



Vous êtes un industriel et vous envisagez d'encoffrer une ou plusieurs machines. Cette fiche va vous permettre de dialoguer efficacement avec les fabricants ou les installateurs. Un encoffrement doit être conçu pour réduire le bruit émis par la machine encoffrée. Que vous fassiez appel à des compétences extérieures ou que vous envisagiez de réaliser un encoffrement, vous devrez appliquer les bons principes de prévention ainsi que les règles techniques de conception présentés ici.

Réussir un encoffrement acoustique

Pour lutter contre le bruit, la **solution idéale** est la réduction du bruit à la source. En pratique, il est difficile de diagnostiquer les causes réelles du bruit et surtout d'inventer des solutions faciles à mettre en œuvre sur des installations existantes.

La **solution de compromis** consiste à enfermer les machines industrielles bruyantes dans des « boîtes » appelées encoffrements. L'encoffrement repose sur une idée simple mais sa réalisation doit respecter des règles précises pour éviter un résultat décevant.

Gardez en mémoire qu'il s'agit avant tout de :

- réduire le niveau sonore à l'endroit où se trouvent les salariés,
- prendre en compte l'environnement de travail dans lequel s'intégrera le projet,
- réfléchir en groupe, en associant étroitement les personnes concernées par l'implantation, l'utilisation et la maintenance.

Ainsi, pour réussir votre encoffrement, vous devez respecter les **7 règles techniques** détaillées dans cette fiche.

Sept règles simples pour un résultat optimisé

- 1. Évaluer les contraintes :** établir un relevé exhaustif en associant les utilisateurs.
- 2. Isoler la machine :** choisir les parois en fonction de l'atténuation recherchée.
- 3. Absorber le son à l'intérieur de l'enceinte :** tapisser les parois internes de l'enceinte d'un matériau absorbant.
- 4. Traiter les ouvertures :** installer des silencieux.
- 5. Supprimer les fuites acoustiques :** mettre en place des joints pour assurer l'étanchéité.
- 6. Découpler l'enceinte :** éviter tout contact entre la machine et l'enceinte.
- 7. Réceptionner l'enceinte :** contrôler les objectifs contractuels.

1. ÉVALUER LES CONTRAINTES

L'enceinte doit être adaptée à l'environnement de travail et aux contraintes de production ainsi qu'aux exigences de sécurité, d'hygiène, d'ergonomie et de maintenance. L'évaluation par tous les acteurs (opérateurs, maintenance, méthodes...) des contraintes et des exigences à respecter permettra l'établissement d'un cahier des charges précis et réaliste. Les niveaux sonores en des points de contrôle devront être mesurés afin de spécifier puis de vérifier les objectifs de réduction du bruit, qui doivent faire l'objet d'une garantie de résultats. Le tableau 1 (voir page 5) a pour but d'aider l'entreprise à ne rien laisser au hasard lors de l'établissement de ce cahier des charges.

2. ISOLER LA MACHINE

Ce sont les parois qui déterminent l'isolement acoustique de l'enceinte.

Les performances acoustiques des parois dépendent de leur nature et de leur composition. Elles sont caractérisées par une grandeur appelée indice d'affaiblissement R (par bande d'octave) ou R_w (global), issue de mesures en laboratoire (donnée obtenue auprès des fabricants).

Attention !

En pratique, l'isolement acoustique global de l'enceinte sera toujours inférieur à l'affaiblissement acoustique des parois du fait de la réverbération interne, des ouvertures et des éventuelles fuites.

Choix des parois

Plus une paroi est lourde, plus elle affaiblit le bruit. De plus, l'isolement augmente avec la fréquence. Enfin, l'isolement chute à une fréquence appelée fréquence critique, inversement proportionnelle à l'épaisseur de la paroi. Il faut donc choisir le matériau et l'épaisseur de la paroi en fonction de l'indice d'affaiblissement souhaité et des fréquences principales du bruit de la machine. Il faut à tout prix éviter de choisir un matériau et une épaisseur tels que la fréquence critique de la paroi soit proche des fréquences bruyantes.

Paroi double

Quand on recherche un affaiblissement élevé pour des zones fréquentielles bien déterminées, en particulier aux hautes fréquences (> 1 kHz), on pourra recourir à une paroi double constituée de deux parois simples séparées par un absorbant. Attention, l'indice d'affaiblissement d'une paroi double chute :

- autour des deux fréquences critiques de chacune des deux parois simples,
 - à une fréquence de respiration (masse-air-masse), généralement basse.
- En dehors de ces zones, l'affaiblissement est supérieur à l'indice des deux parois simples. L'exemple le plus répandu est le double vitrage.

Affaiblissement

L'enceinte est un assemblage de parois et l'affaiblissement de l'assemblage R (par bande d'octave) dépend fortement de l'indice R_i le plus faible :

$$\bar{R} = 10 \log \left(\frac{\sum_i S_i}{\sum_i \tau_i S_i} \right)$$

Où la transparence τ_i d'une paroi i (de surface S_i et d'indice R_i) s'écrit : $\tau_i = 10^{-R_i/10}$

Figure 1

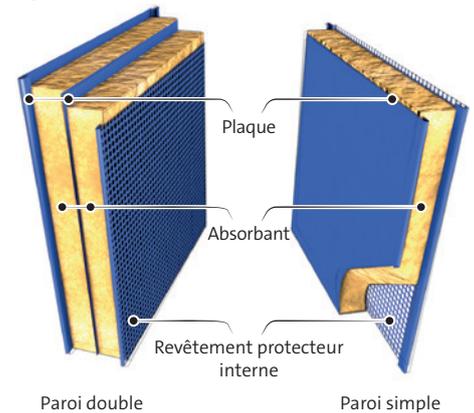


Figure 2 – Indice d'affaiblissement de quelques parois usuelles

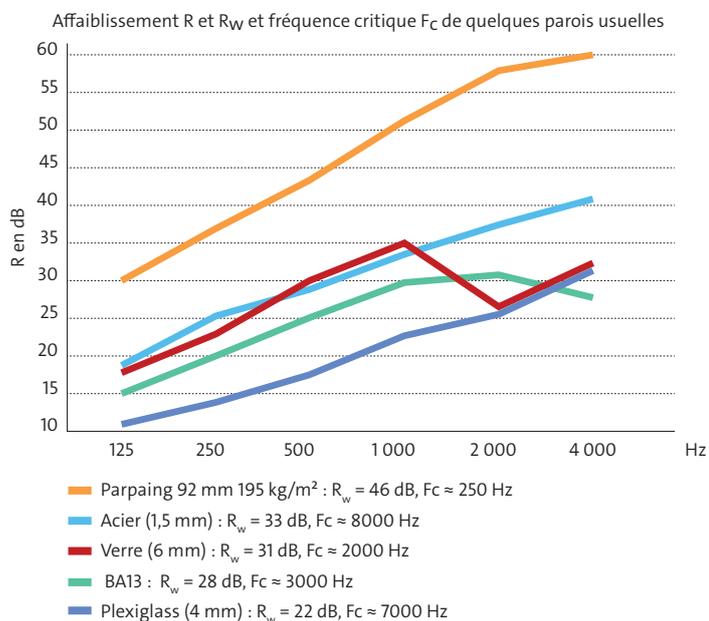
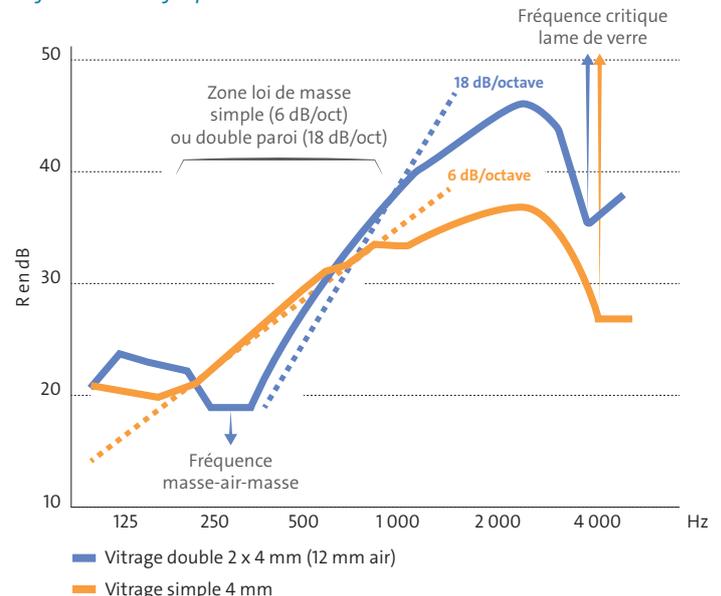


Figure 3 – Indice d'affaiblissement d'un simple vitrage et d'un double vitrage en fonction de la fréquence



Attention !

Les parois isolantes sont caractérisées par un affaiblissement variable en fréquence. Elles doivent donc être choisies en fonction du bruit émis. Si l'encoffrement est constitué de parois différentes, la paroi possédant le plus faible affaiblissement déterminera les performances de l'ensemble.

3. ABSORBER LE SON À L'INTÉRIEUR DE L'ENCOFFREMENT

Le niveau de bruit à l'intérieur de l'encoffrement augmente par réverbération. Cette augmentation contrebalance l'affaiblissement dû à la paroi. La présence d'un matériau absorbant est nécessaire pour diminuer le niveau sonore interne. Il sera soit fixé sur les parois internes des encoffrements, soit intégré dans la paroi.

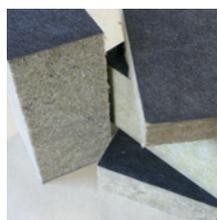
Choix du matériau absorbant

Ces matériaux doivent avoir des coefficients d'absorption α_w proche de 1 ($\alpha_w = 0$, pas d'absorption, $\alpha_w = 1$, absorption totale) : laine minérale de verre ou de roche, fibres polyester, mousse synthétique plane ou alvéolée à pores ouverts... Ces matériaux ont des efficacités assez voisines à épaisseur égale.

Choix du revêtement protecteur

Un matériau absorbant doit parfois être protégé par un revêtement (fragilité, dispersion des fibres, pénétration d'huile et d'humidité, dépôt des poussières). Il faut veiller à ce que cette protection n'altère pas trop son coefficient d'absorption.

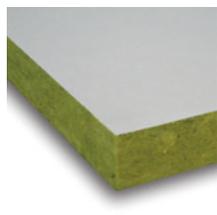
La protection mécanique est en général assurée par une tôle mince perforée, un grillage ou un isorel perforé. À partir d'un taux de perforation supérieur à 20 % de la surface, l'absorption est maximale.



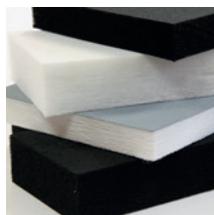
Laine de roche



Mousse de mélamine



Laine de verre



Mousse de polyester

© Décibel France

Cette protection est parfois assurée par un film plastique. L'altération sera d'autant plus faible que le revêtement est plus poreux ou plus mince.

Ainsi, un voile ou tissu de verre, un film plastique d'épaisseur inférieure à 40 μm et d'une masse surfacique inférieure à 30 g/m^2 affectent peu l'absorption. En revanche, un revêtement plus épais (feuille d'aluminium, de plastique, de papier kraft) peut provoquer une importante baisse d'efficacité.

Isolement acoustique de l'encoffrement

L'isolement acoustique D_w de l'encoffrement peut être estimé par la formule :

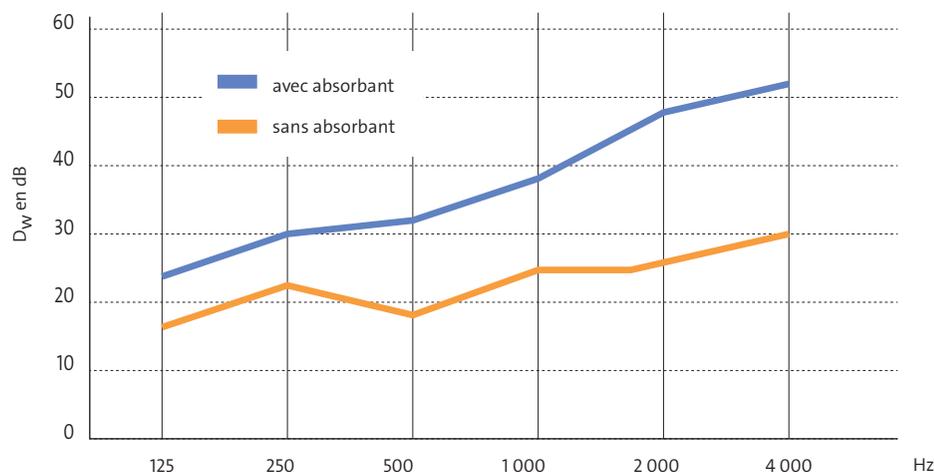
$$D_w = R_w + 10 \log(\alpha_w) \text{ en dB}$$

Ainsi, une bonne absorption intérieure ($\alpha_w = 0,9$) ne diminuera l'affaiblissement que de 0,5 dB alors qu'une absorption faible ($\alpha_w = 0,1$) réduira de 10 dB l'efficacité des parois.

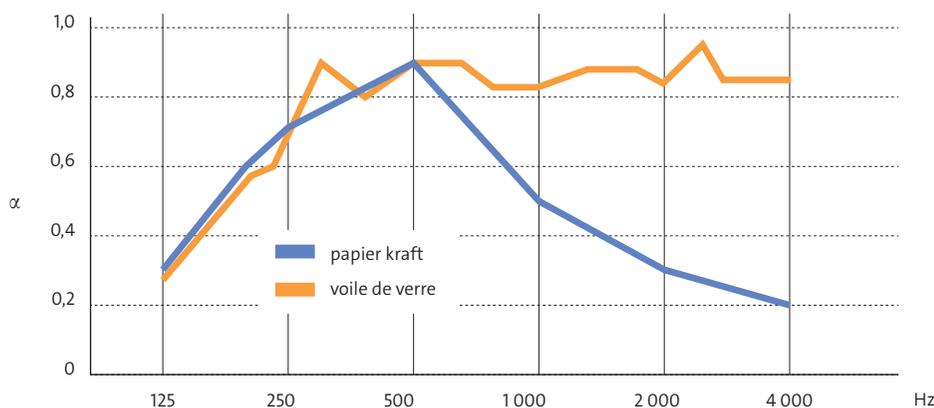
Exemple :

- si $\alpha_w = 0,1$ $D_w = R_w - 10 \text{ dB}$
- si $\alpha_w = 0,5$ $D_w = R_w - 3 \text{ dB}$
- si $\alpha_w = 0,9$ $D_w = R_w - 0,5 \text{ dB}$

Figure 4



Exemple de l'influence de la présence d'un matériau absorbant sur l'isolement



Exemple de l'influence d'un revêtement protecteur sur l'absorption

4. TRAITER LES OUVERTURES

Tout encoffrement nécessite des ouvertures permanentes : entrée(s)/sortie(s) de matière, ventilation pour la compensation thermique, passage d'éléments mécaniques (pont roulant, transmission), portes d'accès... Ces ouvertures doivent être les plus petites possible et être impérativement traitées acoustiquement.

On aura recours :

- aux tunnels acoustiques fixés sur les entrées et sorties,
- aux lamelles (disposées en quinconce) ou aux bavettes souples que l'on place à l'entrée ou à la sortie des tunnels,
- aux silencieux droits, à chicanes ou à lames parallèles pour les passages de fluides,
- aux portes acoustiques et aux sas acoustiques pour les accès.

Les dimensions des tunnels doivent respecter la règle schématisée ci-après. Au moins une de leurs parois internes doit être revêtue de matériau absorbant.

Il est parfois impossible, lorsque le passage de personnel est permanent, de mettre une simple porte. On aura alors recours à un sas à double porte ou à un accès en chicane.



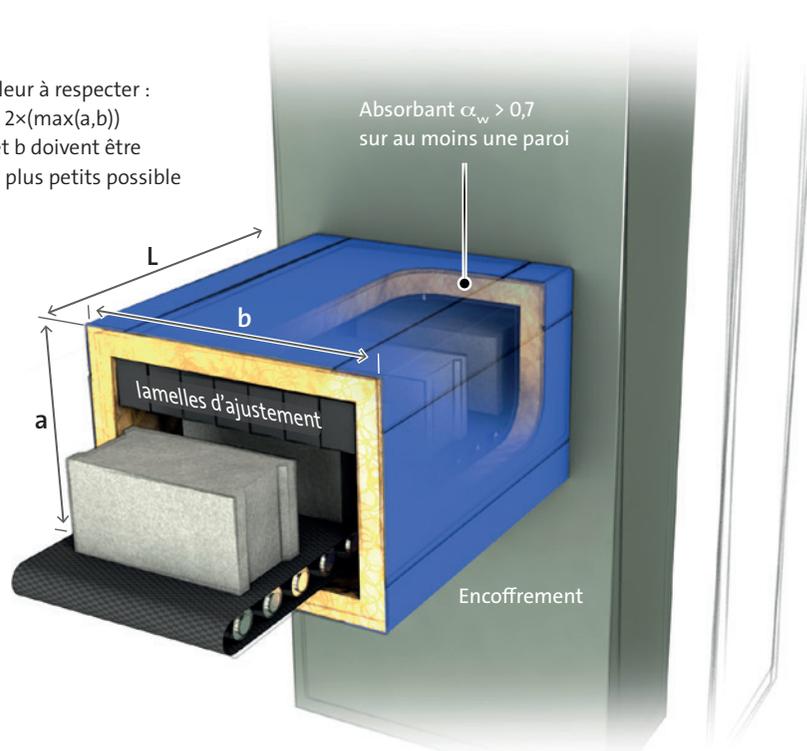
© TROX TECHNIK Silencieux à baffles type MSA



© TROX TECHNIK Silencieux circulaire type CA

Figure 5

Valeur à respecter :
 $L > 2 \times (\max(a, b))$
 a et b doivent être
 les plus petits possible



5. SUPPRIMER LES FUITES ACOUSTIQUES

Cinq pour cent de surface de fuite limitent l'efficacité globale d'un encoffrement à 12 dB (et à beaucoup moins en face de la fuite) quelle que soit la paroi. Il faut donc absolument supprimer toutes les fuites :

- tout passage (câbles, tuyaux...), si petit soit-il, doit être jointé, colmaté,
- il faut traiter très soigneusement les ouvrants : ils doivent être munis de joints sur tout leur pourtour et de fermetures multipoints et les portes doivent être munies de groom. Leur vieillissement ne doit pas entraîner l'apparition de fuites,
- les bas de parois doivent être étanchéifiés, par exemple au moyen de joints bitumineux. Les portes et fenêtres ne sont efficaces que fermées. La règle est que, hors ouvertures, un encoffrement doit être parfaitement étanche.

6. DÉCOUPLER L'ENCOFFREMENT

Le bruit est souvent directement dû aux vibrations de la machine. De ce fait, si la machine est en contact avec les parois de l'encoffrement, ces vibrations peuvent aussi leur être transmises. Même sans contact, si les parois sont trop proches, un couplage par la lame d'air (« aérien ») peut se produire. L'encoffrement devient alors une nouvelle source de bruit.

La règle est donc d'éviter tout contact direct avec la machine, d'une part, et de respecter une distance d'au moins 200 mm entre la

machine et l'encoffrement, d'autre part, afin d'éviter tout couplage par voie aérienne.

De plus, l'encoffrement ne doit jamais être lié rigidement avec une partie de la machine et il faut éviter les transmissions des vibrations soit par le sol, soit par les liaisons ou les passages d'éléments de machine à travers l'encoffrement.

Lorsqu'il y a un risque de transmission par le sol (par voie solidienne) :

- si la machine est fixée sur un massif de réaction ou sur des silent-blocs, l'encoffrement peut être simplement posé ou fixé au sol mais obligatoirement en dehors du massif de réaction,
- si la machine est fixée à même le sol, alors les parois doivent être posées sur un joint de découplage.

7. RÉCEPTIONNER L'ENCOFFREMENT

Le contrôle de l'efficacité de l'encoffrement est indispensable. Les niveaux sonores en des points de contrôle auront été mesurés avant la mise en place de l'encoffrement. Répéter la mesure de une fois l'encoffrement en place permettra de vérifier les objectifs de réduction du bruit, qui auront fait l'objet d'une garantie de résultats.

Les points de contrôle doivent au moins comprendre les zones où se tiennent les opérateurs. Lors des mesures, les conditions de fonctionnement de la machine doivent être clairement précisées et elles doivent être représentatives de l'activité réelle.

Aide au cahier des charges

LA MACHINE

Produit	.....
Machine	.....
Cadence	.....

L'OPÉRATEUR

Niveau de pression sonore actuel/souhaité*	.....
Surveillance	.....
Éclairage	.....
Signalisation, voyants	.....
Mise en route, réglages	.....
Gestion des incidents, pannes	.....
Manutention, postures	.....
Nettoyage	.....
Risques induits (incendie, explosion)	.....

LES ENTRÉES-SORTIES

Entrées matières	.....
Sorties produits	.....
Sorties déchets	.....
Energie, fluides, électricité, air comprimé	.....
Compensation air neuf – ventilation	.....
Chaleur, humidité, condensation	.....
Polluants (poussières, brouillards d'huile, gaz...)	.....
Fuites acoustiques	.....

L'IMPLANTATION

Matériaux constitutifs	.....
Dimensions intérieures	.....
Dimensions extérieures	.....
Distances de sécurité	.....
Accès machine (personnel et matériel)	.....
Tenue mécanique de la structure	.....
Vibrations	.....
Longévité	.....
Démontabilité	.....
Forme et couleur	.....

* Idéalement < 70 dB(A), à défaut < 80 dB(A) sauf impossibilité : typiquement, un encoffrement amène une réduction de 15 à 25 dB.

GLOSSAIRE

■ Indice d'affaiblissement R d'un matériau

Représente le rapport entre l'énergie sonore incidente et l'énergie sonore qui traverse le matériau (énergie transmise). Il s'agit du logarithme de l'inverse de la transparence acoustique τ . Cette grandeur, dont la valeur est obtenue en laboratoire, fait abstraction des transmissions latérales et ne prend pas en compte les conditions réelles de pose du matériau.

L'indice d'affaiblissement R (exprimé en dB) dépend de la fréquence, mais on définit aussi l'affaiblissement global d'une paroi soumise à un bruit normalisé (noté R_w), ce qui permet de classer les parois.

■ Coefficient d'absorption α d'un matériau

Représente le rapport entre l'énergie sonore absorbée par le matériau et l'énergie sonore incidente (plus α se rapproche de 1 et plus le matériau est absorbant).

Il est usuellement fourni par les fabricants de matériaux.

Cette grandeur est appelée α_{Sabine} quand sa valeur est obtenue en laboratoire dans des conditions normalisées. α est exprimé par fréquence. Il existe aussi un indice normalisé global d'absorption noté α_w qui permet de classer les matériaux acoustiques (de « A » : $\alpha_w \geq 0,9$ à « E » : $0,25 \geq \alpha_w \geq 0,15$).

■ Masse surfacique, masse volumique

Respectivement masse par unité de surface (en kg/m^2) ; masse par unité de volume (kg/m^3).

■ Octave

Domaine fréquentiel compris entre une fréquence et le double de cette fréquence. En pratique, les octaves sont normalisées. Elles sont désignées par leur fréquence centrale (octave à 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz...).

POUR EN SAVOIR PLUS

■ NF EN ISO 15667 juillet 2000 - S30-667 : *Acoustique - Lignes directrices pour la réduction du bruit au moyen d'enclotement et de cabines*. Afnor

■ *Enclotements de machine. Aide à la conception : règles de base et mise en œuvre expérimentale*. ND 2144, INRS

Cette fiche a été rédigée par le groupe de travail
Bruit Cramif-Carsat-INRS