

FAQ Acoustique Prof. J. Malchaire

Propagation du bruit

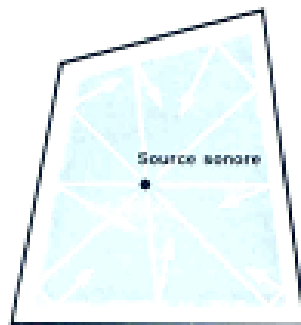
1. Comment se propage le bruit?	2
2. Qu'appelle-t-on un champ libre?	2
3. Comment se propage le bruit en champ libre	3
4. Où faut-il placer un écran et quelle diminution du bruit donne-t-il?	3
5. Qu'appelle-t-on un champ diffus?	4
6. Comment se propage le bruit en champ diffus?	4
7. Qu'est-ce que le temps de réverbération T_{60} d'un local?	4
8. Quelles sont les valeurs optimales de temps de réverbération?	5
9. Comment améliorer la réverbération d'un local?	5
10. Qu'est-ce qu'un matériau isolant et comment se caractérise-t-il?	6
11. Types de matériaux isolants en paroi simple	7
12. Qu'est-ce qu'une paroi double et quelles sont ses caractéristiques acoustiques?	7
13. Quelle est l'importance de fentes, trous... du point de vue acoustique?	7
14. Quelle est la différence entre affaiblissement et isolement acoustiques?	8
15. Comment peut-on améliorer l'isolement acoustique entre deux locaux?	9
16. Du point de vue acoustique quelles sont les différences entre vitrages simples et vitrages doubles	9
17. Quels sont les différents types de matériaux résilients?	9
18. Qu'est-ce que la résonance d'une machine?	10
19. Qu'est-ce qu'un amortisseur?	11
20. Un système anti-vibratoire existe mais ne bloque pas les vibrations. Pourquoi?	11
21. Comment les bruits de l'étage supérieur se propagent-ils vers le local inférieur?	11
22. Quel est l'intérêt d'un revêtement de sol:	12
23. Qu'est-ce qu'une dalle ou un plancher flottant	12
24. Comment peut-on éliminer ou réduire les bruits d'impact	12

1. Comment se propage le bruit?

Le bruit se propage dans un local de trois façons différentes et les moyens de lutte ne sont pas les mêmes.

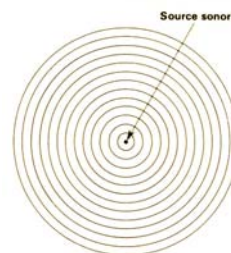
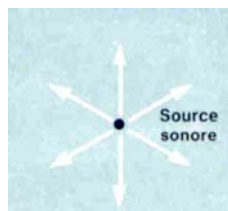
- 1. Voie directe:** le bruit se propage en direct de la source à l'oreille du salarié. Son niveau sera surtout fonction de la distance.
Pour diminuer ce bruit direct, on peut
 - éloignez le salarié
 - interposez un écran: c'est ce qui est fait au bord des autoroutes par exemple.
- 2. Voie réverbérée:** le bruit se réfléchit sur toutes les parois, plafonds, sols, machines et arrive de façon indirecte à l'oreille du salarié.
 - La solution consiste ici à diminuer ces réflexions en rendant les parois plus absorbantes.
 - Un faux plafond absorbant est souvent utile.
- 3. Par transmission:** les vibrations de la machine passent vers le sol et se transmettent vers une tôle ou un panneau qui entre en vibration et émet du bruit.
 - Cette transmission des vibrations au sol est bloquée par des matériaux résilients tels que des ressorts, du caoutchouc ou du liège.

Le niveau sonore entendu par l'opérateur est la somme des trois composantes et il lui est difficile de repérer d'où vient le bruit.



2. Qu'appelle-t-on un champ libre?

- Propagation directe du bruit sans réflexion (réverbération) sur les parois: situation typique à l'extérieur ou dans un local rendu très absorbant.



3. Comment se propage le bruit en champ libre

- Réduction de 6 dB du niveau sonore quand la distance entre la source et le salarié est doublée.

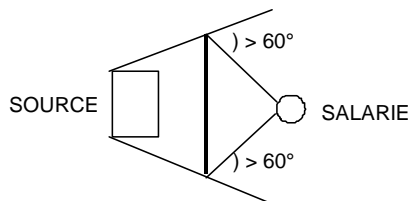
Exemple:

Si à 1 m de la source	90 dB(A)
à 2 m de la source	84 dB(A), - 6 dB
à 8 m de la source	72 dB(A), - 18dB

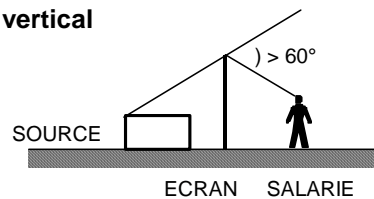
4. Où faut-il placer un écran et quelle diminution du bruit donne-t-il?

- En champ libre, le placement d'un écran entre la source et le salarié entraîne une atténuation complémentaire.
- Il faut cependant que
 - dans le plan horizontal, la longueur de l'écran
 - et dans le plan vertical, la hauteur de l'écransoient telles que les angles indiqués aux figures suivantes soient supérieurs à 60°.

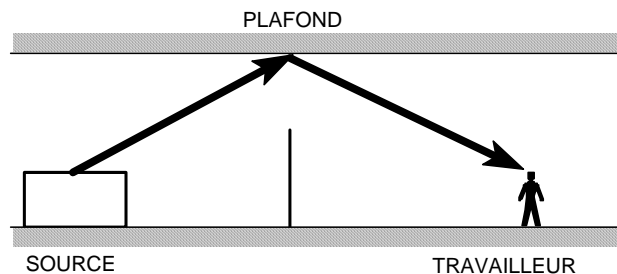
Plan horizontal



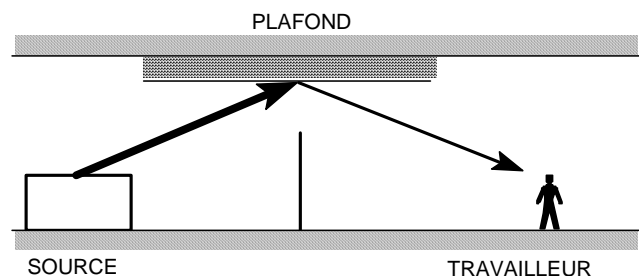
Plan vertical



- Dans un local ordinaire, cette atténuation peut être ruinée du fait des réflexions sur le plafond ou les murs:

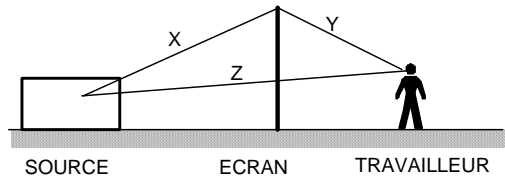


Il faut alors recouvrir la portion de plafond de matériaux très absorbants



- Prédiction

L'atténuation peut être prédite de manière plus précise par le calcul des distances X, Y, et Z (m) dans les plans horizontal et vertical.



et le calcul de: $N = (X+Y-Z) \text{ Fréquence}/170$

N (-)	0	0,1	0,2	0,4	0,8	1	2	4	8	10
Atténuation (dB)	0	3	4	6	8	9	11	14	17	18

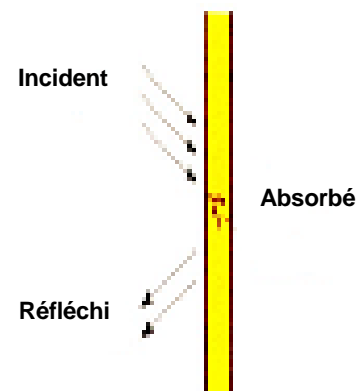
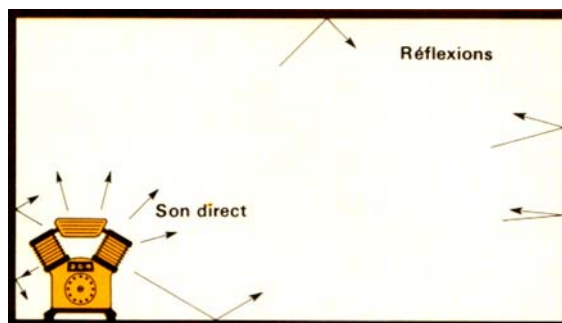
5. Qu'appelle-t-on un champ diffus?

C'est la propagation en direct et par réflexion sur les parois (champ réverbéré) entre la source de bruit et le salarié . C'est de loin de cas le plus fréquent en milieu professionnel.

6. Comment se propage le bruit en champ diffus?

Le niveau sonore auprès du salarié est fonction:

- du niveau émis par la source
- de la distance entre la source et le salarié (champ direct)
- de la surface des parois et du volume du local:
 - le niveau sonore diminue si le local est plus grand
- de l'absorption du bruit par les matériaux recouvrant les parois:
 - le niveau sonore du champ réverbéré diminue si les parois sont plus absorbantes
 - il diminue d'environ 3 dB (en champ réverbéré) par doublement du coefficient d'absorption moyen des surfaces.



7. Qu'est-ce que le temps de réverbération T_{60} d'un local?

Le **temps de réverbération T_{60}** (en secondes) est le temps nécessaire pour que le niveau sonore du champ réverbéré décroisse de 60 dB dans le local lorsque le bruit est brusquement interrompu.

- Il dépend du volume du local et de l'absorption des matériaux recouvrant les parois par la formule de Sabine:

$$T_{60} = 0,16 V / S a \text{ (secondes)}$$

où V = volume du local en m^3
 S = la surface des parois, sol et plafond en m^2
 a = le coefficient d'absorption moyen.

- Tout comme le coefficient d'absorption, T_{60} varie en fonction de la fréquence.

8. Quelles sont les valeurs optimales de temps de réverbération?

- Dans les bureaux, salles de cours, petits ateliers, le T_{60} doit être
 - idéalement compris entre 0,5 et 0,7 s à toutes les fréquences
 - en pratique, tolérance de +50% à 125 Hz et +10% à 250 Hz.
- Dans les usines:
 - T_{60} de l'ordre de 1 seconde à toutes les fréquences.

9. Comment améliorer la réverbération d'un local?

- La procédure consiste à:
 - identifier tous les éléments de surface: S_i
 - estimer, à partir des tables, leur coefficient d'absorption à 500 Hz ou à toutes les fréquences: a_i
 - calculer les «aires d'absorption équivalente» de chaque élément: $S_i a_i$
 - calculer «l'aire d'absorption équivalente totale»: $S_a =$ la somme des ($S_i a_i$)
 - calculer le volume du local V
 - appliquer la formule de Sabine.

Le tableau suivant est utilisé

Surfaces partielles	S_i	a_i	$S_i a_i$
Plafond	--	--	--
Mur 1	--	--	--
Mur 2	--	--	--
----	--	--	--
----	--	--	--
total	S	-	$S a$

Ce calcul est généralement peu précis du fait de la difficulté de prévoir l'absorption due à l'encombrement du local (machines, armoires...).

- Amélioration de l'acoustique interne **connaissant le T_{60} existant** à 500 Hz ou à toutes les fréquences
 - Calcul du **volume**: V
 - Calcul de **l'aire d'absorption équivalente totale réelle** à partir du T_{60} mesuré:
 - ◇ $S a_{opt} = 0,16 V / T_{60mes}$
 - Calcul de **l'aire d'absorption équivalente souhaitable** nécessaire pour un élément de surface (le plafond généralement) susceptible d'être recouvert d'un matériau absorbant supplémentaire

- Calcul du **coefficient d'absorption nécessaire** pour cet élément, en divisant par sa surface
- Choix du **matériau d'absorption**

Exemple:

- T_{60} mesuré à 500 Hz = 1 seconde
- T_{60} souhaité à 500 Hz = 0,5 seconde
- Dimensions du local $5 \times 4 \times 3 = 60 \text{ m}^3$
- Aire d'absorption équivalente actuelle: $S_{a_{\text{réel}}} = 0,16 \times 60 / 1 = 10 \text{ m}^2$
- or plafond (plâtre): $S = 20 \text{ m}^2$ $a = 0,03$ $S_{a_{\text{plafond}}} = 0,6 \text{ m}^2$
- Aire d'absorption équivalente souhaitée $S_{a_{\text{opt}}} = 0,16 \times 60 / 0,5 = 20 \text{ m}^2$
- Donc aire d'absorption nécessaire pour le plafond = $S_{a_{\text{opt}}} - (S_{a_{\text{réel}}} - S_{a_{\text{plafond}}}) = 20 - (10 - 0,6) = 10,6 \text{ m}^2$
- or la surface du plafond est de 20 m^2
- Donc $a_{\text{plafond } 500 \text{ Hz}} = 10,6 / 20 = 0,5$
- Choix matériau: panneau de bois non comprimé

10. Qu'est-ce qu'un matériau isolant et comment se caractérise-t-il?

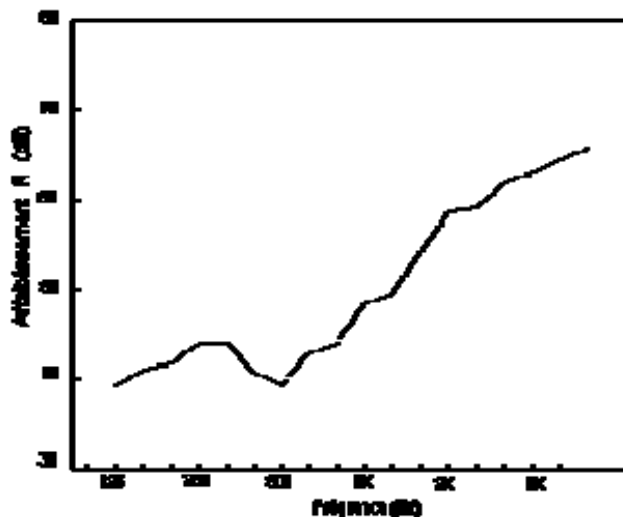
• **Définition**

Un matériau isolant empêche le bruit de passer d'un local à l'autre.

- L'isolement entre deux locaux est l'atténuation du bruit d'un local à l'autre. Il varie en fonction de l'ensemble de la structure et de tous les matériaux séparant les deux locaux.
- L'affaiblissement acoustique est une caractéristique intrinsèque d'un matériau.

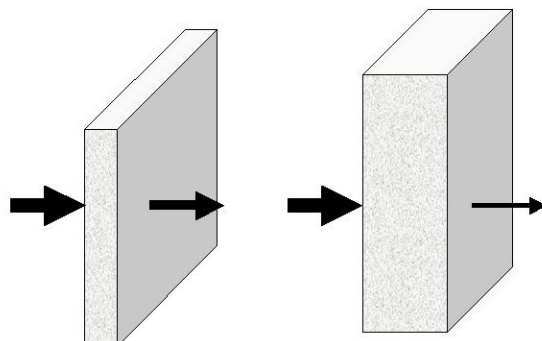
• **Affaiblissement d'un matériau en paroi simple épaisseur**

- Plus le matériau est lourd et plus l'affaiblissement acoustique est élevé.
- Typiquement l'affaiblissement (**R**) varie en fonction de la fréquence selon la figure suivante:



- Il est normalement plus important pour les sons aigus que pour les sons graves.
- Il présente une chute autour d'une fréquence «critique» caractéristique du matériau.

- **L'ordre de grandeur** de l'affaiblissement à 500 Hz :
 - ✧ Environ 40 dB pour une paroi de 100 kg/m²
 - ✧ Il augmente de 4 dB si on double le poids
 - ✧ Il augmente de 4 dB si on double la fréquence.



11. Types de matériaux isolants en paroi simple

On peut distinguer 3 catégories :

- Matériaux **lourds** (béton lourd)
 - Le poids par m² est élevé et donc aussi l'affaiblissement
 - La fréquence critique est basse et alors la chute d'affaiblissement peu gênante.
- Matériaux **mi-lourds** (briques et surtout plâtre)
 - Le poids par m² est plus faible et donc aussi l'affaiblissement
 - La fréquence critique est proche de 500 Hz et il y a donc une chute d'affaiblissement telle que la voix humaine est moins atténuée.
- Matériaux **légers** (bois, briques creuses, verre...)
 - Le poids par m² et donc l'affaiblissement est nettement plus faible.

12. Qu'est-ce qu'une paroi double et quelles sont ses caractéristiques acoustiques?

Une paroi double est constituée de deux couches les plus désolidarisées possible.

- Elle permet d'obtenir des affaiblissements aussi ou plus importants qu'une paroi simple en béton.
Exemple: deux plaques de plâtre espacées de 10 cm.
- L'effet est susceptible d'être ruiné si les deux plaques sont solidarisiées par des supports rigides (ponts acoustiques).
Exemple: 2 plaques de plâtre séparées de 15 cm et supportées chacune par des montants séparés

13. Quelle est l'importance de fentes, trous... du point de vue acoustique?

Un trou ou une fente laisse passer toute l'énergie sonore incidente

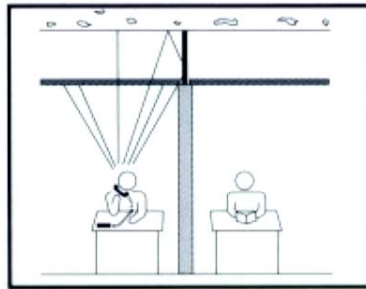
- Un matériau qui atténue de 40 dB, laisse passer 1/10.000 de l'énergie sonore incidente
- Un trou de surface S laisse donc passer autant de bruit qu'un matériau d'affaiblissement 40 dB et de surface 10.000 S
- Ainsi, un trou de 1 dm² laisse passer autant de bruit qu'un matériau d'affaiblissement 40 dB et de 100 m² de surface
- Un trou ruine donc l'atténuation des matériaux acoustiques et d'autant plus qu'il est grand

Exemple: La paroi de séparation ne va que jusqu'au faux-plafond. Ce faux-plafond, en matériau absorbant, n'isole pas. Le bruit se réfléchit sur le plafond en dur et arrive dans le local voisin

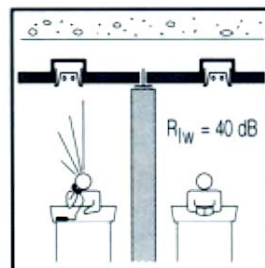
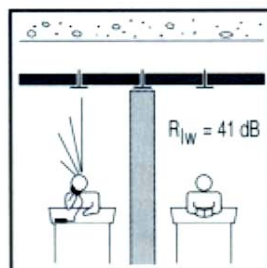
- **Recommandations:**

- **Supprimez** ou réduisez au minimum les **trous**, les **fentes** ou les éléments de faible affaiblissement:
 - ◇ les orifices dans les capots
 - ◇ les passages de canalisation, en particulier de gaines de ventilation dans les murs
 - ◇ les boîtes électriques
 - ◇ les fentes autour des portes et fenêtres
 - ◇ les espaces derrière les chambranles de portes
 - ◇ ...
- **Soignez la finition**
 - ◇ Toutes les fentes et tous les trous *apparents et non apparents* doivent être colmatés avec des matériaux isolants (béton, plâtre...) et non des matériaux absorbants.

Exemple: La paroi de séparation a été prolongée au-dessus du faux-plafond, jusqu'à la structure par un élément en dur



Exemple: 1. Le faux-plafond a été alourdi de manière à être isolant
2. Le pont acoustique par les luminaires a été éliminé au moyen d'une structure lourde recouvrant chaque luminaire



14. Quelle est la différence entre affaiblissement et isolement acoustiques?

- L'affaiblissement est une caractéristique d'un matériau
 - ◇ De sa nature
 - ◇ De sa densité
 - ◇ De son épaisseur
 - ◇
- C'est donc une valeur théorique
- L'isolement entre deux locaux est fonction:
 - ◇ de l'affaiblissement des matériaux de la paroi commune

- ✧ de celui des matériaux des parois latérales
- ✧ des surfaces de ces parois latérales et de la paroi commune
- ✧ du type de raccordement entre ces parois
- ✧ de l'homogénéité des surfaces: portes, fentes, trous, éléments faibles...
- C'est donc ce que l'on a en pratique, compte tenu de la façon dont le bâtiment a été construit

15. Comment peut-on améliorer l'isolement acoustique entre deux locaux?

En cas d'isolement acoustique insuffisant entre deux locaux, les actions prioritaires sont:

- recherchez les fentes, trous, éléments faibles et les colmater
- agissez sur la paroi commune.

Le tableau ci-dessous donne les gains approximatifs en dB, résultant de différentes actions sur une paroi donnée, constituée par exemple de deux panneaux en plâtre de 20 mm d'épaisseur séparés de 5 cm:

Amélioration	Gain en dB
Épaisseur double 1 côté	+ 3
Épaisseur double 2 côtés	+ 5
Fixation élastique 1 côté	+ 6
Fixation élastique 2 côtés	+ 10
Cloisons indépendantes	+ 10
Absorption dans la cavité	+ 5

Règle d'amélioration cumulative: valeur la plus grande = ½ somme des autres

16. Du point de vue acoustique quelles sont les différences entre vitrages simples et vitrages doubles

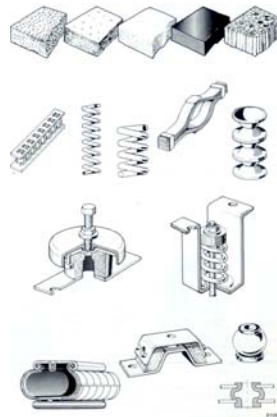
- Le vitrage simple a un poids par m² trop faible (épaisseur 3 à 5 mm) pour donner des affaiblissements supérieurs à 30 dB (à 500 Hz)
- Le vitrage double thermique offre peu d'avantages du fait d'une épaisseur de l'espace intermédiaire limitée à 10 à 12 mm
- Les châssis, le poids total et l'herméticité des vitrages doubles sont cependant tels que les isolements acoustiques sont nettement meilleurs
- Un isolement important sera obtenu par un survitrage, c.à.d., deux châssis simples espacés de 10-15 cm pour constituer une paroi double
- Des vitrages **doubles acoustiques spéciaux** sont également disponibles.

17. Quels sont les différents types de matériaux résilients?

Ces matériaux sont destinés à bloquer la transmission des vibrations d'une machine pour qu'elles ne soient pas transmises à une tôle ou une paroi (sol, mur...) qui vibrerait et rayonnerait le bruit.

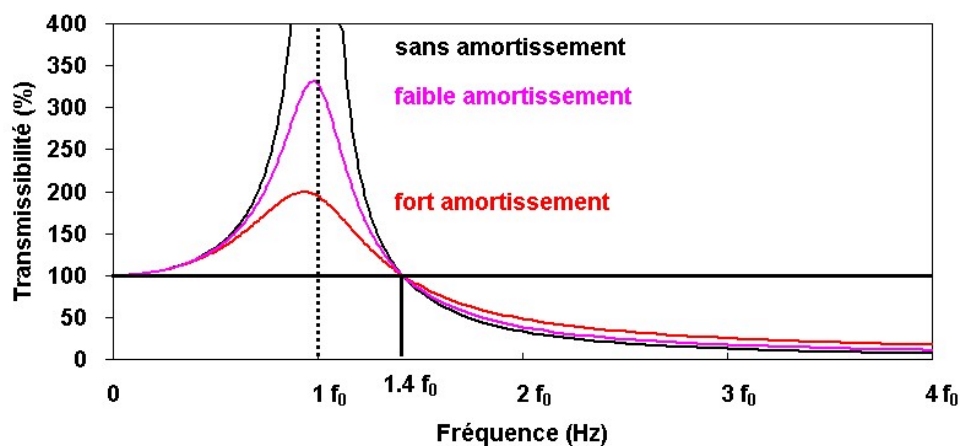
- Il s'agit par ordre d'efficacité de plus en plus importante :

- du feutre
 - du liège
 - du caoutchouc
 - de ressorts
 - de coussins d'air (le plus efficace).
- Ils sont présentés sous forme de blocs («silent blocs»), de tapis, ou de tapis sous un bloc de béton (dalle flottante: voir stabilité ci-dessous).



18. Qu'est-ce que la résonance d'une machine?

- Les matériaux résilients **aggravent** la transmission des vibrations autour d'une fréquence dite de résonance f_0 qui est fonction:
 - du poids de la machine
 - des caractéristiques du matériau.
- Ils atténuent la transmission au-delà de $1,4 f_0$



- Il est donc nécessaire de choisir le matériau en fonction:
 - du poids de la machine
 - ✧ f_0 diminue si le poids augmente pour autant que le matériau résilient ne soit pas totalement écrasé
 - des fréquences des vibrations à bloquer
 - ✧ f_0 doit être idéalement 2 à 4 fois plus faible
- Stabilité
 - Lorsque f_0 est très faible, la machine risque d'être instable.
 - On préfère alors monter la machine
 - ✧ sur un socle en béton (augmentation de la masse et abaissement du centre de gravité)
 - ✧ ou sur un tapis résilient (ressorts, liège...)
- Dans certains cas, des matériaux résilients doivent être installés
 - non seulement sous la machine dans l'axe principal des vibrations
 - mais latéralement, dans les axes secondaires.

19. Qu'est-ce qu'un amortisseur?

Les amortisseurs ne doivent pas être confondus avec les matériaux résilients. Ils augmentent en fait la transmission mais réduisent les mouvements dangereux lorsque les fréquences des vibrations sont proches de la fréquence de résonance (au démarrage d'un ventilateur).

20. Un système anti-vibratoire existe mais ne bloque pas les vibrations. Pourquoi?

Un système anti-vibratoire devient inutile si:

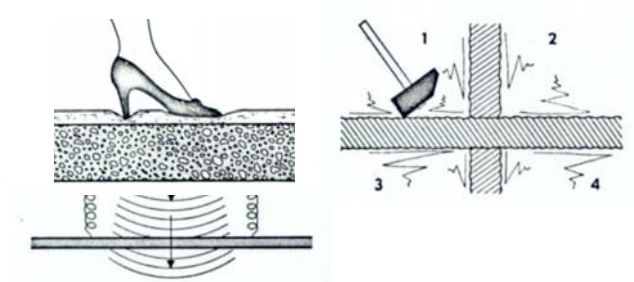
- le matériau résilient est complètement écrasé (ce qui est plus facile à voir pour un ressort que pour un tapis de caoutchouc)
- des connexions rigides existent entre la machine et l'extérieur (conduites d'eau, d'air, d'électricité...)
- des débris accumulés près des socles court-circuitent le matériau résilient
- le matériau anti-vibratoire a vieilli trop rapidement (caoutchouc à hautes températures, corrosion par ozone...).

21. Comment les bruits de l'étage supérieur se propagent-ils vers le local inférieur?

Les bruits sont de deux natures:

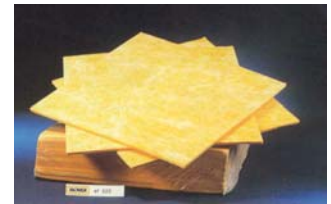
- Les bruits aériens (voix, haut-parleurs...) se transmettent au travers du sol et du plafond
 - Il faut soigner l'isolement acoustique de ce sol, le rendre lourd.
 - Ou installer dans le local inférieur un plafond qui constitue une double paroi
- Les vibrations, chocs (coup de marteau, pas, déplacement d'un objet lourd...) sont transmis par la structure et peuvent occasionner un bruit important dans le local inférieur.
 - Il faut cette fois recouvrir de sol d'un revêtement résilient

- Ou installer une dalle ou plancher flottant sur le sol



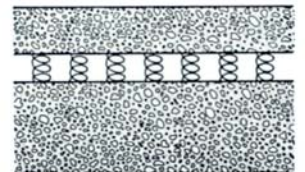
22. Quel est l'intérêt d'un revêtement de sol:

- des dalles de vinyle donnent un gain négligeable
- 2,5 mm linoléum donnent un gain léger
- 6 mm linoléum sur liège entraînent une réduction moyenne
- Une moquette est d'autant plus efficace qu'elle est épaisse



23. Qu'est-ce qu'une dalle ou un plancher flottant

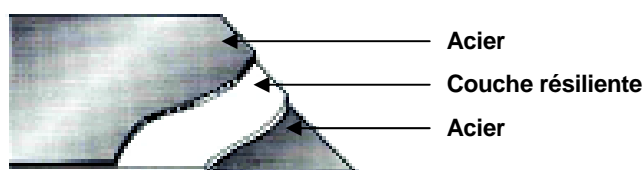
- Une dalle flottante est typiquement une **dalle de béton de 6 cm par exemple ou en asphalte** posée sur un matelas résilient tel que de la laine minérale spéciale.
- Un plancher flottant est de même posé sur matelas résilient
- **Aucun lien** ne peut exister entre la dalle et le gros œuvre (ponts acoustiques) Ceci représente la principale difficulté d'un plancher ou d'une dalle flottante dont le principe est simple
 - Pas de lien entre la dalle et le sol par des coulées de béton entre les plaques de matériaux résilients lors de la fabrication de la dalle
 - Pas de lien entre la dalle et les murs latéraux.
 - ...

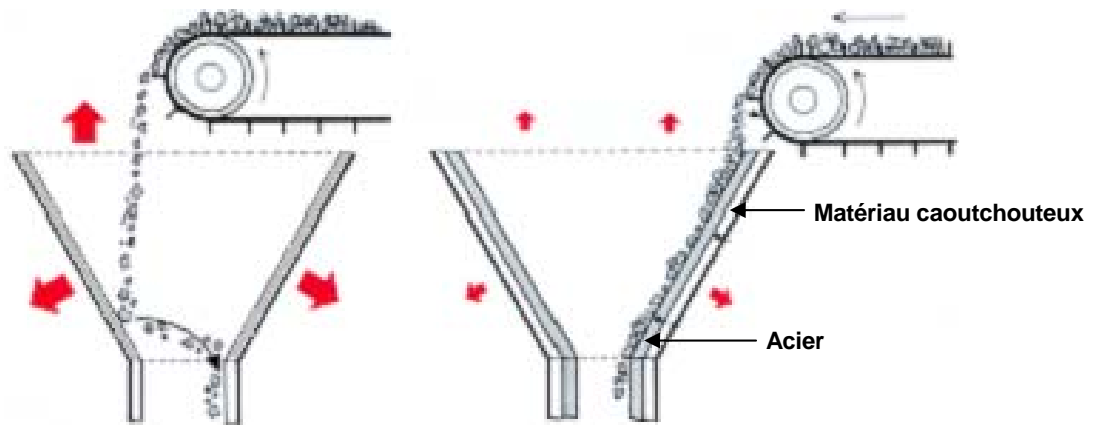


Il faut en conclure que la surveillance de la construction de la dalle flottante est une affaire de spécialiste.

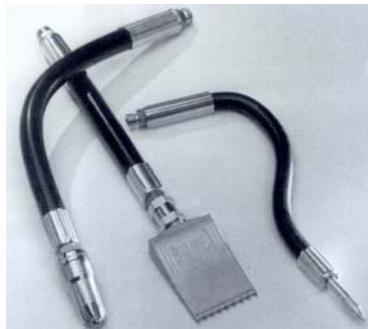
24. Comment peut-on éliminer ou réduire les bruits d'impact

- En changeant la façon de travailler
- En établissant le contact entre 2 objets avant de pousser l'un par l'autre
- En réduisant les distances de chute d'objets métal sur métal
- En faisant tomber les objets, pièces... sur une surface oblique plutôt qu'horizontale
- En plaçant un matériau **résilient** directement sur la surface ou en panneau sandwich pour amortir les chocs lors de chute d'objets.





- En installant un silencieux sur les détentes de gaz et sur les jets d'air



- En ne dirigeant pas le jet de détente de gaz ou d'air perpendiculaire à une surface