

# L'environnement vibratoire aux postes de conduite des mini-engins de chantier

P. Boulanger, P. Donati, J.P. Galmiche, service Métrologie-acoustique-vibrations, centre de recherche de l'INRS, Nancy

## Vibratory environment at the driving stand of compact construction machines

The purpose of this study was to estimate vibration characteristics at the driving stand of compact construction machines and to comply with the requirements of standards on seat and vehicle test codes.

Vibration measurements gave a picture of vibration stress at the driving stands on the fifteen machines tested, and helped to assess seat suspension efficiency.

Most of the compact machines tested were found to impart relatively severe fore-and-aft low-frequency vibration, although the magnitude of this vibration depended on the type of work in progress and the operator's driving style. Only loaders and site dumpers seemed to be subject to strong vertical vibration (up to  $1 \text{ m.s}^{-2}$  for loaders and  $2 \text{ m.s}^{-2}$  for site dumpers).

These machines are often equipped with compact vertical suspension seats which are quite effective at reducing vertical vibration. The results suggest that seats that successfully pass the INRS class I test for seats of forklift trucks with a load capacity of less than 5 tonnes are suitable for reducing vertical vibration on compact construction machines. In the case of compact site dumpers it is preferable to use the type of seat designed for agricultural tractors with a load capacity of less than 3.6 tonnes. There are no compact seats with fore-and-aft suspension, however. Development work is required here before any test codes are proposed.

Compact construction machine / Driver / Seat / Vibration / Trial / Standards

**Cette étude entreprise par l'INRS a eu pour but d'estimer les caractéristiques des vibrations au poste de conduite des mini-engins de chantier et de répondre à des besoins de la normalisation en matière de code d'essais pour tester les sièges et les véhicules.**

**Quinze véhicules différents ont été sélectionnés de façon à couvrir les catégories de machines les plus couramment utilisées sur les chantiers. Les mesures de vibrations ont permis d'une part de dresser un bilan de la contrainte vibratoire au poste de conduite des engins testés, d'autre part d'évaluer l'efficacité des suspensions des sièges qui les équipent.**

**Les résultats indiquent une relative sévérité des vibrations avant-arrière de basse fréquence sur la plupart des mini-engins. Mais les valeurs des vibrations suivant cet axe dépendent du travail réalisé et de la conduite de l'opérateur. Seules les chargeuses et les moto-basculeurs compacts semblent présenter des intensités vibratoires importantes suivant l'axe vertical (jusqu'à  $1 \text{ m.s}^{-2}$  pour les chargeuses et  $2 \text{ m.s}^{-2}$  pour les moto-basculeurs).**

**Les mini-engins sont souvent équipés de sièges compacts à suspension verticale qui sont efficaces pour réduire les vibrations selon cet axe. Les résultats suggèrent que les sièges qui passent avec succès la classe I proposée par l'INRS pour tester les sièges de chariots élévateurs de capacité de charge de moins de 5 tonnes ont une suspension adaptée pour filtrer les vibrations verticales présentes sur les engins compacts de chantier. Dans le cas des moto-basculeurs compacts, il est préférable d'utiliser un siège conçu pour les tracteurs agricoles de moins de 3,6 tonnes. Par contre, il n'existe pas de sièges compacts à suspension avant-arrière. Des travaux de développement sont à faire dans ce domaine préalablement à toute proposition de codes d'essais.**

Mini-engin / Cabine / Siège / Vibration / Mesure / Essai / Normalisation

**P**ratiquement inconnus il y a une vingtaine d'années (si l'on excepte les moto-basculeurs compacts), les mini-engins de chantier sont maintenant largement utilisés en milieu urbain et dans les travaux de voirie par le BTP, les entreprises de jardinage, les municipalités, etc. Facilement transportables, ayant accès partout, ces engins puissants, articulés, maniables et polyvalents évitent aux opérateurs de nombreux travaux pénibles et parfois dangereux, qui étaient auparavant réalisés manuellement. Ainsi, il se vend plus de 500 chargeuses de moins d'un mètre

cube par an en France [1]. De tels engins présentent cependant les inconvénients suivants :

- compacts par nécessité, ils offrent à l'opérateur un poste de travail souvent très exigu et encombré par les manettes de contrôle qui l'obligent à adopter des postures inconfortables [2]. Dans certains cas, les conducteurs sont sélectionnés sur des critères anthropométriques ;

- d'un coût de fabrication extrêmement réduit, la qualité des postes de conduite est souvent sommaire. Ainsi, le siège

n'est parfois qu'une sellerie dépourvue de suspension avec un dossier s'arrêtant au bas des reins ;

– devant se déplacer sur un terrain irrégulier, ils peuvent exposer les conducteurs à des vibrations de basses fréquences, qui sont peu filtrées du fait de l'absence de suspension de l'engin. Cette situation s'est aggravée depuis l'introduction des pneus de type bandages (par exemple Airboss®) qui remplacent les pneus gonflés ;

– s'agissant d'un matériel le plus souvent loué, le personnel n'est souvent pas formé à l'utilisation des engins compacts dont le champ d'utilisation s'élargit chaque jour.

Les nuisances posturale et vibratoire sont notables si le poste de conduite est utilisé longuement, c'est-à-dire s'il constitue le poste de travail principal. Le préjudice dû à ces nuisances est fortement diminué, voire supprimé, si l'engin n'est utilisé qu'occasionnellement par chaque conducteur.

Les enquêtes épidémiologiques effectuées chez les conducteurs montrent que la conduite sur de longues durées de véhicules vibrants est une des causes du mal de dos ; les symptômes les plus fréquemment rapportés sont les lombalgies, les troubles dégénératifs précoces de la colonne vertébrale, les hernies discales [3].

La directive européenne 89/392/CEE, modifiée par la directive 91/368/CEE [4], définit les exigences auxquelles doivent satisfaire ces véhicules vis-à-vis de la sécurité et des risques pour la santé des

opérateurs. Elle précise que le siège doit être conçu pour réduire les vibrations transmises au conducteur jusqu'à la plus faible valeur qui puisse raisonnablement être obtenue, et que les fabricants doivent indiquer, dans les manuels d'utilisation, les valeurs de vibrations dans la cabine.

Pour estimer les caractéristiques et les dispositifs palliatifs de telles vibrations au poste de conduite et pour répondre à des besoins de normalisation en matière de codes d'essais (validation et/ou élaboration de méthodes), l'INRS a entrepris une étude dont les principaux objectifs étaient :

– de situer la nature et l'intensité des vibrations en fonction du type d'engins,

– d'examiner l'efficacité des sièges équipant ces engins,

– d'étudier la possibilité de définir des spécifications représentatives des différents engins afin d'apporter des éléments pour l'élaboration d'un projet de norme relative aux essais en vibration des sièges [5].

## METHODOLOGIE

### Sélection des véhicules

Quinze mini-engins de chantier ont été mis à l'essai (fig. 1) :

– sept pelles compactes, de masses comprises entre 1 et 7 tonnes, dont la

puissance installée variait entre 8 et 40 kW, toutes équipées de chenilles soit en caoutchouc, soit en acier,

– quatre chargeuses compactes, une équipée de chenilles en caoutchouc et les trois autres montées sur quatre roues à pneumatiques, dont la puissance était de 9 kW pour la première et 13 kW pour les autres,

– une chargeuse-pelle compacte sur roues, d'une masse de 4,2 t et d'une puissance de 37,5 kW,

– un moto-basculeur sur roues d'une masse de 1,7 t à vide et d'une puissance de 13 kW,

– deux compacteurs vibrants, d'une puissance de 24,5 kW et ayant une masse d'environ 2,5 t.

Tous ces véhicules étaient dépourvus de suspension au niveau du châssis et étaient actionnés par des moteurs thermiques. L'étude n'est pas exhaustive ; elle a porté sur des matériels fournis par la profession (fabricants, importateurs, loueurs et utilisateurs), qui a été sollicitée pour mettre à la disposition de l'INRS des véhicules conduits par les opérateurs habituels sur le lieu de travail ou sur les aires de démonstration.

### Conditions d'utilisation

Les différents véhicules ont été testés dans des conditions courantes d'utilisation (roulement à vide et en charge à différentes vitesses si possible, chargement et déchargement, creusement, et compactage pour la dernière catégorie d'engins). Il en a été de même pour les paramètres liés au site expérimental (irrégularités du sol). Lorsqu'il n'était pas possible de s'insérer dans un cycle de production, les mesures étaient réalisées sur un terrain de démonstration, sur lequel on pouvait recréer des situations analogues à celles rencontrées dans la réalité. En moyenne, quatre essais différents ont été réalisés par engin afin de tenir compte des différentes conditions d'utilisation possibles.

Dans ce cas, le conducteur de l'engin expérimenté recevait comme instruction de maintenir « un rythme de travail soutenu et régulier », tout en respectant les consignes de sécurité et en roulant à la vitesse habituelle. Dans ces conditions, la contrainte vibratoire ainsi obtenue n'est pas absolument représentative d'une journée de travail, qui comporte généralement des arrêts, des changements de cadence ou des modifications de tâches. Le résultat moyen obtenu est donc un majorant. Il permet cependant d'évaluer le risque en ma-

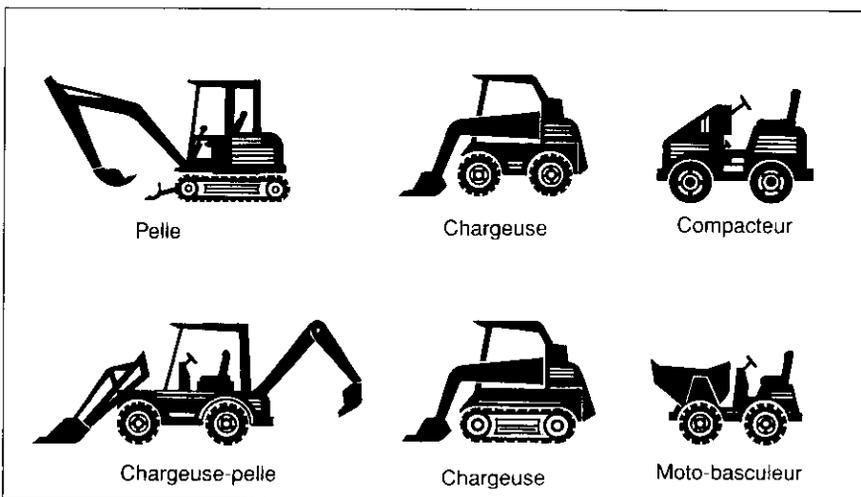


Fig. 1. Schéma des mini-engins testés - Schema of compact machines tested

tière de contrainte vibratoire, de comparer des véhicules entre eux et d'établir les performances des suspensions des sièges dans des conditions d'utilisation.

### Métrologie

Les mesures de vibrations ont été réalisées en application de la norme NF E 90-401, parties 1 et 2 [6] :

– sur l'assise du siège, au moyen d'une interface de mesure semi-rigide contenant trois accéléromètres linéaires, placés entre la sellerie et le séant du conducteur sous les tubérosités ischiatiques,

– à la base du siège, au moyen de trois accéléromètres linéaires fixés à l'aide d'un aimant (force d'attraction : environ 1 000 N) sur la partie rigide du véhicule la plus proche de l'amarrage du siège sur le plancher de la cabine. L'axe sensible de chaque accéléromètre linéaire était orienté selon une direction du trièdre orthonormé suivant l'axe X : direction avant-arrière, l'axe Y : direction latérale et l'axe Z : direction verticale.

Les signaux analogiques issus des six voies de mesures ont été enregistrés sur bande magnétique au moyen d'un enregistreur via une télémesure embarquée sur l'engin, pour être analysés en temps différé.

### Calcul des valeurs caractéristiques

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

– évolution de l'accélération en fonction du temps,

– densité spectrale de puissance (DSP) des accélérations dans le but d'identifier les fréquences dominantes,

– calcul de la valeur efficace des accélérations linéaires entre 1 et 80 Hz, sans pondération ( $a_x, a_y, a_z$ ) et avec pondération ( $a_{wx,s}; a_{wy,s}; a_{wz,s}$ ), conformément à la norme NF E 90-401-2 pour tenir compte de la sensibilité humaine aux vibrations,

– calcul de l'accélération équivalente, grandeur de base définissant la contrainte vibratoire que subit le conducteur sur le siège :

$$A_{eq} = \max(a_{wx}, a_{wy}, a_{wz})$$

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

$$R_z = a_{wz,s} / a_{wz,p}$$

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

## RESULTATS

### Evaluation de l'exposition au poste de conduite

La norme NF E 90-401-2 [6] recommande d'évaluer le risque pour la santé en ne tenant compte que de la vibration suivant l'axe dominant. En référence à cette norme, une valeur inférieure à  $0,6 \text{ m.s}^{-2}$  est considérée comme acceptable pour une exposition de 8 heures. Entre  $0,6$  et  $0,9 \text{ m.s}^{-2}$ , la situation est jugée préoccupante ; au-delà, il faut réduire la contrainte vibratoire ou le temps d'exposition.

La figure 2 montre que cette dernière possibilité peut se produire sur les moto-basculateurs, les chargeuses et, à un degré moindre, sur les pelles. Sur les moto-basculateurs, les vibrations sont dominantes selon l'axe vertical alors que sur les deux derniers types de véhicules, ce sont les vibrations suivant l'axe avant-arrière, consécutives principalement au mode de travail du véhicule et non à son déplacement, qui sont prédominantes.

Les dispersions des valeurs d'accélérations efficaces pondérées observées, même pour un seul véhicule (cas de la chargeuse sur chenilles et du moto-basculateur), sont imputables aux variations des conditions d'essais. Par

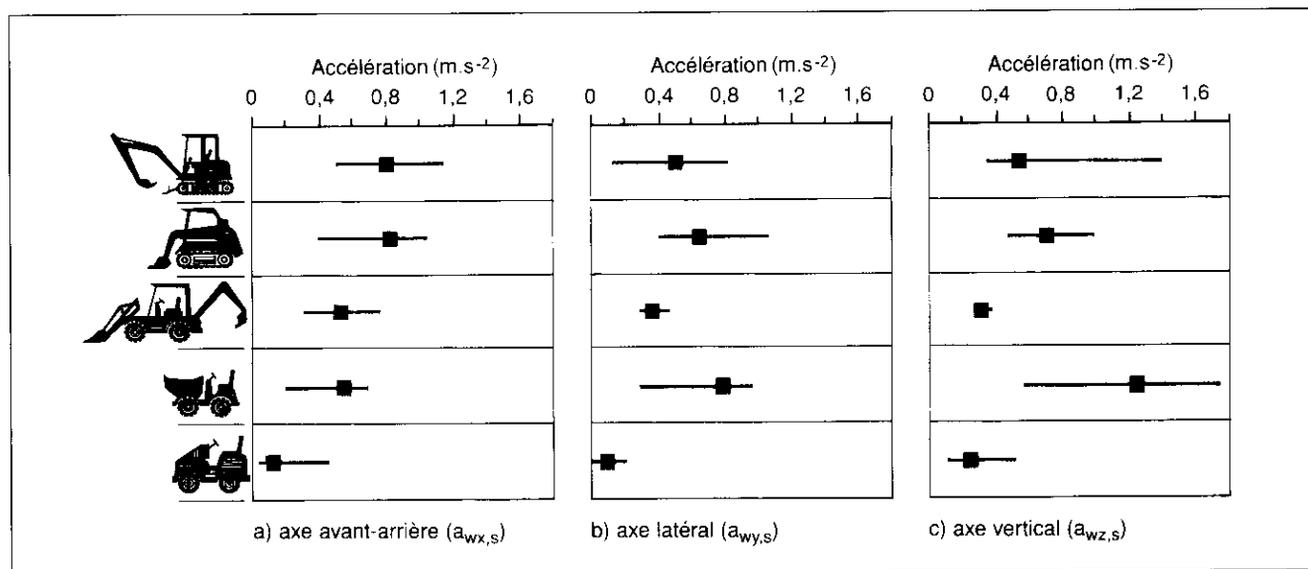
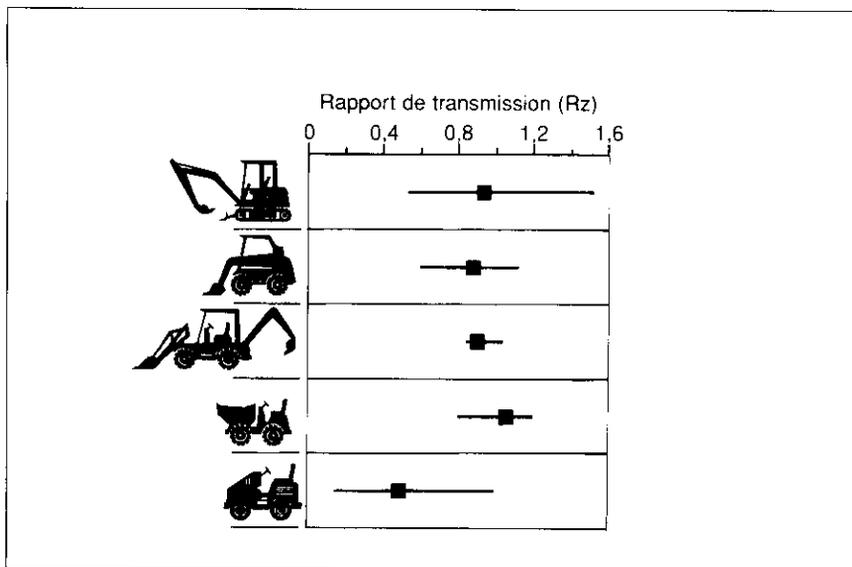


Fig. 2. Comparaison des distributions des valeurs efficaces des accélérations pondérées ( $a_w$ ) du siège en fonction des engins regroupés par catégorie. a) axe avant-arrière ( $a_{wx,s}$ ). b) axe latéral ( $a_{wy,s}$ ). c) axe vertical ( $a_{wz,s}$ ) - Comparison of distribution of seat weighted rms acceleration magnitudes ( $a_{wx,s}, a_{wy,s}, a_{wz,s}$ ) as a function of different categories of machinery



**Fig. 3. Répartition des rapports de transmission (Rz) des sièges à suspension en fonction des engins regroupés par catégories** – Distribution of transmission ratios (Rz) of suspended seats as a function of different categories of machines

exemple, dans le cas du moto-basculeur, la vibration est fonction des irrégularités du terrain, de la vitesse et de la charge. Les essais ont été choisis de façon à borner ces variations, de façon « réaliste » mais non exhaustive (cf. Méthodologie).

#### Efficacité des sièges pour atténuer les vibrations transmises au conducteur selon l'axe vertical

La plupart des engins étudiés étaient équipés d'un siège muni d'une suspension mécanique souple selon l'axe vertical ; en revanche, aucun système antivibratile agissant selon l'axe avant-arrière n'a été rencontré sur ces engins. Il s'agit en règle générale de sièges baquets dépourvus de réglages, hormis l'ajustement avant-arrière.

Le siège constitue le dernier niveau avant que les vibrations n'atteignent le conducteur. C'est aussi, dans le cas des véhicules montés sur chenille ou des bandages pleins, le seul niveau de suspension existant. En raison du peu de place disponible entre le plancher sur lequel vient se fixer le siège et le « toit » de la cabine (protège-tête), les suspensions de sièges rencontrées dans la plupart des véhicules expérimentés, et notamment sur les mini-chargeuses, sont du type « compactes », c'est-à-dire qu'elles sont articulées à l'avant. La figure 3 donne les valeurs maximales, minimales et moyennes des rapports de transmis-

sion Rz des sièges équipant les véhicules testés. La plupart des engins testés, à l'exception du moto-basculeur, étaient récents au moment de l'étude. On peut donc espérer que les valeurs de Rz trouvées sont représentatives, d'autant plus que le nombre de modèles de sièges différents est faible pour ces types d'engins.

D'une façon générale, les sièges installés sur les compacteurs vibrants expérimentés avaient des suspensions adaptées à ce type d'engins. Sur les pelles et chargeuses-pelles compactes, et compte tenu des valeurs de vibrations mesurées suivant l'axe vertical, on peut dire que les suspensions des sièges installées sur ces engins réduisent correctement les vibrations rencontrées sur ces engins ; on ne prend en considération que les valeurs de Rz correspondant à des valeurs efficaces de l'accélération pondérée mesurée sur le plancher supérieures à 0,4 m.s<sup>-2</sup>. En dessous de cette valeur, les frottements propres à la cinématique de la suspension empêchent celle-ci de fonctionner correctement. Toutefois, sur le moto-basculeur et les chargeuses compactes, à l'exception de la chargeuse sur chenilles, les sièges qui équipaient les engins expérimentés comportaient une suspension dont les performances peuvent être notablement améliorées compte tenu des fréquences dominantes (3,5 – 5 Hz) de la vibration et des valeurs mesurées.

Les dispersions observées sur les valeurs de Rz pour un même modèle

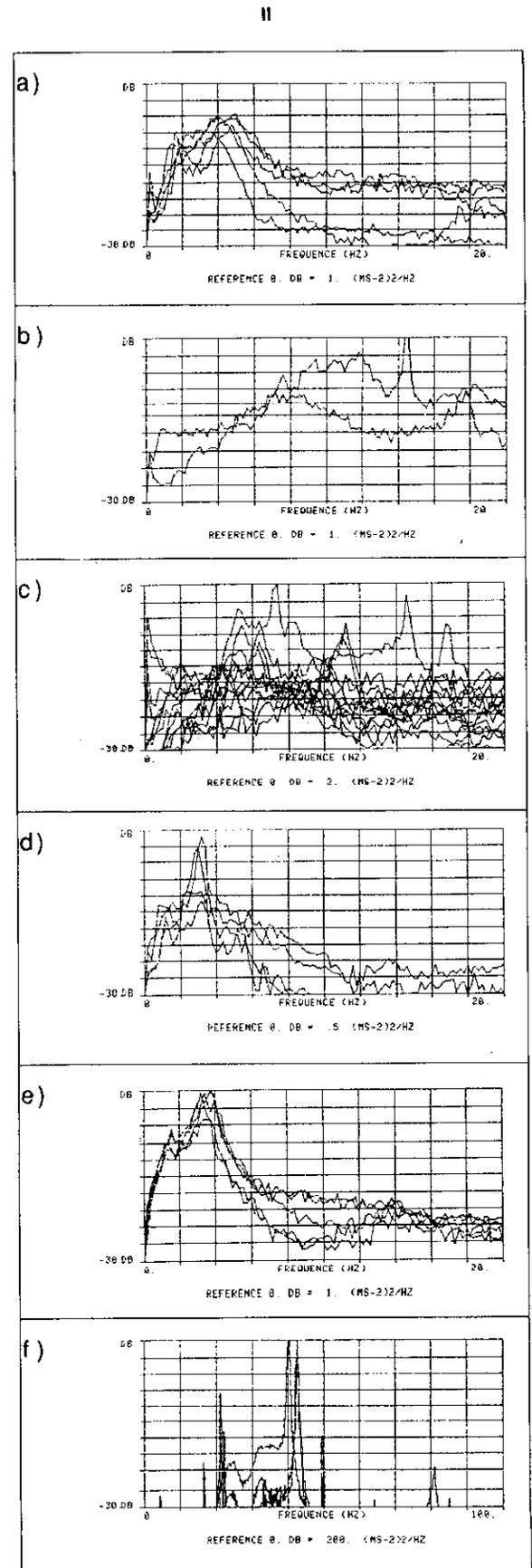
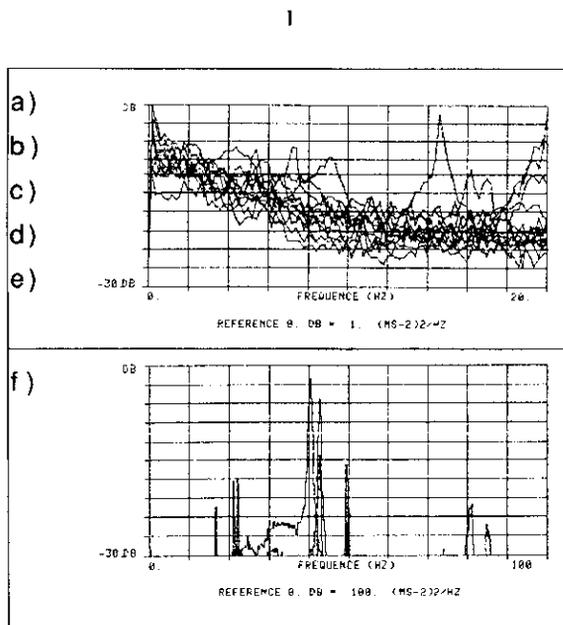
d'engin et un même siège sont dues au comportement dynamique non linéaire des suspensions que l'on trouve sur les sièges de ces véhicules.

En règle générale, l'efficacité des suspensions de ces sièges est d'autant meilleure que l'excitation est forte, sauf s'il y a mise en butée.

#### Code d'essais des sièges

La définition d'un environnement vibratoire « standard » spécifique à ce type d'engins permet aux constructeurs de sièges de mieux adapter leurs suspensions. Cette adaptation a été réalisée auparavant pour les tracteurs agricoles [7], certains engins de chantiers non compacts [8], les tracteurs routiers [9] et est en cours d'achèvement pour les chariots élévateurs [10, 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 non compacts, la norme spécifique NF E 58-074 [8] 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 leur valeur efficace de l'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 [12]. Chaque classe regroupe plusieurs catégories d'engins jugées suffisamment proches quant aux dominantes fréquentielles et aux intensités mesurées.

Un travail similaire pour les engins compacts a donc été entrepris en septembre 1993 par un groupe de travail ISO. 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 de vibration d'entrée spécifique aux différentes catégories d'engins compacts suivant l'axe vertical.

La figure 4 illustre la dispersion des densités spectrales moyennes de puissance des accélérations obtenues avec les différentes catégories d'engins compacts suivant les axes avant-arrière et vertical.

**Proposition pour tester les sièges des mini-engins**

Sur tous ces engins, on observe un maximum d'énergie entre 1 et 3 Hz puis au-delà de 20 Hz (vibrations moteur). Sur les chargeuses, suivant l'axe Z, il existe un maximum d'énergie entre 5 et

**Fig. 4. Distribution des densités spectrales de puissance des accélérations avant-arrière (I) et verticales (II) mesurées sur le plancher des mini-engins**

- a) Chargeuse sur roues
  - b) Chargeuse sur chenilles
  - c) Pelle sur chenilles
  - d) Chargeuse-pelleteuse
  - e) Moto-basculeur
  - f) Compacteur vibrant
- Distribution of power spectral density of fore and aft (I) and vertical (II) accelerations measured on the floor of the compact earth moving machines

- a) Wheeled loader
- b) Crawled loader
- c) Crawled excavator
- d) Backhoe
- e) Site dumper
- f) Vibrating roller

10 Hz, puis au-delà de 15 Hz sur les véhicules à chenilles et entre 3 et 6 Hz sur les véhicules à roues. Sur les pelles compactes et chargeuses-pelleteuses, l'énergie vibratoire de basse fréquence suivant l'axe vertical est répartie uniformément entre 1 et 10 Hz avec une intensité relativement peu élevée. Sur le moto-basculateur, l'énergie vibratoire est dominante entre 3,5 et 4 Hz. Enfin, sur les compacteurs vibrants, il n'y a pas d'énergie en basses fréquences (inférieures à 20 Hz). Les seuls pics de vibrations qui existent sont dus au vibreur de compactage (fréquences supérieures à 20 Hz).

Au vu de ces résultats, il paraît possible de définir des classes spectrales susceptibles d'englober toutes les conditions vibratoires rencontrées selon l'axe Z sur les chargeuses ou les moto-basculateurs compacts.

Les résultats de l'INRS [13], couplés à ceux obtenus par des constructeurs d'engins [14], ont permis au groupe ISO chargé de l'élaboration d'un projet de norme [15, 16], sur les sièges pour tous les types d'engins de chantier, de faire les propositions ci-dessous. Ces propositions visent à ne pas multiplier inutilement le nombre de classes spectrales en utilisant, dans la mesure où cela est techniquement acceptable, des classes précédemment définies pour d'autres véhicules.

• **Les chargeuses compactes sur pneus ou sur chenilles**, qui nécessitent un siège à suspension compacte du fait du peu de place disponible, seront représentées par la classe vibratoire recommandée pour les chariots élévateurs de capacité de charge inférieure à 5 t [10] généralement équipés du même type de siège. Les sièges de ces véhicules pourront être testés avec une vibration aléatoire dont la densité spectrale de puissance est maximale entre 4 et 6 Hz (classe 1) et de valeur efficace pondérée égale à  $1,5 \text{ m.s}^{-2}$ . Cette dernière valeur constitue un majorant des valeurs efficaces pondérées généralement mesurées (de l'ordre de  $1 \text{ m.s}^{-2}$ ) sur les chargeuses. Ce choix a été fait pour minimiser le nombre de classes et les essais à réaliser. Il garantit à l'utilisateur un siège qui aura une course obligatoirement plus importante que si les essais étaient faits à  $1 \text{ m.s}^{-2}$ , ce qui est un avantage en cas de choc. La valeur d'excitation étant plus forte, on est en droit d'espérer des valeurs de Rz plus faibles que celles trouvées dans la réalité (en moyenne 0,9). Si une suspension de siège satisfait à des essais réalisés dans ces conditions, les résultats obtenus avec une vibration dont le domaine de fréquences est plus élevé (5 à 10 Hz

pour les chargeuses sur chenilles) seront nécessairement au moins aussi bons.

• Il n'est pas justifié de définir une classe spectrale pour **les pelles compactes** du fait des faibles valeurs de vibrations mesurées sur ces engins. **Les compacteurs vibrants** n'ont pas fait l'objet de proposition de classes. En effet, ces véhicules sont maintenant généralement équipés d'un poste de conduite suspendu qui isole le conducteur des vibrations dont l'énergie prédomine au-delà de 25 Hz.

• **Les moto-basculateurs** seront couverts par la classe vibratoire définie pour les tracteurs agricoles de moins de 3,6 tonnes [7], soit une vibration aléatoire dont la densité spectrale de puissance est maximale à 3,25 Hz (classe 1) et de valeur efficace pondérée égale à  $2,05 \text{ m.s}^{-2}$ . Ce choix est réaliste car les résultats présentés par les autres participants du groupe ISO qui prépare la norme sur les sièges ont montré qu'il s'agit toujours d'un véhicule vibrant de  $1 \text{ à } 2 \text{ m.s}^{-2}$  sur le plancher.

Le critère de sélection du siège est le rapport de transmission vertical (Rz). Les valeurs maximales de Rz acceptables sont fonction de la « classe ». Elles ont été fixées à 0,7 pour les chargeuses et à 0,6 pour les moto-basculateurs.

Ces valeurs (souvent plus faibles que celles observées dans la réalité du fait des conditions des essais) reposent sur l'expérience acquise lors des tests de siège, en laboratoire, qui sont pratiqués systématiquement depuis 1978 (pour les sièges de tracteurs agricoles en application de la directive 78/764/CEE [17], qui rend obligatoire l'homologation des sièges de première monte pour ce type de matériel) et sur les essais de 30 sièges pour chariots élévateurs [18] qui ont été réalisés pour le développement du projet de norme correspondante [10].

Certains mini-engins expérimentés (pelles, chargeuses) justifieraient un siège comportant un isolateur avant-arrière. Des réalisations techniques existent sur des suspensions de sièges destinées à d'autres catégories de véhicules (tracteurs agricoles et tracteurs routiers par exemple), mais il n'y a pas eu, à notre connaissance, d'adaptation faite sur les sièges compacts. En l'absence donc de réalisations techniques, il est prématuré de faire des propositions de classes vibratoires car trop de paramètres sont à définir (critères d'acceptabilité de la suspension, limita-

tions ergonomiques, etc.). S'agissant de vibrations de basses fréquences, le rôle d'une telle suspension ne serait pas d'atténuer les vibrations, mais les chocs transmis dans le dos des opérateurs.

---

## CONCLUSION

---

Les moto-basculateurs et les chargeuses compactes peuvent présenter des intensités vibratoires importantes suivant l'axe vertical, en référence à la norme NF E 90-401, qui justifie l'équipement de ces engins avec un siège à suspension verticale. Afin que le siège choisi soit efficace pour atténuer les vibrations transmises à l'opérateur (ce qui n'est pas toujours le cas), il convient que ses caractéristiques dynamiques soient adaptées à celles du véhicule sur lequel il est monté. Les mesures de vibrations effectuées sur le plancher des engins ont permis de définir deux classes spectrales de vibration d'entrée qui permettront de tester en laboratoire les sièges destinés aux moto-basculateurs et aux chargeuses compactes. Un projet de code d'essai basé sur ces propositions est en cours de discussion par les instances de normalisation internationale.

Les mesures réalisées sur le siège soulignent également une relative sévérité des vibrations avant-arrière de basse fréquence sur des mini-engins. Mais suivant cet axe, les intensités des vibrations dépendent du travail réalisé et de la façon de conduire de l'opérateur.

En revanche, il n'existe pas, à notre connaissance, de siège compact à suspension avant-arrière. Des travaux de développement sont à mener dans ce domaine préalablement à toute proposition de codes d'essais.

Outre l'équipement avec des sièges à suspension vertical et/ou avant-arrière, la prévention passe également par la formation de l'opérateur de façon à optimiser sa conduite pour minimiser les chocs et vibrations, tout en maintenant une bonne efficacité dans son travail.

---

## Bibliographie

1. Dossier : Chargeuses articulées. *Forum TP*, 1994, 48, 4.
2. TISSERAND M., ENGLERT M., HELLA F. – Dimensionnement du poste de conduite des petits engins. Nancy, INRS, coll. Notes scientifiques et techniques, 1992, NS 94, 144 p.

3. BONGERS P., BOSHUIZEN H. – Back disorders and whole-body vibration at work. La Haye, Gegevens Kominklijke Bibliothek, 1990, p. 318.
4. Directive 89/392/CEE concernant le rapprochement des législations des Etats membres, relatives aux machines, modifiée par la directive 91/368/CEE du 20 juin 1991. *J.O. des Communautés Européennes*, L.183, 29 juin 1989, pp. 9-31 et L.198, 22 juillet 1991, pp. 16-32.
5. ISO 10326-1 – Vibrations mécaniques. Méthode en laboratoire pour l'évaluation des vibrations de siège de véhicule. Partie 1 : Exigence de base. Genève, ISO, 1992, 8 p.
6. NF E 90-401 (parties 1 et 2) – Vibrations et chocs mécaniques. Evaluation de l'exposition des individus aux vibrations globales du corps. 1. Prescriptions générales. 2. Risques pour la santé. Paris – La Défense, AFNOR, août 1990, resp. 8 p., 7 p.
7. ISO 5007 – Tracteurs agricoles à roues. Siège du conducteur. Mesurage en laboratoire des vibrations transmises. Genève, ISO, 1980, 13 p.
8. NF E 58-074 – Engins de terrassement. Spécifications pour le mesurage en laboratoire des vibrations verticales transmises au conducteur par l'assise du siège. Paris – La Défense, AFNOR, juil. 1988, 16 p.
9. NF R 18-401 – Véhicules routiers. Vibrations transmises par les sièges des véhicules utilitaires de plus de 12 tonnes de PTAC. Méthodes d'essai. Paris – La Défense, AFNOR, déc. 1990, 12 p.
10. Mechanical vibration. Industrial trucks. Laboratory evaluation of operator seat vibration. Bruxelles, CEN, fév. 1994, Document CEN/TC231/WG1/SG1.2N93 (rev.2).
11. DANIERE P., BOULANGER P., DONATI P., GALMICHE J.P. – Environnement acoustique et vibratoire aux postes de conduite des chariots élévateurs. *Cahiers de Notes Documentaires – Hygiène et Sécurité du Travail*, 1992, 148, pp. 345-358.
12. DANIERE P., BOULANGER P., DONATI P., GALMICHE J.P. – L'environnement acoustique et vibratoire aux postes de conduite des engins de terrassement. *Cahiers de Notes Documentaires – Hygiène et Sécurité du Travail*, 1987, 126, pp. 163-173.
13. DONATI P., GALMICHE J.P., MISTROT P. – Revision of ISO 7096 :1982. Additional vibration data on earth moving machines. Nancy, INRS, 1994, Document MAV-DT-236/PDI.
14. RITTERBUSH M. – Data provided by the USA participants to the Joint Working Group. Communication du 15 mars 1994 au secrétariat du ISO TC108/SC2 – ISO TC127/SC2 Joint Working Group.
15. DONATI P. – Proposal for the revision of ISO 7096 :1982. Earth moving machinery. Laboratory evaluation of operator seat vibration. Nancy, INRS, 1994, Document MAV-DT-248/PDI.
16. ISO 7096 – Engins de terrassement. Evaluation en laboratoire des vibrations du siège de l'opérateur. Genève, ISO, 1982, 9 p. (*Une nouvelle édition, parue en 1994, ne tient pas compte de l'ensemble des arguments développés dans l'article.*)
17. Directive 78/764/CEE de la Commission concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives au siège du conducteur des tracteurs agricoles et forestiers à roues. *J.O. des Communautés Européennes*, L. 255, 18 sept. 1978, vol. 21.
18. DONATI P., GALMICHE J.P., BOULANGER P. – Effect of the operator's weight on the Seat effective amplitude transmissibility of 10 industrial truck seats (application of draft vibration test code). Nancy, INRS, 1994, Document MAV-DT-242/PDI.

Reçu en février 95, accepté en juillet 95 ■

**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 1996, n° 162 - ND 2011 - 500 ex.  
N° CPPAP 804 AD/PC/DC du 14-03-85 - Directeur de la publication : D. MOYEN  
ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-0510-2