

# L'environnement vibratoire au poste de conduite des camions

*P. Boulanger, P. Donati, J.P. Galmiche, service Métrologie, acoustique, vibrations, centre de recherche de l'INRS, Nancy et E. Christ, U. Kaulbars, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), RFA*

## Vibration environment at the lorry driver seat

*The purpose of this study was to assess vibration hazards at the lorry driver seat. A wide range of lorries was chosen to cover the different types of vehicles (25 road tractors and 22 tool carriers) and technologies (conventional cabs, « low-frequency » suspended cabs) and the most widely used loading methods.*

*Comparison of vibration measurements carried out on the floor at the base of the seat shows how effectively « low-frequency » suspended cabs reduce vertical vibration transmitted to the driver. Measurements taken on the seat pan, however, indicate that vertical suspension on lorry driver seats is frequently inadequate. The application of new French standard NF R 18-401 concerning a vibration testing code for suspended seats should help to remedy this situation.*

Lorry / Driver seat / Whole-body vibration / Measurement / Testing / Standard

**Une étude récente, réalisée conjointement par l'INRS et le BIA, avait pour but de dresser un bilan des contraintes vibratoires au poste de conduite des camions. Un grand nombre de véhicules différents a été sélectionné de façon à couvrir les différents types (25 tracteurs routiers et 22 porteurs), les différentes technologies (cabines conventionnelles, cabines suspendues « basse fréquence »), les différents modes de chargement les plus couramment utilisés.**

**Les mesures de vibrations effectuées sur le plancher, en pied de siège, mettent en évidence, par comparaison entre elles, l'efficacité des cabines suspendues « basse fréquence », pour réduire les vibrations verticales transmises au conducteur. Par contre, les mesures réalisées sur l'assise du siège du conducteur indiquent que les suspensions verticales des sièges équipant les camions sont fréquemment inadéquates. L'application de la nouvelle norme française NF R 18-401, relative à un code d'essai en vibration des sièges suspendus, devrait pouvoir y remédier.**

Camion / Cabine / Siège / Vibration / Mesure / Essai / Normalisation

**L**a conduite des gros véhicules industriels routiers concerne un nombre important de travailleurs. En effet, rien que pour la France, on peut estimer le parc des véhicules de transport de marchandises de plus de 2,5 tonnes à près d'un million, parmi lesquels, environ 150 000 camions porteurs de plus de 9 tonnes et 125 000 tracteurs routiers [1].

L'environnement du poste de travail d'un conducteur routier est caractérisé par [2] :

- une position assise prolongée dans un espace qui limite les changements de posture,
- l'obligation de maintenir une attention continue sur de longues durées afin d'assurer la tâche de conduite,

– la présence de bruit et de vibrations de basses fréquences dus aux différents organes moteurs du véhicule et à l'état de la route,

– l'environnement thermique variable avec les saisons.

Toutes ces données contribuent à des conditions de travail parfois très difficiles.

Les enquêtes épidémiologiques effectuées chez les conducteurs de véhicules vibrants montrent que l'exposition de longue durée aux vibrations de basses fréquences transmises à l'ensemble du corps est une des causes du mal de dos. Les symptômes les plus fréquemment rapportés sont les

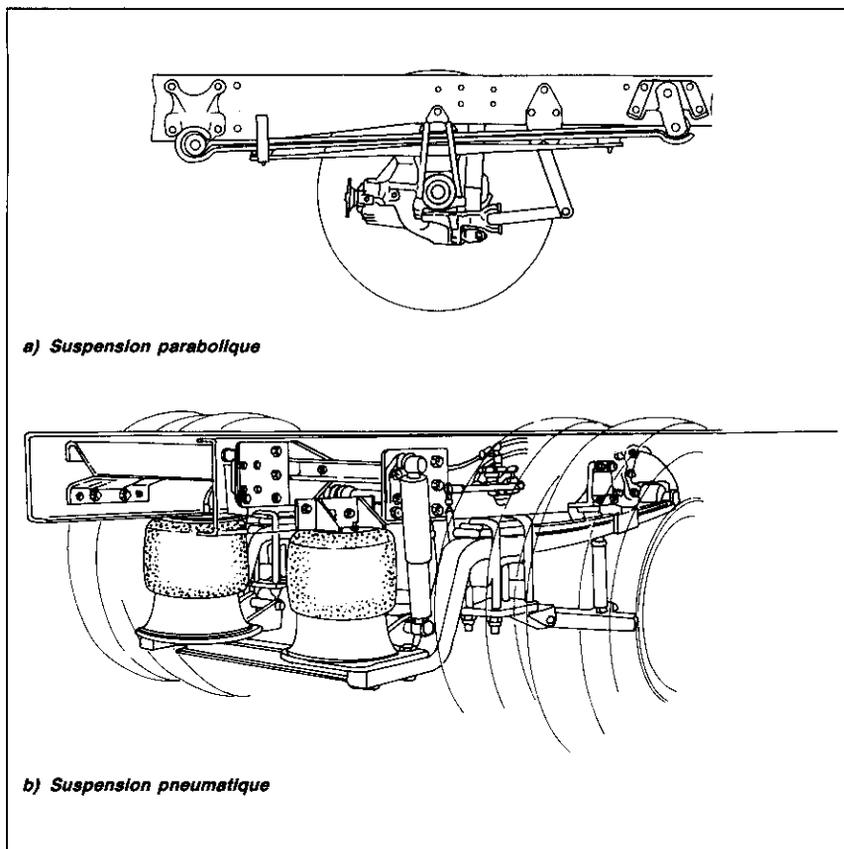


Fig. 1. Exemple de suspensions du châssis utilisées par les fabricants de camions

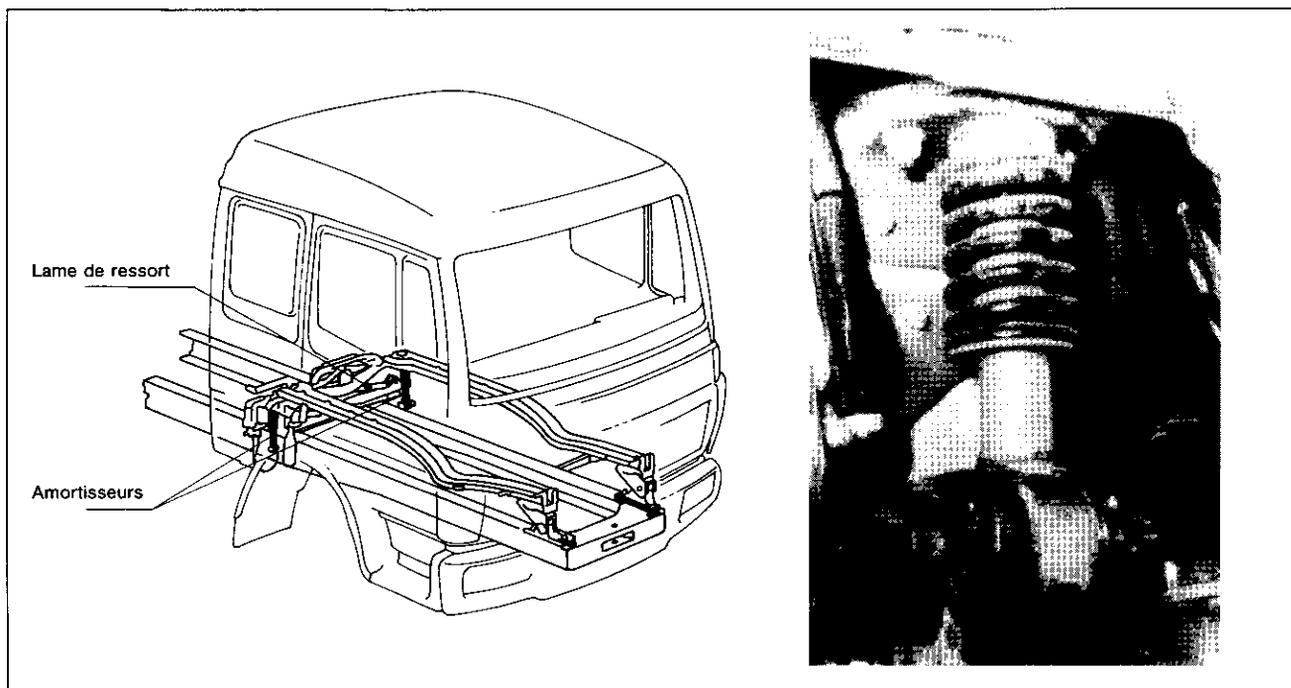


Fig. 2. Exemple de cabine suspendue pour camion

lombalgies, les troubles dégénératifs précoces de la colonne vertébrale, les hernies discales [3].

C'est pourquoi, la contrainte vibratoire à laquelle sont soumis les conducteurs de poids lourds préoccupe, depuis longtemps, les instances de prévention ainsi que les constructeurs.

Deux enquêtes ont été effectuées, l'une par l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS) à propos de la pathologie du conducteur routier [4], l'autre par la Caisse régionale d'assurance maladie (CRAM) du Massif central pour l'exposition aux vibrations et aux bruits [5]. De leur côté, les concepteurs ont développé des solutions techniques pour améliorer l'environnement vibratoire : remplacement des suspensions châssis semi-elliptiques par des suspensions paraboliques ou pneumatiques (fig. 1), équipement des véhicules avec des cabines suspendues « basse fréquence » généralement insonorisées (fig. 2), utilisation de sièges suspendus suivant l'axe vertical, parfois selon l'axe avant-arrière [6].

Ces constatations ont amené l'INRS, en association avec la CRAM du Massif central [5], et des utilisateurs et des constructeurs, à mesurer les vibrations au poste de conduite de 17 modèles différents de camions, avec pour principaux objectifs :

- 1) de situer la nature et l'intensité des vibrations au poste de conduite des véhicules routiers, en fonction des paramètres mis en jeu (caractéristiques du véhicule, type d'attelage et de charge, qualité de la route) ;
- 2) d'examiner l'efficacité des sièges suspendus conçus pour ce type de véhicules ;
- 3) d'étudier la possibilité de définir des spécifications représentatives des camions, pour des essais en vibration des sièges.

Les résultats de cette étude, complétés par ceux obtenus par le BIA (une trentaine de véhicules mesurés) [7, 8], ont permis l'élaboration de la norme française NF R 18-401 [7] relative aux essais en vibration du siège du conducteur de véhicules industriels de PTAC supérieur à 7,5 tonnes. Précisons enfin que l'ensemble des résultats fournis par l'étude INRS est détaillé dans la note scientifique et technique NS 68. Nous ne présentons ici que les principaux résultats acquis au cours de cette recherche.

## 1. METHODOLOGIE

### 1.1. Sélection des véhicules

Les mesures de vibrations réalisées par l'INRS concernent essentiellement les tracteurs routiers dits « à cabine avancée » (14 véhicules). Le BIA a effectué des mesures sur une dizaine de tracteurs routiers mais s'est surtout intéressé aux véhicules porteurs plus courants en Allemagne (22 véhicules). Il s'agit, chaque fois, de modèles de véhicules différents (12 marques différentes sont au total représentées).

La moitié des modèles étudiés étaient équipés d'une cabine suspendue « basse fréquence » en deux ou quatre points. Les autres modèles comportaient aussi une cabine suspendue, mais il s'agissait d'une suspension à base de plots en caoutchouc, conçue pour diminuer l'environnement sonore au poste de conduite et inadéquate pour réduire les vibrations mécaniques de basses fréquences de moins de 10 Hz. Toutes les cabines étaient équipées avec les sièges d'origine.

Les deux tiers des tracteurs routiers étaient attelés à une remorque de type savoyarde, benne ou plateau ; les autres tractaient une citerne (gaz ou liquide). Le poids total de ces véhicules chargés était compris entre 16 et 22 tonnes. Sur une dizaine de véhicules, les mesures ont été réalisées pour deux conditions de fret : 2 et 10 tonnes. Un tiers des porteurs étudiés avait une charge utile de moins de 7,5 tonnes (minimum 4,5 tonnes), un tiers entre 7,5 et 12 tonnes ; la charge utile des véhicules restants n'excédait pas 15 tonnes. Seulement trois porteurs étaient des citerniers. Les deux tiers des véhicules tiraient, en plus, une remorque dont le poids total en charge pouvait atteindre 20 tonnes.

### 1.2. Configurations d'essais

Les différents véhicules ont été testés dans des conditions réelles d'utilisation. L'équipe chargée des mesures s'est généralement insérée dans le cycle de travail des véhicules. Les parcours suivis sont représentatifs du réseau de routes (autoroutes ou équivalentes et routes nationales) habituellement empruntées par les transports longues distances, et leurs revêtements sont dans l'ensemble en bon état.

Les véhicules étaient conduits par leurs conducteurs habituels. Aucune

instruction ne leur a été donnée, notamment en ce qui concerne la vitesse, si ce n'est celle recommandée par leur employeur ; et naturellement, ils devaient respecter le code de la route.

Pour tous les véhicules, le siège du conducteur était équipé d'une suspension verticale. On a vérifié que cette dernière ne présentait pas d'anomalie flagrante de fonctionnement et que les sièges étaient correctement fixés sur le plancher du poste de conduite. Lorsqu'ils étaient pourvus de réglages (hauteur, avant-arrière), les sièges étaient ajustés selon les préférences des conducteurs.

### 1.3. Métrologie

Les mesures de vibrations ont été réalisées, en application des normes NF E 90-401 [10] et NF E 90-451 [11] :

- sur l'assise du siège, au moyen d'une interface de mesure semi-rigide contenant trois accéléromètres linéaires, placée entre la sellerie et le séant du conducteur sous les tubérosités ischiatiques ;
- à la base du siège, au moyen de trois accéléromètres linéaires fixés sur une partie rigide du plancher de la cabine du véhicule, la plus proche de l'ancrage du siège.

Chaque accéléromètre linéaire avait son axe sensible orienté selon l'une des directions du trièdre orthonormé suivant, repéré par rapport au corps du conducteur :

- axe X : direction avant-arrière (antéro-postérieure),
- axe Y : direction latérale (gauche-droite),
- axe Z : direction verticale (séant-tête).

Les signaux analogiques correspondants ont été enregistrés pour être analysés en temps différé.

### 1.4. Calcul des valeurs caractéristiques

Les enregistrements accélérométriques ont fait l'objet des traitements suivants :

- spectre temporel (évolution de l'accélération en fonction du temps) ;
- densité spectrale de puissance (DSP) des accélérations dans le but d'identifier les fréquences dominantes.

Pour chaque axe de mesure, on a regroupé les DSP des accélérations mesurées sur le plancher de tous les véhicules et on a calculé les courbes enveloppes maximales, moyennes et minimales correspondantes. Il s'agissait d'étudier l'effet du type de cabine (suspendue ou non) en basse fréquence, de remorque (savoyarde ou citerne), de charge (à vide ou pleine) et de route (autoroute, route nationale et mauvaise route) sur la distribution fréquentielle de l'énergie du signal vibratoire.

- valeurs efficaces des accélérations linéaires entre 1 et 80 Hz, pondérées fréquemment (norme NF E 90-401 [8] :  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  et  $a_{wz}$ ) ou non ( $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ ). La pondération fréquentielle prend en compte la sensibilité humaine aux vibrations, différente entre l'axe vertical Z et les axes horizontaux X et Y ;

- accélération équivalente, grandeur de base définissant la contrainte vibratoire que subit le conducteur :

$$a_{eq} = [a_{wz}^2 + 2 a_{wx}^2 + 2 a_{wy}^2]^{1/2}$$

- rapport de transmission vibratoire entre siège et plancher pour évaluer l'efficacité des suspensions des sièges, selon l'axe Z :

$$R_z = \frac{a_{wz,s}}{a_{wz,p}}$$

$a_{wz,s}$  et  $a_{wz,p}$  correspondent respectivement aux accélérations efficaces pondérées relevées au niveau de l'assise du siège et du plancher selon l'axe vertical.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Evaluation de la contrainte vibratoire au poste de conduite

#### a) Cabine conventionnelle / cabine suspendue

En référence à la norme NF E 90-401 [10], la contrainte vibratoire (accélération équivalente mesurée sur l'assise du siège comprise entre 0,7 et 1,2  $m/s^2$ ), rencontrée au poste de conduite des camions équipés d'une cabine conventionnelle, ne permet pas généralement une exposition supérieure à 8 heures, même quand ces véhicules roulent sur une autoroute ou sur une route nationale. (La norme fixe à 0,9  $m/s^2$  l'intensité maximale admissible d'accélération équivalente mesurée sur le siège pour une durée d'exposition de 8 heures).

Par contre, la contrainte relevée sur ces mêmes routes, dans des tracteurs dotés d'une cabine suspendue « basse fréquence », correspond en moyenne à un temps d'exposition acceptable plus long (généralement entre 8 et 10 heures).

Ces chiffres doivent être ramenés au temps de conduite quotidien du personnel qui roule sur de longues distances (en France, 40 à 45 % d'entre eux sont au volant plus de 8 heures par jour [2]).

D'après les constructeurs, la différence d'intensité relevée sur les véhicules en fonction du type de cabine n'est pas seulement imputable à cette dernière mais aussi à des modifications au niveau de la suspension du châssis. En effet, les camions 2, 3 et 4 donnés comme les plus vibrants sont en fait des modèles de facture ancienne, au contraire du camion 5 (fig. 3). Les véhicules les plus rustiques ou les plus anciens sont dotés de suspensions semi-elliptiques alors que des suspensions paraboliques ou pneumatiques (fig. 1) sont montées sur les véhicules les plus modernes (les constructeurs recommandent, pour conserver l'efficacité des suspensions à lames, d'effectuer régulièrement un graissage interlame des ressorts pour éviter de bloquer les jumelles consécutivement à une friction excessive). On remarquera que l'atténuation des vibrations se fait essentiellement suivant l'axe vertical.

#### b) Effet de la qualité de la route

Le niveau vibratoire dépend de la qualité de la route. Les accélérations équivalentes les plus sévères (de 1 à 1,5  $m/s^2$ ) ont été rencontrées sur des routes en mauvais état. Les poids lourds étudiés n'étant amenés à rouler que rarement ou pour de courtes durées sur de telles routes, ces valeurs ne sont données qu'à titre indicatif. Par contre, on n'a pas décelé de différences significatives entre les autoroutes et les routes nationales. On estime que le gain en vibration qui pourrait résulter d'une meilleure qualité du revêtement autoroutier est perdu par l'accroissement de l'intensité des vibrations consécutif à l'augmentation, sur autoroute, de la vitesse moyenne.

#### c) Recherche des directions d'exposition privilégiées relevées sur l'assise du siège

Les valeurs efficaces des accélérations pondérées mesurées sur le siège, selon les axes X et Y, sont généralement comprises entre 0,15  $m/s^2$  et 0,65  $m/s^2$ . Elles sont notablement plus faibles que celles relevées selon l'axe Z (entre 0,4 et 1,25  $m/s^2$ ) (fig. 4).

#### d) Effet de la charge et du type d'attelage

La figure 3 montre également qu'un tracteur routier pleinement chargé serait, en général, plus vibrant selon l'axe vertical qu'un véhicule vide ou à moitié

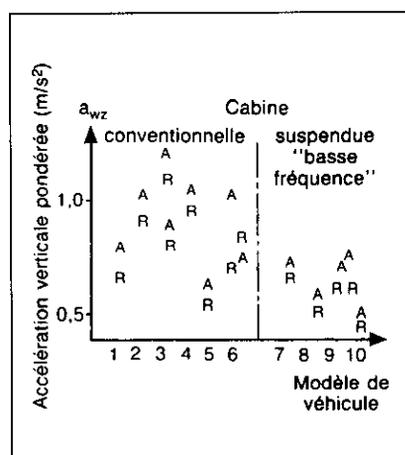
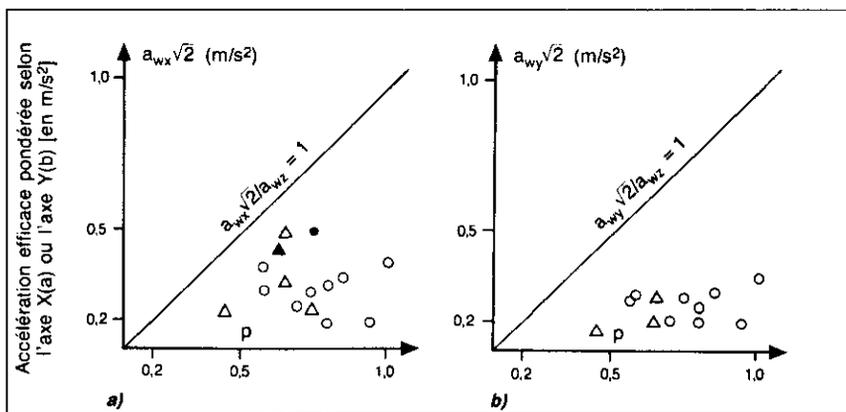


Fig. 3. Comparaison des valeurs efficaces des accélérations pondérées ( $a_{wz}$ ) mesurées suivant l'axe vertical sur l'assise du siège de 10 véhicules ayant parcouru les mêmes trajets d'aller (A) et retour (R) dans des conditions de charges différentes (2 t à l'aller, 10 t au retour). Les essais 3 et 6 ont été effectués avec 2 sièges différents.



**Fig. 4. Comparaison des valeurs moyennes des accélérations efficaces, en fréquence et en intensité, relevées suivant l'axe avant-arrière (a) ou latéral (b) par rapport à l'axe vertical. Cas des tracteurs routiers**

O cabine conventionnelle ; Δ suspendue basse fréquence ; OΔ, savoyarde ; ● ▲, citerne remplie d'eau

plein. La différence est cependant peu significative (environ 10 %). Ce qui compte, c'est surtout le type d'attelage (citerne ou savoyarde) et la position de la charge. On notera néanmoins que l'on n'a pas observé d'effet lié à la présence ou à l'absence d'une remorque dans le cas des porteurs.

Pour les véhicules attelés à une citerne remplie partiellement d'un liquide situé dans le compartiment central, on note un niveau inhabituel de vibrations selon l'axe avant-arrière. Cette prédominance résulte de la configuration de charge de la citerne (charge centrale). On se retrouve avec un attelage à faible inertie car la masse est concentrée dans la zone centrale. Le mode de galop de la remorque est bien excité et, par couplage se traduit par une excitation avant-arrière au niveau de la cabine du tracteur.

Ce mouvement succède généralement à chaque modification du régime du véhicule. Il est perçu par le conducteur, essentiellement au niveau du dossier, comme une succession d'à-coups. Pour l'atténuer, de nombreux conducteurs décollent leur dos du dossier.

Il est donc recommandé de charger le véhicule de façon à avoir une inertie maximale. On évitera un chargement trop concentré en l'étalant sur la longueur du convoi quand cela est possible. Par exemple, dans le cas d'un

véhicule avec citernes, il convient de remplir, en premier lieu, les cuves extérieures et réciproquement de vider d'abord la citerne centrale.

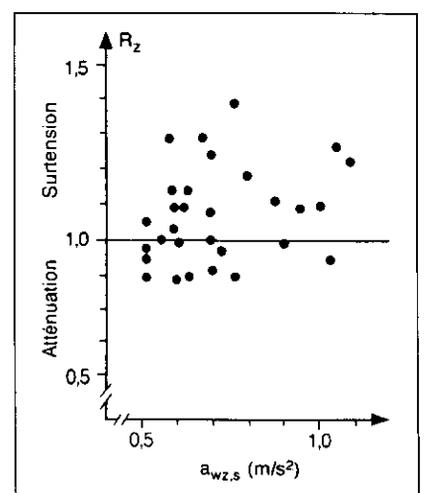
## 2.2. Efficacité des suspensions des sièges du conducteur

Tous les véhicules testés étaient équipés d'un siège de conducteur pourvu d'une cinématique comportant un étage de suspension mécanique (ressort-amortisseur) selon l'axe vertical. En revanche, aucun d'entre eux ne possédait de suspension de ce type suivant l'axe avant-arrière. La figure 5

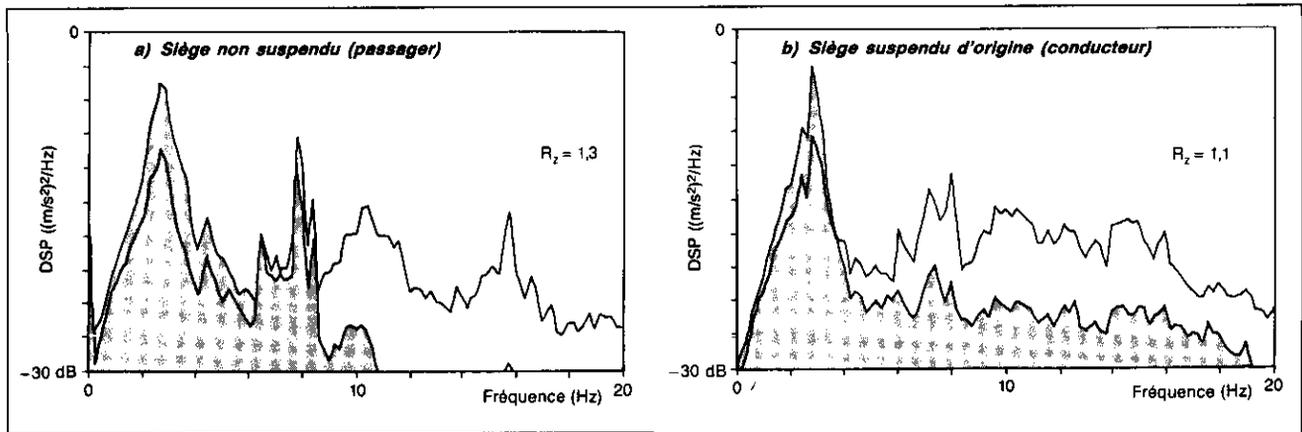
présente les valeurs du rapport de transmission  $R_z$  obtenues entre l'assise du siège et le plancher en fonction de l'intensité de l'accélération verticale relevée sur le siège. Si  $R_z$  est supérieur à 1, on considère que le siège « surtensionne ». Dans le cas contraire ( $R_z < 1$ ), le siège atténue l'intensité vibratoire.

On constate que seulement un tiers des véhicules est équipé de sièges d'origine atténuant les vibrations. De plus, l'ensemble des sièges n'est pas plus efficace aux faibles intensités vibratoires qu'aux fortes (fig. 5).

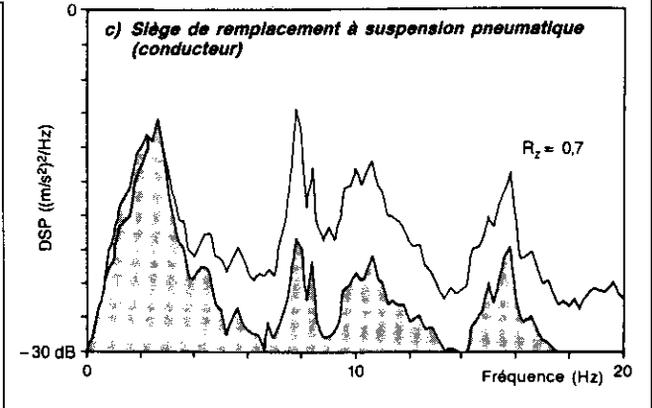
Il est paradoxal que certains constructeurs montent sur leur véhicule une cabine « basse fréquence » suspendue en 2 ou 4 points, efficace pour atténuer les vibrations, et qu'ils perdent une partie du gain obtenu en fixant un siège suspendu inadapté. Cette observation s'explique aisément si l'on considère la répartition fréquentielle de l'énergie vibratoire sur le plancher. Dans le § 2.3, on montre que les camions ont un spectre vibratoire riche en basse fréquence (de 2 à 3 Hz pour les cabines conventionnelles et de 1,5 à 2,5 Hz pour celles qui sont suspendues en 2 ou 4 points). Or, pour atténuer les vibrations, il faut utiliser une suspension dont la fréquence de coupure soit inférieure ou, au plus, égale à la fréquence de l'excitation rencontrée. Il faudrait donc monter, sur les camions équipés de cabines suspendues « basse fréquence », des sièges dotés d'une suspension dont la fréquence de résonance soit inférieure à 1 Hz, mais la course de tels sièges serait importante (environ 15 cm) et pourrait être considérée comme gênante par les conducteurs.



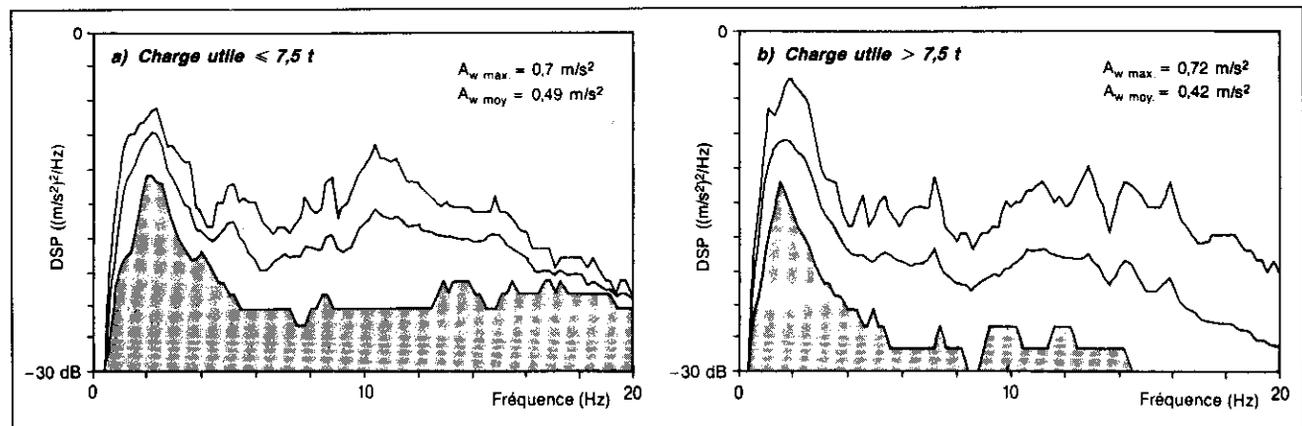
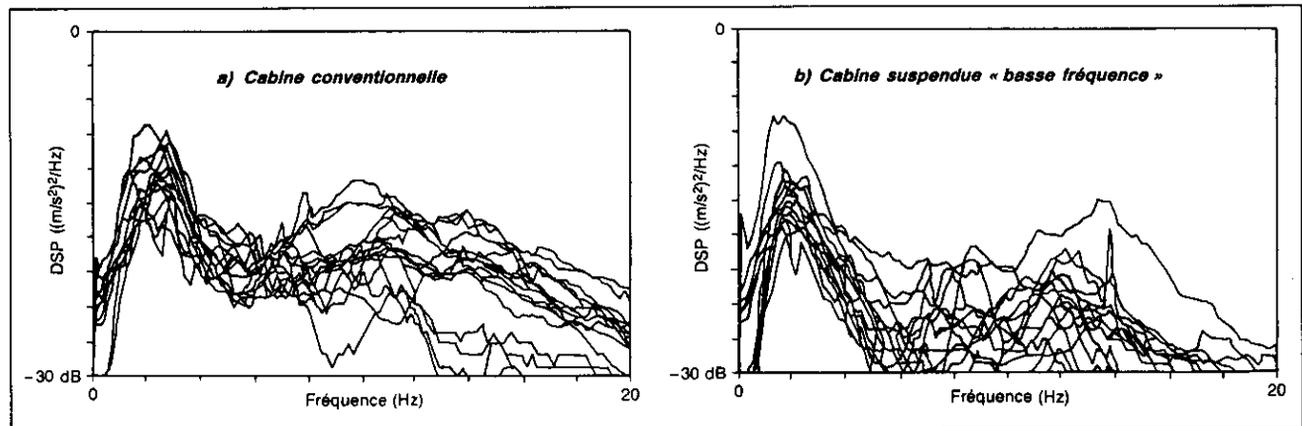
**Fig. 5. Valeurs moyennes prises par le rapport de transmission vibratoire ( $R_z$ ) des sièges, en fonction de la valeur efficace moyenne de l'accélération pondérée mesurée sur l'assise du siège selon l'axe Z ( $a_{wz,s}$ )**



**Fig. 6. Densité spectrale de puissance des accélérations verticales relevées sur le plancher et sur l'assise du siège (zone tramée)**  
Référence 0 dB = 4 (m/s²)²/Hz



**Fig. 7. Comparaison des densités spectrales de puissance des accélérations verticales relevées en pied de siège sur les différents tracteurs routiers**  
Référence 0 dB = 4 (m/s²)²/Hz



**Fig. 8. Courbes enveloppes maximale, moyenne et minimale (zone tramée) de la densité spectrale de puissance des accélérations verticales relevées en pied de siège sur les différents camions porteurs**  
Référence 0 dB = 4 (m/s²)²/Hz

Nous avons comparé l'aptitude de trois sièges différents à réduire les vibrations relevées sur le plancher d'un véhicule équipé d'une cabine conventionnelle. Le premier siège, non suspendu (fig. 6a) est le siège du passager. Il ne coupe les vibrations qu'au-delà de 8-9 Hz,  $R_z = 1,3$ . Le second siège est équipé d'une suspension mécanique souple qui résonne aux alentours de 2,5 Hz. Il ne commence à atténuer les vibrations qu'au-delà de 3,5 Hz (fig. 6b),  $R_z \geq 1$ . Le troisième siège est un siège à suspension pneumatique dont la fréquence de résonance est inférieure à 2 Hz (fig. 6c) : on note une atténuation à partir de 2,5-3 Hz,  $R_z = 0,7$ . Dans le cas du premier siège, la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence était supérieure à  $1 \text{ m/s}^2$ . Elle n'est plus que de  $0,6 \text{ m/s}^2$  sur l'assise du troisième siège.

En conséquence, il suffirait d'équiper les camions avec un siège muni d'une suspension efficace pour réduire, dans bien des cas, l'intensité vibratoire selon l'axe vertical de 30 à 50 %.

L'établissement d'un code normalisé d'essai de siège en vibrations, spécifique aux camions, pourra très probablement remédier à cet état de fait, d'autant plus que la plupart des grands constructeurs de sièges suspendus (Bostrom, ISRI, Sable-Grammer, Bremshey...) ont commercialisé des sièges adaptés aux vibrations rencontrées sur les véhicules routiers lourds.

Dans le cas d'un véhicule équipé d'une cabine suspendue « basse fréquence », il faut choisir une suspension de siège présentant une fréquence de coupure inférieure à la fréquence de résonance de la cabine. Compte tenu de l'efficacité des cabines suspendues et de la gêne entraînée par un débattement trop important du siège (plus la fréquence de coupure est faible, plus ce dernier est important), on est en droit de se demander s'il est bien fondé d'installer un siège suspendu. D'ailleurs, dans ce cas, certains constructeurs ne proposent le siège suspendu qu'en option.

### 2.3. Code d'essais de sièges en laboratoire

Les essais en vibrations des sièges font l'objet de la norme de méthodologie NF E 90-451 [11]. Afin d'obtenir la plus grande fidélité des résultats, la norme préconise d'effectuer les essais sur simulateur de vibrations. La représentativité des essais dépend donc du choix des processus d'excitation. C'est ainsi que, dans le cas des

engins de terrassement, la norme spécifique NF E 58-074 [12] précise cinq classes spectrales de vibration d'entrée verticale en fonction de l'espèce des engins. Il s'agit de processus aléatoires, à distribution d'amplitude gaussienne, définis par leur densité spectrale de puissance et la valeur efficace de leur accélération.

Ces classes spectrales des vibrations d'entrée sur le siège (processus aléatoires codifiés) sont issues d'une compilation de résultats de mesures effectuées sur le plancher de fixation du siège d'un grand nombre d'engins de terrassement dans des conditions d'exploitation réelle. Chaque classe regroupe plusieurs catégories d'engins jugées suffisamment proches quant aux dominantes fréquentielles et aux intensités mesurées.

Un travail similaire pour les véhicules routiers lourds a donc été entrepris. A partir de la répartition fréquentielle des courbes enveloppes obtenues en regroupant les différents résultats mesurés au niveau du plancher et des valeurs efficaces correspondantes, on a tenté d'élaborer des classes spectrales des vibrations d'entrée spécifiques aux tracteurs routiers et aux porteurs suivant l'axe vertical et accessoirement suivant l'axe avant-arrière.

#### a) Vibrations verticales

La figure 7 illustre, pour les tracteurs routiers, la dispersion des densités spectrales moyennes de puissance des accélérations obtenues avec les différents tracteurs routiers en fonction du type de cabine. On constate que la forme de ces courbes est affectée, dans la plage des basses fréquences, par le type de cabine. Les courbes associées aux cabines sus-

pendues présentent un pic relativement typé entre 1,5 et 2,5 Hz, suivi d'une dépression très marquée au-delà. Dans le cas des cabines conventionnelles, on retrouve à une fréquence légèrement supérieure (entre 2 et 3 Hz) un pic dominant et une dépression moins nette.

Les véhicules porteurs ont été regroupés en deux catégories en fonction de leur charge utile : 4,5 à 7,5 t et 7,5 à 15 t. Les spectres de densités spectrales des accélérations relevées sur le plancher des véhicules les plus légers sont analogues à ceux relevés sur les tracteurs routiers équipés d'une cabine conventionnelle. Les spectres d'accélération des véhicules les plus lourds sont semblables à ceux obtenus avec les tracteurs routiers équipés d'une cabine suspendue (fig. 8).

Les résultats suggèrent donc de répartir l'ensemble des camions en deux classes spectrales. Cependant, pour des raisons commerciales et par souci de simplicité, les normalisateurs ont décidé de ne retenir que la classe spectrale des vibrations d'entrée la plus basse en fréquence, qui est aussi la plus sévère pour les essais de sièges (fig. 9). Dans la norme NF R 18-401 [9], il est recommandé de tester tous les sièges avec cette classe uniquement, quel que soit le poids lourd auquel ce siège est destiné. Il a aussi été décidé d'effectuer les tests avec deux valeurs efficaces différentes de l'accélération pondérée ( $0,65$  et  $0,95 \text{ m/s}^2$ ) pour tenir compte du fait que la suspension du siège doit être efficace aussi bien sur autoroute que sur mauvaise route. Enfin, il a été considéré que les valeurs du rapport de transmission  $R_z$  devront être inférieures à 1 pour les deux configurations. Sur les sièges ayant passé

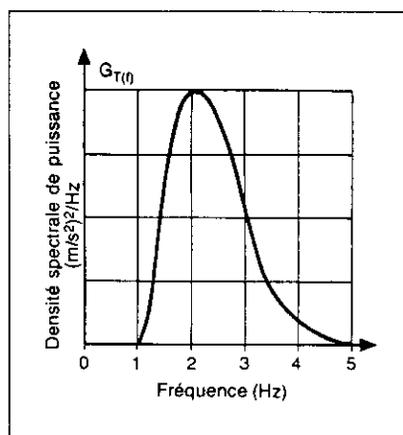


Fig. 9. Classe spectrale de vibrations d'entrée sur le siège, définie dans la norme NF R 18-401

avec succès le code d'essai, on apposera une étiquette portant la mention « Siège de véhicule utilitaire conforme à la norme NF R 18-401 ».

### b) Vibrations horizontales

La forme des courbes des densités spectrales de puissance des accélérations horizontales relevées en pied de siège dépend du type et du modèle de véhicule étudié. Dès lors, il est difficile de choisir un processus d'excitation représentatif de la totalité des véhicules étudiés.

Pour les sièges de camions, l'objectif principal d'une suspension suivant l'axe avant-arrière est de suivre les mouvements du corps plutôt que de s'y opposer, de façon à minimiser, avec certains chargements, les coups de boutoir transmis par le dossier au dos du conducteur (cf. § 2.1). Des expériences en laboratoire ont mis en évidence la forte sensibilité de l'individu assis aux vibrations avant-arrière entre 2 et 4 Hz [13]. Elle est due aux mouvements relatifs du tronc par rapport au support (le thorax reculant lorsque le dossier avance). Pour éviter ce phénomène, il suffit de caler la fréquence de résonance de la suspension du siège suffisamment bas en fréquence (inférieure à 2 Hz). Néanmoins, la course du siège doit rester inférieure à 2-3 cm pour ne pas gêner le contrôle des pédales. Cette exigence est généralement respectée par les constructeurs de sièges qui ont mis au point une telle suspension (ISRI, Grammer, etc.).

## CONCLUSIONS

Dans bien des cas, la contrainte vibratoire rencontrée au poste de conduite des véhicules équipés d'une cabine suspendue conventionnelle est excessive en regard des temps de conduite, même quand ces véhicules roulent sur une bonne route. Par contre, la contrainte relevée dans les mêmes conditions, dans des véhicules dotés d'une cabine suspendue basse fréquence, correspond à des temps d'exposition acceptables plus longs.

La direction privilégiée de mesure d'accélération est généralement l'axe vertical. Ce sont les vibrations selon cet axe que les constructeurs se sont employés à réduire au moyen des cabines suspendues.

Un chargement dont la masse est concentrée dans la zone centrale de l'attelage (par exemple, citerne dont

### Six recommandations pour réduire l'environnement vibratoire

- Choisir un véhicule équipé d'une cabine (1) « basse fréquence » suspendue en 4 points
- Choisir un siège portant la mention « Siège de véhicule utilitaire conforme à la norme NF R 18-401 » et équipé d'une suspension avant-arrière dans le cas d'un véhicule tractant une citerne. On préférera les sièges ayant un dossier dont l'appui lombaire et l'inclinaison sont réglables
- Ajuster le siège à votre poids, s'il s'agit d'une suspension mécanique (le siège ne doit pas aller en butée)
- Étaler le chargement sur toute la longueur du convoi
- Graisser régulièrement les interlamelles de la suspension du châssis
- Dans la mesure du possible, réduire la vitesse

(1) Attention, monter un siège suspendu dans une cabine suspendue ne constitue pas obligatoirement un « plus ».

seul le compartiment central est rempli) favorise un fort niveau de vibrations selon l'axe avant-arrière, considéré comme très pénible par les conducteurs. Pour éviter ce comportement, il est recommandé, dans la mesure du possible, d'étaler le chargement sur toute la longueur du convoi.

Les suspensions verticales des sièges équipant les véhicules testés sont très souvent inadaptées. Dans certains cas, il suffirait simplement d'équiper ces véhicules avec un siège qui ne « surtensionne » pas dans la bande fréquentielle riche en vibrations, pour réduire l'accélération verticale de 30 à 50 %.

Les résultats de cette étude ont été utilisés pour élaborer la nouvelle norme NF R 18-401 relative aux essais en laboratoire des sièges suspendus. Les sièges qui passeront avec succès ce code d'essai seront étiquetés.

### Bibliographie

1. Les vibrations industrielles. *Travail et Sécurité*, numéro spécial, mars 1983.
2. A l'arrêt aussi vigilant qu'au volant. *Travail et Sécurité*, numéro spécial, août-septembre 1985.
3. BONGERS P., BOSHUIZEN H. – Back disorders and whole-body vibration at work. Thèse de l'université

d'Amsterdam pour l'obtention du grade de docteur CIP. La Haye, Gegevens Korminklijke Bibliotheek, octobre 1990, p. 318.

4. CHIRON M. – Pathologie des conducteurs routiers. Lyon, INRETS, juin 1983, note d'information n° 26.
5. LUCARELLI D. – Contribution à l'étude du poste de travail des conducteurs de tracteurs routiers ; Bruits basses fréquences, infrasons et vibrations. CRAM du Massif-Central, novembre 1984.
6. DONATI P., BOULANGER P. – Technical preventive measures against whole-body vibration. Actes du 3<sup>e</sup> Symposium International de la section internationale pour la recherche de la prévention des risques professionnels de l'AISS, Les vibrations au travail, Vienne, Autriche, 19-21 avril 1989.
7. CHRIST E., KAULBARS U. – Schwingungseinwirkung an Arbeitsplätzen von Kraftfahrern auf Nutzfahrzeugen. Vorstudie zur Prüfung und Auswahl von Führersitzen/Nachtrag. Sankt Augustin, BIA, report 3/86, 1986.
8. KAULBARS U. – Schwingungseinwirkung an Arbeitsplätzen von Kraftfahrern auf Schweren Lastkraftwagen. Sankt Augustin BIA, report/90, 1990.
9. NF R 18-401 – Véhicules lourds industriels. Spécifications pour le mesurage en laboratoire des vibrations verticales transmises au conducteur par l'assise du siège. Paris – La Défense, AFNOR, déc. 1990.
10. NF 90-401-1 – Vibrations et chocs mécaniques. Évaluation de l'exposition des individus aux vibrations globales du corps. Prescriptions générales. et 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, août 1990, resp. 8 p. et 7 p.
11. NF E 90-451 – Caractérisation de l'aptitude d'un siège à réduire les vibrations transmises au conducteur. Spécifications pour les essais en laboratoire. Paris – La Défense, AFNOR, juin 1981, 31 p.
12. NF E 58-074 – Engins de terrassement. Spécifications pour le mesurage, en laboratoire, des vibrations transmises au conducteur par l'assise du siège. Paris – La Défense, AFNOR, juil. 1988, 16 p.
13. DONATI P., GROSJEAN A., MISTROT P., ROURE L. – The subjective equivalence of sinusoidal and random whole-body vibration in the sitting position (an experimental study using the « floating reference vibration » method). *Ergonomics*, 1983, 26, pp. 251-273.

Reçu en mai 91, accepté en juillet 91

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ  
30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14

Tiré à part des Cahiers de notes documentaires, 1<sup>er</sup> trimestre 1992, n° 146 – ND 1869 – N° CPPAP 804 AD/PC/DC du 14-03-85  
Directeur de la publication : D. MOYEN  
ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-0215-4