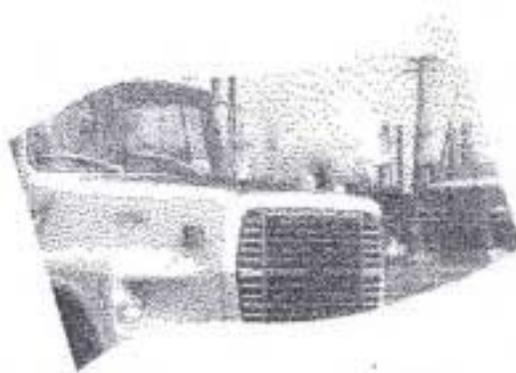


**Évaluation de l'exposition
à des vibrations appliquées
au corps entier
lors de la conduite
de camions-citernes**



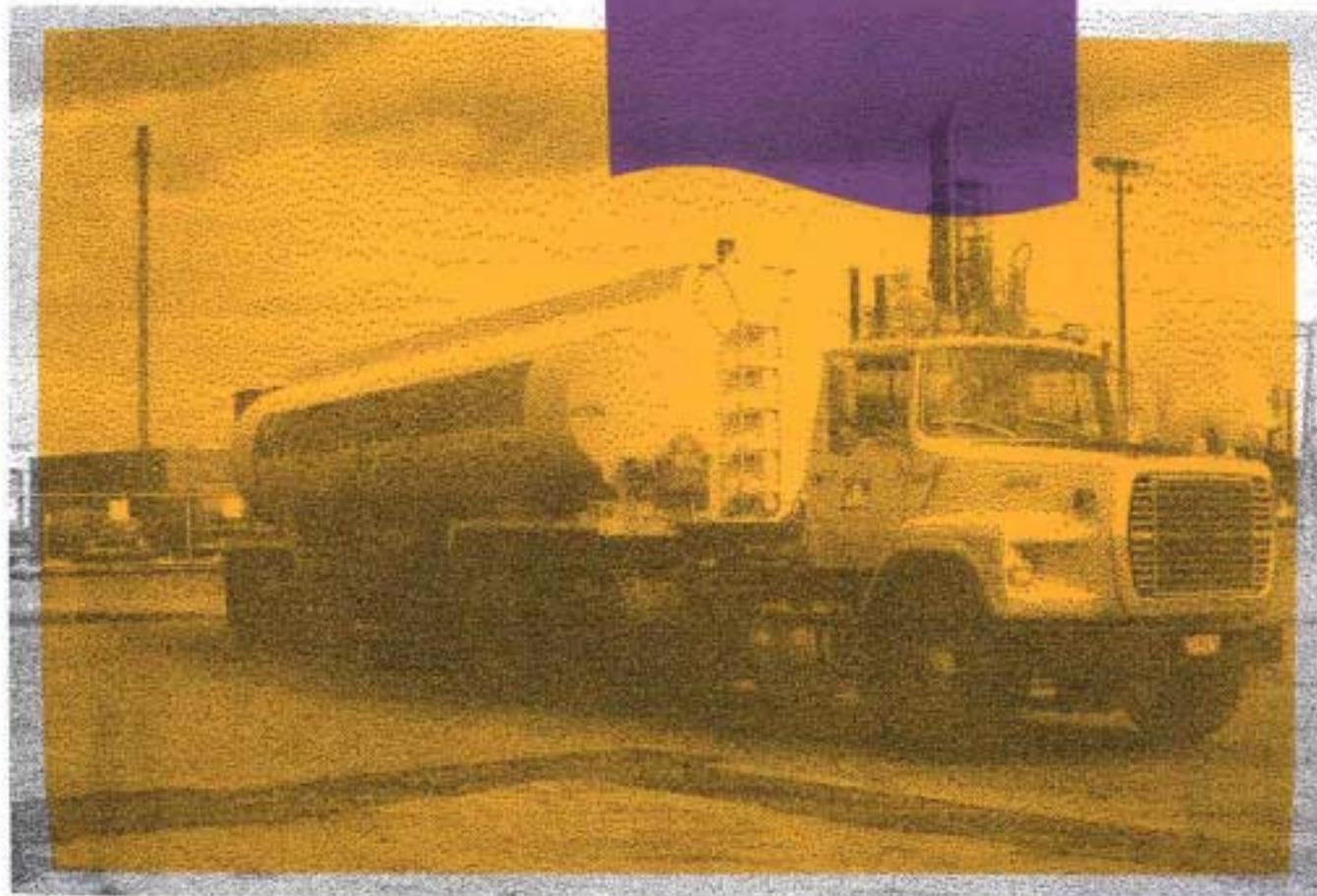
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Paul-Émile Boileau
Henri Scory

Octobre 1988

R-027

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
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Évaluation de l'exposition
à des vibrations appliquées
au corps entier
lors de la conduite
de camions-citernes**

Paul-Émile Boileau et Henri Scoru
Programme sécurité-ingénierie, IRSST



RAPPORT

Évaluation de l'exposition à des vibrations appliquées au corps entier lors de la conduite de camions- citernes

Facteur de risque:

L'exposition aux vibrations appliquées au corps entier.

Groupe de travailleurs concerné:

Les conducteurs de camions-citernes.

1.0 INTRODUCTION

Les niveaux d'exposition aux vibrations globales du corps associés à la conduite de véhicules poids lourds, peuvent être de l'ordre de 9 à 16 fois les niveaux de vibrations dans les automobiles¹. Évidemment, les caractéristiques des vibrations transmises au conducteur, que ce soit leur intensité, leur fréquence et leur direction, dépendent de plusieurs facteurs, notamment des caractéristiques du véhicule, de la vitesse de conduite, des conditions routières et du siège qui sert de liaison entre le conducteur et le véhicule.

Les effets potentiels des vibrations globales du corps sur l'intégrité des individus sont bien documentés dans la littérature et incluent une réduction du confort et de la capacité de travail tout en représentant une atteinte à la santé des travailleurs exposés². Les études épidémiologiques indiquent à ce niveau un risque plus élevé de développer une pathologie lombaire plus l'exposition à des vibrations globales du corps est grande^{3,4,5}.

Il est bien connu que les conducteurs de camions peuvent être appelés à effectuer de longs trajets nécessitant souvent plus de 10 heures de conduite au cours de la journée. Il est donc important, compte tenu de ces périodes d'exposition prolongées, d'assurer au conducteur un poste de conduite qui soit conçu en vue de minimiser la contrainte vibratoire engendrée principalement par l'interaction des pneus avec la surface routière.

Cette diminution des niveaux de vibration doit tenir compte de plusieurs facteurs dont la suspension primaire du véhicule, la charge transportée et la suspension du siège qui influent sur l'intensité et la fréquence des vibrations transmises au conducteur. L'atténuation des vibrations

Toutes les références sont inscrites à la page 4 du présent document.

dont les fréquences sont dominantes dans les véhicules lourds (moins de 5 Hz) requiert que la suspension du véhicule et du siège soient relativement souples, ce qui tend à affecter la stabilité du véhicule et du conducteur par rapport au véhicule. Pour cette raison, l'atténuation des vibrations ne peut être rendue possible que jusqu'à une certaine limite.

Cependant, le type de suspension du véhicule et le siège lui-même peuvent être choisis de façon à minimiser le transfert de vibrations au conducteur. De façon générale, l'absorption des vibrations peut être effectuée au moyen d'éléments mécaniques (lames, ressorts hélicoïdaux, caoutchouc) ou pneumatiques (ressorts à air) en conjonction avec un amortisseur. L'avantage à utiliser l'un des systèmes par rapport à l'autre ne peut être appréciée sans que la charge transportée ne soit prise en considération. C'est pourquoi, il s'avère nécessaire d'évaluer les systèmes directement en milieu de travail lorsque l'on veut sélectionner les éléments qui sont les plus susceptibles de réduire l'exposition aux vibrations.

Dans cette étude, on présente les résultats de mesures de vibrations effectuées sur trois différents modèles de camion-citerne dans lesquels deux différents modèles de siège à suspension pneumatique ont été installés. Ces résultats sont utilisés afin d'évaluer, pour chacune des combinaisons camion/siège, le degré de sévérité de l'exposition par rapport à la norme ISO 2631/1⁶ et pour déterminer laquelle des combinaisons camion/siège peut permettre une durée d'exposition prolongée, dans des conditions d'opération semblables. Enfin, l'effet de la charge transportée sur les niveaux de vibration est également évaluée.

2.0 CARACTÉRISTIQUES DES CAMIONS ET DES SIÈGES

Les caractéristiques principales des camions utilisés pour les essais apparaissent dans le tableau 1. Pour chacun des camions, la même citerne est utilisée. Les camions A et B sont identiques, à l'exception de la suspension primaire du véhicule qui, dans un cas est pneumatique (camion A), dans l'autre, mécanique (camion B). Le camion C se distingue quant à lui par son moteur (Cummins 350) qui diffère du moteur Caterpillar 350 utilisé dans les deux autres.

Les deux sièges à suspension pneumatique comportent un réglage pour l'ajuster selon le poids du conducteur. De plus, un isolateur horizontal (direction avant-arrière) procure une certaine atténuation des vibrations dans cette direction. Le mécanisme de suspension verticale est situé sous le siège et comporte un ressort pneumatique ainsi qu'un cylindre hydraulique pour procurer l'amortissement. La cinématique du siège A consiste en un parallélogramme tandis que celle du siège B est à ciseaux, tel qu'illustré dans la figure 1. La cinématique est en fait un dispositif de guidage qui permet le

débattement du siège par rapport à ses points de fixation. De cette façon, le déplacement du siège est maintenu principalement en direction verticale. De plus, la cinématique intervient dans la dynamique du siège en ajoutant une raideur aux éléments de ressort.

Les deux sièges diffèrent également du point de vue de la sellerie et des dimensions du dossier et du coussin. Bien que ces facteurs puissent avoir une influence directe sur le confort ressenti par le conducteur, ce sont avant tout les caractéristiques de la suspension du siège qui déterminent l'habileté de celui-ci, à minimiser l'exposition aux vibrations, pouvant être considérées les plus nocives pour le corps humain. La suspension doit donc être proprement adaptée au type de vibration pouvant se retrouver dans le véhicule.

Dans le cas contraire, le siège pourrait même amplifier les vibrations de fréquences auxquelles le corps humain est le plus susceptible de réagir. C'est pourquoi la transmissibilité verticale du siège (rapport du niveau de vibration verticale mesuré à l'interface siège/conducteur à celui mesuré au plancher de la cabine) doit être obtenue en fonction de la fréquence des vibrations afin de juger du degré d'efficacité du siège pour réduire les vibrations. Numériquement, ceci se traduit par une transmissibilité qui devrait idéalement être maintenue inférieure à 1.0, lorsqu'exprimée en scalaire, ou 100% lorsqu'elle est exprimée en pourcentage.

3.0 MÉTHODOLOGIE

3.1 Déroulement des mesures

Dans chacun des trois camions-citernes utilisés dans l'étude, deux différents modèles de siège sont mis à l'essai, ce qui constitue six combinaisons camion/siège. À l'exception des essais avec le camion C, toutes les mesures sont effectuées sur un parcours de route bien défini entre la raffinerie Petro-Canada dans l'est de Montréal et Saint-Jean-sur-Richelieu. Ce trajet est effectué alors que la citerne est à pleine charge. Le parcours de retour est effectué lorsque la citerne est à vide. Le long du parcours, certaines portions de route sont identifiées pendant lesquelles les signaux vibratoires sont actuellement enregistrés. Le trajet comporte des sections d'autoroute ainsi que des rues de ville. Les segments de route utilisés sont identifiés dans le tableau 2 pour le parcours-aller (segments 1 à 6, pleine charge) et pour le parcours-retour (segments 7 à 12, à vide). Dans le cas des essais avec le camion C, un parcours différent est utilisé; les résultats obtenus ne peuvent donc pas être comparés avec ceux obtenus pour les deux autres camions.

Afin de maintenir le plus d'uniformité entre les mesures, le même conducteur et la même citerne sont utilisés pendant les essais, avec chacune des combinaisons camion/siège. De plus, les mêmes parcours de route

sont utilisés (à l'exception du camion C) lorsque le camion est à pleine charge (35000-39000 L d'essence) et lorsqu'il est à vide.

3.2 La mesure et l'analyse des vibrations

Pour chacune des combinaisons camion/siège, les mesures sont effectuées à l'interface siège/conducteur dans chacune des directions x (avant-arrière), y (latérale) et z (verticale). De plus, une mesure est effectuée en direction verticale au plancher de la cabine, directement sous le siège. Ceci permet d'évaluer la transmissibilité du siège (et du conducteur) en direction verticale.

Une accéléromètre piézoélectrique triaxial (B & K 4321) sert de capteur au niveau du siège, tandis qu'un accéléromètre uniaxial (B & K 4381) fixé à un aimant sert de capteur au niveau du plancher. Les mesures de vibrations sont effectuées en accord avec la norme ISO 2631/1, dans la gamme de fréquences 1 à 80 Hz. Un système de télémessure comportant quatre canaux est utilisé pour transporter les signaux vibratoires du camion à un laboratoire mobile (camionnette), ce déplaçant à proximité du camion-citerne. De cette façon, tous les signaux sont enregistrés sur ruban magnétique pour une analyse ultérieure. La figure 2 illustre le système de mesure et d'acquisition des données.

L'analyse consiste à obtenir, pour chacun des canaux de mesure relié au siège, le spectre en fréquences des vibrations dans la gamme 1-80 Hz et de comparer les niveaux mesurés avec la limite proposée dans la norme ISO 2631/1 pour la «capacité réduite par fatigue»⁶. Cette limite est choisie puisqu'elle représente les niveaux vibratoires qui pourraient susciter une fatigue accrue, autant physique que mentale, représentant ainsi un risque de sécurité, particulièrement pour un conducteur qui doit maintenir beaucoup de vigilance au volant. De plus, cette limite constitue le meilleur guide à utiliser puisqu'il n'existe pas encore une relation cause-effet, qui soit en mesure d'établir un lien direct entre l'exposition aux vibrations appliquées au corps entier et des pathologies spécifiques.

Le niveau vibratoire mesuré à la fréquence dominante du spectre (une fois pondéré en fréquence pour tenir compte de la variation de la sensibilité des individus en fonction de la fréquence) est utilisé pour juger de la sévérité de l'exposition, par rapport à la limite prescrite. Comme la durée d'exposition effective peut varier de jour en jour (différents parcours, état de la circulation différente, variations des conditions climatiques, etc.), la limite proposée est utilisée afin d'estimer la durée d'exposition quotidienne qui serait permise, compte tenu du niveau de vibration mesuré, pour ne pas dépasser la limite à la capacité réduite par fatigue. Ceci est effectué, dans un premier temps, pour chacun des segments du parcours. Enfin, les segments sont combinés afin d'estimer quel serait le temps d'exposition permis, si

chaque journée de travail était représenté par les niveaux de vibrations mesurés lors du trajet à pleine charge, lors du trajet à vide et lors du parcours aller-retour. La procédure utilisée est celle définie dans la norme ISO 2631/1 (section 4.4.3) pour estimer un temps d'exposition équivalent lorsque l'exposition quotidienne est caractérisée par des vibrations de différents niveaux réparties sur plusieurs temps partiels d'exposition.

Les résultats sont finalement utilisés afin d'identifier lequel parmi les sièges, les camions et les combinaisons siège/camion peut permettre une durée d'exposition maximale, tout en respectant les limites de la norme ISO 2631/1.

4.0 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Analyse par segments individuels

Le tableau 3 présente les résultats des mesures de vibration effectuées pour la combinaison camion A/siège A. L'analyse des vibrations mesurées au niveau du siège dans les trois directions x, y et z, démontre que les vibrations en direction verticale sont généralement prédominantes; la durée d'exposition permise pour ne pas dépasser la limite à la capacité réduite par fatigue étant généralement inférieure à 10 heures par jour. Dans les autres directions, la durée permise est généralement supérieure à 10 heures, selon l'axe x et 20 heures selon l'axe y. Ces résultats sont sensiblement les mêmes pour les autres combinaisons camion/siège et démontrent l'importance à accorder aux vibrations verticales, qui sont prédominantes. Ce sont d'ailleurs les résultats obtenus à partir des vibrations verticales qui sont retenus comme indicateurs de l'efficacité d'un système d'amortissement (siège/camion) par rapport à un autre.

Les figures 3 et 4 illustrent graphiquement les résultats des mesures effectuées sur chacun des camions A et B, pour chacun des 12 segments de route, lorsque le camion est à pleine charge et à vide. Une comparaison est alors faite, à chaque segment, de la durée d'exposition permise, lorsque le camion est muni du siège A par rapport au siège B.

À quelques exceptions près, pour l'ensemble des segments, le siège B procure la durée d'exposition la plus longue, autant avec le camion A qu'avec le camion B. De plus, une comparaison entre des segments de route identiques, lorsque le camion est à pleine charge et lorsqu'il est à vide, indique que le camion A a tendance à procurer un temps d'exposition plus élevé, lorsque le camion est à vide que lorsqu'il est à pleine charge (ie. niveau de vibration moins élevé à vide qu'à pleine charge). Le contraire semble se produire pour le camion B (suspension mécanique) pour lequel les niveaux d'exposition sont les plus élevés lorsque le camion est à vide. Ce type de comportement est explicable du fait qu'une suspension mécanique primaire du véhicule doit,

pour être efficace, avoir une certaine pré-contrainte qui, dans le cas à l'étude, serait fournie par le poids de l'essence dans la citerne. La suspension pneumatique a, quant à elle, l'avantage de s'ajuster selon le poids qu'elle a à supporter.

4.2 Analyse par combinaison des segments

Comme il y a, au cours de la journée de travail, plusieurs périodes d'exposition aux vibrations dont la durée et l'intensité peuvent varier, une moyenne de l'énergie vibratoire s'impose afin de mieux caractériser l'exposition vibratoire quotidienne réelle. Les figures 5, 6, 7 et 8 présentent les spectres en fréquence obtenus en combinant, pour chacune des combinaisons camion/siège, les segments pour lesquels la citerne est à vide et à pleine charge. Le niveau global d'accélération pondérée est présenté près de chaque courbe, indiquant l'énergie vibratoire pondérée, cumulée entre 1 et 80 Hz. La fréquence dominante du spectre pondéré est également indiquée en pointillé sur les figures.

L'analyse de ces spectres mène aux mêmes résultats que ceux obtenus en utilisant l'analyse par segments, notamment: 1) que le siège B mène à une dose d'exposition aux vibrations moins grande que le siège A; et 2) que les niveaux d'exposition aux vibrations sont moins élevés à vide qu'à pleine charge pour le camion A, tandis que le contraire se produit pour le camion B.

L'interprétation de ces résultats, par rapport à la limite à la capacité réduite par fatigue de la norme ISO 2631/1, apparaît dans le tableau 4 pour chacune des six combinaisons camion/siège, où la durée permise d'exposition quotidienne est indiquée, basée sur la combinaison des segments de vibrations lorsque la citerne est à vide et à pleine charge et lorsque les deux trajets (ie. aller-retour) sont pris en considération. On y observe que pour un même camion, c'est toujours le siège B qui procure la plus longue durée d'exposition sans excéder la limite prescrite. Ce siège peut ainsi permettre une durée d'exposition atteignant 1.8 fois la durée permise avec le siège A. De plus, on y remarque que la meilleure combinaison camion/siège pour réduire l'exposition aux vibrations appliquées au corps entier, parmi les combinaisons étudiées, est le camion A utilisé en conjonction avec le siège B. D'après les résultats, un peu plus de 12 heures d'exposition quotidienne pourraient être permises avec une telle combinaison. De façon générale, la limite proposée pour 8 heures d'exposition quotidienne ne peut être respectée pour 3 des 6 combinaisons camion/siège étudiées.

Les courbes de transmissibilité du système composé du siège et du conducteur sont présentées dans les figures 9, 10 et 11, pour les camions A, B et C, munis des sièges A et B. Ces courbes indiquent encore une fois clairement, que pour chaque camion, le siège B procure une atténuation des vibrations plus grande que le siège A,

particulièrement à basses fréquences (moins de 3.2 Hz). Dans cette zone, les vibrations sont d'ailleurs amplifiées par le système que forment le siège et le conducteur. Cependant, l'amplification est beaucoup moins prononcée pour le siège B que pour le siège A.

5.0 CONCLUSION

L'étude de l'exposition aux vibrations dans les camions-citernes a permis d'identifier un modèle de siège à suspension pneumatique qui, avec l'utilisation d'un véhicule dont la suspension primaire est pneumatique, procure suffisamment d'atténuation des vibrations, pour permettre de respecter la limite suggérée dans la norme ISO 2631/1 pour un peu plus de 12 heures d'exposition par jour. C'est ainsi que la combinaison camion A/siège B s'est avérée la plus prometteuse pour réduire l'exposition aux vibrations appliquées au corps entier, du moins parmi les 6 combinaisons camion/siège à l'essai et pour les parcours de route choisis.

Le siège B, avec sa cinématique à ciseaux, s'est révélé supérieur au siège A, pour réduire l'exposition aux vibrations et ce, pour les trois modèles de camion étudiés. Ces résultats nous incitent à croire que les sièges comportant une cinématique à ciseaux sont probablement les plus aptes à réduire l'exposition aux vibrations. L'effet de la charge transportée sur les niveaux de vibration transmis au conducteur a pu être observé. Pour le camion A muni d'une suspension pneumatique, la dose d'exposition aux vibrations est légèrement plus élevée lorsque la citerne est remplie que lorsqu'elle est à vide, la suspension pouvant s'ajuster suivant la charge. Pour le camion B muni d'une suspension mécanique, la dose d'exposition est maximale lorsque la citerne est à vide, cette suspension devant être contrainte par une charge minimale pour être efficace.

Références citées

1. RAKHEJA, S., «*Ride Quality Assessment of Articulated Tank-Vehicles*,» Dept. of Mechanical Engineering, Concordia University, Montréal, Québec. 22p., 1986.
2. DUPUIS, H., ZERLETT, G., «*The Effects of Whole-Body Vibration*,» Springer-Verlag, 162p., 1986.
3. POPE, M.H., WILDER, D.G., FRYMAYER, J.W., «*Vibration as an Aetiological Factor in Low Back Pain*,» I. Mech, E., 11-17, 1980.
4. TROUP, J.D.G., «*Driver's back pain and its prevention. A review of the postural, vibratory and muscular factors, together with the problem of transmitted road-shock*,» Applied Ergonomics, 207-214, 1978.
5. BURTON, A.K., SANDOVER, J.: «*Back Pain in Grand Prix Drivers: A Found Experiment*,» Applied Ergonomics, 18, no 1, 3-8, 1987.
6. International Standard ISO 2631/1. «*Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration-Part 1: General requirements*,» 1985.

TABLEAU 1: CARACTÉRISTIQUES DES CAMIONS

CAMION	ANNÉE	TYPE DE SUSPENSION PRIMAIRE	TYPE DE MOTEUR
A	1987	Air	Cat 350
B	1987	Mécanique	Cat 350
C	1987	Air	Cummins 350

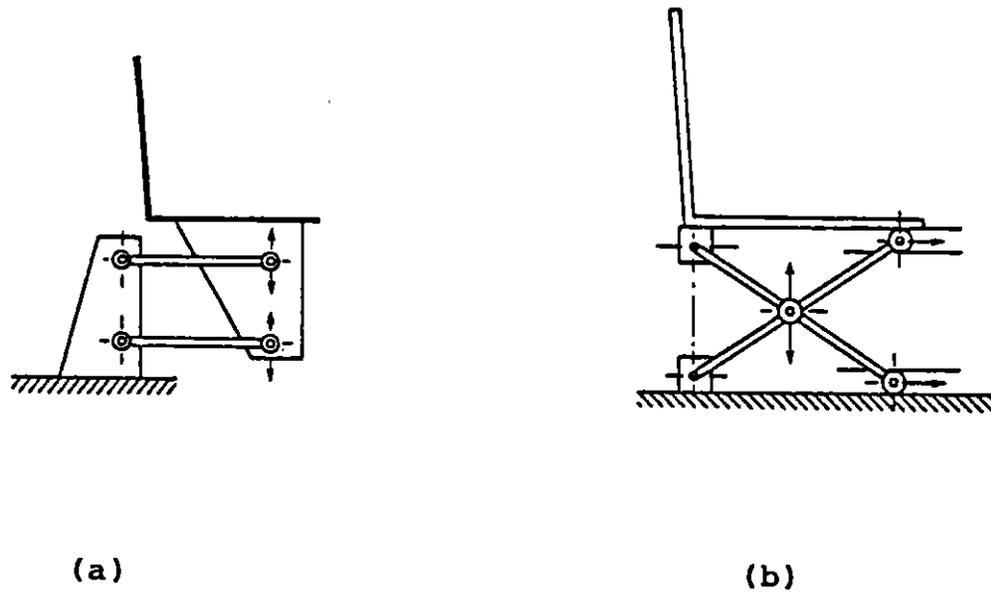


FIGURE 1: Configurations des cinématiques de sièges. (a) parallélogramme, siège A, et (b) à ciseaux, siège B.

TABEAU 2: IDENTIFICATION DES SEGMENTS DE ROUTE UTILISÉS POUR LES ESSAIS*

	NUMÉRO DES SEGMENTS	
	Pleine charge	À vide
• AUTOROUTE 40	1	12
• RUES LOCALES (VILLE DE MONTRÉAL)	2,3	10,11
• PONT JACQUES CARTIER	4	9
• AUTOROUTE 10	5	8
• ROUTE 35	6	7

* À l'exception des essais avec le camion C

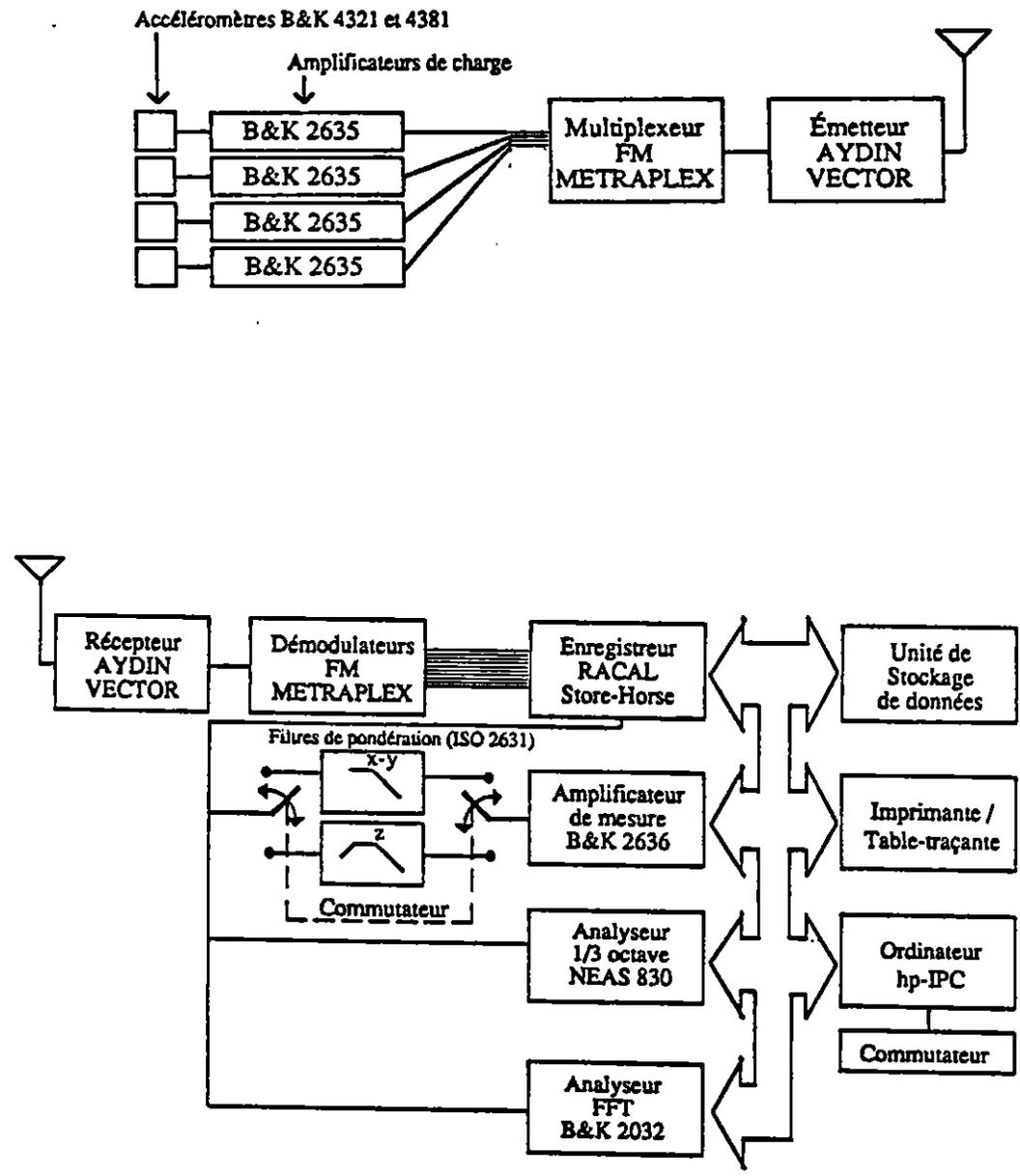


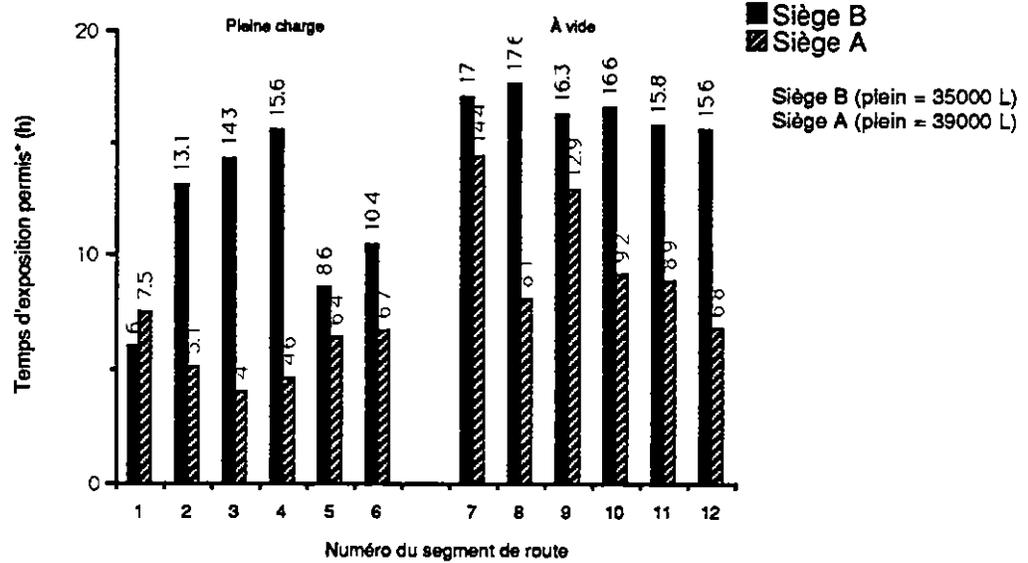
FIGURE 2: Système de mesure et d'acquisition des données.

TABLEAU 3: ESTIMATION DU TEMPS D'EXPOSITION PERMIS BASÉE SUR DES ESSAIS AVEC LE CAMION A / SIÈGE A SUR DES SEGMENTS DE ROUTE DIFFÉRENTS

NUMÉRO DE SEGMENT	TEMPS D'EXPOSITION PERMIS * (h)		
	Axe x	Axe y	Axe z
1	10	22.6	7.5
2	24	16.8	5.1
3	19.5	14.3	4.0
4	19.5	24	4.6
5	16.1	21	6.4
6	24	24	6.7
7	15.4	24	14.4
8	13.8	21.6	8.1
9	10.3	22.4	12.9
10	16.3	21.1	9.2
11	16.7	24	8.9
12	16.9	20.7	6.8

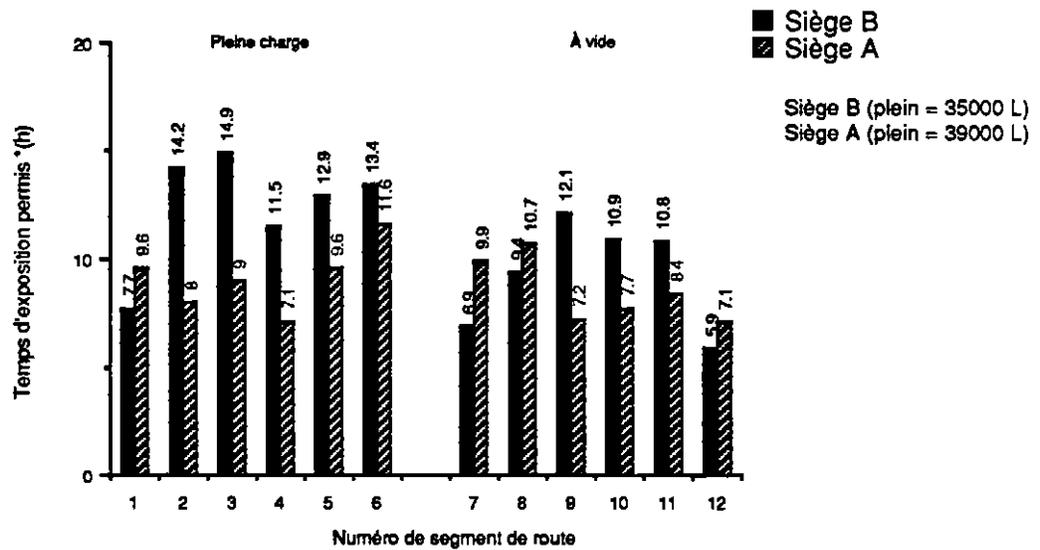
* Limite à la capacité par fatigue.

Figure 3:
 Temps d'exposition aux vibrations permis
 lors de la conduite du camion A (suspension pneumatique)
 avec deux différents types de siège sur des segments
 de route variés (vibrations verticales)



*limite à la capacité réduite par fatigue
 (ISO 2631 / 1)

Figure 4:
 Temps d'exposition aux vibrations permis
 lors de la conduite du camion B (suspension mécanique)
 avec deux différents types de siège sur des
 segments de route variés (vibrations verticales)



*limite à la capacité réduite par fatigue
 (ISO 2631 / 1)

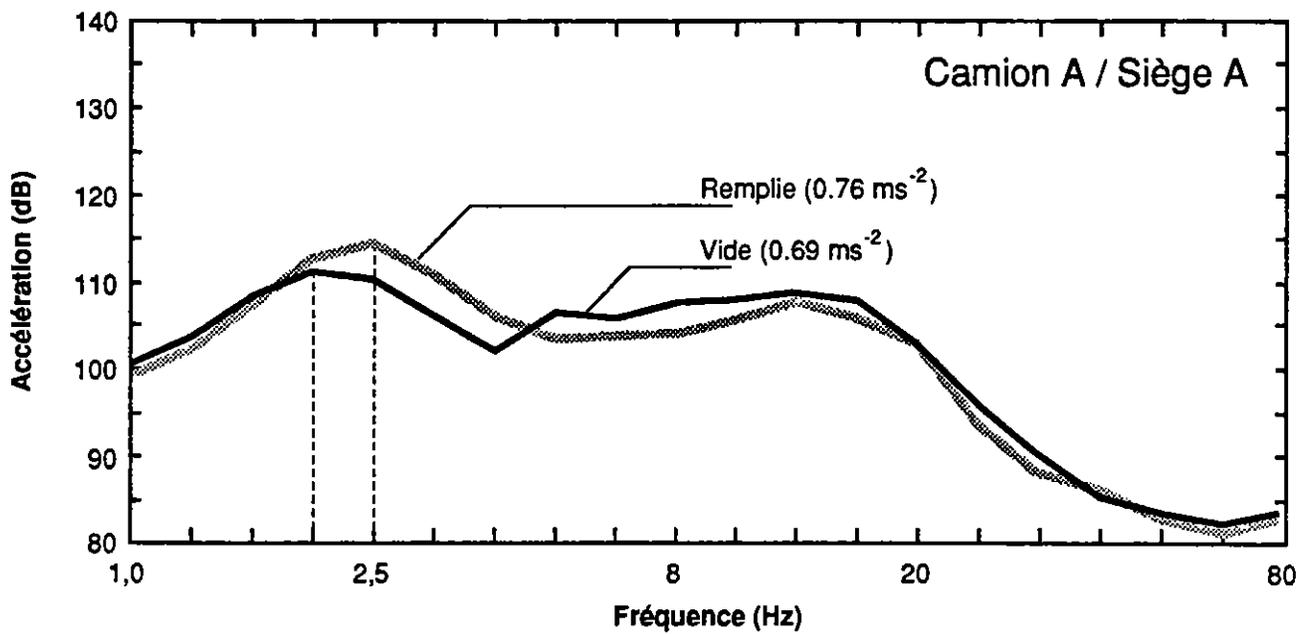


Figure 5: Spectres en fréquence des vibrations mesurées en direction verticale pour la combinaison camion A / siège A lorsque la citerne est vide et remplie

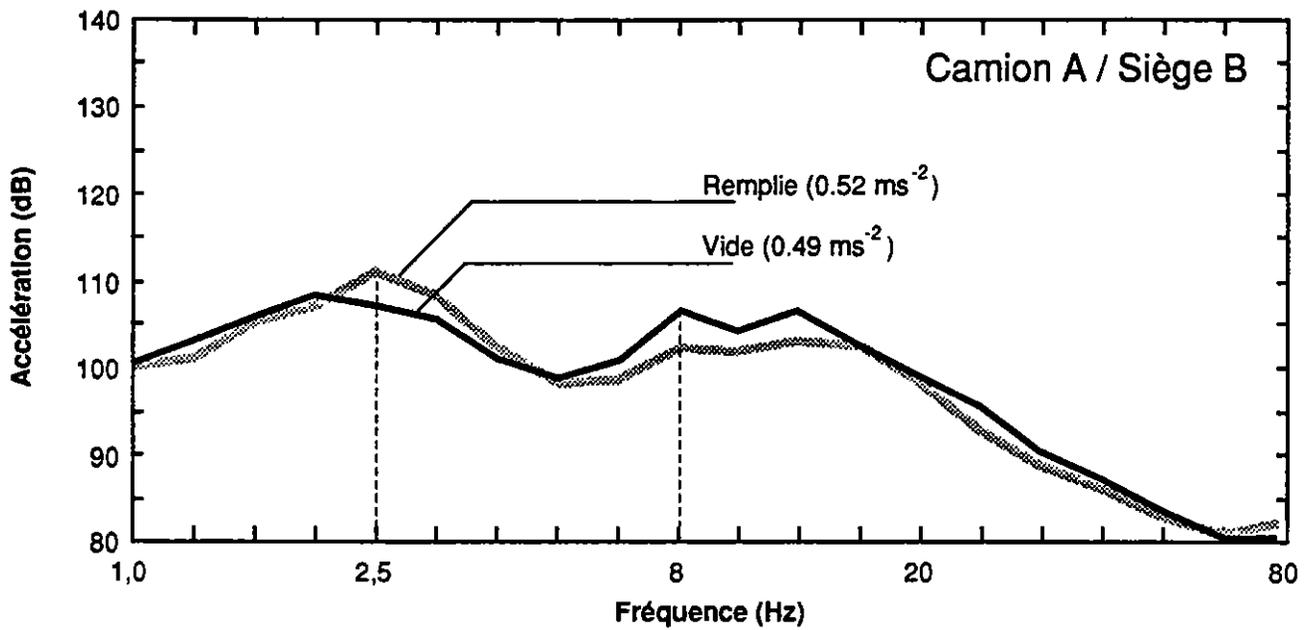


Figure 6: Spectres en fréquence des vibrations mesurées en direction verticale pour la combinaison camion A / siège B lorsque la citerne est vide et remplie

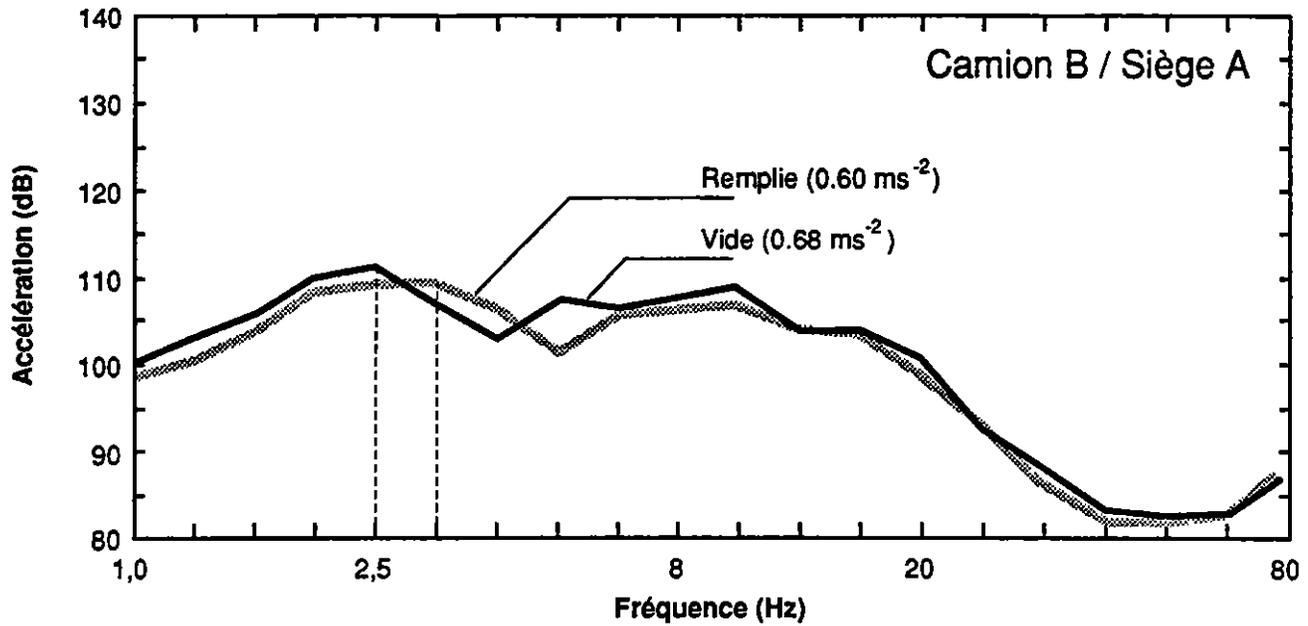


Figure 7 : Spectres en fréquence des vibrations mesurées en direction verticale pour la combinaison camion B / siège A lorsque la citerne est vide et remplie

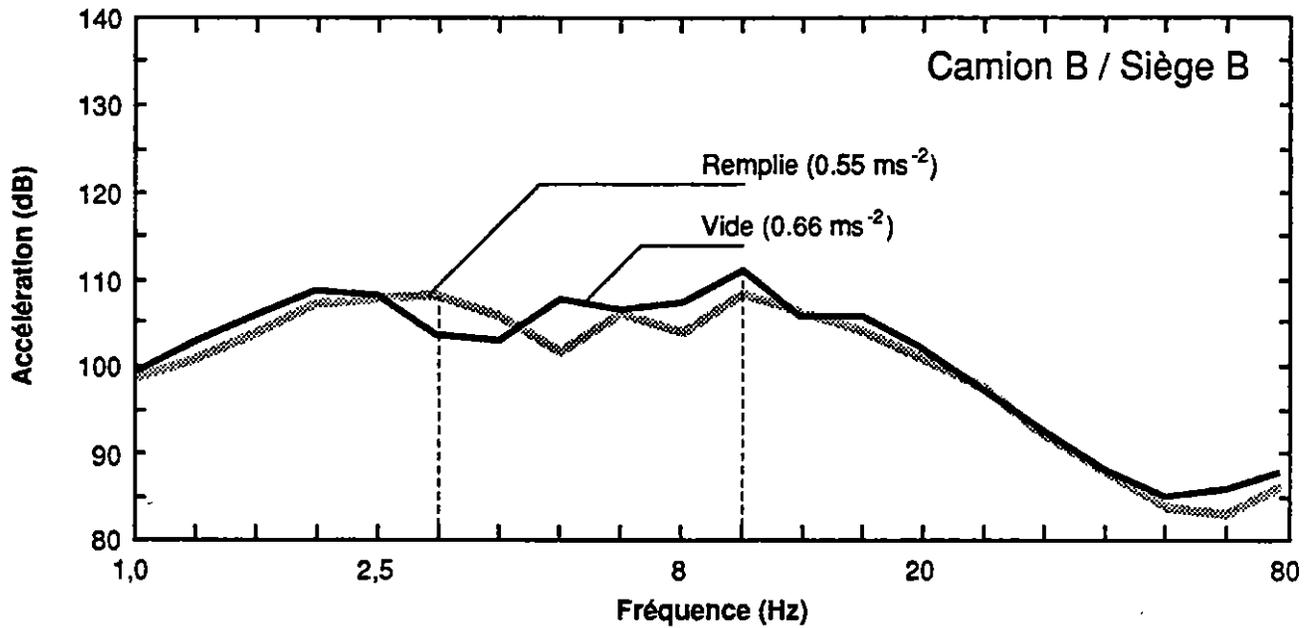
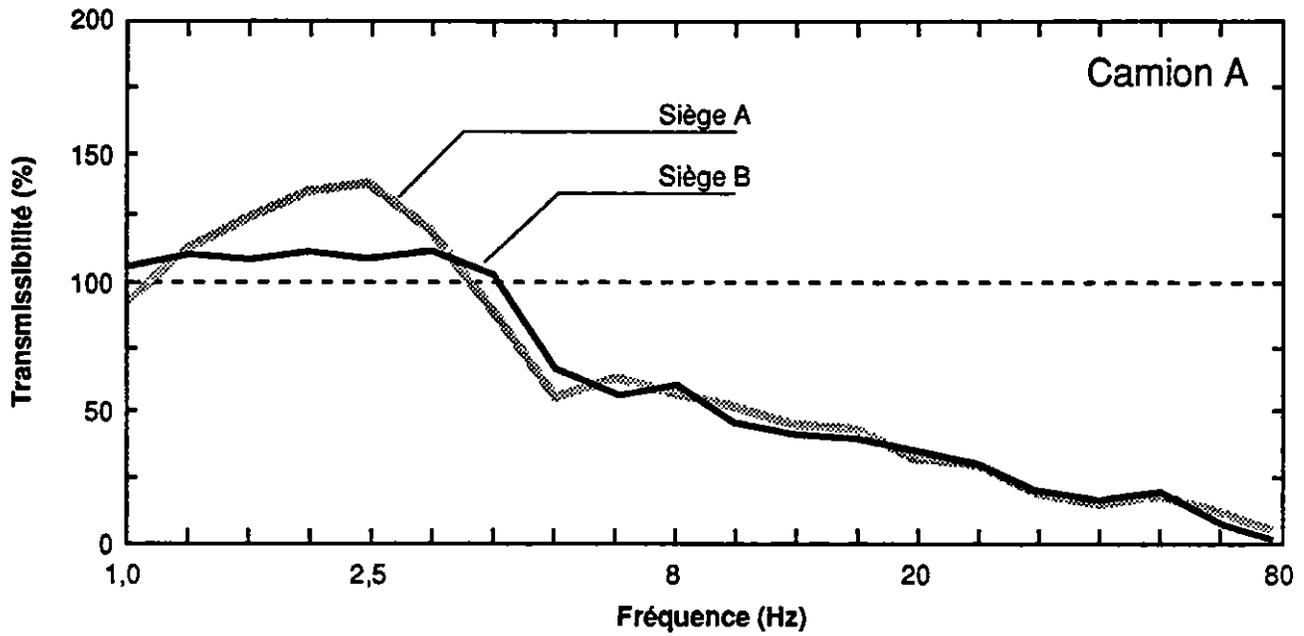


Figure 8: Spectres en fréquences des vibrations mesurées en direction verticale pour la combinaison camion B / siège B lorsque la citerne est vide et remplie

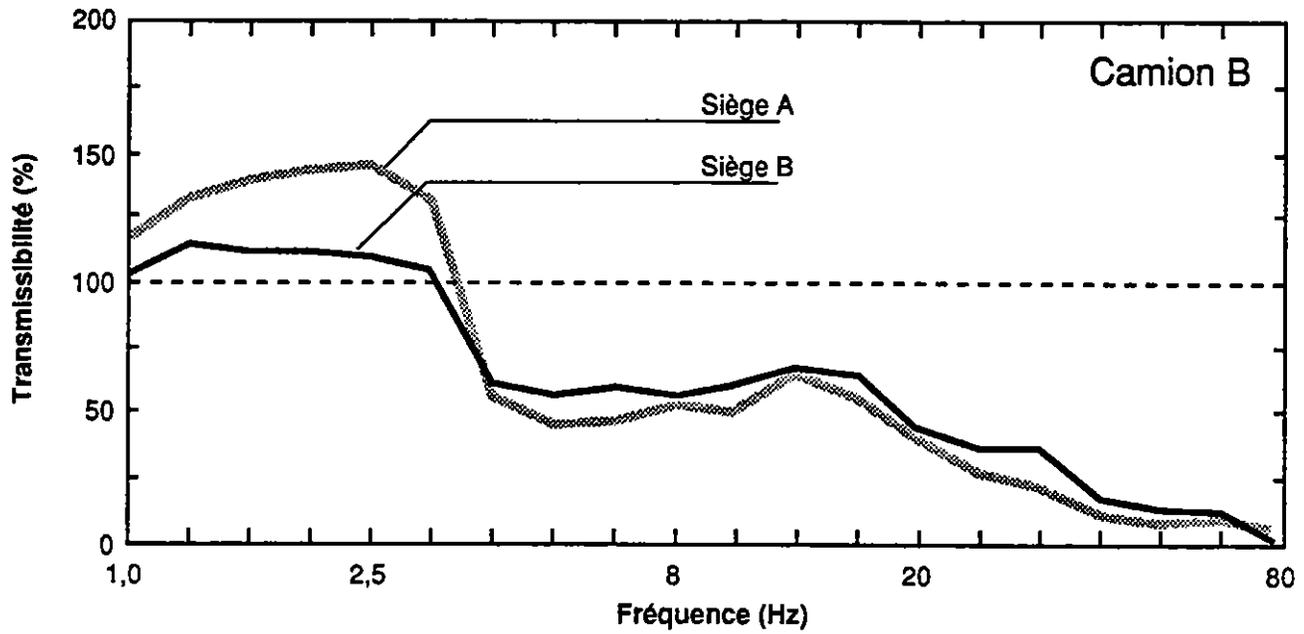
TABEAU 4: DURÉE PERMISE D'EXPOSITION QUOTIDIENNE AUX VIBRATIONS POUR CHACUNE DES COMBINAISONS CAMION/SIÈGE

Combinaison camion / siège	DURÉE D'EXPOSITION PERMISE * (h)		
	Citerne remplie	Citerne vide	Parcours aller-retour
Camion A/Siège A	5.5	9.1	6.7
Camion A/Siège B	10.1	16.6	12.2
Camion B/Siège A	8.8	8.7	8.8
Camion B/Siège B	11.9	9.0	10.3
Camion C/Siège A	4.8	4.4	4.6
Camion C/Siège B	6.8	5.4	6.2

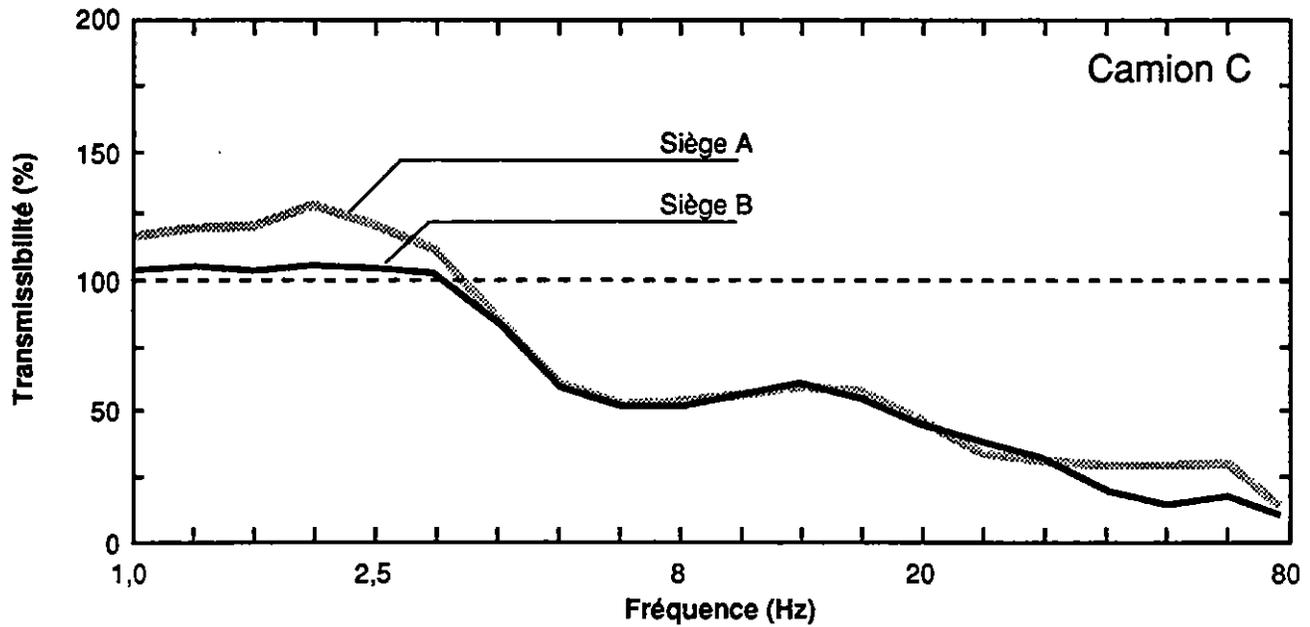
* Limite à la capacité par fatigue.



**Figure 9: Courbes de transmissibilité
des vibrations verticales mesurées
sur le camion A**



**Figure 10: Courbes de transmissibilité
des vibrations verticales mesurées
sur le camion B**



**Figure 11: Courbes de transmissibilité
des vibrations verticales mesurées
sur le camion C**