

SUSPENSIONS MÉTALLIQUES

GAMME VIBRACHOC

I - LES AMORTISSEURS MÉTALLIQUES

VIBRACHOC dispose d'une gamme d'amortisseurs entièrement métalliques, dont l'élément essentiel est le "**coussin métallique**" réalisé à partir d'un fil en acier inoxydable tricoté et comprimé à la presse.

Les amortisseurs métalliques possèdent des caractéristiques d'amortissement élevé, de l'ordre de 10 à 20 % selon l'application, ainsi qu'une grande tenue mécanique, ce qui complète leurs propriétés.

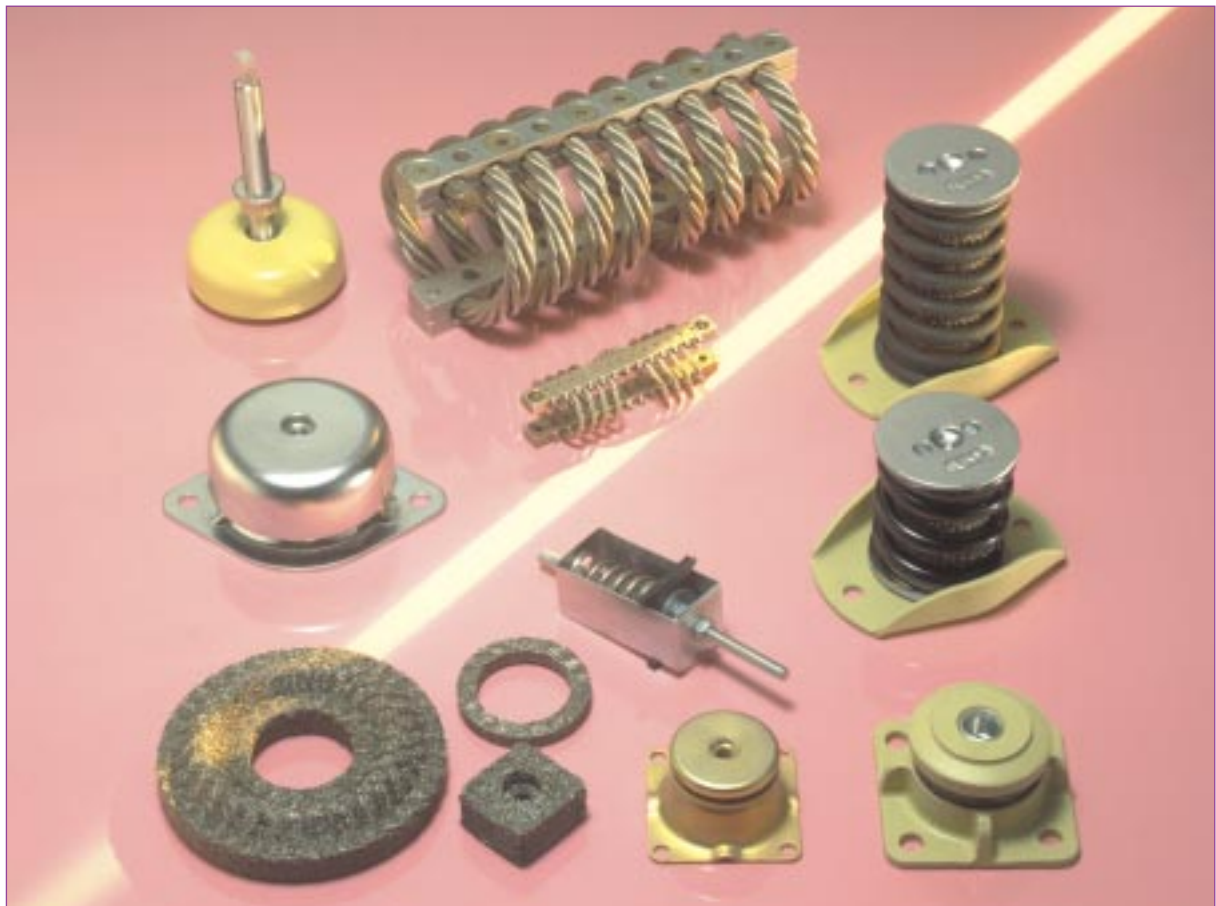
AVANTAGES

Permanence des caractéristiques. Les amortisseurs métalliques garantissent la constance dans le temps des caractéristiques et de la hauteur sous charge.

Insensibles à la corrosion. Les amortisseurs métalliques résistent aux huiles, graisses, solvants, intempéries, et aux produits corrosifs.

Insensibles à la température. Les amortisseurs métalliques supportent des températures de - 70°C à + 300°C sans évolution des caractéristiques.

Fréquence propre basse. Les amortisseurs métalliques constitués de ressorts ont des fréquences de résonance très basses de l'ordre de 3 Hz, ce qui permet d'obtenir des atténuations pouvant atteindre 98 % pour des machines tournant à faible vitesse.



II - GÉNÉRALITÉS SUR LES VIBRATIONS ET LES CHOCS

RÔLE D'UNE SUSPENSION ÉLASTIQUE

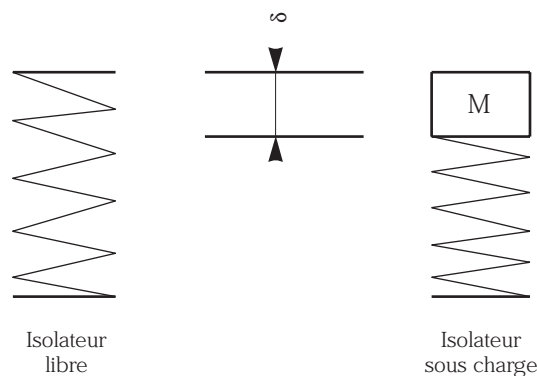
L'interposition d'isolateurs appropriés entre la structure porteuse et le matériel assure en général deux rôles :

- Un rôle statique important : elle permet une meilleure répartition des charges en absorbant certaines tolérances de fabrication, permettant ainsi des réalisations plus sûres et plus économiques.
- Un rôle dynamique : elle réalise une isolation des vibrations et des chocs améliorant considérablement le confort vibratoire environnant et la durée de vie des équipements isolés.

RAPPELS THÉORIQUES

Fréquence de résonance

Un élément élastique est caractérisé par sa courbe charge-flèche. A une charge produite par une masse M , correspondent une flèche statique δ (différence entre la hauteur libre et la hauteur sous charge) et une sous-tangente.



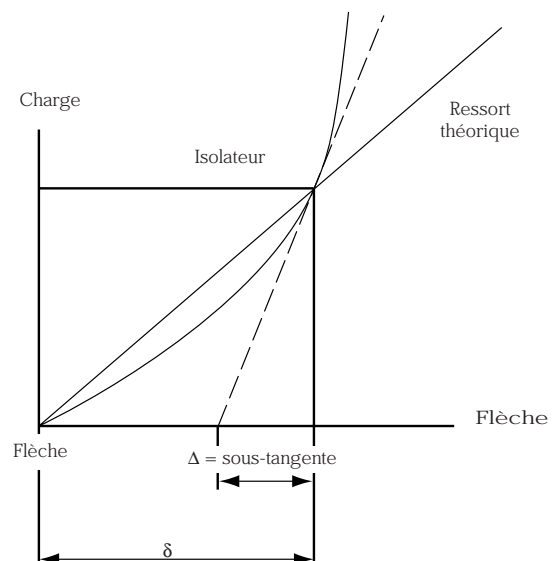
La fréquence de résonance de l'ensemble isolateur-masse est donnée par les formules

$$f \text{ en Hz } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

K = raideur de l'isolateur en N/m

$$M \text{ en kg } f = \frac{15,8}{\sqrt{\delta}}$$

Δ = sous-tangente en mm



La courbe charge-flèche qui est linéaire pour un ressort ne l'est pas nécessairement pour un isolateur. La forme de la courbe est très variable et dépend de la conception et des matériaux de l'isolateur.

Rôle de la fréquence propre

Le but d'une suspension est de diminuer, autant que possible, la transmission des efforts d'excitation aux fondations de la machine.

L'atténuation obtenue dépend en premier lieu de la fréquence propre de la suspension, ou plus exactement du rapport f_e/f_p de la fréquence excitatrice (f_e) à la fréquence propre (f_p).

Dans le cas le plus simple, celui d'un mouvement à un seul degré de liberté (translation verticale), cette fréquence propre est identique à la fréquence de résonance verticale de l'ensemble isolateurs-masse sans amortissement et s'écrit :

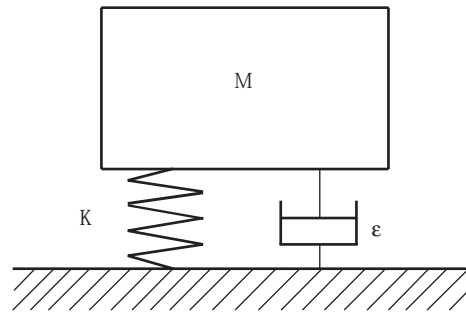
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

Schématiseur d'une suspension élastique

K = raideur

ε = amortissement (en %)

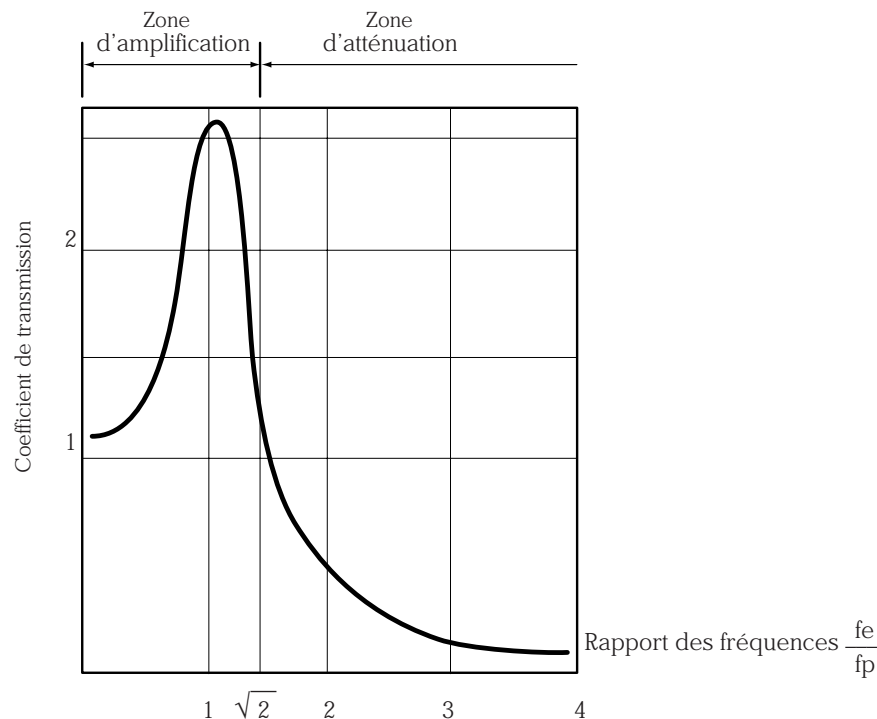
$$\left(\varepsilon = \frac{Rv}{K} \text{ avec } R \text{ en N.s/m}\right)$$



La transmissibilité est le rapport de l'effort transmis f_t à l'effort d'excitation f_e .

L'examen de la courbe ci-dessous montre que :

- pour $f_e/f_p < \sqrt{2}$ et en particulier lorsque la fréquence propre de la suspension est plus grande que la fréquence excitatrice, il n'y a pas atténuation mais amplification des vibrations. Ceci veut dire que l'interposition de supports élastiques, mal adaptés, a dans ce cas aggravé le problème au lieu de le résoudre.
- pour $f_e/f_p > \sqrt{2}$, il y a atténuation des vibrations. Ceci montre l'intérêt d'utiliser une suspension de fréquence propre f_p la plus basse possible par rapport à la fréquence d'excitation f_e , l'atténuation obtenue étant d'autant meilleure que l'écart entre les deux est grand.



Rôle de l'amortissement

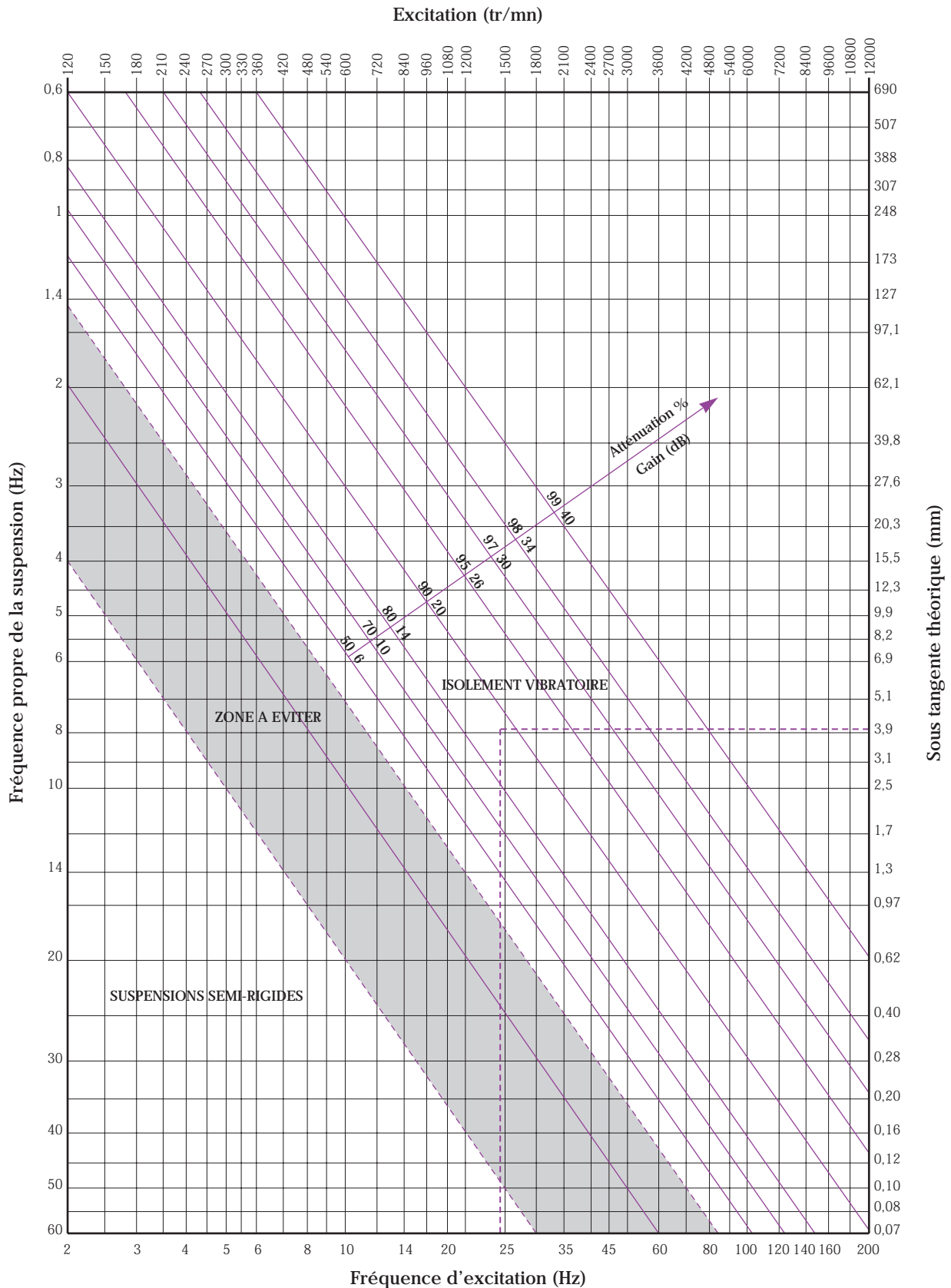
L'amortissement est une forme de dissipation de l'énergie vibratoire, par un frottement sec ou visqueux, et agit comme un frein qui s'oppose aux déplacements de l'ensemble suspendu.

Nous constatons que :

- pour $f_e/f_p < \sqrt{2}$, notamment dans la zone de résonance, l'amplification est d'autant plus faible que l'amortissement est élevé.

ABAQUE

Atténuation en fonction de la fréquence propre et de la fréquence d'excitation
(Abaque théorique pour une suspension sans amortissement)



- Choisir le niveau d'excitation de l'équipement à isoler sur l'axe horizontal "Excitation tr/mn" ou "Fréquence d'excitation (Hz)".
- Descendre jusqu'à couper la ligne horizontale qui passe par la fréquence propre de la suspension choisie (axe vertical "Fréquence propre de la suspension (Hz)").
- A l'intersection de ces deux lignes se trouve la ligne oblique qui indique le pourcentage d'atténuation des vibrations pour la suspension choisie et pour excitation donnée.

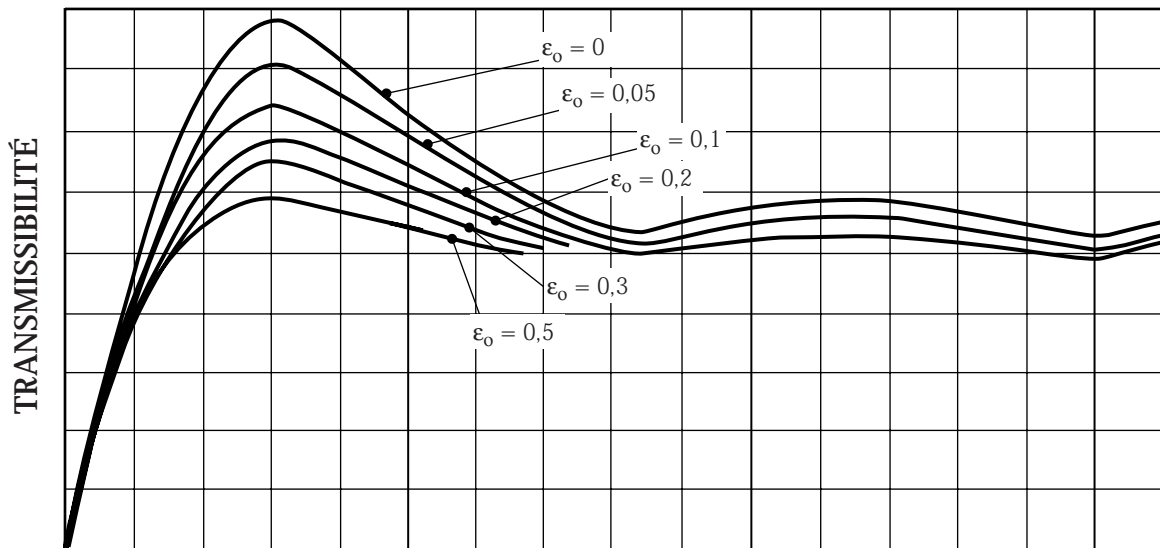
Les chocs

Pour les machines de percussion telles que presses, marteaux-pilons, etc, l'excitation est générée sous la forme d'un choc agissant pendant un temps très court. De la même façon que pour les vibrations, où le rapport f_e/f_p est primordial pour la détermination de l'atténuation à prévoir, c'est ici le rapport f_p/f_s (f_p : fréquence propre de la suspension - f_s : fréquence de choc) qui est pris en considération.

On peut déduire de ces courbes que :

- pour obtenir une atténuation du choc $\frac{1}{2}$ sinus ($T < 1$) il faut que le rapport f_p/f_s soit approximativement inférieur à 0,30. Au dessus de cette limite, il y a amplification de la force excitatrice. Ainsi pour un choc de durée 0,02s, il faut choisir des isolateurs de fréquence de résonance la plus basse possible et de toute façon inférieure à 7,5 Hz.
- La présence d'un amortissement compris entre 0 et 0,5 contribue à améliorer l'atténuation du choc, mais cette amélioration est faible pour $f_p/f_s < 0,3$.

L'effet de l'amortissement sera d'autant plus influent dans le cas d'excitations multifréquences, où l'on ne peut pas toujours retenir la fréquence propre adéquate. De même si l'on cherche un compromis entre l'atténuation du choc (transmission d'effort) et la limitation des débattements.



FRÉQUENCE PROPRE x DURÉE DU CHOC $f_n \times$ - CHOC DEMI SINUS

III - DOMAINES D'ACTIVITÉS DE LA GAMME VIBRACHOC

INDUSTRIE :

- Isolation de machines tournantes.
- Isolation de machines-outils.
- Protection anti-sismique d'ouvrages d'art.

ARMEMENT :

- Protection d'électronique embarquée (chars, shelters, véhicules, navires, sous-marins...).
- Protection de plateformes inertielles et systèmes de guidage.
- Protection de missiles et d'équipements sur missiles.

MARINE CIVILE ET MILITAIRE :

- Suspension de moteurs et châteaux.
- Protection de baies électroniques.
- Discretion acoustique.

AÉRONAUTIQUE :

- Protection des matériels électroniques.
- Adaptateurs de fréquence pour hélicoptères, lamifiés.
- Supports d'avionique embarquée.

IV - DOMAINES D'APPLICATIONS DE LA GAMME VIBRACHOC DANS L'INDUSTRIE

IV.1 MACHINES-OUTILS ET MACHINES DE PERCUSSION

- Tours, rectifieuses, fraiseuses, taraudeuses, perceuses, etc.
- Presses hydrauliques, mécaniques, cisailles, etc.
- Presses à cadence rapide, marteaux-pilons, etc.
- Machines à imprimer, machines textiles, etc.

Suspension de machines travaillant par enlèvement de matière

Telles que : tours, perceuses, fraiseuses, raboteuses, rectifieuses, mortaiseuses, scies, polisseuses, grignoteuses, machines à tailler les engrenages, machines à brocher, taraudeuses, etc. Isolation à la fois active (atténuation des vibrations générées par la machine) et passive (protection de la machine contre les trépidations du sol).

- Fréquence verticale entre 20 et 25 Hz, permettant une excellente atténuation du spectre vibratoire, très riche pour ces machines ;
- Diverses possibilités de montage : mise à niveau incorporée, semelle antidérapante, montage sous machines ne possédant pas de trous de fixation, etc.

Suspension de machines travaillant par déformation de matière

Telles que : cisailles, plieuses, presses à découper, à emboutir, à matricer, à estamper, machines à fabriquer des écrous, des rivets, presses hydrauliques, presses mécaniques, etc.

Ces machines travaillent essentiellement par à-coups, et il s'agit d'absorber les chocs engendrés, parfois violents, grâce à l'utilisation d'amortisseurs alliant à la fois une grande capacité de déformation et des propriétés mécaniques élevées. Le bruit transmis par voie solide est aussi réduit de façon notable.

Suspension de presses à cadences rapides

La suspension a pour but d'éviter la transmission des ondes de choc au sol, tout en assurant la stabilité de la machine, notamment en cas d'amenage automatique.

Le choix des amortisseurs doit permettre d'éviter la résonance avec la cadence de la machine :

- cadence pouvant varier de 0 à 600 coups/mn ;
- cadence supérieure à 250 coups/mn : une isolation très efficace est obtenue par l'utilisation d'isolateurs à très basse fréquence. En général, un système d'amortissement intégré est nécessaire (coussins métalliques, fluide visco-élastique...).

IV.2 MACHINES TOURNANTES ET MACHINES VIBRANTES

- Moteurs, groupes électrogènes, compresseurs, ventilateurs, broyeurs, centrifugeuses, essoreuses, pompes, etc.
- Tamis, cribles, bancs d'essais moteurs, tuyauteries, etc.

Suspension de machines tournantes bien équilibrées

Sous cette dénomination, nous englobons la grande majorité des machines tournantes, celles qui développent, en fonctionnement, des forces libres assez faibles par rapport à leur masse, tels que : les groupes électrogènes, les climatiseurs, la plupart des moteurs, des ventilateurs (en atmosphère propre), des compresseurs, des pompes, etc.

Le choix des isolateurs à utiliser dépend essentiellement de la vitesse de rotation de la machine et du degré d'isolation que l'on souhaite. La fréquence de résonance de l'isolateur doit être, en effet, d'autant plus basse que la vitesse de rotation est lente et que le taux d'atténuation demandé est élevé.

L'isolation anti-vibratile de ces machines est obtenue grâce à des isolateurs, sans que l'interposition d'un massif d'inertie soit nécessaire. Il est par contre indiqué de fixer le moteur et l'équipement sur un châssis commun, si ce n'était pas déjà le cas, afin de ne pas faire travailler excessivement les accouplements.

Suspension de machines tournantes à efforts dynamiques élevés

Pour les broyeurs, les centrifugeuses, les essoreuses, pour certains types de compresseurs alternatifs, de pompes, de moteurs, (à 2 ou 3 cylindres), etc., des forces très importantes (tels que balourd, forces ou couples non équilibrés, couple de démarrage ou de court-circuit, etc.) sont susceptibles d'être libérées pendant le fonctionnement, mettant en cause leur stabilité propre ainsi que la tenue des diverses connexions et tuyauteries. Il devient alors primordial de limiter les déplacements de l'équipement suspendu par une conception adéquate de tout le système anti-vibratile :

- incorporation dans les isolateurs d'éléments amortisseurs, tels que coussins métalliques, fluide visco-élastique, etc.;
- interposition éventuelle d'un massif d'inertie, cette interposition ne se révélant nécessaire que si l'amortissement obtenu n'était pas suffisant pour stabiliser l'équipement.

Cette étude doit être menée de façon globale et dès le projet d'installation de l'équipement, afin de déterminer avec précision et assez tôt les structures sous-jacentes.

Nous consulter pour solutions particulières.

Suspension passive de machines tournantes

Certains types de compresseurs sont équilibrés de façon parfaite et ne provoquent pas de perturbations notables. Par contre, leur fonctionnement et leur réglage sont tellement sensibles à un environnement de vibrations et de chocs (ateliers avoisinants, manutention, etc.) qu'il devient nécessaire de les isoler de façon passive.

Il s'agit alors de fixer la machine sur un massif d'inertie suspendu sur des isolateurs à ressorts et coussins métalliques.

Suspension de machines tournantes embarquées

A bord de camions, remorques, trains, véhicules routiers et ferroviaires, bateaux, etc.

En plus d'une isolation active, il importe également de protéger la machine des chocs et vibrations provenant du véhicule.

Les isolateurs utilisés sont en général du type "prisonnier", c'est-à-dire qu'ils incorporent des butées de déplacement multidirectionnelles et qu'ils garantissent une sécurité absolue lors des mouvements du véhicule.

Suspension de machines vibrantes

Le problème de la suspension des tamis, cribles vibrants, etc...est rendu complexe par le fait que ces machines incorporent déjà des liaisons élastiques (ressorts par exemple) qui assurent leur bon fonctionnement.

En suspendant la machine sur des isolateurs de vibrations, on la transforme en un système vibratoire à double étage. Il est donc indiqué, pour en faire l'étude, de tenir compte à la fois de la fréquence propre des liaisons élastiques inhérentes à la machine et de la flexibilité éventuelle du châssis.

Suspension de bancs d'essais moteurs

Ce type d'équipement pose un problème vibratoire particulier en ce sens que :

- d'une part, les forces libérées peuvent être très élevées et brusques.
- d'autre part, l'équipement doit pouvoir accepter des moteurs de taille, de poids et de puissance très variés.

La solution efficace consiste à utiliser un massif d'inertie suspendu sur des isolateurs à très basse fréquence et possédant un amortissement intégré suffisant.

IV.3 VÉHICULES

- Matériels de travaux publics
- Engins de manutention
- Camions
- Remorques
- Véhicules routiers
- Engins ferroviaires

Une attention particulière doit être apportée aux suspensions élastiques de matériels sur engins de Travaux Publics et sur véhicules en général. **Il faut en effet souvent tenir compte des élasticités relatives des structures qui peuvent émettre, sous l'effet des chocs dus au travail ou au roulage, des vibrations de basse ou très basse fréquence.**

La suspension élastique - pour être efficace - doit alors être soigneusement étudiée.

Les exemples suivants, notamment pour les cabines, les sièges et les équipements, ne sont donc donnés qu'à titre indicatif. La bonne solution peut en effet être très différente d'une machine à l'autre.

Suspension de groupes propulsifs

Le problème consiste ici à réduire au maximum les niveaux de vibration (accélération) et les bruits transmis par le moteur à la structure du véhicule (voie solidienne).

Les fréquences perturbatrices sont de 10 à 100 Hz (et harmoniques) pour les moteurs et de 120 à 400 Hz pour les boîtes de vitesses.

Le système d'amortissement doit posséder en général :

- une fréquence de résonance (triaxiale) basse (si possible 6-8 Hz) ;
- un contrôle du déplacement sous efforts limites (système à raideur progressive du type supra-linéaire) ;
- un amortissement élevé à basse fréquence et aussi faible que possible au dessus de 100 Hz.

IV.4 MARINE-OFFSHORE

Les vibrations et les bruits observés à bord des navires ont pour origine :

- Le système propulsif : les forces alternatives hydro-dynamiques engendrées par les hélices se répercutent sur la coque, créant un niveau vibratoire généralement basse fréquence ;
- Les moteurs de propulsion et les moteurs auxiliaires qui transmettent les vibrations à la coque par l'intermédiaire des bâtis : le spectre est situé principalement dans la zone 15-50 Hz ;
- Les tuyauteries d'échappement : spectre 16 - 8000 Hz ;
- Les effets de la mer : houle, paquets de mer, vent ;
- Les chocs accidentels sur les quais.

Des règlements ont été édictés en vue de protéger les équipages, les passagers et les matériels des inconvénients occasionnés par les chocs et les bruits.

La gamme Vibrachoc permet de disposer de toute une série de moyens pour mettre les navires en conformité avec les normes et règlements relatifs aux vibrations et aux bruits (nous consulter).

Suspension des moteurs et groupes auxiliaires

Les moteurs de propulsion et les moteurs auxiliaires transmettent des vibrations à la structure du navire. De plus, ils émettent des bruits :

- directement dans l'air ;
- indirectement par voie solidienne, les structures liées rigidement au moteur devenant elles-mêmes sources de bruit.

L'interposition entre le moteur et la structure d'éléments de suspension (amortisseurs) judicieusement choisis assure **une réduction notable des vibrations et des bruits transmis par voie solidienne.**

Le calcul de la suspension des moteurs marins fait intervenir de nombreux paramètres : la vitesse de rotation du moteur, le nombre de cylindres, le nombre de pales de l'hélice, la fréquence propre de la coque, les caractéristiques de l'accouplement élastique, le roulis, le tangage, les forces maximales acceptables. Le service technique Paulstra/Vibrachoc dispose de plusieurs programmes de calcul sur ordinateur permettant de définir la suspension la mieux adaptée.

Une vaste gamme d'amortisseurs entièrement métalliques ou à base d'élastomères est disponible pour la suspension de toutes sortes de moteurs :

- **moteurs diesel** de toutes puissances assurant la propulsion des navires marchands, des navires de guerre ou des bateaux de plaisance ;
- **moteurs auxiliaires**, génératrices de courant, moto-pompes, compresseurs, guindeaux, etc.

Suspension de collecteurs d'échappement

Les collecteurs d'échappements, dans lesquels circulent des gaz turbulents, sont sources de vibrations et de bruits.

L'accrochage élastique des collecteurs d'échappement des moteurs diesel présente les avantages suivants :

- réduction des vibrations transmises à la structure du navire ;
- atténuation acoustique globale dans les locaux voisins des cheminées, comprise entre 5 et 20 dB (A) ;
- suppression de certains compensateurs de dilatation, la suspension permettant une libre dilatation des colonnes ;
- suppression de certaines déformations de collecteurs dues aux contraintes de fixation rigide. La suspension d'un collecteur d'échappement nécessite en général des éléments porteurs et des stabilisateurs.

Suspension des matériels de bord

La suspension élastique des matériels de bord sensibles aux vibrations (radio, navigation, armoires électriques ou électroniques, pupitres de commande, etc.) assure leur protection contre les vibrations en provenance de la structure. A bord des navires de guerre, des suspensions appropriées, à haute déformabilité, assurent en plus la protection contre les chocs dus aux grenadages. L'adjonction de stabilisateurs aux amortisseurs porteurs est nécessaire dans le cas des armoires ou des baies de forme haute.

IV.5 BÂTIMENT

Le problème de l'isolation des vibrations engendrées par les installations d'air conditionné, de ventilation, de compression, de pompage, etc...dans les locaux d'habitation (immeubles, hôtels...), les bureaux ou les usines, se pose de nos jours de plus en plus vivement pour deux raisons :

- 1) Une tendance générale à réduire les niveaux de vibrations et de bruit conformément à la nouvelle réglementation acoustique.
- 2) Une tendance également générale à la réalisation de constructions légères et de portées plus grandes, impliquant une plus grande flexibilité des planchers.

L'isolation active des machines en supprimant la transmission des vibrations aux structures des bâtiments, permet souvent de respecter ces prescriptions. En effet, les vibrations mécaniques filtrées par les isolateurs VIBRACHOC ne se propagent plus qu'à un niveau trop faible pour exciter les structures qui, en vibrant, créeraient des bruits.

Suspension de fondations d'ascenseurs, monte-charges, etc.

Il s'agit d'isoler les vibrations provoquées par le treuil pendant le fonctionnement de l'ascenseur, mais surtout d'absorber les chocs engendrés au moment du démarrage et du freinage de la machine, ce qui impose souvent l'utilisation des systèmes élastiques possédant un bon amortissement.

Suspension de groupes de ventilation, climatisation, compression, pompage, etc.

L'intérêt d'une suspension élastique est d'assurer une bonne isolation anti-vibratile, **tout en évitant, dans la majorité des cas, de réaliser des massifs de béton, solution coûteuse** et préjudiciable à un déplacement aisé des équipements.

Les vibrations et le bruit engendrés par une machine sont d'autant plus nuisibles à l'environnement que celle-ci est placée en un point faible de la structure de génie civil (toits, terrasses, étages, etc.) et près de bureaux ou d'appartements.

En tout état de cause, **la rigidité du plancher est un facteur qui doit être intégré dans le choix de la suspension à employer.**

Suspension de dalles flottantes

Une solution économique consiste à ne pas isoler chaque machine séparément et à regrouper la totalité du matériel ayant des nuisances vibratoires sur une dalle, appelée flottante dans la mesure où celle-ci est liée à la structure du bâtiment par l'intermédiaire d'isolateurs à très basse fréquence.

Ce système présente l'avantage d'augmenter considérablement l'inertie de la partie suspendue et par conséquent de réduire de façon très sensible les déplacements de la dalle.

Suspension de tuyauteries et conduites

Les tuyauteries et les conduites diverses génèrent des vibrations de 2 types :

- fréquences basses liées aux écoulements dynamiques (8-15 Hz),
- fréquences élevées liées aux vibrations de la tuyauterie elle-même (au-dessus de 25 Hz).

En plus, la suspension doit généralement supporter des températures assez élevées et permettre à la tuyauterie de se dilater librement, ce qui impose l'emploi de systèmes élastiques entièrement métalliques et/ou télescopiques.