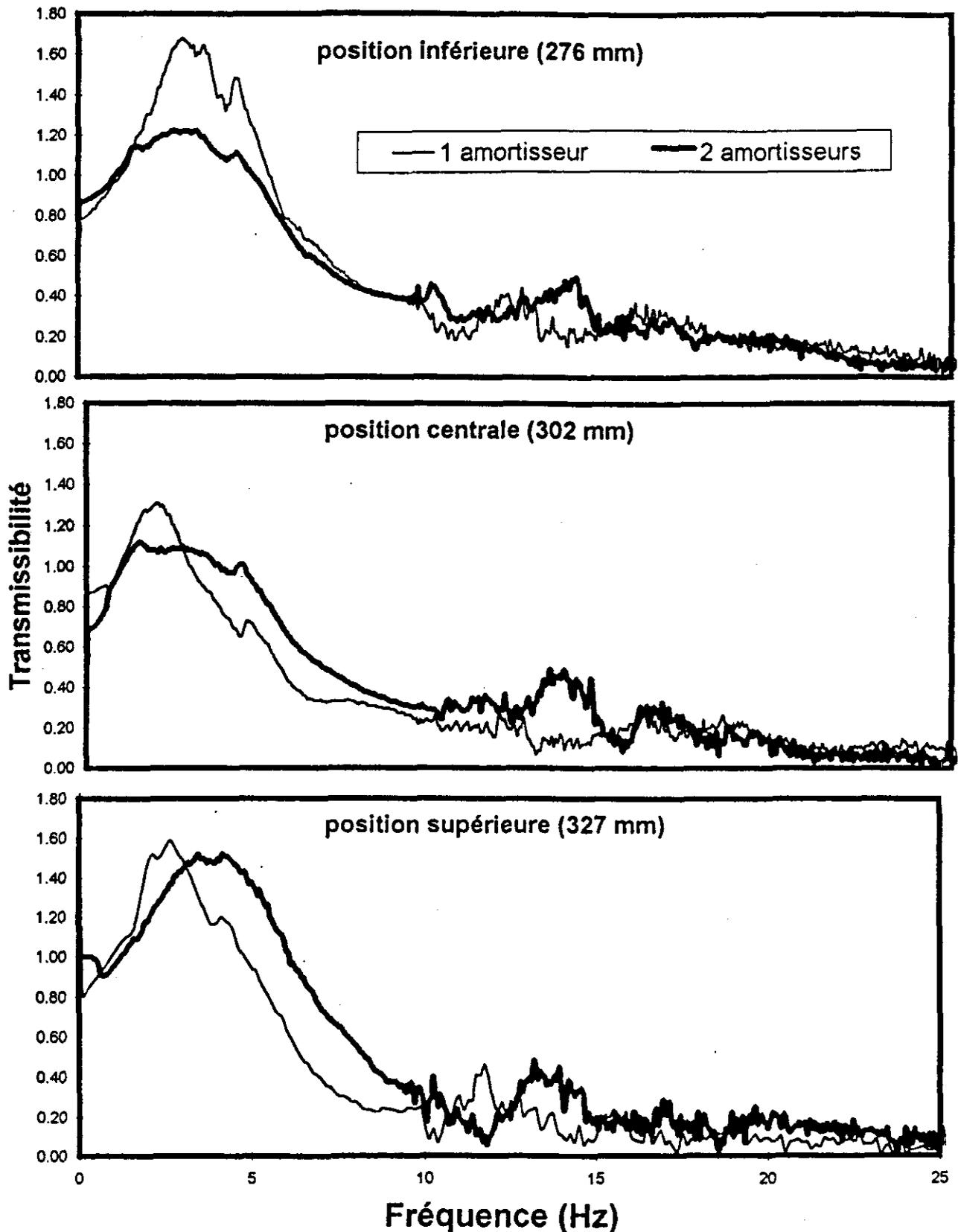
Les caractéristiques de transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1 muni de un et de deux amortisseurs sont présentées dans les figures 17, 18 et 19 pour les réglages de course 1, 2 et 3 respectivement et pour chacune des hauteurs d'ajustement considérées. Ces résultats indiquent que les caractéristiques d'atténuation des vibrations du siège Recaro muni d'un seul amortisseur sont en général supérieures à celles du siège muni de deux amortisseurs. Ceci découle de l'observation que la fréquence de résonance est, dans la majorité des cas, inférieure avec un seul amortisseur et que la transmissibilité est généralement plus faible à des fréquences se situant entre la résonance et 10 Hz. Pour le réglage 1, la différence liée au nombre d'amortisseurs est particulièrement marquée pour les positions en hauteur correspondant à 25 mm au-dessus et 50 mm en-dessous de la mi-course.

La fréquence de résonance  $f_r$ , ainsi que le facteur d'amplification à la résonance (i.e. valeur de transmissibilité à la résonance)  $Q(f_r)$  sont des indicateurs qui peuvent permettre de juger de la conformité d'un siège dans un environnement vibratoire précis. D'une part, une connaissance de la fréquence de résonance permet d'estimer la fréquence de coupure au-delà de laquelle le siège est susceptible d'atténuer les vibrations de la base. D'autre part, le facteur d'amplification à la résonance permet de juger du degré d'amortissement et par conséquent, de la capacité du siège à atténuer les vibrations en fonction des fréquences de vibration. En effet, bien qu'un degré d'amortissement ou facteur d'amplification faible soit favorable lorsque l'excitation est dominante à la fréquence de résonance du siège, il s'ensuit généralement une moins bonne atténuation des vibrations aux fréquences d'excitation supérieures à la résonance. C'est pourquoi il importe de connaître les caractéristiques d'atténuation du siège et de l'excitation vibratoire à la base du siège pour juger de la conformité d'un siège dans un environnement vibratoire précis. Les caractéristiques du siège Recaro CL-1 muni de un et de deux amortisseurs sont établies à partir des courbes de transmissibilité apparaissant dans les figures 5 à 7 et 11 à 13. Les valeurs mesurées pour l'ensemble des 30 essais réalisés avec le siège Recaro apparaissent dans le tableau 6. Ces résultats illustrent quantitativement la variation des caractéristiques du siège Recaro selon la configuration choisie (i.e 1 ou 2 amortisseurs) et selon l'ajustement de course ou de hauteur sélectionnée.

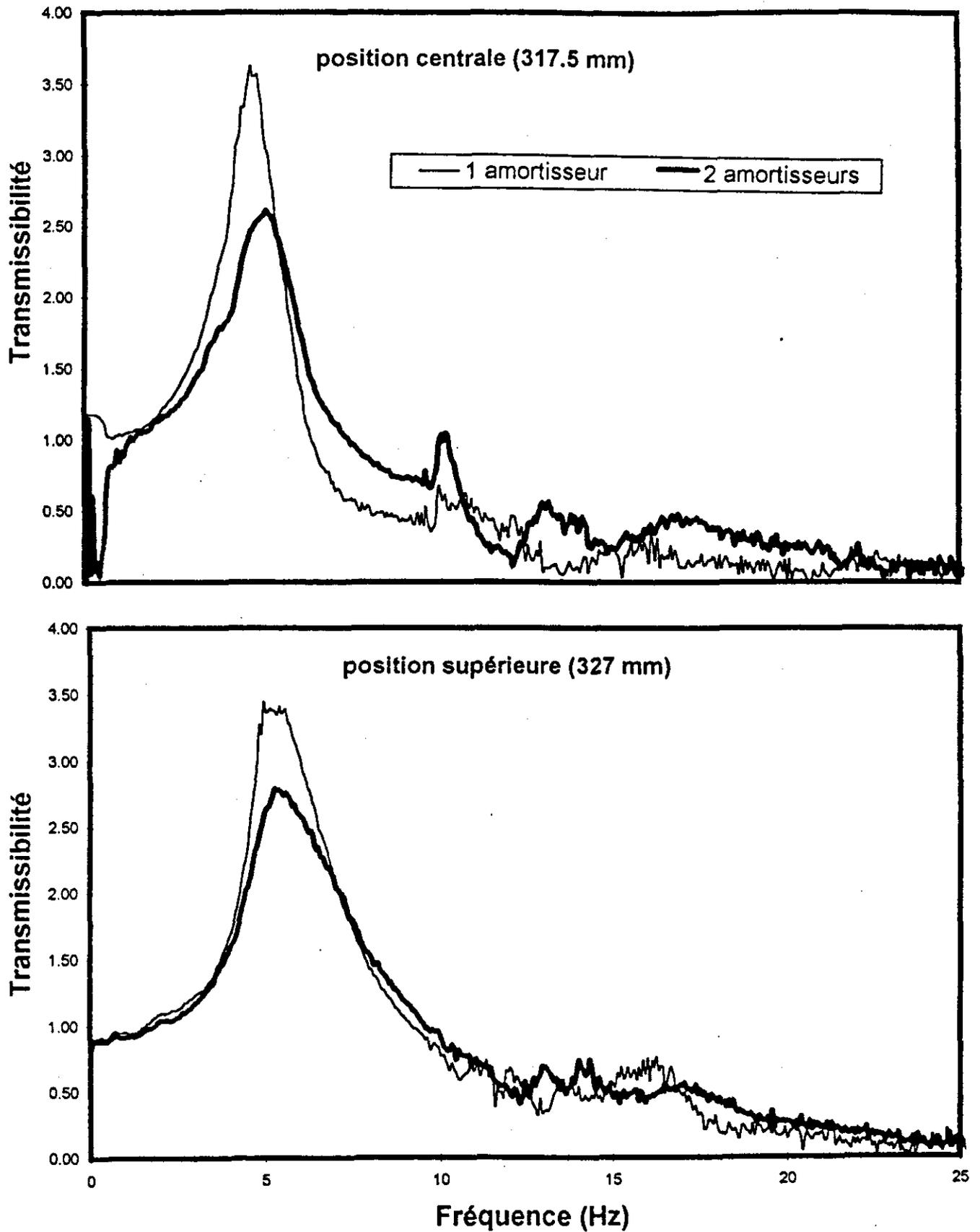
Ainsi, en supposant un ajustement optimal (i.e. réglage 1, position mi-course) on estime que la fréquence de résonance du siège Recaro CL-1 est en moyenne 3.4 Hz avec deux amortisseurs et 2 Hz avec un seul amortisseur.



**Figure 17:** Influence de l'amortissement du siège Recaro CL-1 pour un réglage permettant la pleine course (réglage #1) et différentes positions en hauteur.



**Figure 18:** Influence de l'amortissement du siège Recaro CL-1 pour un réglage permettant la moitié de la course (réglage #2) et différentes positions en hauteur.



**Figure 19:** Influence de l'amortissement du siège Recaro CL-1 pour un réglage de suspension bloquée (réglage #3) et différentes positions en hauteur.

**TABLEAU 6 : Caractéristiques du siège Recaro CL-1 établies pour chacune des configurations et réglages considérés.**

CONFIGURATION	RÉGLAGE DE LA SUSPENSION	POSITION	$f_r$ (Hz)	$Q(f_r)$	
2 amortisseurs	1	mi-course	3.3	1.12	
	1	mi-course	3.4	1.14	
	1	mi-course	3.4	1.15	
	1	+25 mm	2.9,4.7	1.33	
	1	-25 mm	2.5	1.10	
	1	-50 mm	3.9	1.54	
	1	-50 mm	3.9	1.60	
2 amortisseurs	1	-50 mm	4.2	1.68	
	2	mi-course	2.5	1.09	
	2	+25 mm	3.8	1.52	
2 amortisseurs	2	-25 mm	3.0	1.22	
	3	mi-course	5.1	2.61	
	3	supérieure	5.2	2.79	
2 amortisseurs	3	supérieure	5.3	2.78	
	3	supérieure	5.2	2.77	
	1 amortisseur	1	mi-course	2.1	1.17
		1	mi-course	1.7	1.17
1		mi-course	2.1	1.17	
1		+25 mm	2.2	1.17	
1		-25 mm	1.7	1.21	
1		-50 mm	2.3	1.43	
1		-50 mm	2.4	1.42	
1 amortisseur	1	-50 mm	2.5	1.47	
	2	mi-course	2.1	1.31	
	2	+25 mm	2.4	1.41	
1 amortisseur	2	-25 mm	2.9	1.68	
	3	mi-course	4.7	3.63	
	3	supérieure	5.4	3.41	
1 amortisseur	3	supérieure	5.3	3.37	
	3	supérieure	5.1	3.36	

## 6.0 ESSAIS DE PERFORMANCE DU SIÈGE RECARO CL-1 EN RÉGIME D'EXCITATION ALÉATOIRE

Dans cette partie de l'étude, le siège Recaro muni de un et puis de deux amortisseurs est évalué sous les neuf classes d'excitation vibratoire définies dans la section 4.0 pour caractériser l'environnement vibratoire propre aux autobus urbains. Les caractéristiques des neuf classes spectrales reproduites par le simulateur apparaissent dans le tableau 4 et dans l'annexe A. Les essais sont réalisés en ne retenant que le réglage 1 permettant la pleine course du siège et en variant l'ajustement en hauteur pour coïncider avec la position mi-course, ainsi que 25 mm au dessus et 25 et 50 mm en dessous de la mi-course. Les essais à mi-course sont répétés trois fois, rendant ainsi nécessaires 6 essais par classe spectrale. Pour le siège comportant un et puis deux amortisseurs, un total de 108 essais sont réalisés (i.e. 2 configurations x 9 classes spectrales x 6 essais).

L'évaluation de la performance du siège en régime aléatoire est effectuée sur la base du facteur de transmission des amplitudes efficaces du siège (facteur SEAT) représentant le rapport de l'accélération globale pondérée mesurée au siège ( $a_{ws}$ ) à l'accélération globale pondérée mesurée sur la plate-forme du simulateur ( $a_{wp}$ ) au point de fixation du siège. Pour les classes spectrales considérées dans cette étude, les valeurs de  $a_{wp}$  doivent, à toute fin pratique, correspondre à celles apparaissant dans le tableau 4. Mathématiquement:

$$SEAT = \frac{a_{ws}}{a_{wp}}$$

Ainsi un facteur SEAT inférieur à 1.0 indique une atténuation de l'énergie vibratoire globale par le siège, tandis qu'une valeur supérieure à 1.0 implique une amplification par le siège.

Pour les besoins de l'étude, l'ensemble des essais sont réalisés avec un seul sujet humain assis sur le siège, le dos appuyé contre le dossier, les pieds maintenus à plat sur la plate-forme et les mains en position de conduite sur un volant. Cependant, avant de limiter l'étude à un seul sujet, l'influence de la masse du sujet sur les caractéristiques d'atténuation du siège a dû être évaluée pour les positions en hauteur considérées.

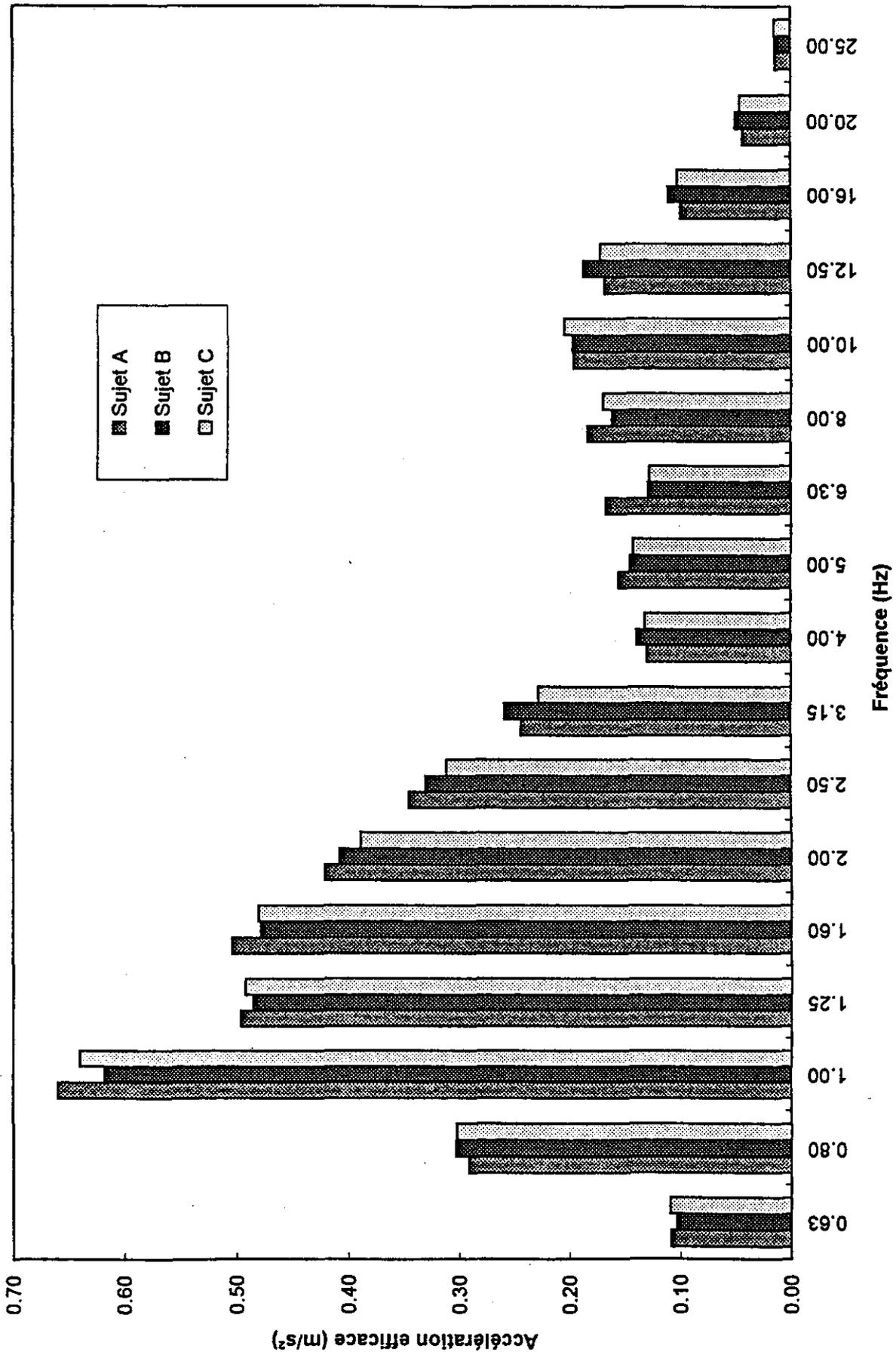
### 6.1 Influence de la masse du sujet sur les caractéristiques d'atténuation du siège

Dans le but de déterminer l'influence potentielle de la masse du sujet sur la performance d'atténuation du siège lorsque réglé à une hauteur spécifique en régime aléatoire, une série d'essais est réalisée avec trois sujets dont le poids et la taille différent. Le poids et la taille des sujets considérés sont comme suit: sujet A, 54 kg, 1.73 m; sujet B, 73 kg, 1.80 m; sujet C, 80 kg, 1.80 m. Les essais sont réalisés avec le siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur en utilisant la classe spectrale d'excitation 4 définie pour l'autobus GM Classic se déplaçant sur un parcours accidenté. Le siège est ajusté de façon à permettre la pleine course (réglage 1) et les essais sont répétés pour deux positions en hauteur correspondant à la mi-course et 25 mm sous la mi-course. Il s'ensuit donc un total de 6 essais, soit 3 sujets x 2 positions en hauteur.

Les spectres en fréquence des vibrations mesurées à l'interface entre les sujets A, B et C et le siège apparaissent dans les figures 20 et 21 pour les positions en hauteur correspondant à la mi-course et 25 mm sous la mi-course respectivement. Ces spectres indiquent très peu de variation dans les caractéristiques vibratoires lorsque le siège est lesté par des sujets dont le poids et la taille différent. Il faut cependant préciser que de tels résultats sont applicables en autant qu'un contrôle soit exercé pour assurer que le siège soit bien ajusté à la même hauteur pour les trois sujets. De par la configuration du siège Recaro, un tel contrôle assure que le rapport entre la raideur du ballon pneumatique et la masse du sujet demeure constante pour les trois sujets. En effet, afin de maintenir une hauteur identique, le ballon doit être gonflé plus rigide pour un sujet plus lourd et moins rigide pour un sujet plus léger. Conséquemment en ajustant le siège à une même hauteur pour les trois sujets, les caractéristiques d'atténuation du siège exprimées par le facteur SEAT demeurent à toute fin pratique identiques indépendamment de la masse comme le démontrent les résultats apparaissant dans le tableau 7.

**TABLEAU 7 : Influence de la masse du sujet sur le facteur SEAT du siège Recaro pour deux positions en hauteur spécifiques**

POSITION EN HAUTEUR	SEAT		
	Sujet A	Sujet B	Sujet C
mi-course	0.67	0.65	0.63
-25 mm	0.68	0.69	0.67



**Figure 20:** Influence de la masse du sujet sur les caractéristiques spectrales des vibrations transmises sur le siège pour une position en hauteur à mi-course et la classe d'excitation 4.

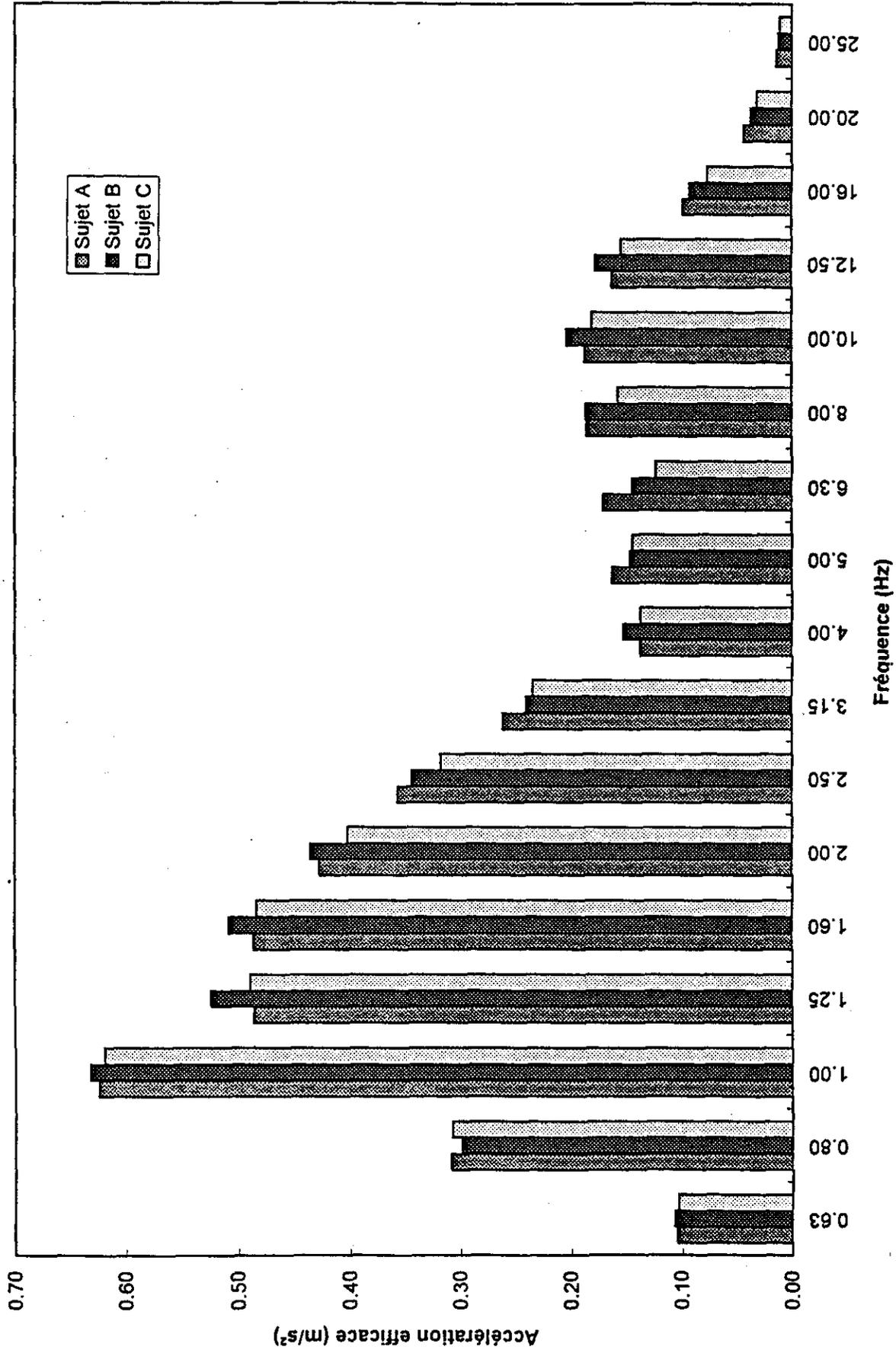


Figure 21: Influence de la masse du sujet sur les caractéristiques spectrales des vibrations transmises sur le siège pour une position en hauteur 25 mm sous la mi-course et la classe d'excitation 4.

Puisqu'à des hauteurs spécifiques, contrôlées par l'entrée d'air comprimé dans le ballon pneumatique, le facteur SEAT demeure semblable pour les trois sujets, il est apparu souhaitable de réaliser l'ensemble des essais subséquents avec un seul sujet afin de limiter le nombre d'essais. C'est ainsi que tout essai subséquent en régime aléatoire a été effectué en lestant le siège avec le sujet B dont la masse est 73 kg et la taille 1.80 m.

## **6.2 Détermination du facteur SEAT du siège Recaro sous les classes d'excitations vibratoires associées aux autobus urbains**

Le siège Recaro CL-1 lesté par le sujet B est soumis aux neuf classes spectrales d'excitation définies dans la section 4.0 pour caractériser l'environnement vibratoire de différents modèles d'autobus urbains. La position en hauteur du siège est modifiée et le rapport de l'accélération globale pondérée au siège à celle à la base (facteur SEAT) est déterminée sous chacune des classes spectrales. Les essais du siège muni de deux amortisseurs sont répétés en retirant un des deux amortisseurs. Les résultats sont présentés dans le tableau 8 pour l'ensemble des essais réalisés pour des positions en hauteur correspondant à la position mi-course, ainsi que 25 mm au-dessus, 25 mm et 50 mm en-dessous de la position mi-course. Seules les valeurs SEAT mesurées en position mi-course présentent un écart-type établi sur la moyenne de 3 essais consécutifs. Le degré de répétabilité est excellent à en juger par la faible valeur de l'écart-type établi pour ces trois essais, et également par la proximité des spectres en fréquences résultant de ces essais, tels que présentés dans l'annexe B.

À titre indicatif, les figures 22 à 30 présentent les caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et sur le plancher du simulateur pour la position en hauteur centrale (i.e. mi-course) pour chacune des 9 classes spectrales. Les spectres en fréquence se rapportant aux autres positions en hauteur considérées et aux essais répétés sont présentés sur une base individuelle pour chaque classe spectrale dans l'annexe C pour le siège muni de deux amortisseurs, et dans l'annexe D pour le siège muni d'un seul amortisseur.

Dans ces annexes, les positions centrale, supérieure, inférieure et minimale correspondent aux positions mi-course, 25 mm au-dessus de mi-course, 25 mm et 50 mm en-dessous de mi-course, respectivement. Les spectres présentent les valeurs efficaces d'accélération non pondérée aux bandes de fréquences de tiers d'octave comprises entre 0.63 et 25 Hz pour les vibrations mesurées sur le siège et à la base ou

plate-forme du simulateur. Un tableau y indique aussi numériquement les valeurs efficaces d'accélération pondérée et non pondérée à chacune des bandes de fréquence. Les niveaux d'accélération globale pondérée et non pondérée entre 0.63 et 25 Hz sont aussi indiqués servant à déterminer le facteur SEAT. Pour les besoins de cette étude, seul le facteur SEAT basé sur les niveaux d'accélération globale pondérée au siège et à la base est considéré.

**TABLEAU 8 :** Facteur SEAT (accélération pondérée) mesuré pour chaque configuration du siège Recaro CL-1 et chaque position en hauteur sous les classes spectrales associées aux autobus urbains.

CLASSE SPECTRALE	SEAT 2 amortisseurs				SEAT 1 amortisseur			
	+25 mm	Mi- course	-25 mm	-50 mm	+25 mm	Mi- course	-25 mm	-50 mm
1	0.70	0.68±.01	0.71	0.90	0.61	0.64±.01	0.69	0.83
2	0.72	0.73±.01	0.72	0.88	0.67	0.68±.006	0.72	0.84
3	0.80	0.86±.006	0.85	0.95	0.84	0.80±.00	0.86	0.93
4	0.69	0.70±.01	0.72	0.88	0.64	0.64±.006	0.70	0.86
5	0.81	0.82±.006	0.82	0.86	1.00	0.79±.006	0.80	0.85
6	0.67	0.68±.00	0.69	0.84	0.61	0.60±.01	0.63	0.83
7	0.96	0.96±.00	0.98	1.01	0.96	0.94±.006	1.00	1.00
8	0.82	0.83±.01	0.85	1.04	0.77	0.76±.01	0.78	1.02
9	0.91	0.92±.00	0.91	1.06	0.86	0.83±.005	0.85	1.03

Position centrale(327mm)  
2 amortisseurs

Excitation: classe 1  
Essai:B

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s²)		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s²)	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.165	0.171	0.000	0.00
0.8	0	0.279	0.285	0.000	0.00
1.0	0.5	0.392	0.383	0.196	0.19
1.3	0.559	0.377	0.353	0.211	0.20
1.6	0.632	0.723	0.622	0.457	0.39
2.0	0.707	0.679	0.545	0.480	0.39
2.5	0.791	0.436	0.334	0.345	0.26
3.2	0.887	0.353	0.338	0.313	0.30
4.0	1	0.219	0.359	0.219	0.36
5.0	1	0.251	0.446	0.251	0.45
6.3	1	0.261	0.482	0.261	0.48
8.0	1	0.318	0.693	0.318	0.69
10.0	0.8	0.358	0.923	0.286	0.74
12.5	0.64	0.316	0.832	0.202	0.53
16.0	0.5	0.167	0.478	0.084	0.24
20.0	0.4	0.085	0.272	0.034	0.11
25.0	0.32	0.027	0.120	0.009	0.04
Accélération globale m/s²		1.498	2.048	1.073	1.574
S.E.A.T.		0.73		0.68	

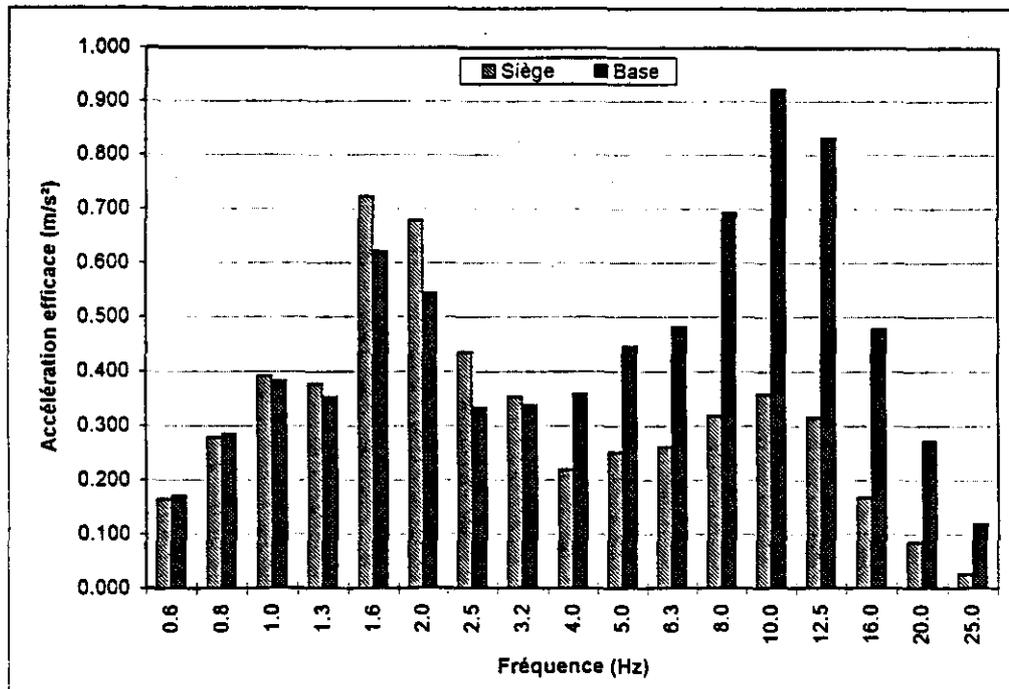


Figure 22 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 1.

Position centrale(327mm)  
2 amortisseurs

Excitation: classe 2  
Essai:B

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.101	0.104	0.000	0.00
0.8	0	0.194	0.195	0.000	0.00
1.0	0.5	0.344	0.330	0.172	0.17
1.3	0.559	0.387	0.356	0.216	0.20
1.6	0.632	0.603	0.508	0.381	0.32
2.0	0.707	0.465	0.364	0.329	0.26
2.5	0.791	0.286	0.211	0.226	0.17
3.2	0.887	0.246	0.208	0.218	0.18
4.0	1	0.196	0.306	0.196	0.31
5.0	1	0.138	0.239	0.138	0.24
6.3	1	0.192	0.362	0.192	0.36
8.0	1	0.223	0.437	0.223	0.44
10.0	0.8	0.276	0.627	0.221	0.50
12.5	0.64	0.255	0.617	0.163	0.39
16.0	0.5	0.117	0.290	0.059	0.15
20.0	0.4	0.060	0.175	0.024	0.07
25.0	0.32	0.018	0.080	0.006	0.03
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		1.158	1.460	0.807	1.098
S.E.A.T.		0.79		0.74	

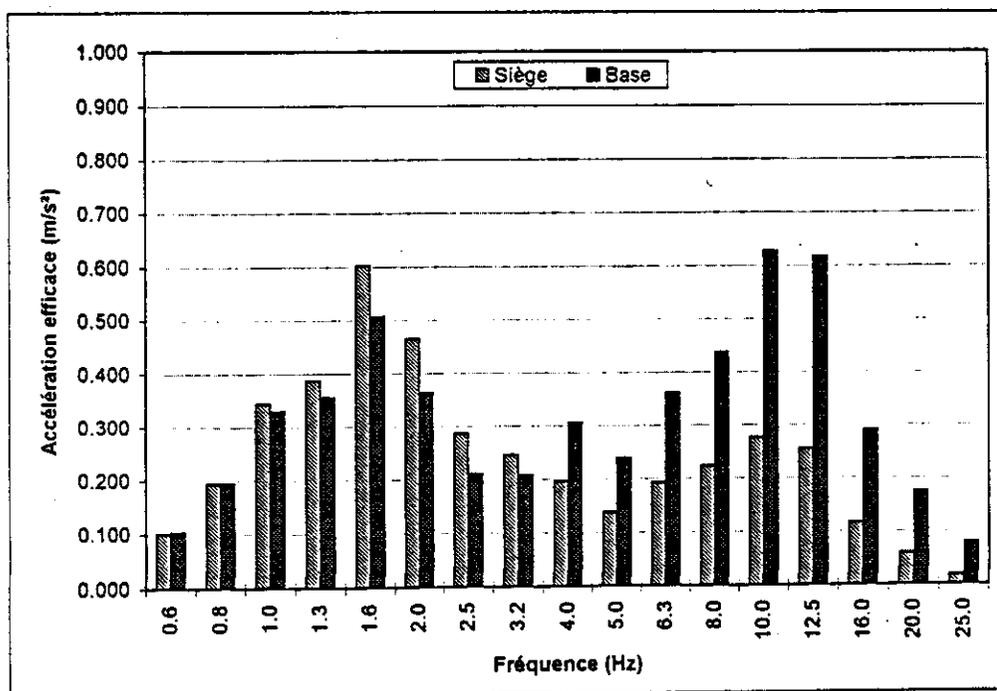


Figure 23 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 2.

Position centrale(327mm)  
2 amortisseurs

Excitation: classe 3  
Essai:B

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.082	0.081	0.000	0.00
0.8	0	0.112	0.110	0.000	0.00
1.0	0.5	0.205	0.197	0.103	0.10
1.3	0.559	0.417	0.376	0.233	0.21
1.6	0.632	0.445	0.386	0.281	0.24
2.0	0.707	0.192	0.147	0.136	0.10
2.5	0.791	0.202	0.150	0.160	0.12
3.2	0.887	0.164	0.130	0.145	0.12
4.0	1	0.110	0.105	0.110	0.11
5.0	1	0.079	0.110	0.079	0.11
6.3	1	0.100	0.179	0.100	0.18
8.0	1	0.150	0.263	0.150	0.26
10.0	0.8	0.174	0.328	0.139	0.26
12.5	0.64	0.154	0.335	0.099	0.21
16.0	0.5	0.068	0.096	0.034	0.05
20.0	0.4	0.026	0.051	0.010	0.02
25.0	0.32	0.008	0.020	0.003	0.01
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		0.805	0.875	0.539	0.627
S.E.A.T.		0.92		0.86	

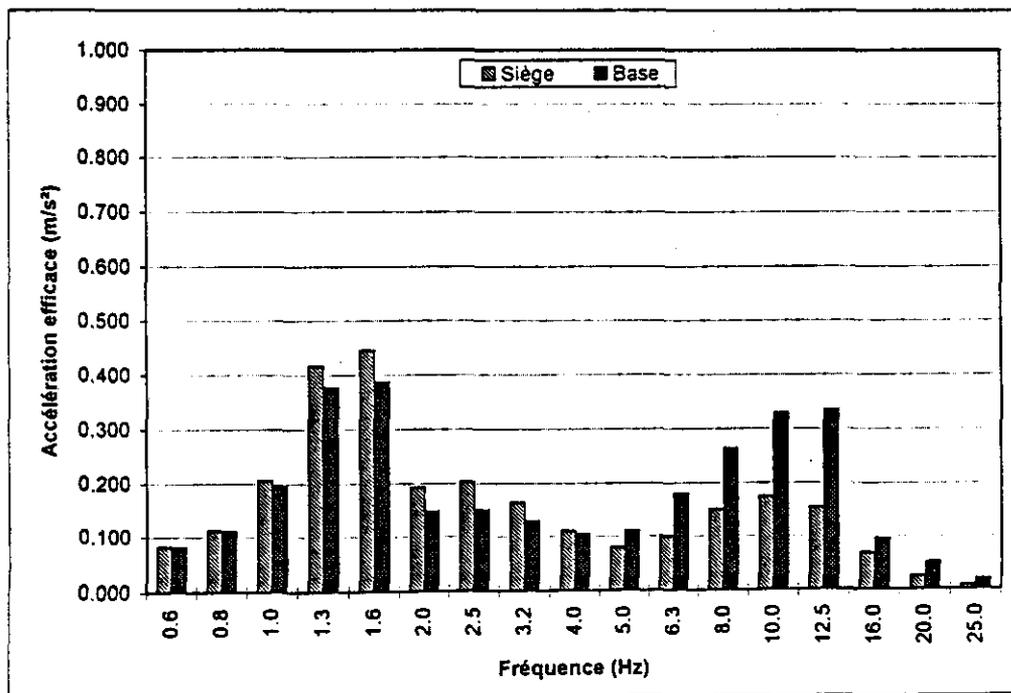


Figure 24 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 3.

Position centrale(327mm)  
2 amortisseurs

Excitation: classe 4  
Essai:B

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.122	0.126	0.000	0.00
0.8	0	0.317	0.317	0.000	0.00
1.0	0.5	0.581	0.587	0.291	0.28
1.3	0.559	0.493	0.457	0.276	0.26
1.6	0.632	0.443	0.390	0.280	0.25
2.0	0.707	0.392	0.296	0.277	0.21
2.5	0.791	0.372	0.286	0.294	0.23
3.2	0.887	0.312	0.301	0.277	0.27
4.0	1	0.173	0.288	0.173	0.29
5.0	1	0.177	0.325	0.177	0.33
6.3	1	0.182	0.373	0.182	0.37
8.0	1	0.229	0.511	0.229	0.51
10.0	0.8	0.254	0.637	0.203	0.51
12.5	0.64	0.229	0.593	0.147	0.38
16.0	0.5	0.128	0.375	0.064	0.19
20.0	0.4	0.062	0.221	0.025	0.09
25.0	0.32	0.022	0.105	0.007	0.03
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		1.251	1.614	0.832	1.187
S.E.A.T.		0.78		0.70	

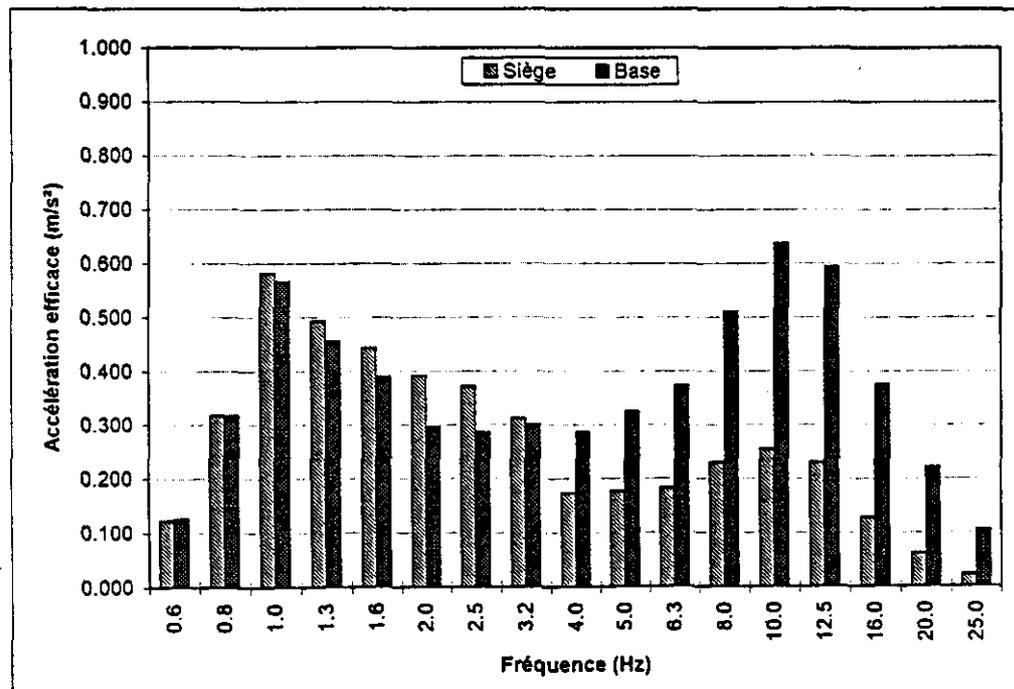


Figure 25 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 4.

Position centrale(327mm)  
2 amortisseurs

Excitation: classe 5  
Essai:B

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.058	0.056	0.000	0.00
0.8	0	0.122	0.120	0.000	0.00
1.0	0.5	0.228	0.220	0.114	0.11
1.3	0.559	0.327	0.306	0.183	0.17
1.6	0.632	0.216	0.193	0.137	0.12
2.0	0.707	0.104	0.087	0.074	0.06
2.5	0.791	0.112	0.088	0.089	0.07
3.2	0.887	0.096	0.067	0.085	0.06
4.0	1	0.078	0.055	0.078	0.05
5.0	1	0.049	0.046	0.049	0.05
6.3	1	0.060	0.101	0.060	0.10
8.0	1	0.126	0.192	0.126	0.19
10.0	0.8	0.184	0.323	0.147	0.26
12.5	0.64	0.137	0.254	0.088	0.16
16.0	0.5	0.063	0.097	0.032	0.05
20.0	0.4	0.024	0.035	0.010	0.01
25.0	0.32	0.008	0.020	0.003	0.01
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		0.584	0.670	0.379	0.465
S.E.A.T.		0.87		0.82	

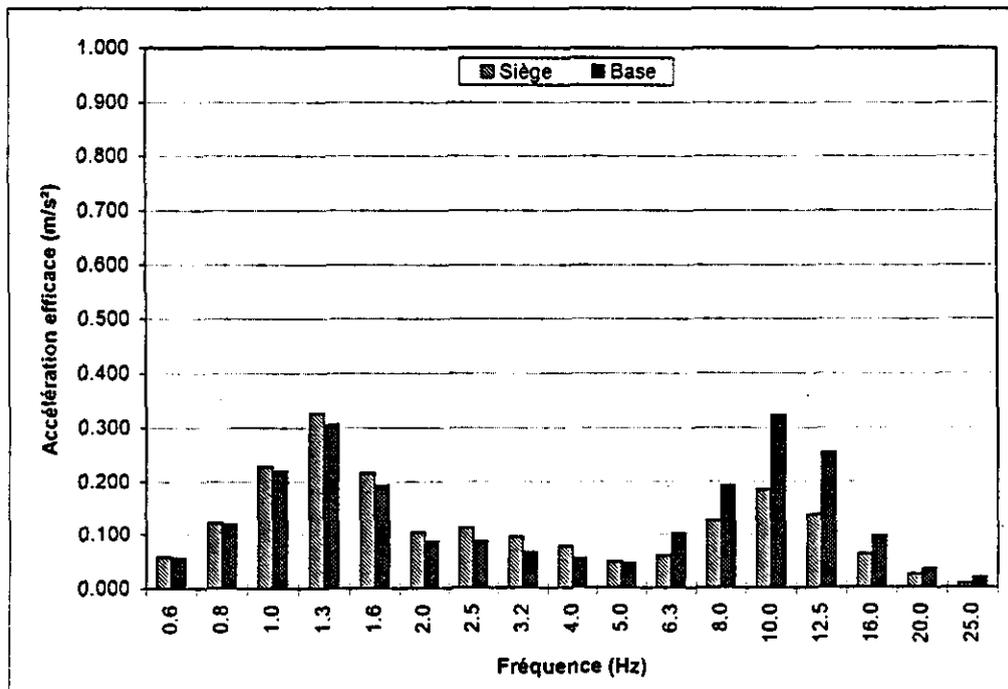


Figure 26 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 5.

Position centrale(327mm)  
2 amortisseurs

Excitation: classe 6  
Essai:B

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.139	0.141	0.000	0.00
0.8	0	0.305	0.303	0.000	0.00
1.0	0.5	0.627	0.605	0.314	0.30
1.3	0.559	0.633	0.596	0.354	0.33
1.6	0.632	0.313	0.266	0.198	0.17
2.0	0.707	0.314	0.238	0.222	0.17
2.5	0.791	0.405	0.316	0.320	0.25
3.2	0.887	0.299	0.297	0.285	0.26
4.0	1	0.200	0.303	0.200	0.30
5.0	1	0.176	0.350	0.176	0.35
6.3	1	0.205	0.387	0.205	0.39
8.0	1	0.354	0.755	0.354	0.76
10.0	0.8	0.274	0.600	0.219	0.48
12.5	0.64	0.228	0.517	0.146	0.33
16.0	0.5	0.128	0.395	0.064	0.20
20.0	0.4	0.062	0.222	0.025	0.09
25.0	0.32	0.023	0.099	0.007	0.03
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		1.320	1.710	0.893	1.309
S.E.A.T.		0.77		0.68	

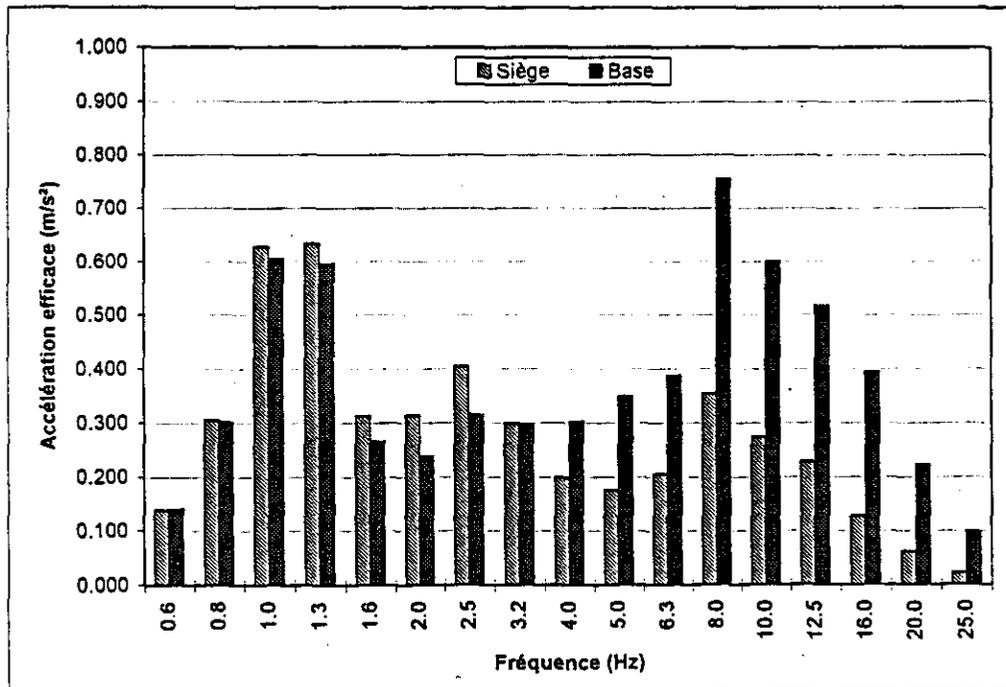


Figure 27 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 6.

Position centrale(327mm)  
2 amortisseurs

Excitation: classe 7  
Essai:B

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.063	0.065	0.000	0.00
0.8	0	0.133	0.137	0.000	0.00
1.0	0.5	0.205	0.201	0.103	0.10
1.3	0.559	0.441	0.406	0.247	0.23
1.6	0.632	0.372	0.328	0.235	0.21
2.0	0.707	0.173	0.138	0.122	0.10
2.5	0.791	0.148	0.105	0.117	0.08
3.2	0.887	0.132	0.098	0.117	0.09
4.0	1	0.103	0.110	0.103	0.11
5.0	1	0.076	0.103	0.076	0.10
6.3	1	0.076	0.078	0.076	0.08
8.0	1	0.117	0.225	0.117	0.23
10.0	0.8	0.087	0.156	0.070	0.12
12.5	0.64	0.064	0.090	0.041	0.06
16.0	0.5	0.048	0.067	0.024	0.03
20.0	0.4	0.020	0.030	0.008	0.01
25.0	0.32	0.005	0.012	0.002	0.00
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		0.718	0.702	0.460	0.478
S.E.A.T.		1.02		0.96	

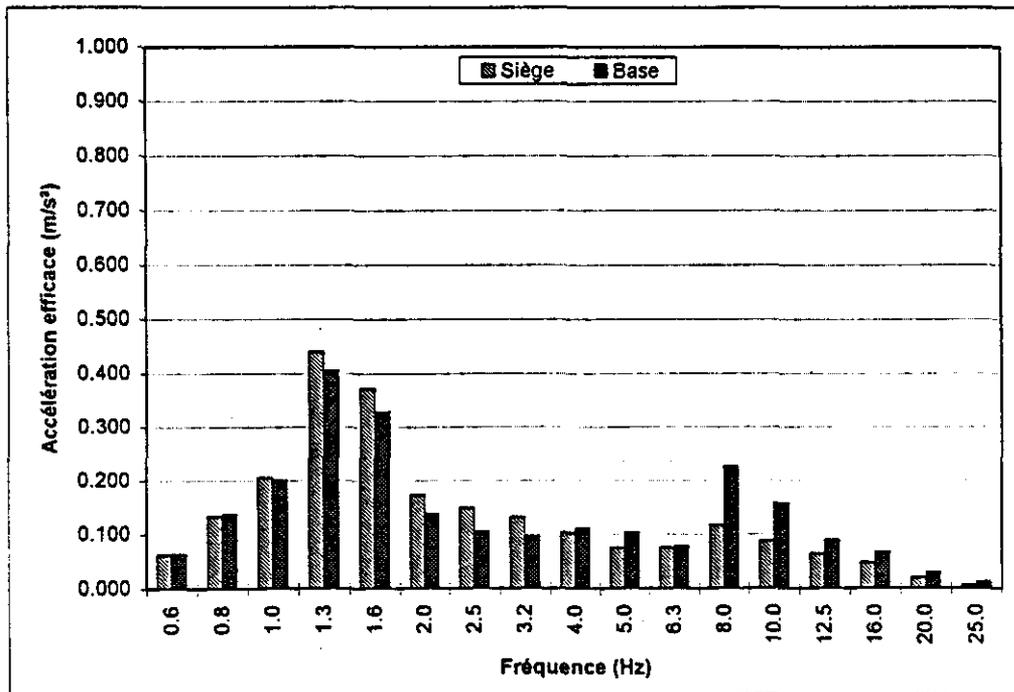


Figure 28 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 7.

Position centrale(327mm)  
2 amortisseurs

Excitation: classe 8  
Essai:A

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.135	0.138	0.000	0.00
0.8	0	0.233	0.236	0.000	0.00
1.0	0.5	0.348	0.335	0.174	0.17
1.3	0.559	0.491	0.457	0.274	0.26
1.6	0.632	0.318	0.274	0.201	0.17
2.0	0.707	0.347	0.260	0.245	0.18
2.5	0.791	0.296	0.235	0.234	0.19
3.2	0.887	0.258	0.250	0.229	0.22
4.0	1	0.187	0.234	0.187	0.23
5.0	1	0.143	0.267	0.143	0.27
6.3	1	0.139	0.238	0.139	0.24
8.0	1	0.158	0.315	0.158	0.32
10.0	0.8	0.174	0.342	0.139	0.27
12.5	0.64	0.142	0.328	0.091	0.21
16.0	0.5	0.079	0.212	0.039	0.11
20.0	0.4	0.035	0.118	0.014	0.05
25.0	0.32	0.013	0.081	0.004	0.02
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		0.984	1.107	0.665	0.810
S.E.A.T.		0.89		0.82	

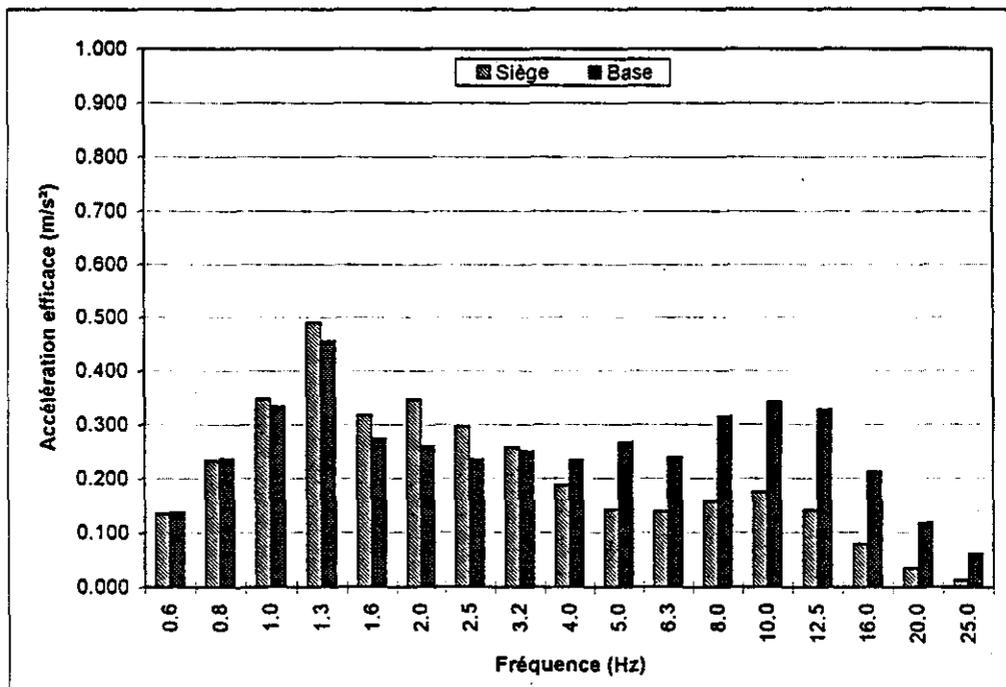


Figure 29 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 8.

Position centrale(327mm)  
2 amortisseurs

Excitation: classe 9  
Essai:B

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.077	0.082	0.000	0.00
0.8	0	0.115	0.117	0.000	0.00
1.0	0.5	0.201	0.198	0.101	0.10
1.3	0.559	0.328	0.308	0.183	0.17
1.6	0.632	0.330	0.288	0.209	0.18
2.0	0.707	0.162	0.126	0.115	0.09
2.5	0.791	0.165	0.119	0.131	0.09
3.2	0.887	0.195	0.152	0.173	0.13
4.0	1	0.150	0.152	0.150	0.15
5.0	1	0.086	0.130	0.086	0.13
6.3	1	0.085	0.149	0.085	0.15
8.0	1	0.114	0.194	0.114	0.19
10.0	0.8	0.127	0.213	0.102	0.17
12.5	0.64	0.104	0.179	0.067	0.11
16.0	0.5	0.055	0.088	0.028	0.04
20.0	0.4	0.019	0.030	0.008	0.01
25.0	0.32	0.006	0.015	0.002	0.00
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		0.669	0.890	0.481	0.502
S.E.A.T.		0.97		0.92	

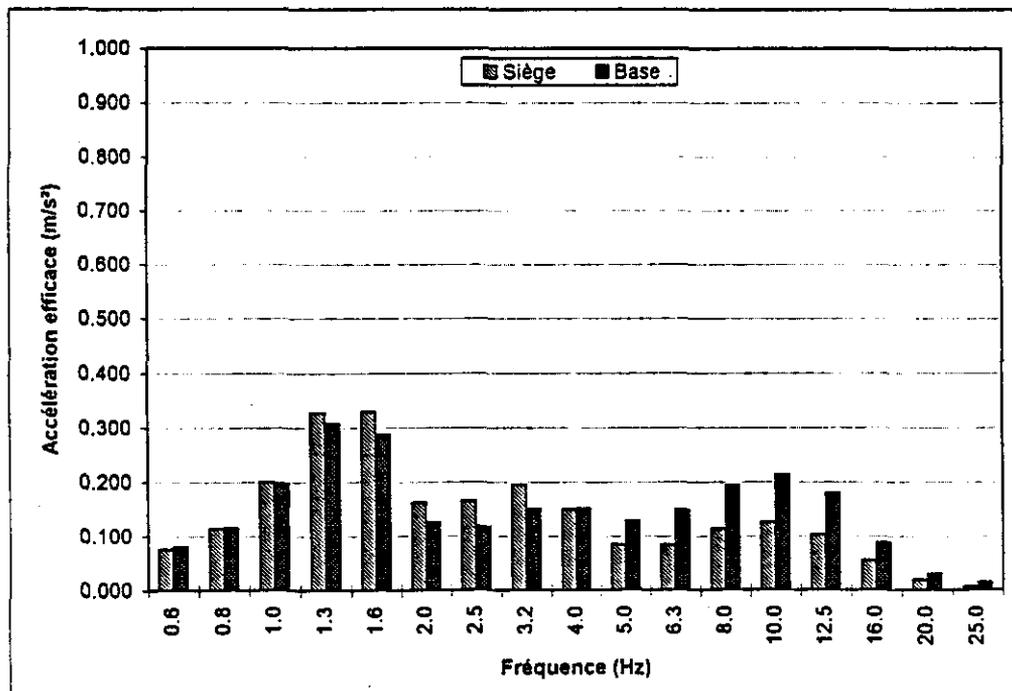


Figure 30 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur le siège Recaro CL-1 muni de 2 amortisseurs et à la base pour la position en hauteur centrale et la classe spectrale d'excitation 9.

Sur la base des valeurs SEAT apparaissant dans le tableau 8, les observations suivantes sont faites:

- Dans la majorité des cas étudiés, le siège Recaro CL-1 produit une certaine atténuation des vibrations, le facteur SEAT étant le plus souvent inférieur à 1.0. Les spectres présentés dans les figures 22 à 30 démontrent que le siège agit réellement en **amplifiant** les vibrations de la base ou plate-forme du simulateur aux fréquences inférieures à 3.2 Hz, et en **atténuant** les vibrations dont les composantes se retrouvent au-delà de cette fréquence;
- La performance du siège Recaro CL-1 a tendance à être la meilleure pour la configuration du siège utilisant un seul amortisseur puisque le facteur SEAT est, dans la majorité des cas, inférieur à celui pour la configuration du siège comportant deux amortisseurs. Cependant, comparativement au siège muni de deux amortisseurs, le gain en performance réalisable est estimé à tout au plus 10% pour le siège comportant un seul amortisseur, dépendant de la classe spectrale d'excitation et de la position en hauteur du siège;
- Le degré de performance du siège est affecté par le positionnement en hauteur du siège et par les caractéristiques de l'excitation vibratoire (i.e. classes spectrales). En effet, le facteur SEAT a tendance à être le plus faible pour les positions en hauteur centrale et supérieure et pour les classes spectrales des autobus impliquant un parcours accidenté (i.e. classes 1,2,4,6 et 8). Le facteur SEAT est le plus élevé en position minimale (-50 mm) et pour les classes d'excitation associées au transport sur une autoroute en bon état à 100 km/h et sur des rues de ville à 50 km/h (i.e. classes 3, 5, 7 et 9). Il apparaît donc que ces dernières classes d'excitation ne produisent pas une intensité vibratoire suffisante pour surmonter adéquatement les forces opposant le mouvement nécessaire pour dissiper l'énergie vibratoire. De plus, un ajustement en hauteur en position minimale implique nécessairement des impacts contre les butées inférieures du siège, détériorant ainsi considérablement le degré d'efficacité réalisable du siège;
- Sur toute la gamme de hauteurs considérées entre la position minimale (-50 mm) et la position supérieure (+25 mm), une variation du facteur SEAT de l'ordre de 40% est possible entre la valeur la plus faible (SEAT = 0.60) et la plus élevée (SEAT = 0.83). Ce cas survient pour le siège muni d'un seul amortisseur lorsque soumis à la classe d'excitation 6 défini pour l'autobus Van Hool se déplaçant sur un parcours accidenté. Dépendant de la configuration

du siège et du type d'autobus et de parcours (i.e. classe spectrale), il y a donc possibilité que la performance du siège soit augmentée ou diminuée de 40% en modifiant la position en hauteur;

- La valeur SEAT la plus faible de tous les cas considérés est 0.60 pour le siège muni d'un seul amortisseur, ajusté en position mi-course sous la classe d'excitation 6. La valeur SEAT la plus élevée est 1.06 pour le siège muni de deux amortisseurs, ajusté en position minimale (-50 mm) sous la classe d'excitation 9. Le siège Recaro CL-1 permet donc tout au plus une atténuation des vibrations du plancher de l'ordre de 40% et une amplification de 6% selon sa configuration et sa position en hauteur sous les classes d'excitation applicables aux autobus urbains;
- En assumant que les déplacements des autobus urbains sont principalement effectués sur des rues de ville ou des portions d'autoroute en bon état pour lesquels l'environnement vibratoire est caractérisé par les classes spectrales 3, 5, 7 ou 9, l'atténuation maximale réalisable par le siège Recaro CL-1 pourrait être de 21%. Cette valeur est estimée sur la base du facteur SEAT minimal (i.e. SEAT = 0.79) obtenu en position mi-course sous la classe d'excitation 5 pour la configuration impliquant un seul amortisseur.

Sur la base des résultats présentés ci-dessus, on peut conclure que pour assurer un maximum d'efficacité pour le siège Recaro CL-1, la configuration du siège utilisant un seul amortisseur est préférable lorsque la hauteur est ajustée entre la position mi-course et 25 mm au-dessus de la mi-course. Selon les données du tableau 5, de tels ajustements en hauteur conviendraient seulement à des chauffeurs dont la taille serait en moyenne supérieure ou égale à 1.83 m (6 pieds). Ainsi donc, les chauffeurs dont la taille est inférieure à 1.83 m pourraient difficilement bénéficier de la pleine performance du siège à moins que la base de fixation puisse être abaissée pour permettre aux chauffeurs de plus petite taille d'ajuster la hauteur du siège plus près de la position mi-course.

Sur la base des valeurs SEAT mesurée pour le siège Recaro CL-1 muni d'un seul amortisseur lorsque l'ajustement en hauteur est à mi-course, on conclut que l'efficacité du siège sur parcours accidenté est la meilleure (SEAT = 0.60) dans l'autobus Van Hool (i.e. classe 6) et la moins bonne (SEAT = 0.76) dans l'autobus à plancher bas (i.e. classe 8). Sur un parcours impliquant des rues de ville et une

autoroute en bon état, la performance du siège la meilleure (SEAT = 0.79) est obtenue dans l'autobus GM Classic (i.e. classe 5), et la moins bonne (SEAT = 0.94) dans l'autobus Van Hool (i.e. classe 7). Une telle tendance est aussi applicable pour la configuration du siège muni de deux amortisseurs pour un ajustement à mi-course.

### 6.3 Efficacité du siège Recaro CL-1 par rapport aux limites d'exposition aux vibrations globales du corps applicables

Le constat que le siège Recaro CL-1 puisse, sous certaines conditions, procurer une certaine atténuation des vibrations de la base (i.e. SEAT inférieur à 1.0), ne garantit pas en soi que les niveaux de vibrations transmises au conducteur soient acceptables sur le plan des limites d'exposition aux vibrations globales du corps définies dans les normes. De même, un facteur SEAT supérieur à 1.0 n'implique pas nécessairement que les niveaux d'exposition aux vibrations du conducteur excèdent les dites limites. En effet, comme les niveaux d'accélération globale pondérée ( $a_w$ ) mesurés à la base du siège dans les différents véhicules varient considérablement d'une classe spectrale à l'autre (voir tableau 3), il apparaît évident que le degré d'atténuation (i.e. facteur SEAT) recherché pour permettre au siège de rendre les niveaux d'exposition du conducteur conformes aux limites définies dans les normes puissent varier selon les classes spectrales.

La norme ISO 2631/1 (1985) [3] fixe à  $0.63 \text{ ms}^{-2}$  le niveau d'accélération globale pondérée nécessaire pour atteindre la limite d'exposition lorsque la durée d'exposition quotidienne est de 8 heures. Par ailleurs, la norme française NF E90-401-2 (1990) [8] juge la situation préoccupante lorsque le niveau d'accélération globale pondérée varie entre  $0.6$  et  $0.9 \text{ ms}^{-2}$  pour une durée d'exposition quotidienne de 8 heures. Une cote d'alerte de risque pour la santé est fixée à  $0.65 \text{ ms}^{-2}$  dans cette norme. Enfin, la nouvelle proposition ISO/DIS 2631-1.2 (1995) [9] juge la situation préoccupante lorsque le niveau d'accélération globale pondérée varie entre  $0.47$  et  $0.93 \text{ ms}^{-2}$  pour une durée d'exposition quotidienne de 8 heures. En tenant compte des variations dans ces limites, on peut établir à  $0.63 \text{ ms}^{-2}$  le niveau limite d'accélération globale pondérée au-delà duquel l'exposition aux vibrations pourrait constituer un risque pour la santé lorsque la durée d'exposition quotidienne est de 8 heures. Ce niveau limite constitue d'ailleurs un point commun entre les différentes limites pré-citées.

En appliquant la limite de  $0.63 \text{ ms}^{-2}$  comme niveau cible maximum d'accélération globale pondérée tolérable sur le siège, on peut établir, pour chacune des classes spectrales d'excitation vibratoire définies dans la section 4, une valeur SEAT maximale à préciser pour permettre au siège d'assurer que

le niveau limite d'exposition ne soit pas excédé. Ces valeurs apparaissent dans le tableau 9 telles que calculées sur la base de la limite de  $0.63 \text{ ms}^{-2}$  au siège et des accélérations globales pondérées réellement mesurées à la base, telles que présentées dans le tableau 3, pour les segments associés à chacune des neuf classes spectrales. Les valeurs SEAT maximales calculées sont arrondies afin de simplifier les règles de sélection applicables à chacune des classes spectrales, les valeurs étant présentées en tant que valeurs SEAT maximales applicables.

Sur la base des valeurs SEAT maximales applicables ainsi définies, les résultats des essais du siège Recaro CL-1 présentés dans le tableau 8 démontrent que:

- Dans l'autobus GM NewLook, le degré d'atténuation du siège muni de un et de deux amortisseurs est adéquat seulement sur un parcours incluant des rues de ville et une autoroute en bon état (classe 3). Sur un parcours accidenté (classes 1 et 2), le siège ne permet pas dans cet autobus de rencontrer les exigences fixées pour assurer que le niveau d'exposition aux vibrations soit maintenu en deçà de la limite établie;

**TABLEAU 9 : Valeurs SEAT maximales calculées et applicables pour les différentes classes spectrales d'excitation vibratoire propres aux autobus urbains.**

<b>CLASSE SPECTRALE</b>	<b>VALEUR SEAT MAXIMALE CALCULÉE</b>	<b>VALEUR SEAT MAXIMALE APPLICABLE</b>
1	0.47	0.5
2	0.60	0.6
3	0.93	1.0
4	0.64	0.7
5	1.23	1.2
6	0.57	0.6
7	1.21	1.2
8	0.80	0.8
9	1.17	1.2

- Dans l'autobus GM Classic, le degré d'atténuation du siège muni de un et de deux amortisseurs est adéquat seulement sur un parcours incluant des rues de ville et une autoroute en bon état (classe 5). Sur un parcours accidenté (classe 4), les deux configurations du siège seraient seulement conformes lorsque réglés à mi-course et 25 mm au-dessus de la mi-course. Par contre, le siège muni d'un seul amortisseur serait aussi conforme lorsque réglé à une hauteur 25 mm en dessous de la position mi-course;
- Dans l'autobus Van Hool, le degré d'atténuation du siège muni de un et de deux amortisseurs est adéquat seulement sur un parcours incluant des rues de ville et une autoroute en bon état (classe 7). Par contre, seul le siège muni d'un amortisseur et ajusté en position mi-course serait conforme sur un parcours accidenté (classe 6);
- Dans le prototype d'autobus Nova à plancher bas, le degré d'atténuation du siège muni de un et de deux amortisseurs est adéquat seulement sur un parcours incluant des rues de ville et une autoroute en bon état (classe 9). Seule la configuration du siège muni d'un seul amortisseur permet de rencontrer les exigences prescrites sur parcours accidenté (classe 8) lorsque la hauteur varie entre 25 mm de plus et de moins que la position mi-course.

## **7.0 ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ D'ATTÉNUATION DES VIBRATIONS PAR LES COUSSINS DE SIÈGES**

Les éléments de garnissage des coussins de sièges sont normalement constitués de mousse viscoélastique dont la qualité et les caractéristiques d'atténuation peuvent varier d'un siège à l'autre. De par leur souplesse et leurs qualités d'amortissement, les coussins possèdent leurs propres caractéristiques dynamiques, jouant ainsi à eux seuls un rôle de suspension. Dans le cas de sièges à suspension, les caractéristiques dynamiques du coussin peuvent interférer avec celles de la suspension elle-même, d'où l'importance d'évaluer aussi les caractéristiques d'atténuation des vibrations pour les coussins seuls.

Dans cette étude, les caractéristiques de transmissibilité verticale sous excitation sinusoïdale et le degré de performance sous les neuf classes d'excitations propres aux autobus urbains sont mesurés pour le coussin du siège Recaro CL-1, ainsi que pour un siège conventionnel d'autobus urbain ne comportant pas de suspension. L'évaluation du coussin de siège Recaro CL-1 est réalisée en soumettant le siège aux essais après avoir soudé les amortisseurs afin de rendre la suspension inactive. Quant au siège d'autobus conventionnel, l'évaluation est effectuée une fois le siège non suspendu installé sur le simulateur de vibrations. Les caractéristiques de l'excitation sinusoïdale utilisée lors des essais sont les mêmes que celles définies dans la section 5.1, tandis que les classes spectrales des vibrations propres aux autobus urbains sont telles que définies dans la section 4.0. Tous les essais impliqués dans cette partie de l'étude sont réalisés en lestant les sièges avec le sujet B dont la masse est 73 kg et la taille 1.80 m.

### **7.1 Évaluation du coussin du siège Recaro CL-1**

Le coussin du siège Recaro CL-1 est d'une épaisseur d'environ 75 mm et est constitué d'une mousse considérablement rigide. Une fois la suspension du siège bloquée, la hauteur de l'assise au point de référence est établie comme étant  $h_r = 345$  mm, soit légèrement au-dessus de la position mi-course lorsque le réglage #1 est utilisé. Cet ajustement n'a cependant aucune influence sur la suspension du siège, cette dernière étant rendue complètement inactive pour les besoins de l'étude.

La transmissibilité vibratoire du coussin du siège Recaro CL-1 établie sous excitation sinusoïdale apparaît dans la figure 31 aux fréquences comprises entre 0.5 et 10 Hz. La fréquence de résonance  $f_r$  du coussin apparaît comme étant 3.1 Hz tandis que le facteur d'amplification à la résonance  $Q(f_r)$  est de 1.47. La fréquence de coupure  $f_c$  au-delà de laquelle le coussin du siège Recaro CL-1 commence à atténuer les vibrations est de 4.5 Hz. Entre 4.5 et 10 Hz, le coussin atténue tout au plus de 20% les vibrations de la base.

En comparant ces résultats avec ceux présentés dans les sections 5.4 et 5.5 pour le siège Recaro CL-1 au complet ajusté selon le réglage 1 en position mi-course, on constate que la fréquence de résonance du coussin est sensiblement la même que pour le siège muni de deux amortisseurs (i.e.  $f_r = 3.4$  Hz), mais plus élevée que celle pour le siège muni d'un seul amortisseur ( $f_r \approx 2$  Hz). Le facteur d'amplification du coussin à la résonance  $Q(f_r)$  est aussi considérablement plus élevé que pour le siège ajusté selon les réglages indiqués ci-dessus, indiquant un degré d'amortissement moindre pour le coussin que pour le siège dans son ensemble. Bien que la fréquence de coupure du siège muni de deux amortisseurs soit légèrement plus élevée ( $f_c \approx 5$  Hz) que celle pour le coussin, le degré d'atténuation procuré par le siège au complet entre la fréquence de coupure et 10 Hz est beaucoup plus important que pour le coussin seul. Dans cette gamme de fréquences, le degré d'atténuation peut atteindre jusqu'à 60% pour le siège, comparativement à 20% seulement pour le coussin. Ce résultat est aussi applicable pour le siège muni d'un seul amortisseur, bien que dans ce dernier cas, la fréquence de coupure du siège soit légèrement inférieure ( $f_c \approx 4$  Hz) à celle pour le coussin.

Sur la base de ces données, on peut donc conclure que l'efficacité de la suspension du siège Recaro CL-1 est de beaucoup supérieure à celle du coussin lui-même pour atténuer les vibrations. Cette constatation est d'ailleurs supportée par les résultats des essais effectués sous chacune des neuf classes d'excitation vibratoire propre aux autobus urbains. Les résultats des essais en régime aléatoire, dont les données apparaissent dans l'annexe E, indiquent que le facteur SEAT du coussin du siège Recaro CL-1 varie entre 1.01 et 1.08 pour l'ensemble des neuf classes spectrales d'excitation. Le coussin du siège n'apporte donc aucune atténuation réelle des vibrations dont les caractéristiques se rapportent à l'environnement vibratoire propre aux autobus urbains. À la limite, il les transmet intégralement et les amplifie même légèrement. En comparant les valeurs SEAT présentées pour le coussin à celles de la section 6.0 pour le siège au complet, on peut donc déduire que la suspension du siège Recaro CL-1 doit à elle seule être responsable de l'atténuation obtenue, le facteur SEAT étant généralement inférieur à 1.0 pour le siège, du moins lorsque la hauteur est ajustée en position mi-course et que la pleine course est utilisée.

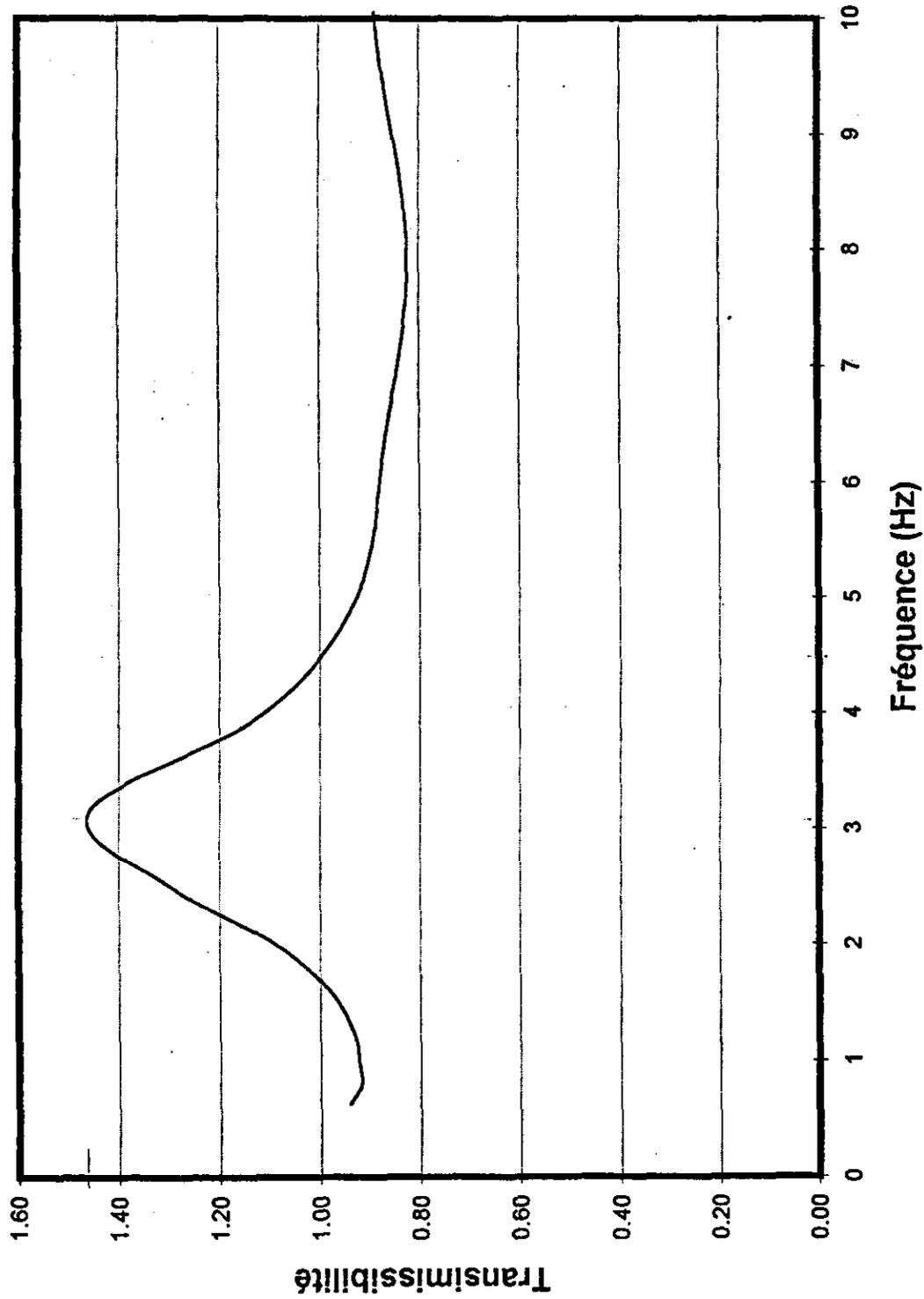


Figure 31: Transmissibilité verticale du coussin du siège Recaro CL-1.

## 7.2 Évaluation d'un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain

À des fins de comparaison, un siège conventionnel typique utilisé avant l'introduction du siège Recaro CL-1 dans les autobus urbains est soumis aux essais de vibration. Il s'agit d'un siège non suspendu constitué simplement d'un coussin dont l'épaisseur est 114 mm et d'un dossier dont la hauteur est de 470 mm. Le siège est installé sur un poteau central et sa hauteur est ajustée à 432 mm entre le point de fixation et la surface du coussin au centre du siège.

La transmissibilité des vibrations verticales du siège conventionnel apparaît dans la figure 32 telle qu'établie sous excitation sinusoïdale. À partir de cette courbe, la fréquence de résonance  $f_r$  du siège est estimée à 2.7 Hz et le facteur d'amplification à la résonance  $Q(f_r)$  est de 2.2. Il s'agit donc d'un système possédant un faible degré d'amortissement pour lequel la fréquence de coupure se situe à 4 Hz. Entre 4 et 10 Hz, un degré d'atténuation de l'ordre de 60% est réalisable avec ce siège tout comme pour le siège Recaro CL-1 ajusté à mi-course. Cependant le degré d'amortissement procuré par le siège Recaro CL-1 est beaucoup plus grand que celui mesuré pour le siège conventionnel pour lequel l'amplification des vibrations est considérable à proximité de sa fréquence de résonance. Ceci ne semble cependant pas avoir de conséquences importantes dans le cas des autobus urbains puisque l'énergie vibratoire au plancher est concentrée aux fréquences entre 1 et 2 Hz et entre 8 et 12.6 Hz pour l'ensemble des autobus et des conditions d'essai.

Ainsi, le fait que le siège conventionnel amplifie de beaucoup les vibrations à proximité de la fréquence de résonance du siège à 2.7 Hz a vraisemblablement moins d'importance que si l'amplification se produisait à des fréquences auxquelles l'excitation est importante.

Les figures 33 à 41 présentent les résultats des essais réalisés avec le siège conventionnel non suspendu sous les neuf classes d'excitation vibratoire propre aux autobus urbains. Les valeurs SEAT se rapportant à ces résultats apparaissent dans le tableau 10 où elles sont comparées à celles mesurées pour le siège Recaro CL-1 (configurations 1 et 2 amortisseurs) lorsque l'ajustement en hauteur est à mi-course pour un réglage de suspension #1. La comparaison de ces résultats avec l'ensemble des données préalablement présentées dans le tableau 8 pour les différentes positions en hauteur des deux configurations du siège Recaro CL-1 démontrent que:

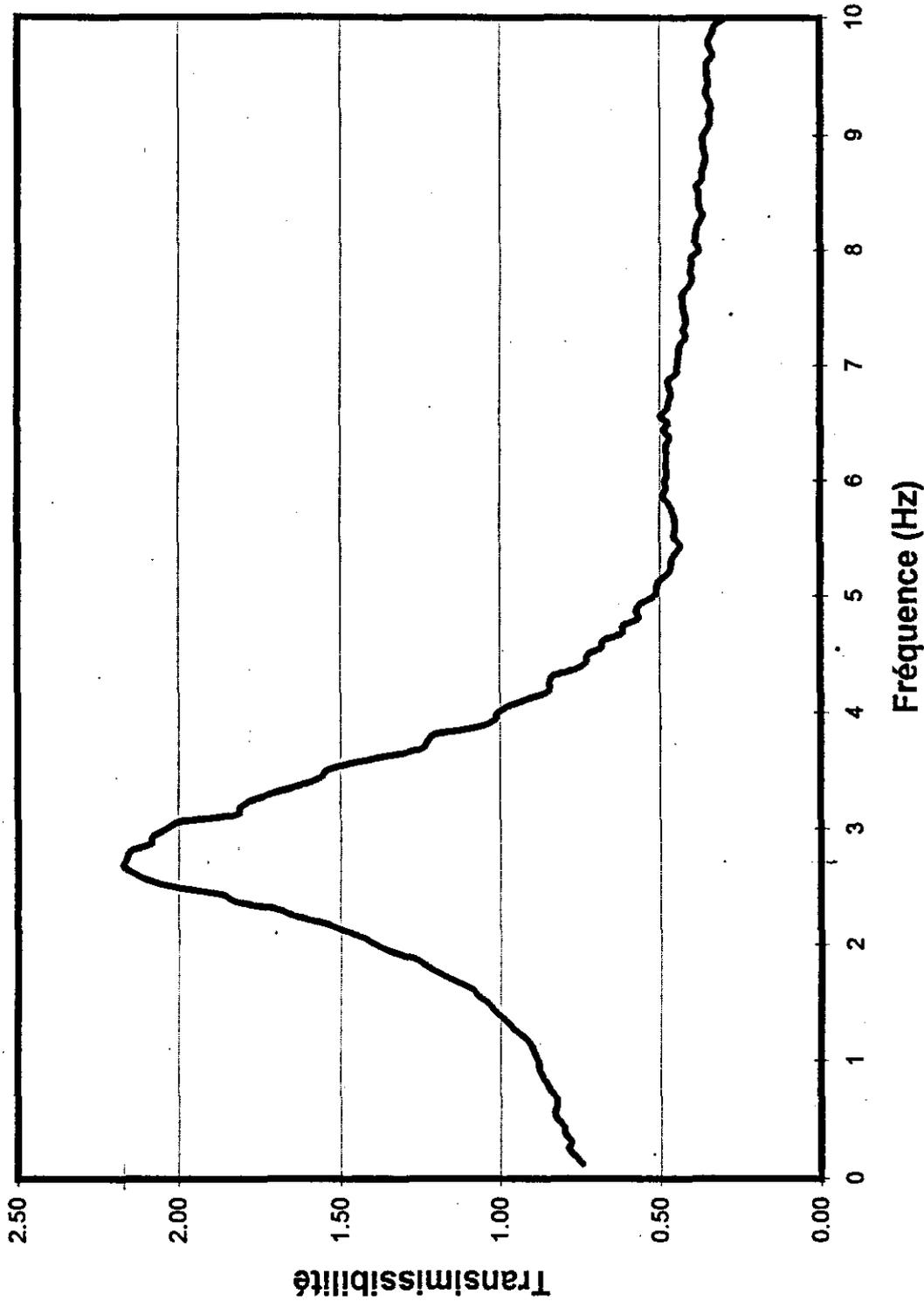


Figure 32: Transmissibilité verticale d'un siège non suspendu conventionnel d'autobus urbain.

::

**TABLEAU 10 :** Comparaison du facteur SEAT mesuré pour un siège conventionnel et pour les deux configurations du siège Recaro CL-1 ajusté à mi-course à chacune des classes spectrales.

CLASSE SPECTRALE	SEAT SIÈGE CONVENTIONNEL	SEAT RECARO CL-1 1 AMORTISSEUR MI-COURSE	SEAT RECARO CL-1 2 AMORTISSEURS MI-COURSE
1	0.82	0.64	0.68
2	0.81	0.68	0.73
3	0.91	0.80	0.86
4	0.91	0.64	0.70
5	0.77	0.79	0.82
6	0.90	0.60	0.68
7	0.99	0.94	0.96
8	1.02	0.76	0.83
9	1.10	0.83	0.92

- Pour l'autobus GM NewLook, le siège conventionnel performe mieux que le siège Recaro CL-1 (configurations 1 et 2 amortisseurs) si ce dernier est ajusté 50 mm en dessous de la mi-course sur des parcours accidentés, rues de ville et autoroute en bon état (classes #1, 2, 3). Par ailleurs, l'utilisation du siège Recaro CL-1 est nettement plus avantageuse qu'un siège conventionnel à des hauteurs correspondant à la mi-course, ainsi que 25 mm au-dessus et en-dessous de la mi-course. Cet avantage est généralement plus marqué en position mi-course où le degré d'atténuation atteignable par le siège Recaro CL-1 peut être de 18% supérieur à celui réalisable par un siège conventionnel;
- Pour l'autobus GM Classic, le siège conventionnel performe généralement sensiblement mieux que le siège Recaro CL-1 (configurations 1 et 2 amortisseurs) sur les rues de ville et une autoroute en bon état (classe 5) mais moins bien sur un parcours accidenté (classe 4) à toutes les hauteurs considérées. Sur un parcours accidenté, le gain en atténuation réalisable par le siège Recaro CL-1 par rapport au siège conventionnel atteint tout au plus 27% dans les conditions d'ajustement les plus favorables.

Siège rigide

Excitation: classe 1  
Filtre passe-bas 25 Hz

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.158	0.174	0.000	0.00
0.8	0	0.268	0.289	0.000	0.00
1.0	0.5	0.371	0.390	0.186	0.20
1.3	0.559	0.341	0.343	0.191	0.19
1.8	0.632	0.660	0.593	0.417	0.37
2.0	0.707	0.688	0.547	0.486	0.39
2.5	0.791	0.620	0.348	0.490	0.28
3.2	0.887	0.806	0.336	0.715	0.30
4.0	1	0.491	0.344	0.491	0.34
5.0	1	0.278	0.453	0.278	0.45
6.3	1	0.319	0.473	0.319	0.47
8.0	1	0.305	0.701	0.305	0.70
10.0	0.8	0.365	0.922	0.292	0.74
12.5	0.64	0.379	0.989	0.243	0.63
16.0	0.5	0.244	0.780	0.122	0.39
20.0	0.4	0.171	0.864	0.068	0.35
25.0	0.32	0.088	0.633	0.028	0.20
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		1.783	2.427	1.382	1.681
S.E.A.T.		0.73		0.82	

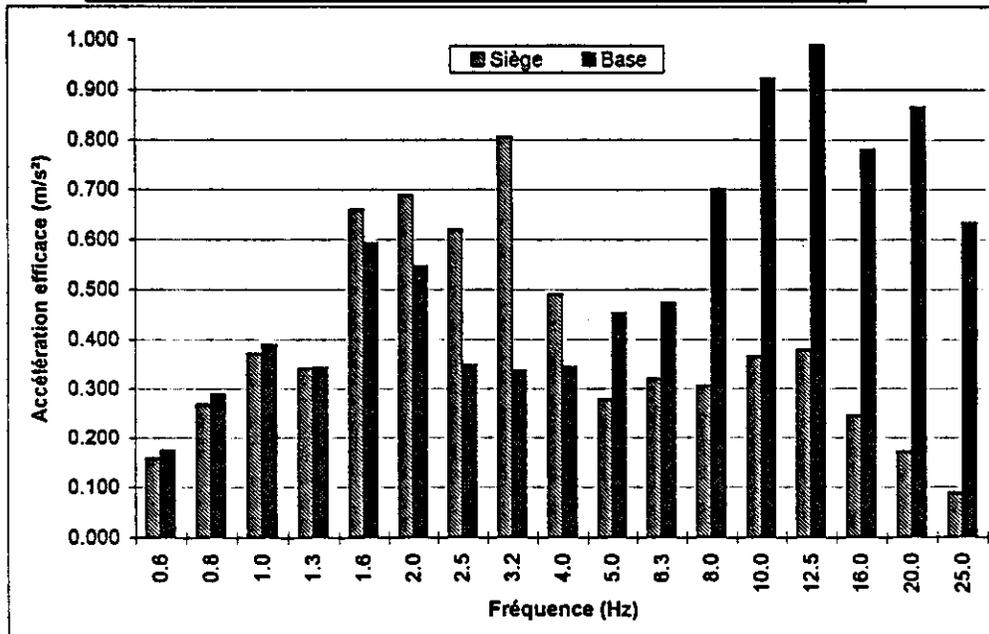


Figure 33 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 1.

Siège rigide

Excitation: classe 2

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.095	0.106	0.000	0.00
0.8	0	0.188	0.201	0.000	0.00
1.0	0.5	0.315	0.334	0.158	0.17
1.3	0.559	0.344	0.356	0.192	0.20
1.6	0.632	0.517	0.478	0.327	0.30
2.0	0.707	0.448	0.368	0.317	0.26
2.5	0.791	0.346	0.212	0.274	0.17
3.2	0.887	0.449	0.201	0.398	0.18
4.0	1	0.343	0.286	0.343	0.29
5.0	1	0.163	0.237	0.163	0.24
6.3	1	0.188	0.359	0.188	0.36
8.0	1	0.192	0.441	0.192	0.44
10.0	0.8	0.240	0.641	0.192	0.51
12.5	0.64	0.209	0.592	0.134	0.38
16.0	0.5	0.085	0.285	0.042	0.14
20.0	0.4	0.030	0.164	0.012	0.07
25.0	0.32	0.009	0.078	0.003	0.02
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		1.173	1.441	0.881	1.086
S.E.A.T.		0.81		0.81	

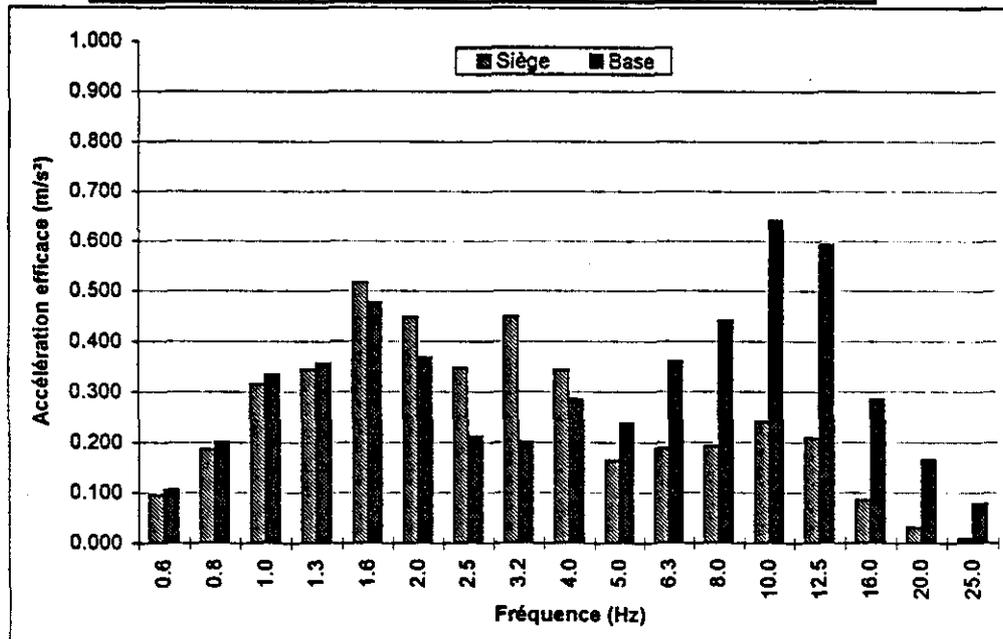


Figure 34 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 2.

Siège rigide

Excitation: classe 3

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.068	0.079	0.000	0.00
0.8	0	0.098	0.111	0.000	0.00
1.0	0.5	0.183	0.204	0.092	0.10
1.3	0.559	0.364	0.380	0.203	0.21
1.6	0.832	0.383	0.384	0.242	0.24
2.0	0.707	0.175	0.154	0.124	0.11
2.5	0.791	0.215	0.152	0.170	0.12
3.2	0.887	0.249	0.128	0.221	0.11
4.0	1	0.220	0.102	0.220	0.10
5.0	1	0.099	0.102	0.099	0.10
6.3	1	0.102	0.167	0.102	0.17
8.0	1	0.143	0.253	0.143	0.25
10.0	0.8	0.142	0.318	0.114	0.25
12.5	0.64	0.118	0.311	0.078	0.20
16.0	0.5	0.039	0.098	0.020	0.05
20.0	0.4	0.019	0.050	0.008	0.02
25.0	0.32	0.005	0.019	0.001	0.01
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		0.769	0.858	0.556	0.810
S.E.A.T.		0.90		0.91	

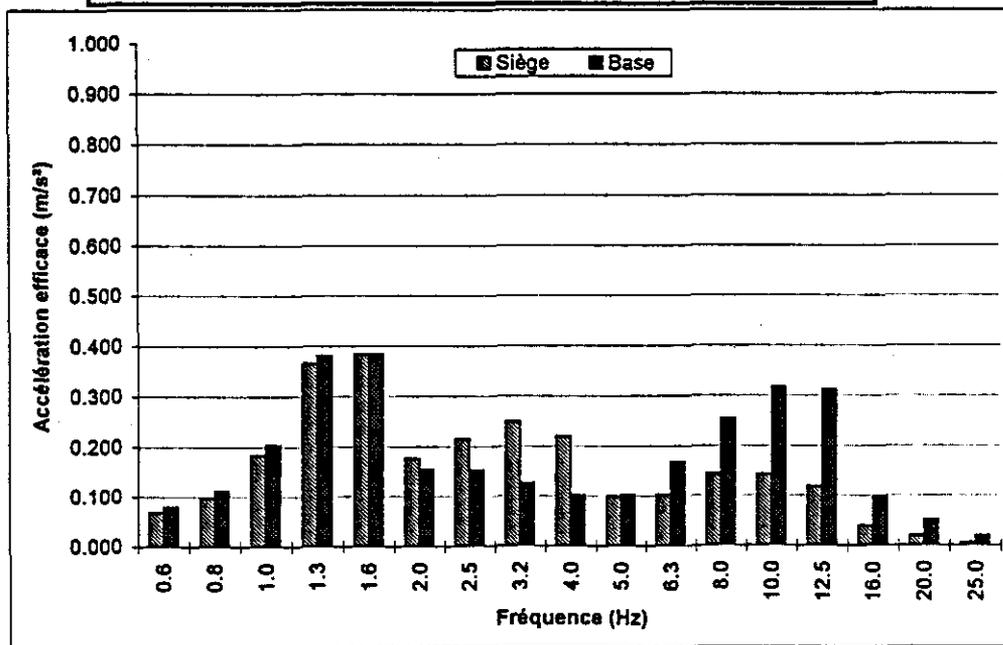


Figure 35 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 3.

Siège rigide

Excitation: classe 4

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.110	0.122	0.000	0.00
0.8	0	0.272	0.295	0.000	0.00
1.0	0.5	0.507	0.543	0.254	0.27
1.3	0.559	0.441	0.453	0.247	0.25
1.6	0.632	0.409	0.383	0.258	0.24
2.0	0.707	0.378	0.291	0.267	0.21
2.5	0.791	0.478	0.267	0.378	0.21
3.2	0.887	0.642	0.281	0.569	0.25
4.0	1	0.413	0.265	0.413	0.27
5.0	1	0.195	0.312	0.195	0.31
6.3	1	0.212	0.342	0.212	0.34
8.0	1	0.219	0.491	0.219	0.49
10.0	0.8	0.238	0.628	0.190	0.50
12.5	0.64	0.198	0.605	0.127	0.39
16.0	0.5	0.101	0.393	0.051	0.20
20.0	0.4	0.034	0.228	0.014	0.09
25.0	0.32	0.008	0.097	0.003	0.03
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		1.377	1.577	1.043	1.149
S.E.A.T.		0.87		0.91	

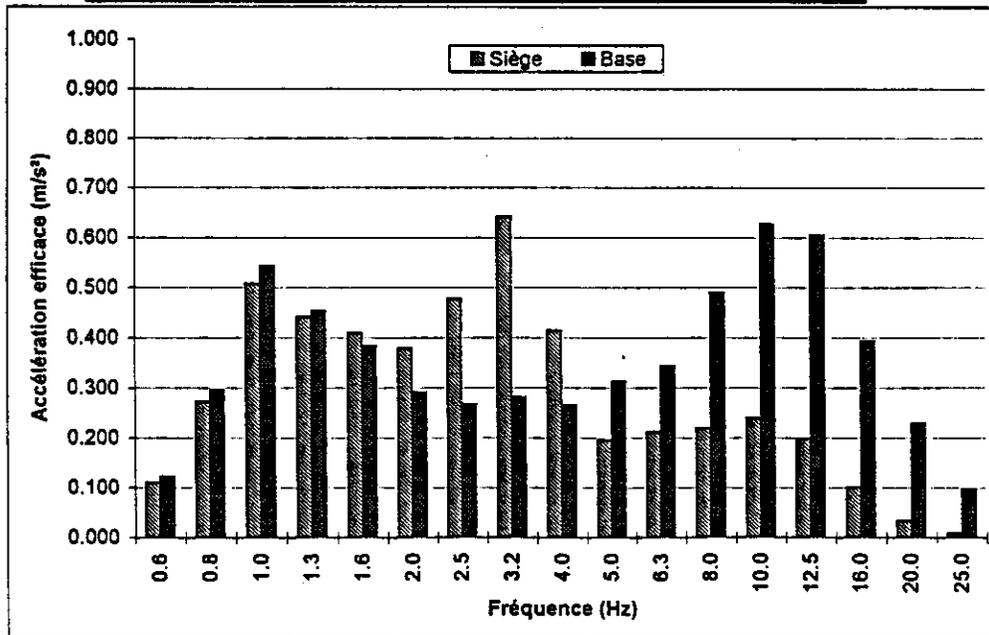


Figure 36 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 4.

Siège rigide

Excitation: classe 5

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.053	0.061	0.000	0.00
0.8	0	0.117	0.132	0.000	0.00
1.0	0.5	0.215	0.236	0.108	0.12
1.3	0.559	0.320	0.340	0.179	0.19
1.6	0.632	0.214	0.214	0.135	0.14
2.0	0.707	0.104	0.092	0.074	0.07
2.5	0.791	0.116	0.085	0.092	0.07
3.2	0.887	0.134	0.068	0.119	0.06
4.0	1	0.123	0.053	0.123	0.05
5.0	1	0.044	0.049	0.044	0.05
6.3	1	0.056	0.102	0.056	0.10
8.0	1	0.096	0.194	0.096	0.19
10.0	0.8	0.146	0.328	0.117	0.26
12.5	0.64	0.093	0.259	0.060	0.17
16.0	0.5	0.029	0.094	0.015	0.05
20.0	0.4	0.009	0.038	0.004	0.02
25.0	0.32	0.003	0.021	0.001	0.01
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		0.560	0.705	0.370	0.482
S.E.A.T.		0.79		0.77	

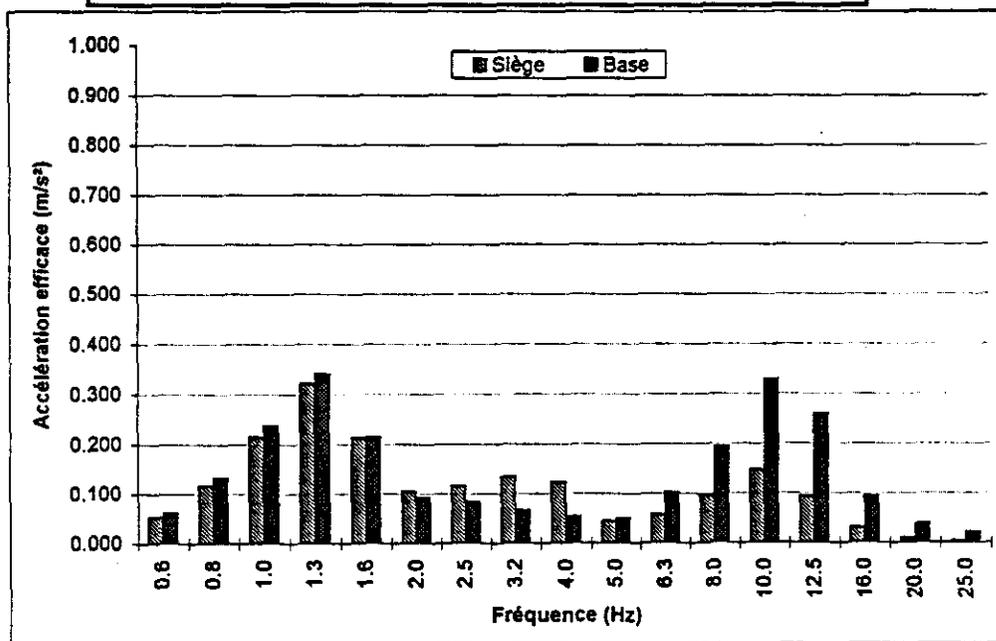


Figure 37 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 5.

Siège rigide

Excitation: classe 6

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.8	0	0.086	0.098	0.000	0.00
0.8	0	0.208	0.227	0.000	0.00
1.0	0.5	0.472	0.503	0.236	0.25
1.3	0.559	0.473	0.491	0.264	0.27
1.6	0.632	0.217	0.199	0.137	0.13
2.0	0.707	0.231	0.185	0.163	0.13
2.5	0.791	0.340	0.175	0.269	0.14
3.2	0.887	0.613	0.321	0.544	0.28
4.0	1	0.335	0.249	0.335	0.25
5.0	1	0.238	0.282	0.238	0.28
6.3	1	0.227	0.337	0.227	0.34
8.0	1	0.285	0.564	0.285	0.56
10.0	0.8	0.226	0.488	0.181	0.39
12.5	0.64	0.137	0.372	0.088	0.24
16.0	0.5	0.070	0.307	0.035	0.15
20.0	0.4	0.025	0.148	0.010	0.06
25.0	0.32	0.008	0.062	0.003	0.02
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		1.211	1.353	0.939	1.040
S.E.A.T.		0.89		0.90	

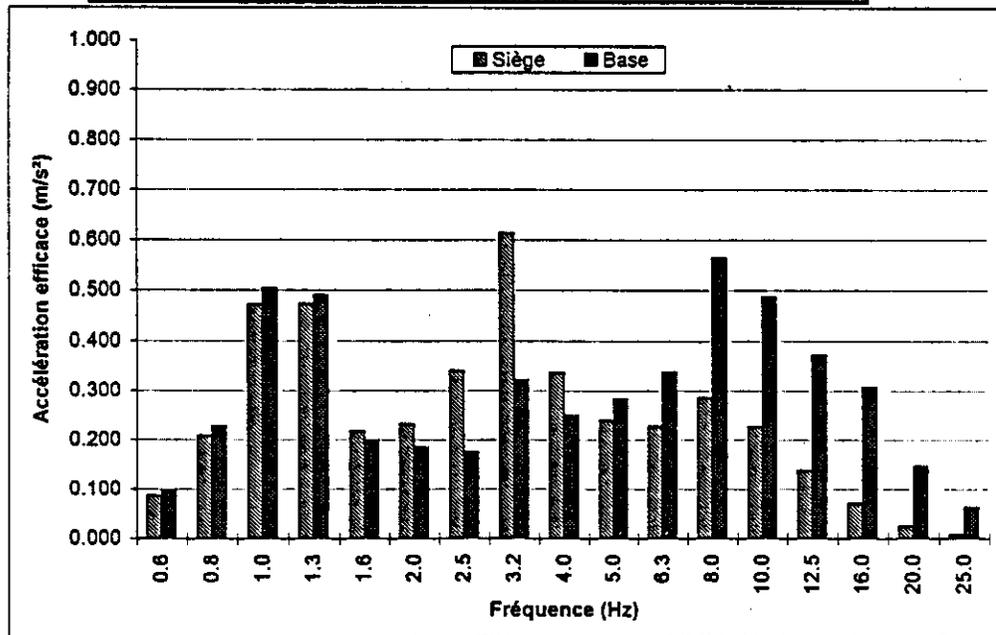


Figure 38 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 6.

Siège rigide

Excitation: classe 7

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.052	0.062	0.000	0.00
0.8	0	0.111	0.129	0.000	0.00
1.0	0.5	0.182	0.206	0.091	0.10
1.3	0.559	0.378	0.399	0.210	0.22
1.6	0.632	0.295	0.301	0.188	0.19
2.0	0.707	0.143	0.134	0.101	0.09
2.5	0.791	0.138	0.102	0.108	0.08
3.2	0.887	0.183	0.093	0.162	0.08
4.0	1	0.211	0.104	0.211	0.10
5.0	1	0.089	0.098	0.089	0.10
6.3	1	0.045	0.076	0.045	0.08
8.0	1	0.110	0.211	0.110	0.21
10.0	0.8	0.078	0.154	0.062	0.12
12.5	0.64	0.037	0.089	0.024	0.06
16.0	0.5	0.024	0.064	0.012	0.03
20.0	0.4	0.010	0.026	0.004	0.01
25.0	0.32	0.002	0.011	0.001	0.00
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		0.651	0.676	0.454	0.457
S.E.A.T.		0.96		0.99	

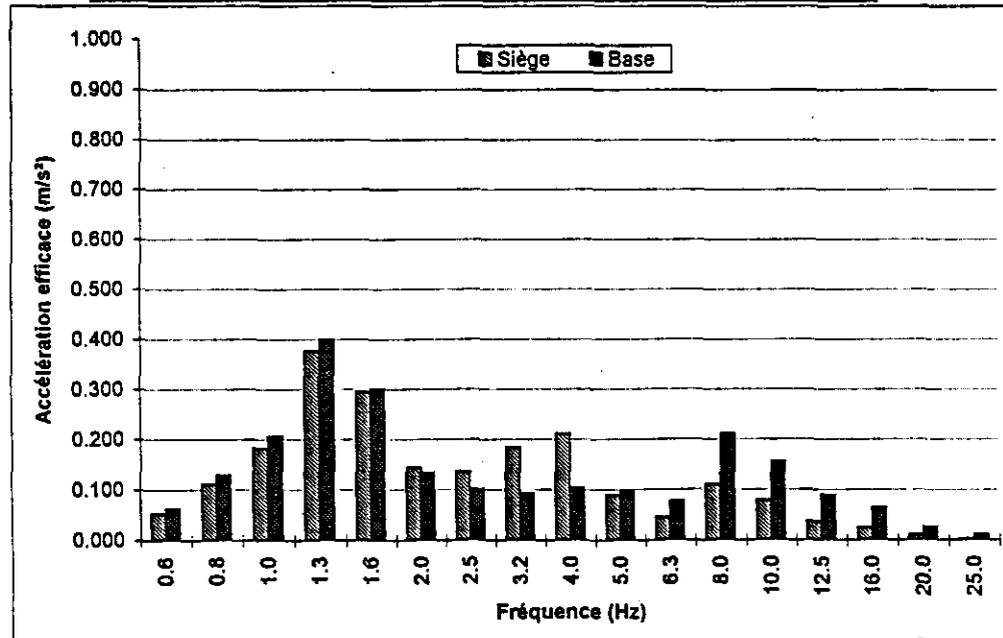


Figure 39 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 7.

Siège rigide

Excitation: classe 8

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.135	0.155	0.000	0.00
0.8	0	0.245	0.275	0.000	0.00
1.0	0.5	0.345	0.371	0.173	0.19
1.3	0.559	0.475	0.491	0.266	0.27
1.6	0.632	0.278	0.268	0.176	0.17
2.0	0.707	0.315	0.257	0.223	0.18
2.5	0.791	0.363	0.229	0.287	0.18
3.2	0.887	0.548	0.241	0.486	0.21
4.0	1	0.350	0.225	0.350	0.23
5.0	1	0.225	0.292	0.225	0.29
6.3	1	0.198	0.249	0.198	0.25
8.0	1	0.153	0.356	0.153	0.36
10.0	0.8	0.157	0.385	0.126	0.31
12.5	0.64	0.146	0.349	0.093	0.22
16.0	0.5	0.067	0.216	0.033	0.11
20.0	0.4	0.021	0.117	0.009	0.05
25.0	0.32	0.007	0.064	0.002	0.02
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		1.148	1.177	0.872	0.857
S.E.A.T.		0.98		1.02	

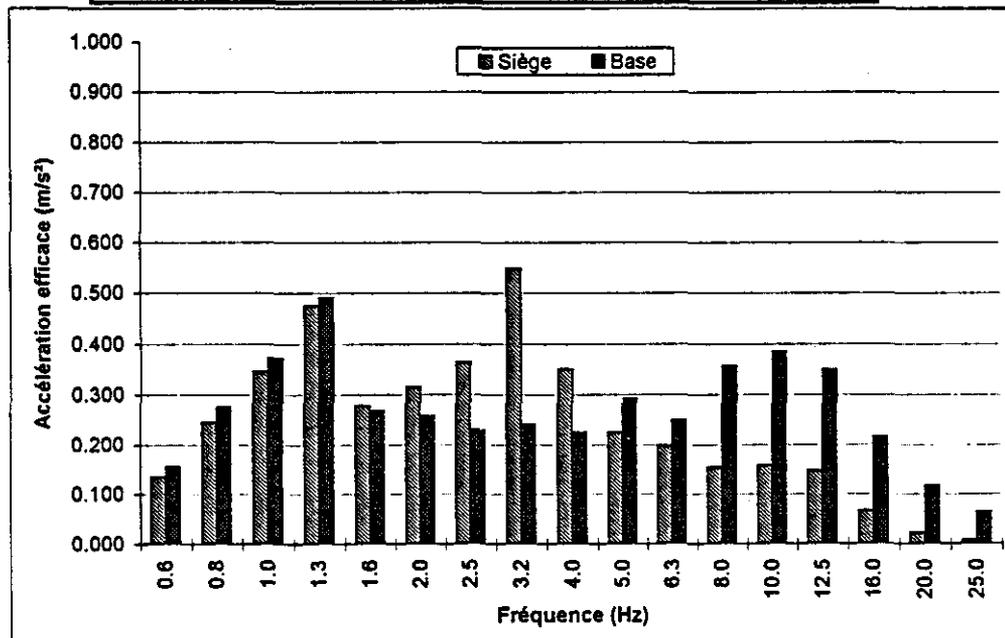


Figure 40 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 8.

Siège rigide

Excitation: classe 9

Fréquence Centrale (Hz)	Facteur de pondération (Wz)	Valeur efficace de l'accélération non pondérée (m/s <sup>2</sup> )		Valeur efficace de l'accélération pondérée (m/s <sup>2</sup> )	
		Siège	Base	Siège	Base
0.6	0	0.068	0.081	0.000	0.00
0.8	0	0.121	0.137	0.000	0.00
1.0	0.5	0.196	0.219	0.098	0.11
1.3	0.559	0.287	0.305	0.160	0.17
1.6	0.632	0.294	0.295	0.186	0.19
2.0	0.707	0.127	0.115	0.090	0.08
2.5	0.791	0.171	0.118	0.135	0.09
3.2	0.887	0.299	0.146	0.265	0.13
4.0	1	0.295	0.144	0.295	0.14
5.0	1	0.106	0.123	0.106	0.12
6.3	1	0.087	0.147	0.087	0.15
8.0	1	0.112	0.193	0.112	0.19
10.0	0.8	0.092	0.201	0.074	0.16
12.5	0.64	0.072	0.177	0.046	0.11
16.0	0.5	0.037	0.085	0.018	0.04
20.0	0.4	0.010	0.028	0.004	0.01
25.0	0.32	0.003	0.014	0.001	0.00
Accélération globale m/s <sup>2</sup>		0.703	0.690	0.541	0.493
S.E.A.T.		1.02		1.10	

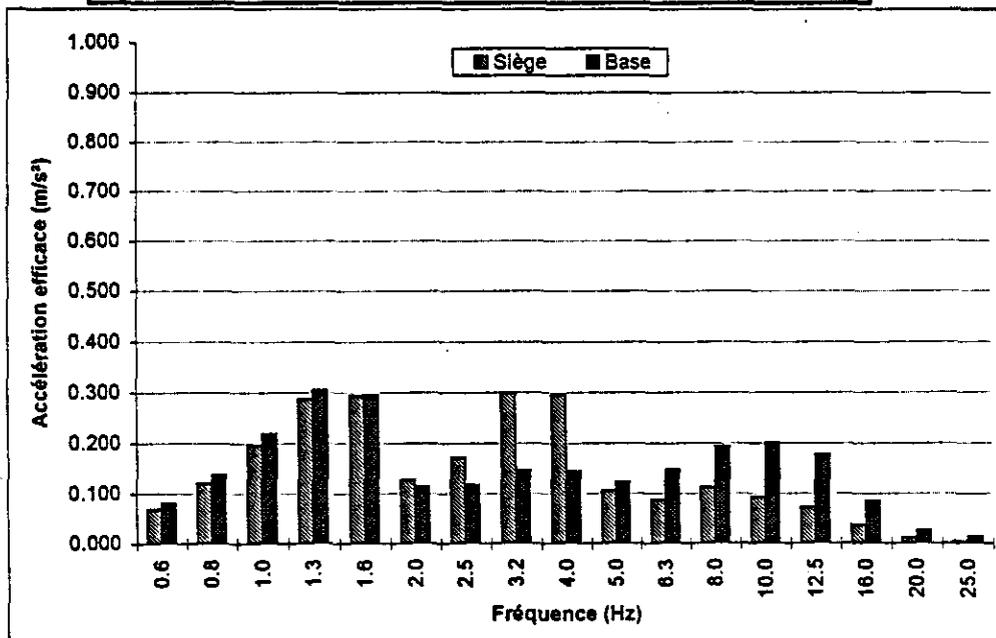


Figure 41 : Caractéristiques spectrales des vibrations mesurées sur un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain et à la base sous la classe spectrale d'excitation 9.

- Pour l'autobus Van Hool, le siège conventionnel est moins efficace que le siège Recaro CL-1 à toutes les positions sur parcours accidenté, mais sensiblement plus efficace sur rues de ville et autoroute en bon état seulement lorsque le siège Recaro CL-1 est ajusté à des positions inférieures à la mi-course. Il faut dire que pour cet autobus se déplaçant sur rues de ville et une autoroute en bon état, les degrés d'efficacité du siège conventionnel et du siège Recaro CL-1 sont à peu près équivalents;
- Pour l'autobus Nova Bus à plancher bas, le siège Recaro CL-1 apparaît comme ayant une performance supérieure sauf lorsque le parcours est accidenté et que la hauteur est ajusté à 50 mm sous la mi-course où les deux sièges ont une performance à peu près équivalente.

Ces résultats indiquent clairement l'importance d'ajuster le siège Recaro CL-1 à une hauteur qui corresponde le plus près possible à la mi-course. En effet, l'efficacité de ce siège apparaît sous plusieurs conditions être inférieure à celle du siège conventionnel non suspendu lorsque l'ajustement en hauteur amène la position du siège à proximité des butées inférieures. Le gain en atténuation réalisable par le siège Recaro CL-1 comparativement au siège conventionnel apparaît tout au plus être de l'ordre de 30% lorsque bien ajusté. De plus l'écart en atténuation réalisable entre les sièges Recaro CL-1 et conventionnel semble être beaucoup plus prononcé sur un parcours accidenté que sur des rues de ville ou une autoroute en bon état. Enfin, puisque le coussin du siège Recaro CL-1 apporte très peu d'atténuation, les résultats présentés dans cette section soulèvent l'importance de consentir des efforts de développement au niveau du coussin pour maximiser l'efficacité des sièges à suspension.

## 8.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les principales conclusions découlant de cette étude sont résumées dans les sous-sections suivantes:

- *Environnement vibratoire propre aux autobus urbains:*
  - 1) Les caractéristiques spectrales (i.e. intensité, fréquences) de l'environnement vibratoire des autobus urbains sont principalement influencées par la configuration de l'autobus lui-même (i.e. modèle, type de suspension) et par la qualité de la surface de roulement et de la vitesse de conduite étant associées au parcours. Des quatre modèles d'autobus considérés, la charge n'est apparue avoir un effet notable que pour l'autobus GM NewLook circulant sur un parcours accidenté, du moins dans les conditions dans lesquelles les essais se sont déroulés dans cette étude.
  - 2) Sur la base de ces résultats, il est apparu que les caractéristiques de l'environnement vibratoire des quatre modèles d'autobus étudiés pouvaient être regroupées selon 9 classes spectrales distinctes définies comme suit:
    - ◇ **Classe 1:** autobus GM NewLook, à vide, sur parcours accidenté à environ 50 km/h;
    - ◇ **Classe 2:** autobus GM NewLook, en charge, sur parcours accidenté à environ 50 km/h;
    - ◇ **Classe 3:** autobus GM NewLook, sur autoroute 132 en bon état ( $\approx$ 100 km/h) et rues de ville ( $\approx$ 50 km/h);
    - ◇ **Classe 4:** autobus GM Classic, sur parcours accidenté à environ 50 km/h);
    - ◇ **Classe 5:** autobus GM Classic, sur autoroute 132 en bon état ( $\approx$ 100 km/h) et rues de ville ( $\approx$ 50 km/h);
    - ◇ **Classe 6:** autobus Van Hool, sur parcours accidenté à environ 50 km/h;
    - ◇ **Classe 7:** autobus Van Hool, sur autoroute 132 en bon état ( $\approx$ 100 km/h) et rues de ville ( $\approx$ 50 km/h);
    - ◇ **Classe 8:** prototype Nova Bus, sur parcours accidenté à environ 50 km/h;
    - ◇ **Classe 9:** prototype Nova Bus, sur autoroute 132 en bon état ( $\approx$ 100 km/h) et rues de ville ( $\approx$ 50 km/h).

- 3) Le niveau d'accélération globale pondérée de l'excitation vibratoire verticale au point de fixation du siège est distinctement beaucoup plus élevé sur parcours accidenté (classes 1, 2, 4, 6, 8) à une vitesse de 50 km/h que sur des rues de ville à 50 km/h ou encore sur une autoroute en bon état à 100 km/h (classes 3, 5, 7, 9).
  - 4) Sur des surfaces de roulement identiques, les niveaux de vibration verticale sont les plus élevés dans l'autobus GM NewLook, et les moins élevés dans le prototype Nova Bus à plancher bas, version février 1996.
  - 5) L'énergie vibratoire des 9 classes spectrales d'excitation vibratoire est concentrée de façon prédominante dans deux plages de fréquences distinctes: 1 à 2 Hz et 8 à 12.6 Hz, les fréquences dominantes exactes variant selon le modèle d'autobus et les conditions d'essais.
- *Transmissibilité verticale du siège Recaro CL-1:*
- 6) Les caractéristiques de transmissibilité verticale (i.e. fréquence de résonance, facteur d'amplification à la résonance, fréquence de coupure, degré d'atténuation au-delà de la fréquence de coupure) du siège Recaro CL-1 varient selon le réglage de course de la suspension (i.e. pleine course, moitié course, blocage), selon le positionnement en hauteur du siège et selon la configuration de la suspension (i.e. 1 ou 2 amortisseurs).
  - 7) La configuration du siège comportant un seul amortisseur semble en effet permettre des caractéristiques de transmissibilité plus intéressantes que celle utilisant deux amortisseurs, puisque la fréquence de résonance et la fréquence de coupure sont plus basses, et le degré d'atténuation est plus grand à des fréquences supérieures à la résonance pour le siège muni d'un seul amortisseur.
  - 8) L'utilisation de la pleine course du siège (i.e. réglage #1) apparaît comme étant à privilégier pour permettre un plus grand degré d'atténuation des vibrations à des fréquences supérieures à la résonance et pour maintenir une amplification minimale à la résonance.
  - 9) L'effet de bloquer la suspension (réglage #3) détériore la performance d'atténuation du siège de façon considérable, le siège agissant plus comme un amplificateur qu'un atténuateur de

vibrations à des fréquences inférieures à 10 Hz. Pour l'utilisation dans les autobus urbains, un tel réglage ne devrait jamais être utilisé.

- 10) La performance d'atténuation du siège Recaro CL-1 peut être largement détériorée lorsque le positionnement en hauteur du siège est effectuée à proximité de la butée inférieure du siège. Pour le siège Recaro CL-1 installé sur une base dont la hauteur est de 102 mm, ce positionnement en hauteur pourrait être favorisé par les chauffeurs de petite taille de 1.68 m ou moins, limitant ainsi leurs chances de bénéficier de la pleine performance du siège qui semble apparaître à proximité de la position mi-course. Ainsi, la performance optimale du siège ne serait peut être atteignable que pour les chauffeurs dont la taille est de 1.83 m et plus pour qui la position mi-course coïnciderait avec le choix de hauteur leur convenant le mieux.
  - 11) Puisque la fréquence de résonance du siège Recaro CL-1 ajusté en position mi-course (réglage #1) est de l'ordre de 2 Hz avec 1 amortisseur, et 3.4 Hz avec deux amortisseurs, il n'apparaît guère possible que ce siège permette d'atténuer les vibrations de la base se retrouvant dans l'une des deux gammes de fréquences prédominantes se situant entre 1 et 2 Hz. Ce siège peut tout au plus transmettre intégralement et même amplifier les vibrations se situant dans cette première gamme de fréquences dominantes, limitant ainsi toute atténuation possible aux vibrations de la base se retrouvant à des fréquences supérieures à la fréquence de résonance du siège, incluant la seconde gamme de fréquences prédominantes entre 8 et 12.6 Hz.
  - 12) Le coussin du siège Recaro CL-1 a une fréquence de résonance qui est sensiblement la même que celle du siège muni de deux amortisseurs. Par contre, l'atténuation des vibrations produite par le coussin seul à des fréquences supérieures à la fréquence de coupure est tout au plus de 20 % tandis qu'elle atteint 60% pour le siège complet. Ainsi, toute atténuation des vibrations apportée par le siège doit être due principalement à la suspension du siège, et non au coussin.
- *Performance du siège Recaro CL-1 dans un environnement vibratoire typique aux autobus urbains:*
- 13) Le siège Recaro CL-1 produit une certaine atténuation des vibrations dans les autobus urbains, le facteur SEAT étant le plus souvent inférieur à 1.0, sauf lorsque le positionnement en hauteur

est près des butées inférieures. Le siège agit réellement en amplifiant les vibrations de la base aux fréquences inférieures à 3.2 Hz et en atténuant les vibrations aux fréquences supérieures.

- 14) Dans un environnement vibratoire propre aux autobus urbains, l'utilisation d'un seul amortisseur dans la conception du siège Recaro CL-1 peut mener à un gain en performance atteignant 10% comparativement à la configuration impliquant deux amortisseurs.
- 15) L'efficacité du siège Recaro CL-1 paraît être supérieure pour les positions en hauteur correspondant à la mi-course ainsi que 25 mm au-dessus de la mi-course et lorsque les autobus se déplacent sur un parcours accidenté (classes 1, 2, 4, 6, 8). Par ailleurs, la performance la moins bonne du siège est enregistrée en position minimale à proximité des butées inférieures et pour les classes d'excitation associées au transport sur une autoroute en bon état à 100 km/h et sur des rues de ville à 50 km/h (classes 3, 5, 7, 9). Ainsi pour être le plus efficace, le siège requiert que l'excitation vibratoire soit suffisamment intense pour produire les déplacements requis pour dissiper l'énergie vibratoire. De plus, le positionnement en hauteur doit permettre un certain débattement de la suspension sans toutefois favoriser des impacts contre les butées servant à limiter la course.
- 16) L'effet de varier la hauteur du siège entre la position minimale et maximale peut faire modifier le facteur SEAT de 40% entre sa valeur la plus faible et la plus élevée. La performance maximale du siège observée en positions centrale et supérieure serait accessible seulement aux conducteurs dont la taille est 1.83 m et plus en maintenant la hauteur de la base de fixation à 102 mm comme c'est le cas actuellement.
- 17) Dans la meilleure des situations, le siège Recaro CL-1 permettrait d'atténuer de 40% les vibrations de la base, dépendant de sa configuration et de sa position en hauteur sous les classes d'excitation applicables aux autobus urbains. Dans la pire des situations, l'amplification serait de 6%.
- 18) Sur un parcours accidenté, l'efficacité du siège Recaro CL-1 ajusté à mi-course est la meilleure dans l'autobus Van Hool (classe 6) et la moins bonne dans le prototype Nova Bus à plancher bas (classe 8). Sur un parcours impliquant des rues de ville et une autoroute en bon état, la

performance du siège la meilleure est dans l'autobus GM Classic (classe 5), et la moins bonne dans l'autobus Van Hool (classe 7).

- 19) Le coussin du siège Recaro CL-1 n'apporte aucune atténuation réelle des vibrations dont les caractéristiques se rapportent à l'environnement vibratoire des autobus urbains. À la limite, il les transmet intégralement et les amplifie même légèrement. La suspension du siège est donc à elle seule responsable de l'atténuation notée pour le siège Recaro CL-1.
- *Critères de performance établissant la conformité des sièges pour autobus urbains:*
- 20) Basé sur la nécessité d'assurer un niveau d'exposition aux vibrations inférieur au niveau limite établi dans les normes traitant de l'exposition aux vibrations globales du corps, les valeurs maximales de SEAT acceptables sous chacune des classes spectrales d'excitation vibratoire propre aux autobus urbains sont établies comme suit: 0.5 pour la classe 1, 0.6 pour les classes 2 et 6, 0.7 pour la classe 4, 0.8 pour la classe 8, 1.0 pour la classe 3, et 1.2 pour les classes 5, 7 et 9.
- *Application des critères de performance au siège Recaro CL-1 et au siège conventionnel d'autobus urbain:*
- 21) Sur un parcours accidenté, le siège Recaro CL-1 satisferait aux critères de conformité seulement dans les autobus GM Classic, Van Hool et Prototype Nova Bus pour un siège muni d'un seul amortisseur lorsque le réglage en hauteur est à proximité de la mi-course. Ce serait aussi le cas du siège Recaro CL-1 muni de deux amortisseurs, seulement dans l'autobus GM Classic. Par contre, le siège conventionnel dépourvu de suspension ne satisferait pas aux exigences établies sur un parcours accidenté.
- 22) Sur un parcours incluant des rues de ville et une autoroute en bon état, le siège Recaro CL-1 muni de un et de deux amortisseurs satisfait aux critères de conformité. Il en est de même pour le siège conventionnel dépourvu de suspension.

- ***Efficacité d'atténuation des vibrations par un siège conventionnel non suspendu:***
- 23) La fréquence de coupure d'un siège conventionnel non suspendu d'autobus urbain est établi à 4 Hz, au-delà de laquelle un degré d'atténuation des vibrations de l'ordre de 60% est réalisable, tout comme pour le siège Recaro CL-1 ajusté à mi-course. Comme pour le siège Recaro CL-1, le siège conventionnel non suspendu ne permet pas d'atténuer les vibrations d'autobus urbains qui sont dominantes entre 1 et 2 Hz; par contre celles se situant entre 8 et 12.6 Hz peuvent être atténuées par ce siège.
  - 24) Dans un environnement vibratoire propre aux autobus urbains, l'efficacité d'atténuation du siège conventionnel pourrait être supérieure à celle du siège Recaro CL-1, principalement lorsque ce dernier est ajusté à une hauteur nettement inférieure à la position mi-course. Cependant, pour l'autobus GM Classic se déplaçant sur des rues de ville et une autoroute en bon état, le siège conventionnel est apparu être sensiblement plus avantageux que le siège Recaro CL-1, indépendamment de l'ajustement en hauteur. Ainsi donc le rôle d'atténuation d'un coussin de siège peut, sous certaines conditions, être tout aussi important que celui d'une suspension lorsque ses propriétés viscoélastiques sont appropriées.
  - 25) Dans les conditions les plus avantageuses, le siège Recaro CL-1 procure un gain en atténuation atteignant près de 30% de plus qu'un siège conventionnel non suspendu. Lorsque le siège Recaro CL-1 (configurations 1 et 2 amortisseurs) est ajusté à mi-course, le degré d'atténuation du siège est supérieur à celui d'un siège conventionnel non suspendu sous toutes les classes d'excitation vibratoire propre aux autobus urbains, à l'exception de la classe 5 (i.e autobus GM Classic).

Basé sur ces résultats, les recommandations suivantes sont faites:

- 1) Le siège Recaro CL-1 devrait préférablement comporter un seul amortisseur.
- 2) Seul le réglage #1 favorisant la pleine course du siège devrait être accessible pour le siège Recaro CL-1 utilisé dans les autobus urbains.

- 3) La position en hauteur du siège à privilégier devrait correspondre le plus près possible à la mi-course. Pour le siège Recaro CL-1, un indicateur devrait possiblement être incorporé au siège afin d'identifier cette position. Alternativement, un mécanisme d'ajustement automatique à mi-course pourrait être considéré dans le développement du siège. Enfin, la hauteur de la base de fixation du siège devrait être révisée en fonction de la préférence d'ajustement des chauffeurs et de leur taille afin de permettre à la plus grande proportion de chauffeurs de bénéficier de la pleine performance du siège Recaro CL-1 qui apparaît en position mi-course. De plus, un tel ajustement permettrait vraisemblablement de réduire les risques d'impact avec les butées, qui constitue un problème fréquemment rapporté par les chauffeurs.
- 4) Compte tenu du rôle important que peut jouer le coussin du siège dans l'atténuation des vibrations, une attention tout aussi importante devrait être portée au choix du coussin que des éléments de la suspension dans le développement de sièges. À cet égard, tout indique que le remplacement du coussin du siège Recaro CL-1 par un coussin plus performant serait susceptible de faire augmenter le degré d'atténuation du siège.
- 5) Dans la mesure du possible, des recherches devraient se poursuivre pour tenter d'identifier des sièges susceptibles de rencontrer les critères de performance établis dans cette étude, pour le plus grand nombre de classes spectrales, principalement celles associées à un parcours accidenté. À la rigueur, d'autres types de sièges à suspension ou même de coussins de sièges devraient être étudiés pour évaluer leur degré de performance comparativement à celui du siège Recaro CL-1 dans des classes d'environnement vibratoire propre aux autobus urbains. Idéalement, la conception des sièges à suspension devrait être telle à ne pas modifier les caractéristiques d'atténuation du siège lorsque la position en hauteur est changée. Ceci implique un ajustement en hauteur indépendant de la suspension elle-même, ce qui est actuellement disponible sur certains sièges.
- 6) Il n'apparaît pas vraisemblable qu'un siège à suspension passive puisse permettre d'atténuer les vibrations d'autobus urbains qui sont dominantes aux fréquences comprises entre 1 et 2 Hz sans engendrer des déplacements verticaux considérables et des risques de heurts avec les butées. Tout au plus, ces sièges permettent d'atténuer les vibrations dominantes des véhicules se retrouvant à des fréquences variant entre 8 et 12.6 Hz. Sur cette base, et pour éliminer le

problème associé aux impacts avec les butées, il apparaîtrait intéressant de considérer une analyse de sièges ne comportant pas nécessairement une suspension, mais plutôt constitués simplement de mousse viscoélastique dont les caractéristiques auraient été choisies de façon à afficher une fréquence de résonance faible tout en provoquant un minimum d'amplification à la résonance du coussin et un maximum d'atténuation au-delà de cette fréquence de résonance.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bongers, P., and Boshuizen, H. "*Back Disorders and Whole-Body Vibration at Work*", Ph.D. Thesis, University of Amsterdam, The Netherlands, (1990), 317pp.
- [2] Sandover, J. "*Behaviour of the Spine under Shock and Vibration: A Review*", *Clin. Biomech.*, Vol.3, (1988), 249-256.
- [3] International Standard ISO 2631/1. "*Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration-Part 1: General Requirements*", First edition, (1985), 17pp.
- [4] International Standard ISO 7096. "*Earth-Moving Machinery - Operator Seat - Transmitted Vibration*", First edition, (1982), 14pp.
- [5] Danière, P., Boulanger, P., Donati, P., Galmiche, J.P. "*Environnement acoustique et vibratoire aux postes de conduite de chariots élévateurs*", Cahiers de notes documentaires, INRS, no 148, (1992), 345-358.
- [6] Boulanger, P., Donati, P., Galmiche, J.P., Christ, E., Laulbars, U. "*L'environnement vibratoire au poste de conduite des camions*", Cahiers de notes documentaires, INRS, no 146, (1992), 35-42.
- [7] Le Borgne, D., Simoneau, S. "*Conception ergonomique du poste de chauffeur d'autobus à la STCUM - Phase III: Essais d'évaluation - Rapport final*", Étude/Bilan de connaissances, IRSST, (1988), 121pp.
- [8] Norme française NF 90-401-2. "*Vibrations et chocs mécaniques. Évaluation de l'exposition des individus aux vibrations globales du corps. Risques pour la santé*", Paris-La Défense, AFNOR, (1990), 7pp.
- [9] ISO/DIS 2631-1.2. "*Mechanical vibration and shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Requirements*", International Organization for Standardization, (1995), 33pp.