

→ M. Asselineau (1),
G. Lovat (2), P. Danière (2),
H.S. Arbey (2)

(1) Société Peutz et associés, Paris.
(2) Service Métrologie-acoustique-
vibrations, centre de recherche de
l'INRS, Nancy

Tables vibrantes utilisées dans l'industrie du béton

Analyse des mécanismes de génération du bruit pour une réduction à la source

VIBRATING TABLES IN THE CONCRETE INDUSTRY

ANALYSIS OF NOISE GENERATION
MECHANISMS FOR NOISE REDUC-
TION AT SOURCE

The new European directives require manufacturers of industrial machinery to reduce the noise emitted by their machines to the lowest possible levels, especially by acting on the noise source. This requires a good understanding of the mechanisms responsible for noise in each element of the machine, as well as an assessment of expected noise levels and an estimate of the influence of the various parameters on acoustic emissions. This knowledge makes it possible to act directly on the source of the noise, and to obtain an idea of the order of magnitude of the improvements likely to be achieved. Vibrating tables which are widely used in the cement industry constitute a major source of noise both for the operator and for the surrounding environment. Basic operating principles, the acoustic levels normally encountered and the different mechanisms of noise generation are discussed. Means of considerably reducing noise emissions at the source are presented in this paper, including workload reduction, shock limitation, elimination of resonance, and damping of the walls via which the noise is radiated. Also discussed is the order of magnitude of the acoustic performance that can be expected of these different methods

● noise ● machinery ● reduction at source ● vibrating table ● concrete

Les nouvelles directives européennes imposent aux constructeurs de machines, de réduire l'émission acoustique de celles-ci au niveau le plus bas possible, notamment par des actions à la source. Une telle démarche nécessite, pour chaque élément de machine, une bonne connaissance des mécanismes générateurs de bruit, une évaluation des niveaux attendus et une estimation de l'influence des principaux paramètres sur l'émission acoustique. Ces éléments peuvent permettre, dans de nombreux cas, d'orienter les actions de réduction à la source et d'avoir une idée des gains possibles.

L'usage des tables vibrantes utilisées dans l'industrie du béton est largement répandu et constitue en général une source de bruit importante, aussi bien au poste de travail que dans l'environnement. Sont recensés ici les principes de réalisations les plus fréquents, les niveaux acoustiques habituellement rencontrés et les différents mécanismes générateurs de bruit. Des principes d'action de réduction à la source sont proposés, tels que : diminution des efforts, limitation des chocs, suppression des résonances et amortissement des parois qui rayonnent, ainsi que des ordres de grandeur des performances acoustiques que l'on peut en attendre.

● bruit ● machine ● réduction à la source ● table vibrante ● béton

La notion de réduction du bruit à la source est en fait une notion relativement vague qui peut masquer des réalités différentes en fonction des lieux, des époques et des personnes. Tout au plus, peut-on considérer à coup sûr que l'on n'agit pas à la «source» lorsque l'on résout un problème de bruit en intervenant sur l'organisation du travail, en préconisant des protecteurs individuels, ou en traitant acoustiquement le local dans lequel doit être installée une machine bruyante. A une époque relativement récente, la réalisation d'un encoffrement était considérée comme une action de réduction à la source et peut même l'être encore aujourd'hui, par exemple si l'encoffrement considéré est intégré à la machine et capote une partie particulièrement bruyante de celle-ci. La tentation est donc forte de définir l'action à la source non pas par ce qu'elle est, ce qui peut être délicat, mais ce qu'elle n'est pas, ce qui a été fait précédemment. Les questions que l'on peut se poser sont alors les suivantes :

Pourquoi ce type d'action de réduction est-il devenu si important aujourd'hui ? Pourquoi n'a-t-il pas été mis en œuvre plus tôt, s'il est aussi intéressant ? Quel rapport a-t-il avec l'analyse des mécanismes de génération du bruit ?

L'action à la source se situe au niveau de la machine proprement dite, en se rapprochant le plus possible de l'origine des efforts vibratoires. L'intérêt d'une telle démarche est multiple. En premier lieu, certains mécanismes génèrent des efforts fluctuants, indispensables ou non au procédé, qui provoquent des vibrations qui, au fur et à mesure des conversions d'ondes et des bifurcations de chemins de propagation, nécessitent des interventions multiples sur toutes les voies de transfert pour obtenir un gain acoustique substantiel. En second lieu, tout ou partie de ces vibrations sont souvent des phénomènes parasites qui ne sont que l'expression d'un mauvais fonctionnement de l'installation considérée : elles sont donc la conséquence de défauts, mais aussi la cause de pro-

blèmes (bruit, rupture, usure prématurée, mauvaise qualité de fabrication) tout au long de leur cheminement, qu'il convient donc de raccourcir au maximum. C'est la raison pour laquelle la Directive européenne 89/392 CEE, relative à la sécurité des machines, pose comme obligation la réduction de l'émission acoustique par des actions, notamment à la source.

Par nature, ce type de réduction intervient au cœur même des machines et doit être prévu au stade de la conception, au moment où les possibilités de modification sont encore importantes. Vu le nombre de problèmes acoustiques souvent traités a posteriori, on peut s'étonner d'une prise en compte aussi tardive. Deux raisons majeures peuvent être avancées :

- agir dès le stade de la conception nécessite de disposer d'outils de prévision de l'émission acoustique des machines et des équipements utilisables dès la réalisation des plans ;
- agir à la source impose de connaître les mécanismes générateurs, d'abord pour bien identifier les sources de bruit, ensuite pour intervenir sur ces mécanismes et les procédés utiles à la fonction de la machine sans nuire à ses performances. Ces performances dépendent parfois si fortement de paramètres liés au bruit qu'il est alors nécessaire d'agir en aval (par exemple par encoffrement) pour ne pas perturber ce procédé.

C'est pourquoi, dans le cadre de la protection des travailleurs contre le bruit, l'INRS mène à différents niveaux des actions complémentaires parmi lesquelles on peut citer :

- la participation à des programmes de recherche français ou européens, en vue de l'élaboration et la mise au point d'outils informatiques prévisionnels destinés en particulier aux concepteurs de machines et d'installations industrielles ;
- la validation et l'utilisation de ces outils, lors d'actions d'assistance technique aux Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) dans le cadre de la résolution de problèmes de bruit rencontrés dans les entreprises ;
- l'élaboration de synthèses bibliographiques, qui fournissent un certain nombre d'éléments sur les mécanismes générateurs de bruit les plus fréquemment rencontrés sur tel ou tel type de machine, sur les niveaux acoustiques habituellement atteints et sur des types de solutions couramment mises en œuvre pour les réduire. Ces synthèses bibliographiques n'ont pas la prétention de donner des recettes permettant de régler tous ces pro-

blèmes. Il s'agit plutôt de fournir des éléments d'analyse et de compréhension qui permettront, soit de tester tel ou tel type de modification, soit de soumettre le problème à des sociétés spécialisées au cas où cela s'avérerait nécessaire, soit encore d'acquérir un minimum de compétences permettant de mieux mettre en œuvre les solutions préconisées.

Ce document reprend un extrait d'un article réalisé par l'INRS [25], qui traite des dispositifs utilisés dans l'industrie du béton. Après un survol des différents principes et des paramètres de fonctionnement habituellement utilisés, il présente des niveaux sonores typiques, puis différents principes d'action permettant de les réduire. Enfin, il fournit quelques éléments relatifs aux niveaux vibratoires auxquels peuvent être soumis les opérateurs, en ce qui concerne l'ensemble du corps ou le système main-bras.

1. Description des principaux dispositifs utilisés

Du fait des nombreux équipements mécaniques lourds utilisés, les industries du béton présentent des niveaux sonores aux postes de travail élevés, auxquels ont été consacrés plusieurs études [2, 3, 4, 7, 10, 11, 13, 14, 18, 23].

On ne citera que pour mémoire les cimenteries qui, tout en ayant un lien avec les industries du béton, ne sont pas directement rattachées à celles-ci. Les cimenteries font largement appel à des dispositifs vibrants (fig. 1), tels que convoyeurs, tamis, cribles, trémies, mais leurs principes diffèrent sensiblement de ceux des tables vibrantes dans le présent document. Les activités liées à l'élaboration des éléments

Fig. 1. Exemple de schéma de site d'élaboration du ciment montrant quelques dispositifs vibrants

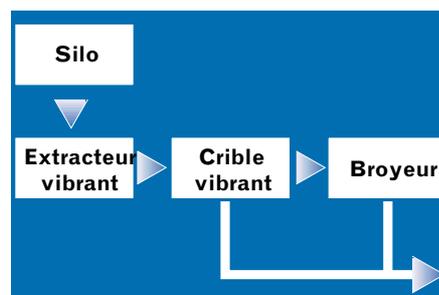
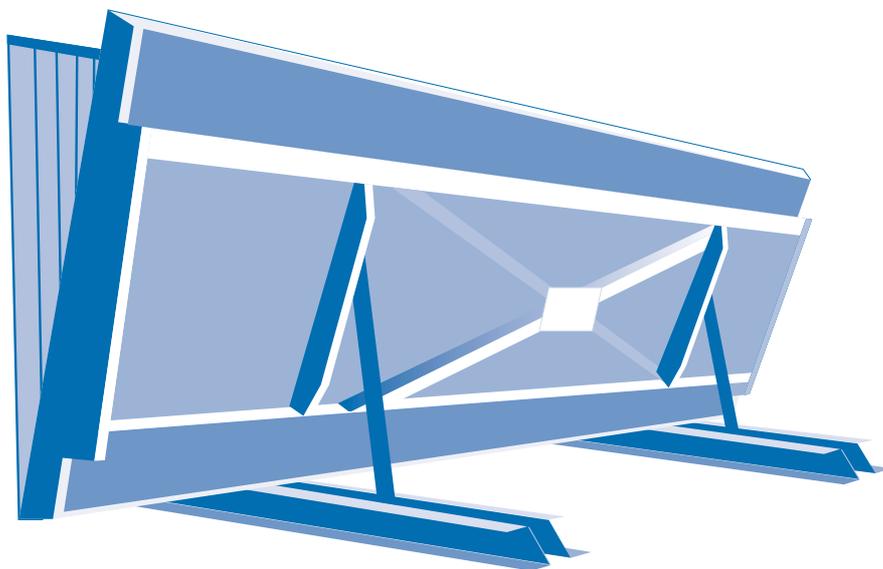


Fig. 2. Exemple de table vibrante de grande dimension (3,3 x 9,0 m)



de construction en béton, en usine ou sur les chantiers, font largement appel aux vibrations qui sont nécessaires au remplissage correct des moules, à la parfaite finition des produits (serrage du béton, élimination du bullage, résistance mécanique, etc.). Compte tenu des dimensions et de la masse des éléments à fabriquer, les tables vibrantes utilisées peuvent être de très grandes dimensions (fig. 2).

À l'origine, les processus de fabrication des éléments en béton faisaient essentiellement appel à des techniques de pressage. Les procédés vibratoires, introduits dès la fin des années 1950, ont permis d'améliorer la qualité des productions. L'efficacité de ces procédés repose sur les paramètres suivants :

- la fréquence de travail,
- l'amplitude et la direction des vibrations,
- les dimensions de l'élément traité,
- la durée de l'opération,
- les caractéristiques du béton (composition granulométrique, dosage en ciment, additifs spécifiques, teneur en eau, etc.).

En pratique, les dispositifs vibratoires utilisés travaillent à des fréquences comprises entre 50 et 200 Hz, avec des accélérations allant de 30 à 200 $m.s^{-2}$ (3 à 20 g) [12]. La figure 3 présente à titre d'exemple, et pour une composition de béton donnée, les courbes de la masse volumique de celui-ci en fonction de la fréquence de travail, pour différentes valeurs de l'accélération [6].

Une première technique consiste à mettre le béton en vibration localement, au moyen d'aiguilles vibrantes (fig. 4). Une telle méthode est fréquemment employée sur les chantiers mais l'est parfois également dans la réalisation d'éléments préfabriqués. Elle présente l'inconvénient d'une capacité de travail relativement limitée.

Lorsque l'emploi de dalles préfabriquées est possible, il est fait appel à une technique basée sur l'utilisation de tables vibrantes. Cette méthode est fréquemment utilisée dans les halls de fabrication d'éléments en béton, mais elle peut aussi être employée sur les chantiers.

Ces tables vibrantes comportent un plateau supportant le coffrage de dalle, reposant sur des appuis antivibratiles, et excité par un ou plusieurs arbres à balourds (fig. 5).

Fig. 3. Masse volumique du béton obtenue en fonction de l'excitation vibratoire

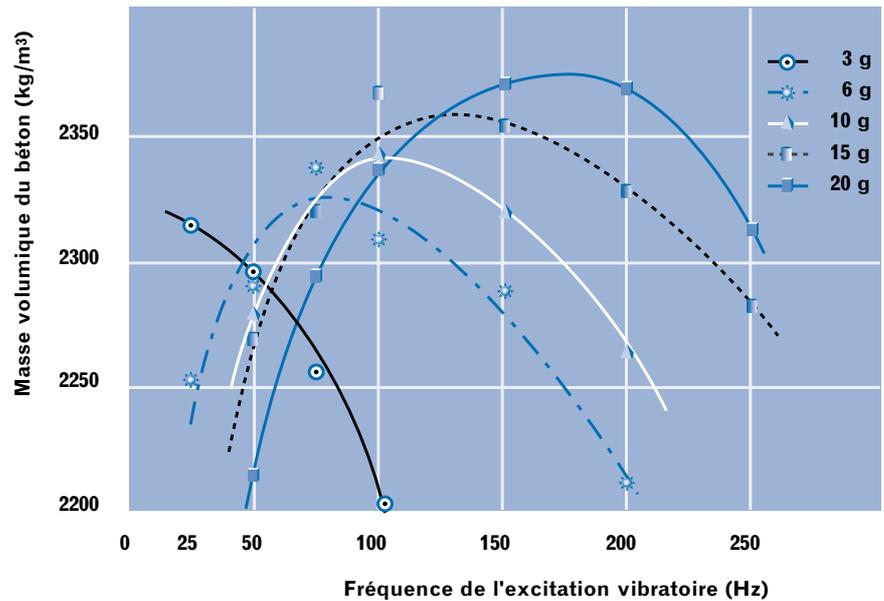


Fig. 4. Aiguille vibrante

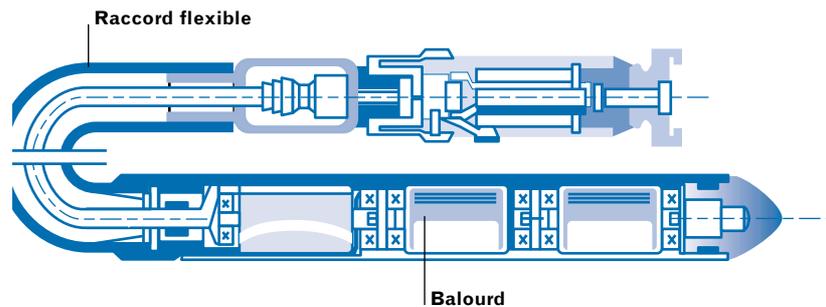
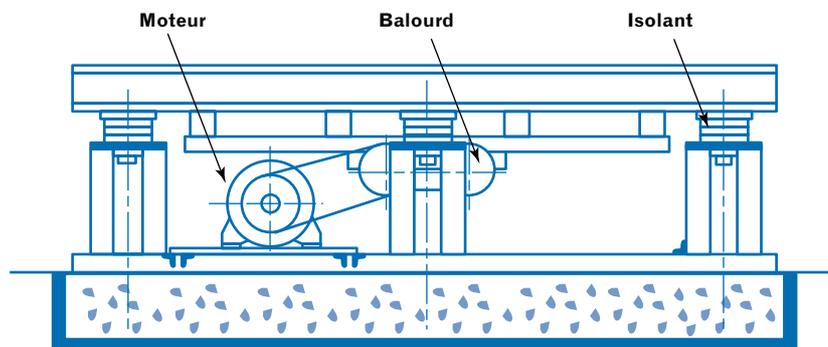


Fig. 5. Exemple de table vibrante utilisée par les industries du béton



Le cycle de fonctionnement est fonction de la table vibrante et du produit à fabriquer (éléments plans, poteaux, éléments de regard, etc.). A titre d'exemple, un cycle d'une telle table est de 2 minutes environ (fig. 6) [19].

Une troisième méthode consiste à utiliser un procédé combinant pressage et vibrations. Cette méthode est plus spécialement destinée à la fabrication d'éléments de dimensions petites ou moyennes, tels que les parpaings. Les machines correspondantes comportent (fig. 7) un plan de

travail équipé de vibreurs et recevant le moule sur lequel est appliqué par pressage un pilon parfois muni de vibreurs. Ceux-ci sont mis en marche durant 10 secondes ; puis on effectue une mise en vibration du plan de travail avant de retirer le moule. L'ensemble de l'opération dure typiquement une demi-minute environ.

La fabrication d'éléments, tels que les éléments de canalisation en béton, peut faire appel à diverses techniques : vibrations, centrifugation et vide, pressage, laminage... qui peuvent éventuellement être combinées entre elles [19].

Fig. 7. Schéma de machine à pressage et vibrations utilisée par les industries du béton

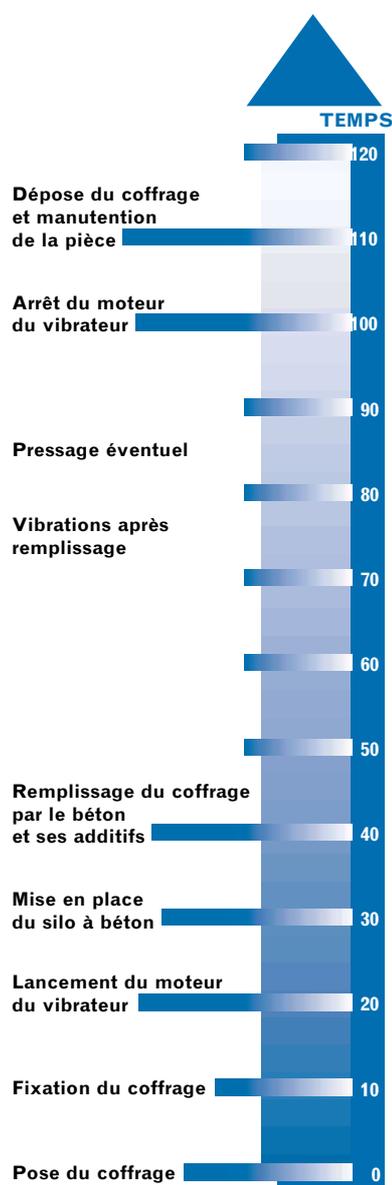
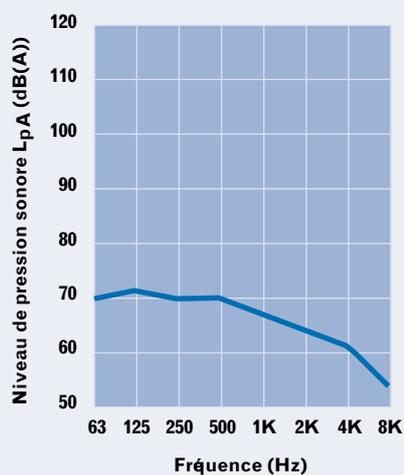
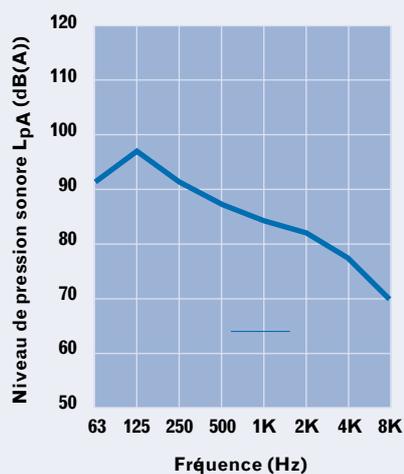


Fig. 6. Cycle de fonctionnement type d'une table vibrante utilisée par les industries du béton



a) en l'absence de procédé dévibratoire



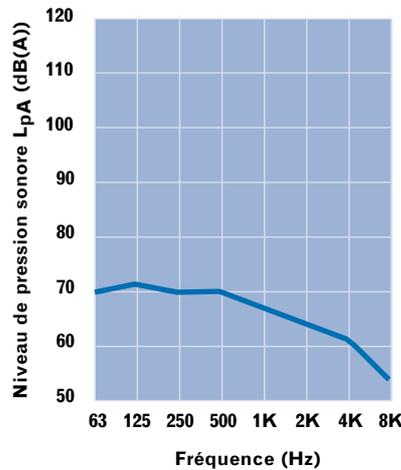
b) en utilisant un procédé dévibratoire

2. Niveaux sonores émis

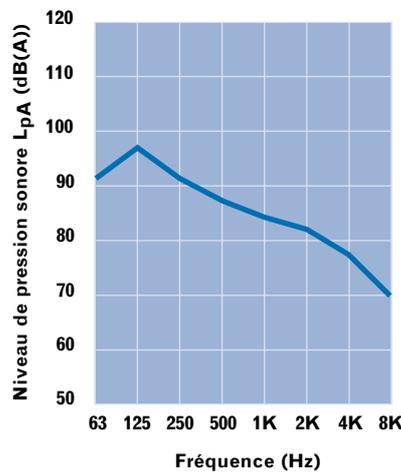
Il ressort de plusieurs études menées sur le bruit dans les industries du béton [3, 10, 16, 23] que les niveaux sonores continus équivalents relevés dans les halls de fabrication d'éléments préfabriqués dépassent fréquemment 85 dB(A), et excèdent même parfois 100 dB(A) à certains postes de travail. Par exemple, une table vibrante excitée à une fréquence de 100 Hz par un moteur à balourd avec une accélération de 60 m.s⁻², génère un niveau sonore de l'ordre de 104 dB(A). L'examen de divers résultats de mesures montre que les niveaux sonores sont bien plus élevés lorsqu'on utilise un procédé basé sur les vibrations plutôt qu'un procédé par pressage [23]. La figure 8 illustre à ce propos les spectres sonores obtenus dans un hall de fabrication en présence ou en l'absence d'un procédé vibratoire [22].

La figure 9 illustre pour sa part les niveaux sonores relevés à 1 mètre d'une table vibrante. La fréquence d'excitation (100 Hz) y ressort clairement, ainsi que son premier harmonique (200 Hz). Mais, au-delà de ces pics, la contribution au niveau sonore des différentes bandes de fréquences demeure importante. Cette contribution provient essentiellement de l'opération de compactage du béton proprement dite. La comparaison de ce spectre (linéaire) avec son spectre pondéré montre même que cette contribution est, pour le niveau global pondéré A, d'une grande importance. Mais, bien que cette contribution soit faible devant celle des hautes fréquences, les basses fréquences ne doivent pas être négligées pour autant. Dans le cas de la figure 9, pour un niveau sonore global de 104 dB(A), la contribution des basses fréquences s'élève tout de même à 92 dB(A).

Cette indépendance relative entre les phénomènes générateurs des basses et des hautes fréquences permet d'escompter une réduction du niveau sonore global pondéré A, basée sur celle des hautes fréquences, et ne portant pas de ce fait atteinte à l'efficacité des mécanismes d'excitation du procédé, qui conditionne la qualité des éléments en béton obtenus (cf. § 1). Dans les paragraphes suivants, seront abordés les principes de réduction des niveaux sonores applicables.



a) en l'absence de procédé vibratoire



b) en utilisant un procédé vibratoire

Fig. 8. Spectres sonores relevés dans un hall de fabrication d'éléments en béton, en présence et en l'absence d'équipements vibrants [23]

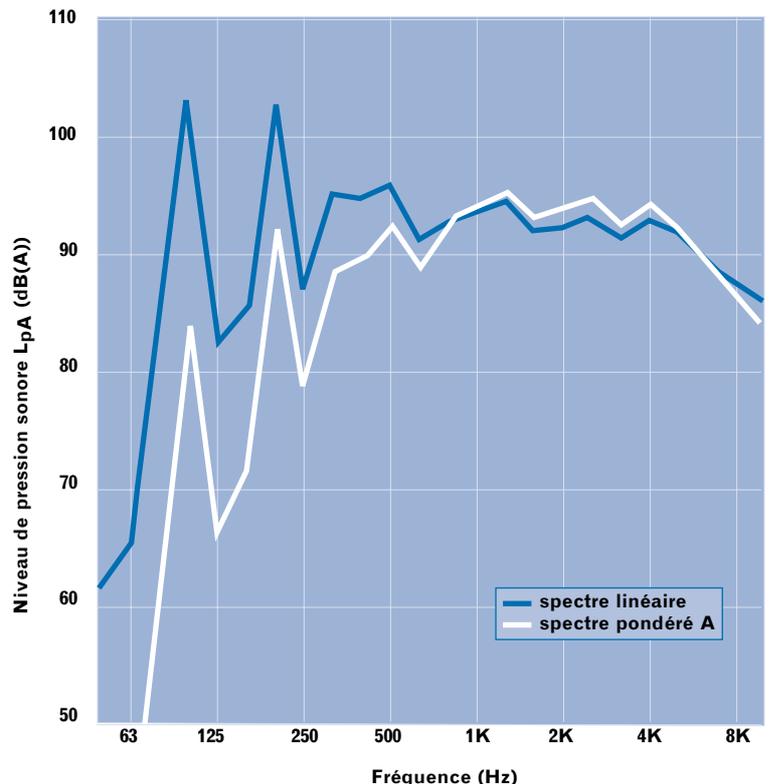


Fig. 9. Spectres sonores relevés à 1 m d'une table vibrante telle que celle utilisée par les industries du béton [23]

3. Moyens de réduction du bruit émis

Le tableau I présente les principes d'actions permettant la réduction du niveau sonore d'un dispositif de type table vibrante.

On notera que dans ce tableau des précautions sont prises, qui ne concernent plus la machine mais le poste de travail : il est en effet primordial de respecter les exigences de protection de la santé des travailleurs exposés.

Fig. 10. Spectres de vibrations (vitesse) relevés sur le châssis d'une table vibrante pour deux types d'excitateurs [23]

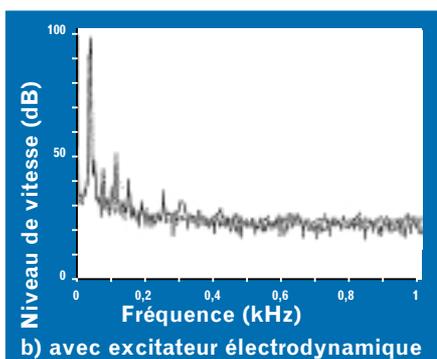
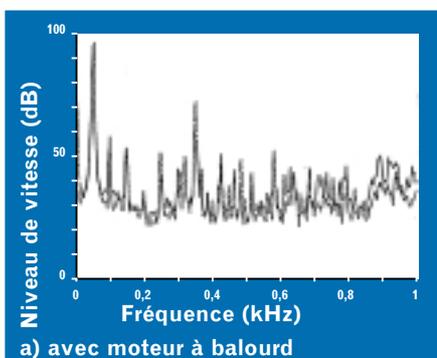
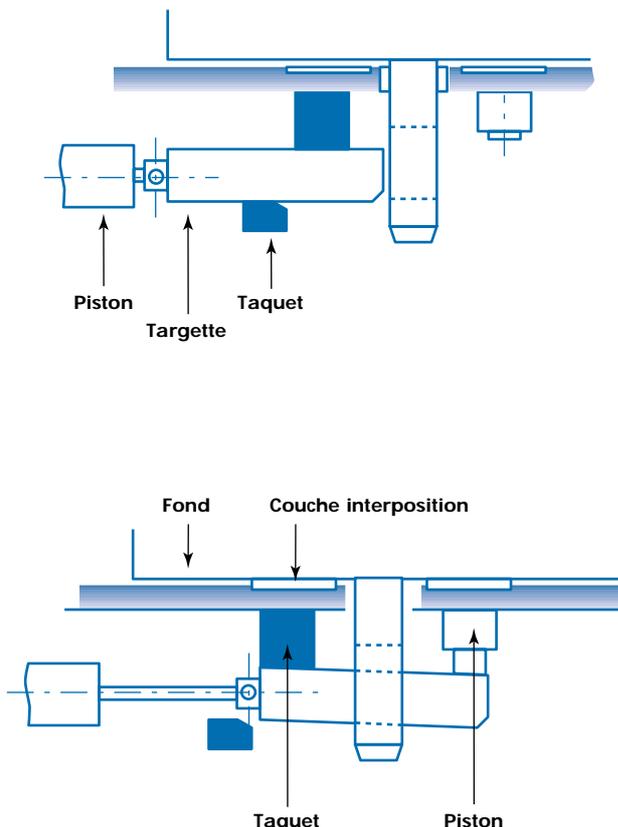


Fig. 11. Quelques exemples d'éléments d'une table vibrante susceptibles de provoquer une élévation des niveaux sonores [23]

TABLEAU I
PRINCIPES D' ACTIONS PERMETTANT LA RÉDUCTION DU NIVEAU SONORE

Origine du bruit	Paramètres sur lesquels agir	Plages de fréquences dans lesquelles il est possible d'escompter une réduction de bruit	
		basses fréquences	hautes fréquences
Chocs	- Force de l'impact - Jeux - Fréquence des impacts	non	oui
		oui	oui
		oui	oui
Transmission par la structure	- Masse et raideur de la structure (*) - Amortissement de la structure - Découplage des éléments de la structure	non	non
		non	oui
		oui	oui
Rayonnement	- Superficie de la surface - Périmètre de la surface - Masse, souplesse de la surface	non	non
		non	non
		oui	non
Propagation	- Absorption du son - Encoffrement de la source	non	oui
		oui	oui
Action sur le poste de travail	- Protecteurs individuels - Durée d'exposition	oui	oui
		oui	oui

(*) Ici, l'augmentation de la masse et de la raideur n'a aucune influence du fait des structures lourdes et déjà raidies utilisées par les tables vibrantes. De manière générale, l'augmentation de la raideur entraîne presque toujours une augmentation de la masse et ne déplace pas les fréquences propres ; ceci explique la difficulté d'obtenir un gain significatif sauf pour des structures légères.



3.1. Influence de la force d'excitation

La réduction de la force d'excitation affecte le niveau vibratoire. Celui-ci conditionnant la qualité des éléments en béton produits, il est donc nécessaire d'ajuster la valeur de cette force de manière à ce que son amplitude ne soit pas plus élevée que nécessaire, en vue de minimiser l'émission de niveaux sonores en basses fréquences.

Mais il existe également des vibrations en hautes fréquences, comme en témoignent les effets non linéaires illustrés sur la figure 10, dus à une excitation au moyen d'un moteur à balourd. Ces effets sont notablement plus faibles lorsque l'excitation est réalisée au moyen d'un vibreur électro-dynamique [14]. Mais de tels vibreurs ne peuvent généralement pas être utilisés dans l'industrie du béton, du fait de leur puissance limitée et de leur coût élevé.

En pratique, les hautes fréquences émises par le fonctionnement d'une table vibrante de l'industrie du béton proviennent également des chocs des divers composants de la structure. La figure 11 donne quelques exemples couramment rencontrés et propose, pour chacun, une action correctrice. De tels phénomènes ne doivent pas être sous-estimés, car ils peuvent conduire à une élévation de 10 à 20 dB(A) du niveau sonore (fig. 12).

Une génération de hautes fréquences peut également provenir des chocs entre le coffrage et la table vibrante durant son fonctionnement, en particulier lors de l'utilisation de dispositifs dérivés tels que les poutres vibrantes. Dans ce cas, il peut être intéressant de réaliser une excitation hydraulique du coffrage, pour laquelle l'application de la force est plus aisément

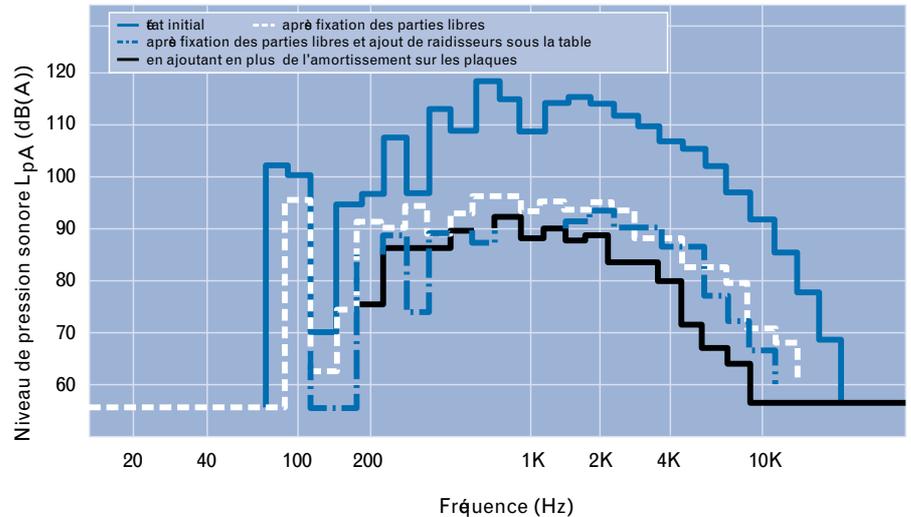


Fig. 12. Spectres sonores d'une table vibrante, tels que relevés à 1 m, pour différentes précautions [14]

contrôlable, et dont un exemple est donné figure 13.

Dans tous les cas, il convient d'éviter les chocs métal sur métal.

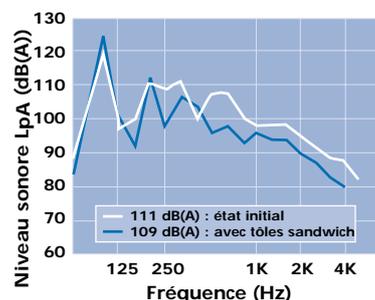
3.2. Influence de la fréquence d'excitation

Des actions de réduction des niveaux sonores par changement de la fréquence d'excitation peuvent être entreprises et conduire par exemple à :

- un accroissement de la valeur de la pondération A,
- une absence d'apparition de résonances, mais qui ont en même temps pour conséquences :
 - un changement de la force d'excitation lorsque le même balourd a été conservé,
 - un changement des propriétés de tassement du béton.

Il est donc nécessaire d'optimiser la valeur de la fréquence d'excitation.

Fig. 13. Excitation hydraulique d'un fond de coffrage pour une poutre vibrante [23]



L'examen de la figure 14, sur laquelle ont été portés des résultats de mesures du niveau sonore en fonction de la fréquence de rotation du moteur à balourd, montre qu'un minimum existe à 90 Hz. Toutefois, ce minimum est plus ou moins marqué en fonction de la charge de la table.

En ce qui concerne les résonances, il est nécessaire d'effectuer une distinction entre basses et hautes fréquences. Les basses fréquences sont nécessaires au processus de compactage du béton, et ne contribuent pas toujours au niveau sonore. Au contraire, les hautes fréquences ne présentent aucune utilité pour le processus industriel, et peuvent donc être réduites.

3.3. Influence de l'impédance mécanique

D'un point de vue acoustique, il serait envisageable d'augmenter l'impédance mécanique de la table. De cette manière, il serait possible de réduire les hautes fréquences sans que le niveau vibratoire en basses fréquences soit affecté. Cependant, comme cela ne peut se faire ici qu'en augmentant la masse ou la raideur, en pratique les basses fréquences seraient également affectées.

Dans le cas où la fréquence de vibration correspond au premier mode de flexion de la table, de grandes différences dans les niveaux vibratoires peuvent apparaître.

3.4. Influence de l'amortissement

Le fait de réaliser un amortissement des tôles d'une table vibrante permet de réduire son rayonnement sonore en hautes fréquences. Du fait de l'accroissement limité de la masse que cela procure, les basses fréquences ne sont pas affectées. Cet amortissement peut être réalisé au moyen d'une couche visco-élastique appliquée contre les tôles ; mais il est plus efficace et pratique de recourir à une structure sandwich. La figure 15 montre à ce sujet l'effet d'une telle intervention sur une table vibrante durant sa phase de fonctionnement à vide.

Par ailleurs, durant le fonctionnement en charge, le béton traité peut lui-même servir à amortir les hautes fréquences. La figure 16 illustre, à ce sujet, les variations de niveau sonore obtenues, lorsqu'une table vibrante est chargée d'un élément en béton.

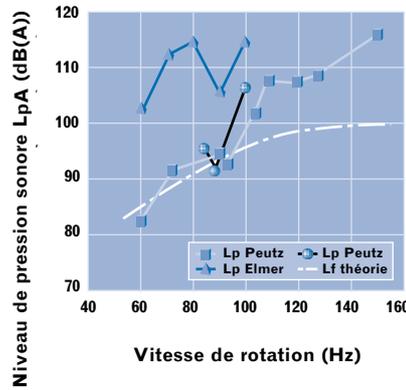


Fig. 14. Variation du niveau sonore constatée lors de diverses mesures, en fonction de la vitesse de rotation du moteur à balourd [23]

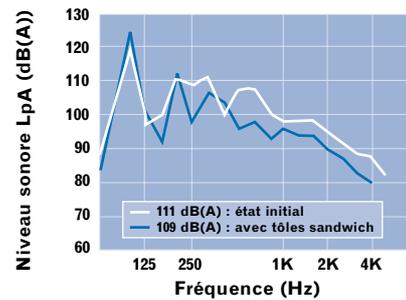


Fig. 15. Exemple de réduction du niveau sonore, obtenue sur une table vibrante à vide par utilisation de tôle sandwich

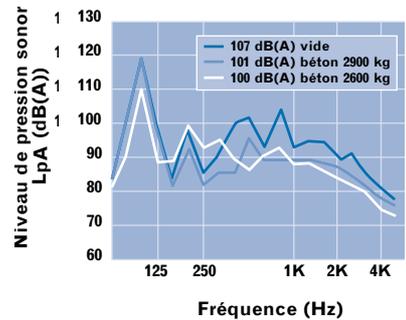
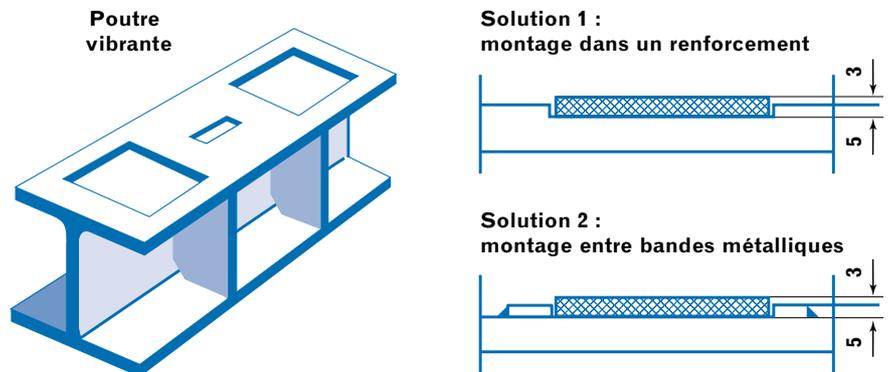


Fig. 16. Exemple de réduction du niveau sonore obtenue sur une table vibrante à vide par chargement de béton

Fig. 17. Exemple d'application de matériau amortissant sur une poutre vibrante [23]



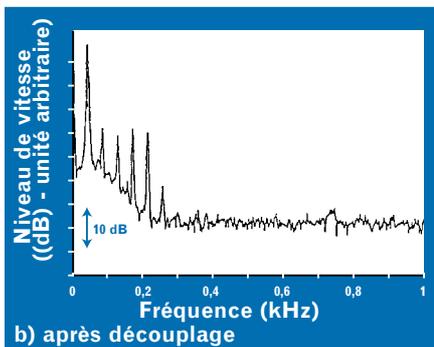
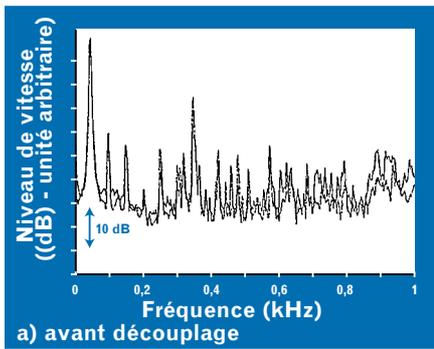
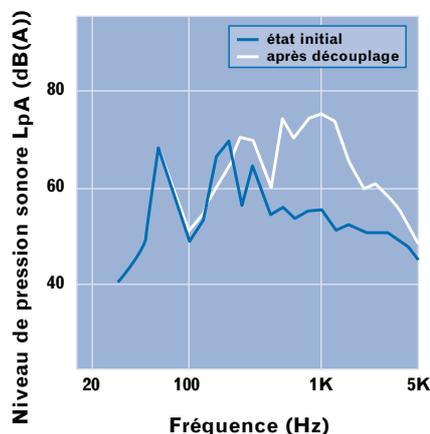


Fig. 18. Exemple de réduction des niveaux de vibrations (vitesse) sur le châssis d'une table vibrante par interposition de visco-élastique entre l'excitateur (moteur à balourd) et la table vibrante [23]

Fig. 19. Exemple de réduction des niveaux sonores d'une table vibrante par découplage de l'excitateur



L'expérience montre que la combinaison de cet effet et d'une structure sandwich permet des gains de 0 à 10 dB, entre 1 000 et 4 000 Hz, par rapport à une table fonctionnant à vide [4].

L'application d'un traitement amortissant est également utilisable sur des dispositifs dérivés, tels que les poutres vibrantes. La figure 17 donne un exemple d'une telle application. Mais, dans tous les cas, il est intéressant d'utiliser un fond de coffrage réalisé en tôle sandwich.

3.5. Influence du découplage

Une interruption physique des chemins de propagation des vibrations (au moyen d'un filtrage mécanique basé sur un système masse-ressort) peut s'avérer intéressante, en particulier dans le cas de dispositifs installés à demeure dans un hall de fabrication.

La figure 18 présente à ce propos les niveaux vibratoires relevés sur un châssis de table vibrante, avant et après interposition d'une couche visco-élastique entre le moteur à balourd et la structure de la table : seuls subsistent les premiers harmoniques, et l'allure du spectre vibratoire

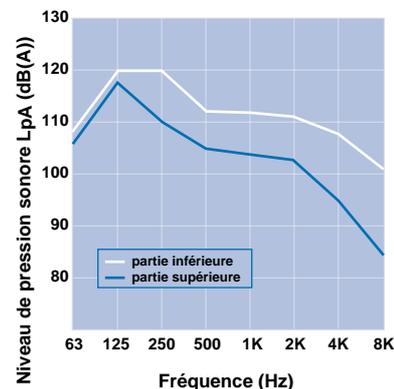
obtenu qui, par sa pauvreté en hautes fréquences, évoque celui correspondant à une excitation par un vibreur électrodynamique. Plus précisément, comme illustré sur la figure 19, la réduction de niveau sonore en résultant est de 10 à 20 dB entre 500 et 2 000 Hz.

De telles dispositions sont également applicables aux poutres vibrantes. La figure 17 illustre à ce propos l'insertion entre la poutre et le fond de coffrage d'une couche visco-élastique. Combinée à un système d'excitation hydraulique (tel que décrit précédemment), une telle disposition permet de réduire de 10 à 15 dB(A) les niveaux sonores. Toutefois, il convient de noter que les opérations de découplage doivent être menées avec précaution, faute de quoi le rayonnement sonore des parties découplées serait augmenté, limitant de ce fait le gain obtenu.

Par ailleurs, lorsque seul le coffrage dispose de vibreurs, il peut être intéressant de réaliser une isolation antivibratile du support.

La figure 20 présente à ce propos le cas d'un support de noyau d'une machine de fabrication d'éléments de conduites en béton ayant fait l'objet d'un tel montage.

Fig. 20. Montage sur plots antivibratiles d'un support de noyau d'une machine de fabrication d'éléments de conduites en béton [23]



4. Précautions complémentaires

Dans les chapitres précédents, il a été traité des niveaux sonores générés par les dispositifs de type table vibrante utilisés dans les industries du béton, ainsi que des méthodes de réduction du bruit à la source applicables à de tels dispositifs. Cependant, il convient, lors de l'aménagement d'un atelier, de ne pas négliger certains aspects passifs de la réduction des niveaux sonores qui sont décrits ci-après.

4.1. Utilisation de matériaux absorbants

L'utilisation de matériaux absorbants peut, certes, faire l'objet d'un usage très large dans l'atelier considéré, par exemple en vue du respect des exigences législatives relatives au local [1]. La figure 21 illustre à ce propos les réductions de durée de réverbération et de niveau sonore obtenues dans un tel atelier [23]. De telles dispositions permettent de réduire de 3 à 6 dB(A) en moyenne la contribution des sources sonores lointaines en un poste de travail (ce qui correspond généralement au bruit de fond de ce poste, en l'absence de fonctionnement de sa machine), mais non celle des machines proches.

Cependant, il peut aussi être intéressant d'utiliser localement des matériaux absorbants [24], lorsque la directivité d'une source est telle que l'énergie sonore qu'elle rayonne se trouve dirigée vers un obstacle proche, acoustiquement réfléchissant. La figure 22 illustre ce propos par des spectres sonores relevés au-dessus et en dessous d'une table vibrante utilisée à la préparation d'éléments de construction en béton, qui laissent apparaître une différence de 8 dB(A) en faveur du rayonnement en partie basse. Dans ces conditions, il peut être intéressant de disposer d'un matériau absorbant sous la table.

4.2. Utilisation d'écrans et d'encoffrements

Les écrans acoustiques classiques ne présentent ici qu'un intérêt limité, compte tenu de leur faible efficacité en basses fréquences et des contraintes d'exploitation qu'ils sont susceptibles de causer. Par contre, certains capotages et encoffrements peuvent être envisagés avec des gains susceptibles d'atteindre 8 à

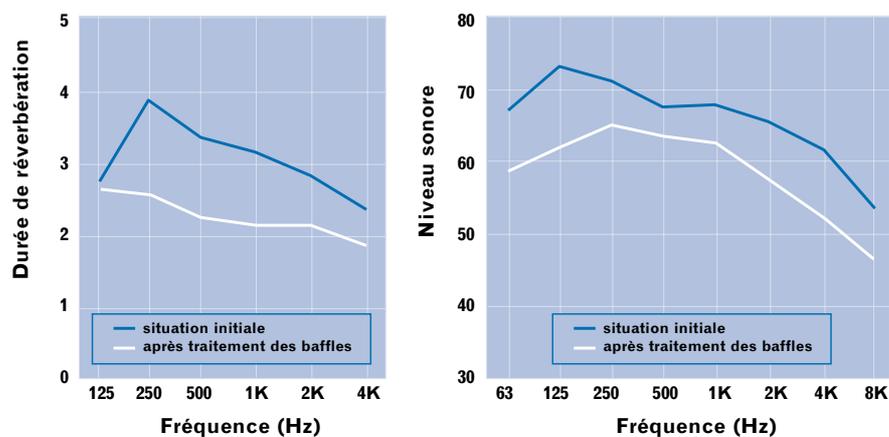


Fig. 21. Réduction de la durée de réverbération et du niveau sonore par pose de baffles dans un atelier de fabrication d'éléments en béton

15 dB(A) [23]. La figure 23 montre à cet effet un exemple d'un tel capotage, réalisé en partie basse d'une table vibrante en vue de réduire le rayonnement de cette partie de la machine (gain : 8 dB(A) en charge). Il convient toutefois, lors d'une telle réalisation, de prendre garde à ne pas coupler rigidement le capotage, qui se comporterait alors comme une source sonore surfacique.

Dans le cas où cela est possible, la machine peut faire l'objet d'un encoffrement complet. La figure 24 présente à ce sujet un encoffrement en parpaings, réalisé autour d'une machine à mouler par secousses et pression [2], alimentée par trémie et desservie par un convoyeur à bande passant à travers l'encoffrement. Le gain obtenu, en termes de réduction du niveau sonore d'exposition au poste de travail, atteint 15 dB(A).

4.3. Autre possibilité

Enfin, il est nécessaire, sur les dispositifs de type table vibrante, de bénéficier d'une isolation antivibratile efficace sous la machine, faute de quoi, on s'expose à une génération de vibrations dans le bâtiment, voire dans le sol, ainsi qu'à des bruits à basses fréquences [21, 23].

5. Niveaux vibratoires émis

Outre les aspects liés aux niveaux sonores aux postes de travail, certaines études [9, 15, 17, 20, 23] se sont intéressées aux problèmes des vibrations dans les industries du béton.

Il ressort de ces études que les niveaux d'accélération pour le corps entier, auxquels peuvent être exposés les opérateurs des industriels du béton, se situent entre 0,02 et 2 m.s⁻². Il est toutefois à noter que les niveaux les plus élevés peuvent être relevés soit sur des plates-formes d'engins de manutention ou de travaux, soit auprès de tables vibrantes dotées d'une isolation antivibratile déficiente (cas rencontré sur certaines installations de chantier, du fait de la mise en œuvre).

Les niveaux d'accélération pour la main et le bras, auxquels peuvent être exposés les opérateurs des industries du béton, sont situés entre 1 et 40 m.s⁻². Les niveaux les plus élevés peuvent être relevés aux postes de travail utilisant des marteaux, mais aussi à ceux utilisant des tables vibrantes nécessitant une intervention manuelle durant le fonctionnement du dispositif ; à titre de comparaison, ces derniers niveaux compris entre 15 et 30 m.s⁻² [8], sont supérieurs à ceux relevés pour un poste utilisateur d'aiguilles vibrantes (pour lequel on relève de 3 à 10 m.s⁻² [15]).

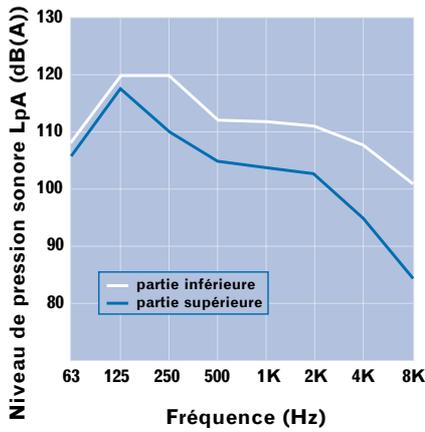


Fig. 22. Spectres sonores au-dessus et au-dessous d'une table vibrante

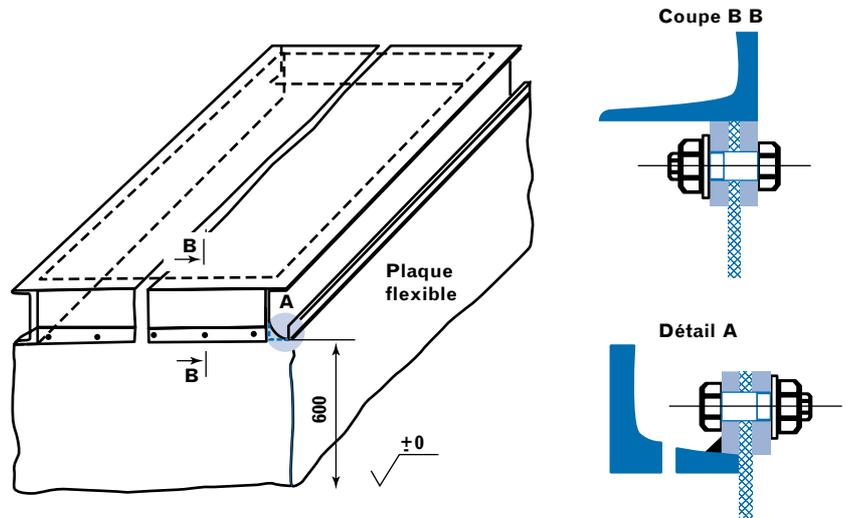


Fig. 23. Exemple de capotage réalisé en partie basse d'une table vibrante

CONCLUSION

Les dispositifs de type table vibrante sont à la fois répandus, en particulier dans l'industrie du béton, et bruyants tant sur les lieux de travail que parfois dans l'environnement extérieur. L'encoffrement total est une solution qui garantit la plupart du temps un gain appréciable et qui permet dans certains cas d'assurer d'autres fonctions (vis-à-vis de problèmes de poussières par exemple). D'un autre côté leur efficacité est parfois limitée, notamment

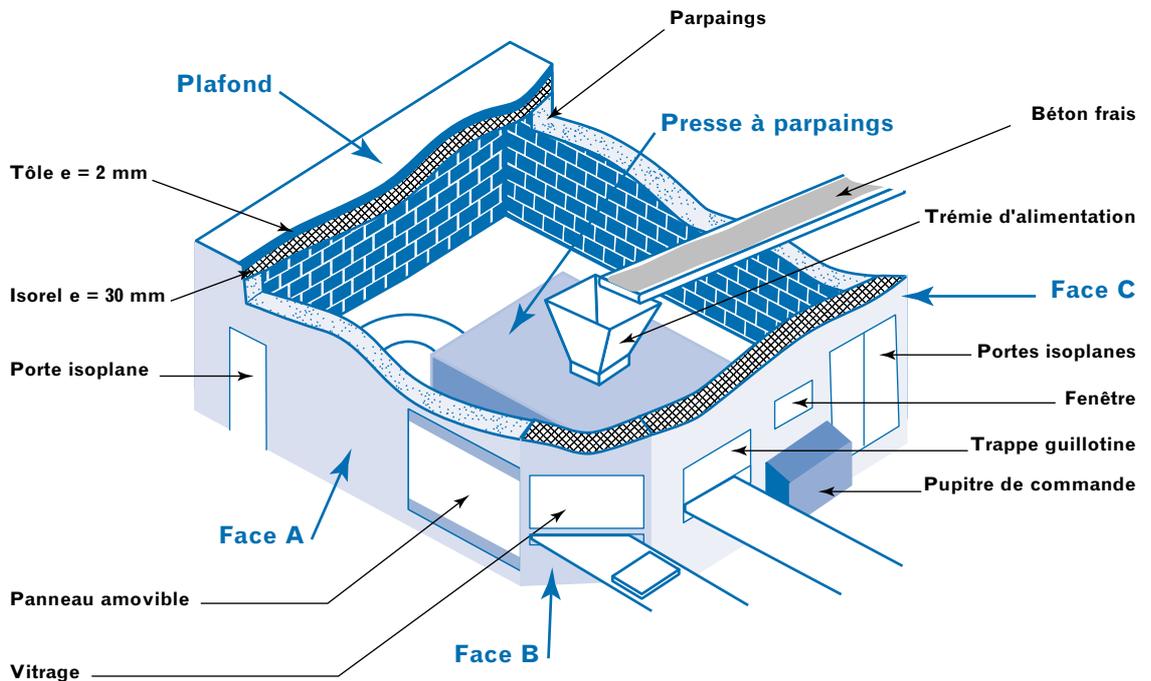
dans le domaine des basses fréquences et ils peuvent compliquer un certain nombre d'opérations : alimentation, finition manuelle, entretien, évacuation des produits, etc.

Dans certains cas, il est possible, par des actions «à la source» relativement simples, de réduire de façon substantielle les niveaux sonores. La particularité de ce type d'installations est liée au fait qu'elles génèrent simultanément deux types de vibrations : les unes indispensables au

procédé et situées à basses fréquences, les autres essentiellement parasites et situées à hautes fréquences. Dans le principe, les actions de réduction du bruit à la source auront pour objectifs :

- d'imposer effectivement les mouvements vibratoires souhaités en adoptant des dispositifs suffisamment rigides. Ceci permet d'améliorer le rendement des vibrations basses fréquences utiles et éventuellement de diminuer les efforts excitateurs ;

Fig. 24. Exemple d'encoffrement réalisé autour d'une machine de fabrication de parpaings [2]



- de limiter les chocs entre les différentes parties, moules et tables vibrantes par exemple, ces chocs générant des vibrations et des bruits hautes fréquences parasites ;
- d'éviter les résonances de structure, par exemple au moyen de vibrateurs à fréquence variable permettant d'ajuster la fréquence à l'installation et à l'usage considéré ;
- d'amortir, par exemple en utilisant des matériaux visco-élastiques, les vibrations des parois qui rayonnent.

Les difficultés, liées à la recherche d'action de réduction du bruit à la source, peuvent dans ce cas se situer davantage au niveau du diagnostic précis du phénomène prépondérant qu'au niveau du coût des modifications. Parallèlement, ces actions sont susceptibles d'améliorer le fonctionnement et la longévité du matériel.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Arrêté du 30 Août 1990 relatif au traitement acoustique des locaux de travail.** *Journal Officiel*, sept. 1990, pp. 11722-11723.
2. **BECKER A., ANDRE G., JACQUES J.** - Lutte contre le bruit dans l'industrie du béton. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1979, 96, pp. 3 91-401.
3. **BEHRINGER R.** - Characteristic values of noise emission from machines and equipment used to manufacture prefabricated parts of concrete. In : *Inter Noise'85, 1985, Munich*, pp. 183-186.
4. **BETZOLD, GAHLAU** - Akustik und Betonfertigteilerzeugung (Méthodes modernes de lutte contre le bruit des tables vibrantes, moules et coffrages). *Betonwerk und Fertig Technik*, 1975, 3.
5. **BETZOLD, GAHLAU** - Weniger Lärm in Betonfertigteilerwerk. *Ministère des Sciences et Technologies d'Allemagne*, mars 1982, rapport n° HA-82-004.
6. **BRESSON** - Influence des paramètres de la vibration sur le comportement des bétons. *Epernon, CERIB*, 1982, Publication technique n° 20.
7. **BUIS** - Lawaai bij het verwerken van betonspecie; inventarisatie. *CUR-VB*, 1981, rapport n° 101.
8. **BURDORF** - Schriftelijke mededeling : Handarmtrillingen bijgebruik van een trilplaat. *Rotterdam, Instituut Bedrijfsgezondheidszorg, Erasmus Universiteit*, 1990.
9. **CAMPMANS** - Handarmtrillingen van slijpmachines, schuur-machines, schoevendraaiers en moeraan-setters : stand van de techniek. *Ministère du Travail des Pays-Bas*, 1989, rapport n° S84.
10. **Etude de l'insonorisation des machines de fabrication utilisées dans l'industrie du béton.** *Sankt Augustin, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit*, 1977, Publication technique n° 34.
11. **CHRIST, HERMANN** - Lärminderung an Betonfertigteilerütteltischen. *Sankt Augustin, BIA*, 1980, LAS 02-602.
12. **DIN 4235** - Verdichten von Beton durch Rütteln. Verdichten bei der Herstellung von Fertigteilen mit Aussenrüttlern. *Berlin, Deutsche Institut für Normung, Teil 3*, 1978.
13. **DUPUIS B., KOCH J.** - Détermination de l'émission sonore de machines fixes à mouler les pavés en béton et possibilités de réduction des bruits. *Traduction INRS n° 542-94*, 1994.
14. **ELMER** - Weniger Lärm in Betonfertigteilerwerk. *Ministère des Sciences et Technologies d'Allemagne*, 1983, rapport n° HA-83-019.
15. **FREDEN et coll.** - Trillingbelasting bij het trillen van beton. *Arbeidsinspectie Zweden*, rapport n° 1981-17.
16. **FRENKING** - Die Geräuschsituation bei der Fertigung von Steinen und Betonfertigteile. *Dortmund, BAU, Forschungsbericht n° 199*, 1979.
17. **VAN DER GRAAF** - Onderzoek naar klachten van het bewegingsapparaat en risikofactoren in het werk bij werknemers in een beton fabriek. *Rotterdam, Instituut Bedrijfsgezondheidszorg, Erasmus Universiteit*, 1990.
18. **HOLMBERG** - Bullerbekämpning, betongvarunindustrie. *Ministère des Affaires Sociales de Suède*, 1988.
19. **LEJEUNE, ZWAARD** - Tril tafels in de betonindustrie. *Arbeidomstandigheden*, 1988, 64, 2.
20. **OORTMAN GERLINGS, VAN DRIMMELEN, MUSSON** - Trillen en schokkentijdens het werk : resultaten van de inventarisatiemetingen. *Ministère des Affaires Sociales des Pays-Bas*, 1987, rapport n° LA-DR-10-04.
21. **PEUTZ et coll.** - Laagfrequent geluid, een literatuurstudie. *Ministère de l'Environnement des Pays-Bas*, 1978, rapport n° GF-HR-01-04.
22. **PEUTZ et coll.** - Bruit des tables vibrantes dans les industries de la fonderie. *Ministère des Affaires Sociales des Pays-Bas*, 1993 b.
23. **PEUTZ et coll.** - Geluid en trillingen in de betonwareninindustrie. *Rapport du ministère des Affaires Sociales des Pays-Bas*, 1993 a.
24. **SCHULLER et coll.** - Contrôle du bruit en milieu industriel. *Paris, Eyrolles*, 1981.
25. **ASSELIN M. ARBEY H.S. et coll.** - Bruit des dispositifs de type table vibrante. étude bibliographique. *Vandœuvre, INRS, coll. Notes scientifiques et techniques*, 1993, NS 101.