



Des enceintes pour lutter contre le bruit

Suva

Sécurité au travail

Renseignements

Case postale, 6002 Lucerne

Tél. 041 419 61 34

akustik@suva.ch

www.suva.ch

Commandes

Case postale, 6002 Lucerne

www.suva.ch/waswo-f

Fax 041 419 59 17

Tél. 041 419 58 51

Titre

Des enceintes pour lutter contre le bruit

Auteur

Walter Lips, secteur physique

Frontispice

Nous rencontrons le principe de l'enceinte dans la nature:

le manteau piquant protège la châtaigne des influences extérieures néfastes.

En revanche, dans le domaine technique, l'enceinte d'une machine protège

l'entourage du bruit excessif.

Reproduction autorisée, sauf à des fins commerciales, avec mention de la source.

1^{re} édition: juillet 1990

Edition revue et corrigée: mars 2010

Référence

66026.f (disponible uniquement sous forme de fichier pdf)

Table des matières

Introduction	2	5	Exemples de réalisation de parois d'enceintes	13
1 Généralités	3	5.1	Entreprises spécialisées	13
1.1 Mesures de lutte contre le bruit	3	5.2	Construction de paroi monocoque	13
1.2 Types de construction d'enceintes	3	5.3	Construction de paroi double coque	14
1.3 Exemples de machines devant être munies d'enceintes	3	6	Méthode de calcul d'une enceinte	15
2 Principe fonctionnel et facteurs d'influence	4	6.1	Procédé d'évaluation	15
2.1 Réflexions sur la paroi interne de l'enceinte	4	6.2	Mode de calcul précis	15
2.2 Isolation de la paroi de l'enceinte contre le son aérien	4	6.2.1	Données du problème	15
2.3 Mesure d'une enceinte	4	6.2.2	Bases de calcul	16
2.4 Pertes de réduction dues à des ouvertures et des fuites	5	6.2.3	Calcul	16
2.5 Transmissions du son par voie solide	5	6.2.4	Choix de l'enceinte	16
2.6 Autres notions	5	6.3	Résumé	16
2.7 Résumé	5	7	Evaluation coût/efficacité	17
3 Exigences à satisfaire pour les enceintes	7	7.1	Généralités	17
3.1 Exigences générales	7	7.2	Valeur empirique	17
3.2 Exigences au niveau de la technique acoustique	7	8	Exemples	18
3.2.1 Efficacité d'une enceinte	7	8.1	Bons exemples	18
3.2.2 Isolation acoustique	8	8.1.1	Broyeur de matière plastique	18
3.2.3 Absorption acoustique	8	8.1.2	Installation de conditionnement de vis	18
4 Remarques concernant la construction	9	8.1.3	Machine à souder par ultrasons	19
4.1 Généralités	9	8.1.4	Plieuse d'une presse rotative	20
4.2 Caractéristiques constructives	9	8.1.5	Installation de centrifugation de tuyaux armés de fibres de verre	20
4.3 Etablissement des mesurages	10	8.1.6	Enceinte partielle d'une presse à découper à excentrique	21
4.4 Isolation contre les vibrations	10	8.1.7	Machine automatique de moulage et de montage	22
4.5 Revêtement intérieur absorbant le son	10	8.1.8	Cabines de commande	22
4.6 Recouvrement du matériau d'absorption	10	8.1.9	Groupe hydraulique	23
4.7 Raidissement de la structure de l'enceinte	10	8.1.10	Presse automatique à découper	23
4.8 Ouvertures et étanchéité	11	8.1.11	Enceinte partielle d'une scie circulaire à coupe oblique	24
4.8.1 Ouvertures de ventilation et d'aération	11	8.1.12	Enceintes intégrées	25
4.8.2 Ouvertures pour amener et évacuer des matériaux	11	8.2	Exemples insatisfaisants	25
4.8.3 Etanchéité au niveau du jointolement entre la paroi de l'enceinte et les éléments de construction attenants	12	8.2.1	Presse à estamper	25
4.8.4 Portes, fenêtres et trappes	12	8.2.2	Turbines Pelton	26
4.9 Prototypes et enceintes partielles	12	8.2.3	Broyeur de matières plastiques	27
		8.2.4	Relieuse	28
		9	Commande de l'enceinte	29
		10	Conclusions	30
			Remerciements	31
			Bibliographie	31
			Annexe	32
			Modèle de spécification d'offre et de commande pour enceintes d'isolation acoustique	

Introduction

Il existe toute une série de sources de bruit dont la propagation du son ne peut être limitée qu'à l'aide d'une isolation acoustique sous forme d'enceinte. Ce sont surtout les machines à haut rendement, à vitesse de rotation élevée ou à haute pression ainsi que les groupes auxiliaires. Dans de tels cas, l'enceinte d'isolation acoustique (appelée enceinte dans ce qui suit) est souvent le seul moyen de réduire sensiblement le niveau sonore. Toutefois, des enceintes peuvent également être mises en œuvre pour atténuer les nuisances sonores aux postes de travail voisins provoquées par de faibles niveaux sonores (équipements informatiques tels qu'imprimantes performantes, ordinateurs, etc.) ou de très hautes fréquences (par ex. installation à ultrasons). La prévision d'enceintes acoustiques est particulièrement adaptée aux machines et installations automatiques.

La présente publication donne un aperçu des problèmes liés à la construction d'enceintes. Les limites de ce qui est réalisable techniquement et supportable financièrement sont également mises en évidence ici.

Le contenu a été conçu de façon à permettre au praticien d'apprécier les problèmes d'exploitation et de trouver des solutions grâce à cette brochure. Il ne s'agit pas d'un travail scientifique, mais «d'un livre de recettes» pour tous les jours!



Figure 1: Automate d'usinage de plaques de bois muni d'une enceinte.

1 Généralités

1.1 Mesures de lutte contre le bruit

Les mesures de lutte contre le bruit à la source se divisent en trois grands groupes:

- mesures pour la réduction de la formation du son
- mesures pour la réduction de la transmission du son
- mesures pour la réduction du rayonnement du son

Ces trois groupes principaux sont également désignés comme mesures primaires du fait que l'ensemble des efforts en vue de lutter contre le bruit se concentrent sur la source (y c. rayonnement sonore). En revanche, une enceinte a pour tâche de réduire la propagation du rayonnement sonore d'une machine. C'est pourquoi l'enceinte est parfois désignée comme mesure secondaire.

1.2 Types de construction d'enceintes

Ce serait faux ou tout au moins une simplification inadmissible de qualifier sommairement les enceintes de «caisses insonorisées». Selon leur type de construction, il existe trois catégories d'enceintes:

- enceinte intégrale
- enceinte partielle
- enceinte comprise dans la construction de la machine (enceinte intégrée)

Cette différenciation mettra déjà en évidence les possibilités de solution lors de l'appréciation globale d'un problème.

1.3 Exemples de machines devant être munies d'enceintes

Les possibilités de mise en œuvre d'enceintes sont extrêmement nombreuses. Lorsque, le soir, vous posez votre montre-bracelet dans le tiroir de la table de nuit pour pouvoir dormir tranquillement, vous munissez cette source de bruit d'une enceinte. Dans un cas extrême, même une enveloppe lourde et fermée construite, par ex. pour une centrale hydroélectrique, est une enceinte. Entre ces deux exemples se trouvent les cas qui nous intéressent ici (enceintes intégrales et partielles):

- automates de façonnage pour les industries du métal, du bois et des matières plastiques
- automates de remplissage et de conditionnement dans l'industrie chimique, agro-alimentaire et produits métalliques
- compresseurs (stationnaires et mobiles), ventilateurs
- groupes et pompes hydrauliques
- moteurs (électriques, à essence, diesel, à gaz) stationnaires et mobiles
- pompes
- installations de trowal et de nettoyage, centrifugeuses
- installations de soudage et bains à ultrasons
- automates de montage
- chaînes de fabrication
- bancs d'essai en général
- convoyeurs à vibrations
- presses à découper et presses automatiques
- broyeurs, hachoirs
- installations de sablage
- automates de filage et de bobinage, métiers à tisser dans l'industrie textile
- machines à meuler et à affûter les outils
- machines à imprimer, plier et assembler dans l'industrie papetière et graphique
- systèmes informatiques (mémoire à disque, imprimante)
- turbines à vapeur et à gaz
- installations de production d'énergie (fours, brûleurs)
- installations de fabrication dans l'industrie du ciment

Vous voyez, il y a une multitude de possibilités d'utilisation! Dans le cas d'installations de grandes dimensions telles les centrales électriques, les aciéries, les laminoirs, les fonderies, etc., ce n'est pas la source du bruit qui est munie d'une enceinte, mais l'homme qui est isolé acoustiquement: on construit des cabines de commande insonorisées. Mais cela ne sera pas notre propos ici.

2 Principe fonctionnel et facteurs d'influence

2.1 Réflexions sur la paroi interne de l'enceinte

Le son transmis par l'air provenant de la source du bruit atteint la surface de la paroi interne de l'enceinte et se trouve plus ou moins fortement réfléchi selon la capacité d'absorption (cf. figure 2). A l'intérieur de l'enceinte, les réflexions entraînent une augmentation du niveau. En présence de surfaces réverbérantes (par ex. la tôle d'acier), le niveau peut augmenter d'une manière telle que l'efficacité de l'enceinte est partiellement supprimée. Par conséquent, une absorption acoustique efficace de la paroi interne de l'enceinte est très importante.

Dans ce contexte, on utilise le coefficient d'absorption sonore α_s . Il indique la capacité d'un matériau à « avaler » un son. α_s se situe généralement entre 0 et 1, avec des valeurs supérieures à 1 (jusqu'à environ 1,2) possibles. En principe, plus élevé sera le coefficient d'absorption sonore α_s , meilleure sera l'absorption. Les couches absorbantes sont poreuses et souvent relativement légères (p. ex. panneaux de fibres minérales, laine de verre et laine de roche, etc.): voir point 3.2.3.

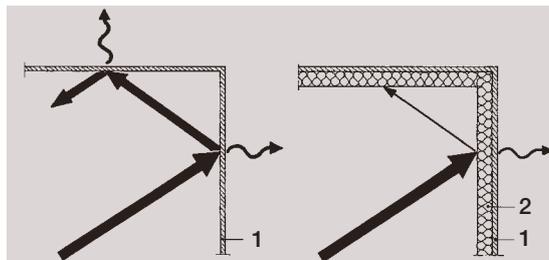


Figure 2: Réflexion (à gauche) et absorption (à droite) sur la paroi interne d'une enceinte.

- 1 Paroi d'enceinte pour l'isolation du son aérien
- 2 Couche d'absorption

2.2 Isolation de la paroi de l'enceinte contre le son aérien

La capacité de réduction du niveau sonore grâce à une enceinte close munie d'un revêtement absorbant les sons dépend pour l'essentiel de l'isolation de la paroi de l'enceinte contre les sons aériens. La valeur théorique possible n'est que rarement atteinte en pratique, étant donné que des ouvertures et des défauts

d'étanchéité influencent l'isolation acoustique (cf. figure 3). Pour atteindre une isolation élevée contre les sons aériens, il faut des systèmes lourds et multicoques (par ex. tôles, panneaux de bois, etc.).

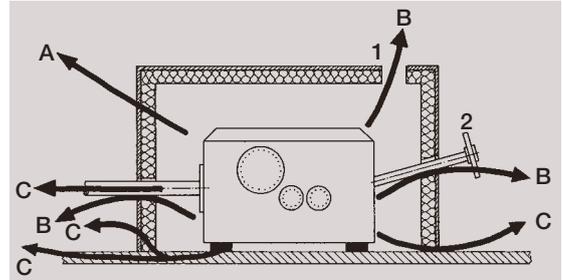


Figure 3: Exemple des voies de transmission sonore d'une enceinte.

- 1 Ouverture d'aération
- 2 Eléments de commande

Voie A: transmission aérienne du son par la paroi de l'enceinte
Voie B: transmission aérienne du son par les fuites et les ouvertures
Voie C: transmission du son par voie solide et rayonnement comme son transmis par l'air

2.3 Mesure d'une enceinte

L'efficacité d'une enceinte est généralement indiquée par l'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA} . Un ou plusieurs points de mesure du niveau sonore sont choisis à l'extérieur de l'enceinte, sans enceinte (L_Q) et avec enceinte (L_K):

$$D_{pA} = L_Q - L_K \text{ [dB]} \quad \text{[EQ 1]}$$

Les mesures peuvent être effectuées selon l'analyse par bandes de tiers d'octave ou par octave ou lors d'une simple évaluation en dB(A). La méthode de mesure et les conditions générales s'y rapportant sont décrites de manière exhaustive dans la norme EN ISO 15667 (2000), lignes directrices pour la réduction du bruit au moyen d'encoffrements et de cabines.

2.4 Pertes de réduction dues à des ouvertures et des fuites

La réduction maximale possible du niveau sonore par construction de l'enceinte n'est pas atteinte dans la plupart des cas. En effet, différentes ouvertures et fuites inévitables compromettent le résultat:

- ouvertures de ventilation et d'aération
- ouvertures pour amener et évacuer du matériel
- surfaces d'ouvertures pour le passage de tuyaux ou d'arbres de transmission
- jointoiements non étanches entre la paroi de l'enceinte et les éléments de construction attenants
- jointoiements non étanches entre les différentes parties de l'enceinte
- portes, regards de maintenance non étanches

La réduction maximale du niveau sonore pouvant être atteinte grâce à une enceinte dépend beaucoup plus de la section libre totale S_f des ouvertures (exemples: voir tableau 1 ci-dessous) que de la construction des parois (transmission des sons par voie aérienne). S_f désigne la somme de toutes les ouvertures (indication en % de la surface totale de l'enceinte).

Somme de toutes les ouvertures S_f	Indice de qualité d'isolement contre bruits aériens avec une construction optimale des parois D_{pA}
0,01 %	env. 40 dB
0,1 %	env. 30 dB
1 %	env. 20 dB
10 %	env. 10 dB

Tableau 1: Réduction maximale de niveau atteignable en fonction de la section libre.

2.5 Transmissions du son par voie solide

Si le niveau sonore d'une source de bruit transmis par l'air est déterminé par la transmission par voie solide du bruit de l'installation, cela réduit encore l'effet escompté de l'enceinte (cf. figure 3, voie C). Les transmissions possibles du bruit par voie solide sont:

- l'amortissement insuffisant ou inexistant du bruit transmis par voie solide des surfaces de contact
- la connexion rigide entre la source du bruit et la paroi de l'enceinte

Le bruit ainsi transmis par voie solide est finalement dégagé hors de l'enceinte sous forme de bruit transmis par voie aérienne.

2.6 Autres notions

Par la suite, les notions suivantes seront également utilisées:

f = fréquence [Hz]

c = vitesse du son (dans l'air à 20° C:
 $c = 340\text{m/s}$)

λ = longueur d'onde [m]

L_W = niveau de puissance acoustique [dB]

L_{WA} = niveau de puissance acoustique pondéré A [dB]

T = durée de réverbération du son [s]
(mesure pour la réverbération du son)

S = surface [m^2]

A = surface d'absorption du son [m^2]

2.7 Résumé

Pour qu'une enceinte soit bonne, il faut une isolation appropriée contre le bruit transmis par voie aérienne, une absorption du bruit efficace sur la paroi intérieure, des ouvertures les plus petites possibles et un amortissement du bruit transmis par voie solide adapté aux conditions (cf. figure 4).

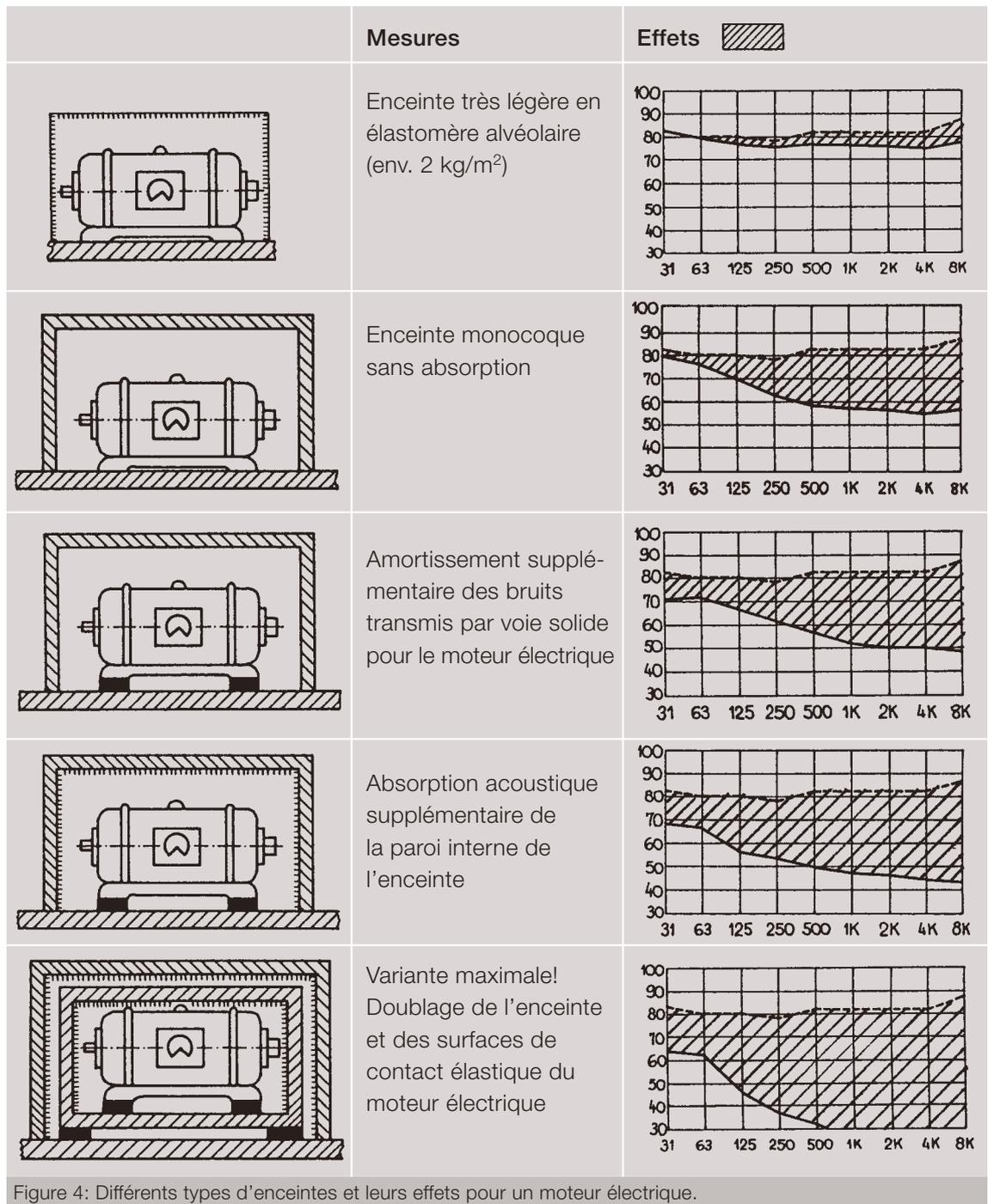


Figure 4: Différents types d'enceintes et leurs effets pour un moteur électrique.

3 Exigences à satisfaire pour les enceintes

3.1 Exigences générales

Lors de la construction d'une enceinte, il faut veiller à respecter les points suivants:

- isolation suffisante du matériau de l'enceinte contre le bruit transmis par voie aérienne, adaptée aux circonstances
- revêtement absorbant efficace (inflammable, résistant, ne s'effilochant pas, pouvant le cas échéant être nettoyé)
- construction acoustiquement étanche (garnitures d'étanchéité sur portes et volets)
- amortisseur de bruit lors de l'alimentation en matériaux et de leur évacuation
- pas de transmissions de bruit par voie solide ou de vibrations de la machine à l'enceinte
- vérifier si la machine à protéger repose sur des isolateurs contre les vibrations ou si cela reste à faire
- portes et volets faciles à manipuler, le cas échéant avec assistance de fermeture
- évacuation fiable de la chaleur (établir un bilan énergétique, sans oublier l'éclairage)
- bon éclairage de la zone de travail (lampes halogènes ou fluorescentes)
- possibilité de surveiller la machine lorsque l'enceinte est fermée (fenêtre, caméra TV)
- possibilité de commande optimale de la machine ou de l'installation munie d'une enceinte pour limiter au maximum la perte de productivité
- entretien simple (par ex. facilement démontable, relevable, levable avec une grue, remplacement aisé des pièces défectueuses, etc.)
- construction conforme aux règles de sécurité

et, de plus:

- soyez courageux dans le choix des couleurs; il ne faut pas toujours que ce soit du gris ou du vert standard!
- faites une étude comparative du coût: mettez en parallèle les calculs de coût pour une construction effectuée par vos soins et le devis d'une entreprise spécialisée.

3.2 Exigences au niveau de la technique acoustique

Outre les exigences générales telles que l'étanchéité etc., il existe des exigences au niveau de la technique acoustique qui sont requises pour le matériau de l'enceinte. Deux de ces exigences seront choisies: l'isolation acoustique et l'absorption acoustique. Il sera aussi montré quel degré d'efficacité doit avoir une enceinte.

3.2.1 Efficacité d'une enceinte

Il ne faut pas attendre de miracle acoustique d'une enceinte, même si sa construction est la meilleure possible. Les indications ci-après sont des valeurs empiriques pour l'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA} .

Les valeurs indiquées dans le tableau 2 ne devraient en aucun cas être inférieures.

Gamme principale de fréquences de la source de bruit*	Indice de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA} d'enceintes intégrales pour		
	petites machines	machines moyennes	grandes machines et installations
basse	15 dB	10 dB	5-10 dB
moyenne	20-25 dB	15-20 dB	10-20 dB
haute	25-40 dB	10-30 dB	15-25 dB
	enceintes partielles		
basse	0	0	0
moyenne	5 dB	5 dB	5 dB
haute	10 dB	5-10 dB	5 dB

Tableau 2: Valeurs empiriques pour l'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA} .

* basse: 125 à 500 Hz
moyenne: 1000 à 2000 Hz
haute: > 4000 Hz

3.2.2 Isolation acoustique

Dans la plupart des cas, il serait sans doute suffisant d'utiliser un matériau d'un coefficient d'isolation acoustique de $R'_w = 25\text{--}30$ dB. Si l'enceinte doit servir avant tout à réduire les basses fréquences (par ex. pour les transformateurs), il faut utiliser des éléments à capacité d'isolation acoustique correspondante. Sous point 4, des propositions de solutions pratiques sont présentées.

La plupart des fabricants d'enceintes peuvent donner le coefficient d'isolation acoustique de leurs produits.

3.2.3 Absorption acoustique

Il est particulièrement important que la paroi intérieure tournée vers le bruit soit conçue de façon à absorber le bruit. A cet effet, le coefficient moyen d'absorption devrait être de $\bar{\alpha}_s \geq 0,8$. S'il s'agit de réduire exclusivement des hautes fréquences (par ex. installations à ultrasons), il suffit d'obtenir cette valeur à partir de 1000 Hz environ (possibilité de couches plus minces). Des propositions de solutions seront également données à ce sujet sous point 4.

Le tableau 3 ci-dessous présente les coefficients d'absorption acoustique de quelques matériaux.

Matériau	Coefficient d'absorption $\bar{\alpha}_s$ pour fréquence de Hz						$\bar{\alpha}_s$
	125	250	500	1000	2000	4000	
Panneaux de laine minérale de 50 mm, 85 kg/m ³ (par ex. Flumroc)	0,18	0,77	1,01	1,04	0,97	0,97	0,82
Panneau de fibres de verre, de 50 mm, 55 kg/m ³ (par ex. Isover)	0,22	0,83	1,06	1,02	0,98	0,95	0,81
Panneau de mousse à proies ouverts de 30 mm, 30 kg/m ³ , surface structurée (parex. pinta acoustic, Nauer, Sigerist)	0,15	0,31	0,73	1,05	0,88	0,97	0,68

Tableau 3: Coefficient d'absorption $\bar{\alpha}_s$.

4 Remarques concernant la construction

4.1 Généralités

La conception des parois d'une enceinte (cf. figure 5) est toujours la même dans sa caractéristique principale.

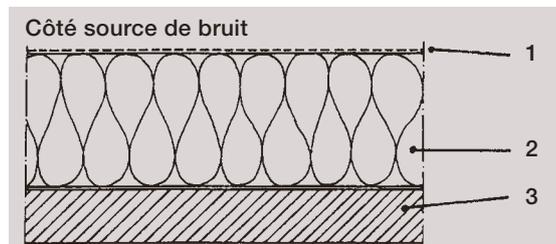


Figure 5: Principes de conception des parois d'une enceinte.

- 1 Recouvrement du matériau d'absorption (tôle perforée, métal déployé, etc.)
- 2 Matériau d'absorption
- 3 Plaque support et matériau pour l'isolation acoustique

La plaque support peut être constituée par les matériaux suivants:

- tôle simple ou panneau de bois
- tôle multicouches
- tôle composite
- tôle simple avec couche isolante lourde et flexible (par ex: feuille de plomb)
- tôle simple avec revêtement amortisseur

Si l'indice d'isolation à atteindre est élevé, il faut choisir une conception de paroi double coque (cf. figure 6).

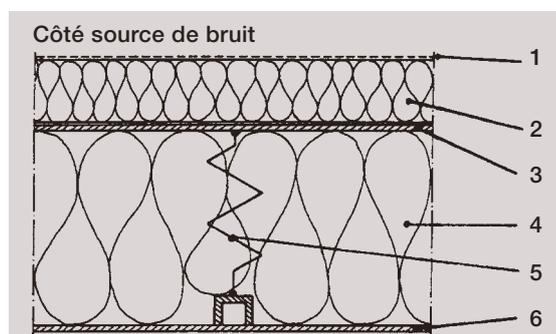


Figure 6: Principe de conception de paroi double coque.

- 1 Recouvrement du matériau d'absorption
- 2 Matériau d'absorption
- 3 Paroi interne
- 4 Matériau d'absorption
- 5 Éléments de liaison élastiques
- 6 Paroi extérieure

4.2 Caractéristiques constructives

Dans le tableau 4 sont reproduites les caractéristiques de construction de différents types d'enceintes.

N°	Typ de paroi	kg/m ² ¹⁾	Section libre S _f admissible ²⁾	Isolation de la source de bruit contre le son transmis par voie solide ³⁾	D _{pA} dB(A)
1	monocoque sans absorption	5–15	< 5 %	sans silentbloc ou silentbloc simple	5–15
2	monocoque avec absorption	5–15	< 0,5 %	simple silentbloc élastique	7–25
3	monocoque avec absorption	20–25	< 0,1 %	simple silentbloc élastique	10–30
4	double coque, avec absorption ou enceinte monocoque murée	10–20	< 0,01 %	double silentbloc élastique ou silentbloc simple avec désolidarisation des fondations	20–40
5	double coque avec absorption ou enceinte monocoque lourde, murée	20–30	à éviter si possible	idem 4	30–50

Tableau 4: Caractéristiques de construction de différents types d'enceintes.

¹⁾ Masse au m² sans structure support, revêtement absorbant le bruit et recouvrement

²⁾ Sans ouvertures avec amortisseur de bruit (par ex. pour l'aération)

³⁾ Mesures n'étant pas nécessaires s'il s'agit uniquement de bruit d'écoulement

4.3 Etablissement des mesurages

La distance entre la source sonore et la paroi de l'enceinte dépend pour l'essentiel des facteurs suivants:

- indice de qualité d'isolement contre les sons aériens en présence de basses fréquences
- évitement des transmissions de bruit par voie solide sur la paroi de l'enceinte
- exigences concernant la maintenance et l'accessibilité

Pour éviter les résonances entre la source sonore et la paroi de l'enceinte, la distance minimale d doit être fixée comme suit:

$$d \geq \frac{10^7}{g \cdot f^2} \text{ [mm]} \quad \text{[EQ 2]}$$

g = masse en kg/m^2 de la paroi de l'enceinte [kg/m^2]
 f = fréquence la plus basse pour laquelle une exigence pour l'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens peut encore être établie (en Hz)

Exemple:

paroi d'enceinte où $g = 20 \text{ kg/m}^2$, $f = 63 \text{ Hz}$

on obtient

$$d \geq \frac{10^7}{20 \cdot 63^2} = 126 \text{ mm}$$

4.4 Isolation contre les vibrations

Lorsque des tôles d'acier sont utilisées comme matériau d'enceinte, il faut souvent procéder à une isolation des vibrations pour éviter l'augmentation du rayonnement sonore. Les mesures possibles sont:

- l'application d'un revêtement amortisseur d'une épaisseur approximativement double de celle d'une tôle (feuilles, matière à projeter). Cela permet également d'augmenter l'isolation contre le bruit transmis par voie aérienne (augmentation de la masse active)
- mise en œuvre de tôles composites
- collage de toute la surface à l'aide d'un matériau d'absorption
- mise en œuvre de tôles multicouches (surtout en présence de températures élevées)

4.5 Revêtement intérieur absorbant le son

Le matériau approprié pour un revêtement intérieur absorbant le son est la laine minérale en plaques (plaques de fibres de verre ou de roche) ainsi que des panneaux spéciaux de caoutchouc mousse à pores ouverts. L'épaisseur de la couche d'absorption sera d'autant plus grande que la fréquence du bruit à isoler sera basse. En général, on choisit des épaisseurs de couche entre 50 et 100 mm, mais jamais inférieures à 30 mm.

Selon le domaine d'application, il s'agit de sélectionner un matériau ininflammable (par ex. pas de panneaux de mousse dans des ateliers de transformation du bois ou dans des secteurs où des températures élevées sont susceptibles de se produire). Tenir compte également de la résistance à l'huile, en particulier dans le façonnage des métaux (par ex. presses automatiques).

4.6 Recouvrement du matériau d'absorption

Pour le protéger contre les dommages mécaniques, le matériau d'absorption est recouvert le plus souvent par une tôle perforée (0,5–1,5 mm d'épaisseur) en acier ou en aluminium. La partie perforée doit représenter au moins 25 %. Dans certains cas, il est possible d'utiliser du métal déployé ou un treillis en fil métallique. Il n'est pas nécessaire de recouvrir les panneaux de caoutchouc mousse dans les petites enceintes non praticables. Pour éviter que le matériau d'absorption ne se salisse ou ne tombe, on fixe généralement un non-tissé ou un tissu en fibres de verre (directement derrière le recouvrement). S'il faut empêcher la pénétration d'huile ou d'humidité, on enveloppe le matériau d'absorption dans une feuille en matière plastique (épaisseur 10–20 μm).

4.7 Raidissement de la structure de l'enceinte

Pour raidir la paroi de l'enceinte et pour la mise en forme (structure support), la couche extérieure doit être vissée sur un cadre, rivetée ou soudée. La distance entre les différents élé-

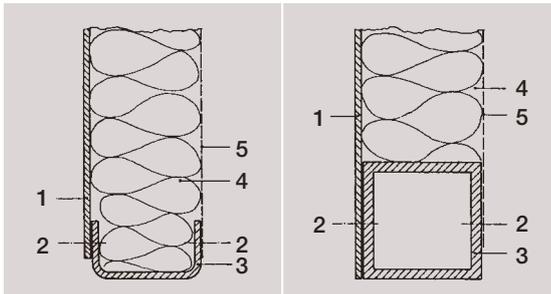


Figure 7: Exemples de finition des bords.

- 1 Paroi extérieure
- 2 Rivet borgne ou vis
- 3 Finition du bord
- 4 Matériau d'absorption
- 5 Recouvrement

ments de raidissement doit être d'environ 500 mm. Des constructions telles que celles représentées dans la figure 7 conviennent pour la finition des bords.

4.8 Ouvertures et étanchéité

Il faut essayer, lors de la conception d'une enceinte, de réduire systématiquement le nombre d'ouvertures et de fuites à un minimum. Les éléments de commande et de surveillance devraient se trouver à l'extérieur de l'enceinte pour éviter d'y pénétrer.

4.8.1 Ouvertures de ventilation et d'aération

Il faut monter des amortisseurs de bruit dont l'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens correspond à celui de l'enceinte devant les ouvertures de ventilation et d'aération. La solution la plus simple consiste en des amortisseurs de bruit sous forme de canaux à revêtement intérieur absorbant. La figure 8 montre comment des ouvertures d'aération et de ventilation peuvent être conçues.

4.8.2 Ouvertures pour amener et évacuer des matériaux

Le feuillard par exemple peut être amené en passant par une fente étanchéifiée par du feutre. Individuellement, des pièces pénètrent par un canal pourvu d'une isolation acoustique (cf. figure 9). On peut éventuellement utiliser de petits rideaux protecteurs en plomb. Il est également possible de ne commencer le pro-

cessus de transformation très bruyant que lorsque, le matériau ayant été amené, l'enceinte est à nouveau complètement fermée (exemple: installation de soudage par ultrasons et installations de trowal).

Pour les canaux tels que ceux représentés dans la figure 9, une tôle d'environ 2 mm ou un panneau aggloméré de 20 mm suffit généralement. La couche d'absorption doit avoir 20–40 mm d'épaisseur (fibres minérales ou mousse à pores ouverts). La longueur d'un tel canal devrait être de 300–500 mm.

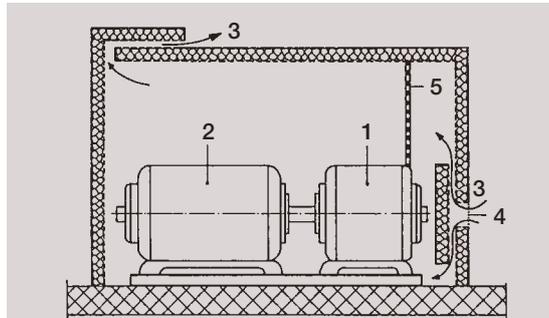


Figure 8: Exemple d'aération et de ventilation d'un convertisseur muni d'une enceinte (aération forcée par le ventilateur du moteur électrique).

- 1 Moteur électrique
- 2 Générateur
- 3 Canaux d'amenée ou d'évacuation d'air insonorisés
- 4 Grille de protection contre les corps étrangers
- 5 Paroi de séparation

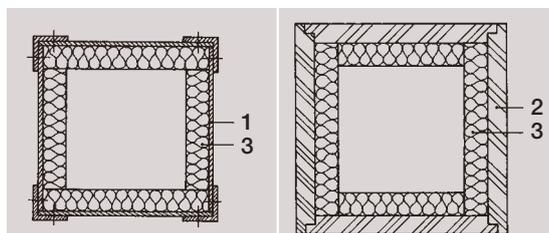


Figure 9: Canaux d'amenée et d'évacuation des matériaux pourvus d'un revêtement intérieur absorbant.

- 1 Tôle d'acier ou d'aluminium
- 2 Panneaux agglomérés
- 3 Couche d'absorption

4.8.3 Etanchéité au niveau du jointoiment entre la paroi de l'enceinte et les éléments de construction attenants

La condition pour une bonne efficacité d'une enceinte est une étanchéité parfaite entre tous les éléments de construction contigus. Dans la plupart des cas, il s'agit avant tout de la surface de contact, donc de la transmission de l'enceinte au sol. L'élément en caoutchouc souple (3) représenté dans la figure 10 peut être recommandé en 2 versions:

- bande de caoutchouc cellulaire d'une épaisseur d'environ 10 mm et d'une largeur résultant d'une charge admissible d'environ $5 \cdot 10^4$ N/m² (calculer le poids de l'enceinte!)
- bande de caoutchouc souple de dureté shore d'environ 45 à 55, épaisseur de 10 mm et largeur résultant d'une charge admissible d'environ $30 \cdot 10^4$ N/m².

Des constructions spécifiques sont nécessaires pour les enceintes mobiles (par ex. amortisseur à fentes, rails de guidage encastrés, etc.).

4.8.4 Portes, fenêtres et trappes

Les portes, fenêtres et trappes doivent avoir la même isolation acoustique que la paroi de l'enceinte. Il est important d'utiliser des joints profilés à fermeture hermétique. Pour les parois d'enceinte monocoque, un vitrage simple de

même masse suffit souvent (le verre est trois fois plus léger que l'acier; si de la tôle d'acier de 2 mm est utilisée pour la paroi de l'enceinte, une vitre de 6 mm d'épaisseur suffira donc). En fonction de l'utilisation et de l'emplacement de l'enceinte, la mise en oeuvre de verre de sécurité peut être indiquée. Le verre acrylique n'est approprié que lorsqu'il est utilisé comme double vitrage (la densité du verre acrylique est environ 7 fois inférieure à celle de l'acier). La figure 11 montre des possibilités de montage de fenêtres dans une enceinte.

4.9 Prototypes et enceintes partielles

Lorsqu'un projet d'enceinte comporte différentes ouvertures ou lorsque le bruit transmis par voie solide n'est pas chiffrable avec précision, il est difficile de faire un pronostic d'indice de qualité d'isolation contre les sons aériens. Il en va de même pour les enceintes partielles où les prévisions relatives à leur efficacité sont encore plus problématiques. Si la construction d'un grand nombre d'enceintes intégrales ou partielles dans l'une des variantes est envisagée, seul le prototype est d'un vrai secours. Sa construction pourra être optimisée de façon à fournir le maximum d'efficacité pour un investissement acceptable (rapport optimal entre le coût et l'efficacité).

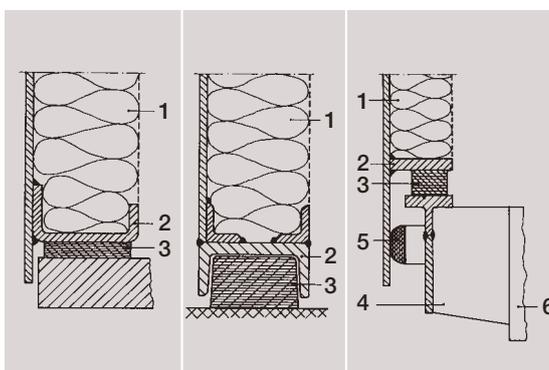


Figure 10: Exemples d'enceintes étanches et amortissant le bruit transmis par voie solide.

- 1 Paroi de l'enceinte
- 2 Plaque support
- 3 Élément en caoutchouc souple
- 4 Construction en console
- 5 Élément de suspension en caoutchouc
- 6 Socle de base

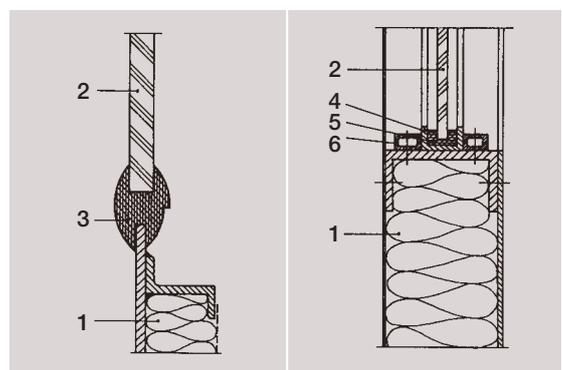


Figure 11: Possibilités pour le montage de fenêtres (vitrage simple) dans l'enceinte.

- 1 Paroi de l'enceinte
- 2 Vitre en verre feuilleté ou verre de sécurité
- 3 Caoutchouc profilé, avec éventuellement cordon de bourrage
- 4 Profilés U servant de support au verre
- 5 Mastic à élasticité permanente
- 6 Baguette de fixation (vissée)

5 Exemples de réalisation de parois d'enceintes

5.1 Entreprises spécialisées

Il existe une série d'entreprises spécialisées s'occupant de la construction d'enceintes (voir liste Suva des entreprises spécialisées, réf. 86022). Certaines de ces entreprises ont développé des systèmes sophistiqués avec indice de qualité élevé d'isolement contre les sons aériens. Cela ne sera pas notre propos ici, si ce n'est pour quelques solutions simples à réaliser soi-même.

5.2 Construction de paroi monocoque

La construction d'une paroi monocoque a une valeur limite supérieure requise par l'acoustique pour une masse d'environ 25 kg/m². Des valeurs d'isolation plus élevées doivent être réalisées à l'aide d'une construction double coque (cf. point 5.3). Ci-dessous quelques exemples (attention: c'est la valeur évaluée du coefficient d'isolation acoustique de la construction R'_w qui est indiquée, parce que l'indice de qualité de l'isolement contre les sons aériens D_{pA} dépend de trop de facteurs d'influence – comme évoqué précédemment).

Appréciation

Avec toutes les variantes, on peut atteindre une valeur d'isolation acoustique de la construction d'au moins 25 dB. Les variantes avec un grammage plus élevé donnent une isolation acoustique sensiblement meilleure, en particulier dans le cas de basses fréquences. Les matériaux en bois ont, selon leur épaisseur, une perte d'isolation de 5 dB entre 1000 et 2000 Hz

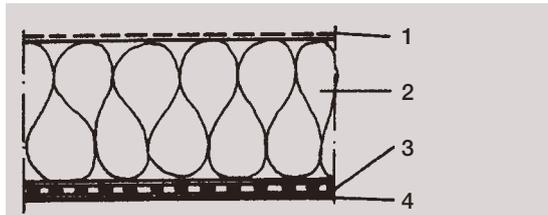


Figure 12: Variante 1

1	Tôle perforée (proportion des perforations 25 %)	1 mm
2	Panneaux de laine de roche (100 kg/m ³)	50 mm
3	Couche anti-résonance	3 mm
4	Tôle d'acier	1,5 mm
Masse = env. 25 kg/m ² , R' _w = env. 35 dB		

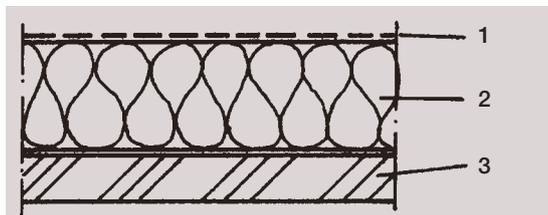


Figure 13: Variante 2

1	Métal déployé	
2	Panneaux de laine de verre (55 kg/m ³)	50 mm
3	Panneau aggloméré	25 mm
Masse = env. 20 kg/m ² , R' _w = env. 25 dB		

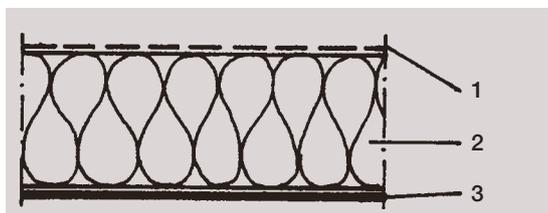


Figure 14: Variante 3

1	Tôle perforée en aluminium (proportion des perforations 25 %)	1 mm
2	Panneaux de laine de roche (100 kg/m ³)	50 mm
3	Tôle d'aluminium	3 mm
Masse = env. 14 kg/m ² , R' _w = env. 30 dB		
Avec en plus 5 mm d'anti-résonant projeté: R' _w = env. 34 dB		

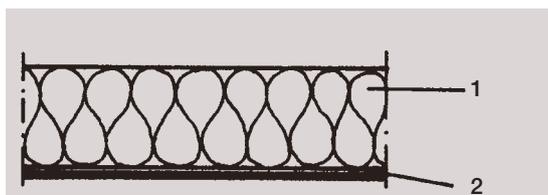


Figure 15: Variante 4

1	Mousse (par ex. avec structure gaufrée)	30 mm
2	Tôle d'aluminium	2 mm
Masse = env. 6 kg/m ² , R' _w = env. 25 dB à partir de 2000 Hz: R' _w = 40 dB (convient pour sources de bruit à ultrasons)		

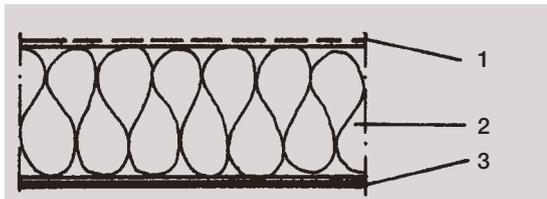


Figure 16: Variante 5

1 Tôle perforée (proportion des perforations 25 %)	1,5 mm
2 Panneaux en laine de verre (55 kg/m ³)	75 mm
3 Tôle d'acier	3 mm
Masse = env. 36 kg/m ² , R' _w = env. 40 dB	

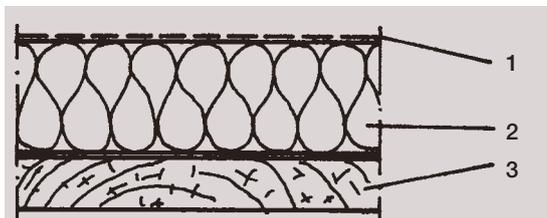


Figure 17: Variante 6

1 Tôle déployée	
2 Panneaux en laine de roche (100 kg/m ³)	60 mm
3 Bois de sapin avec languette et rainure	40 mm
Masse = env. 28 kg/m ² , R' _w = env. 28 dB	

5.3 Construction de paroi double coque

Etant donné que les constructions double coque ne sont utilisées que rarement (principal domaine d'activité des entreprises spécialisées), nous nous limitons à deux exemples.

Appréciation

Pour éviter l'invasion de fréquences dans la continuité de l'isolation, diverses épaisseurs de tôle sont déterminées. Les parois double coque sont relativement épaisses; leur encombrement est d'au moins 100 mm. Elles ne doivent être mises en oeuvre que là où les exigences relatives à l'indice de qualité de l'isolement contre les sons aériens sont très élevées et où il est possible de réaliser une construction sans grandes ouvertures (cf. point 2.4).

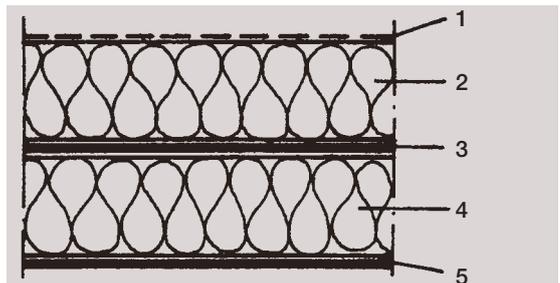


Figure 18: Variante 1

1 Tôle perforée (proportion des perforations 25 %)	1 mm
2 Panneaux de laine de roche (100 kg/m ³)	50 mm
3 Tôle d'acier	1,5 mm
4 Panneaux de laine de roche (60 kg/m ³)	50 mm
5 Tôle d'acier	3 mm
Masse = env. 50 kg/m ² , R' _w = 45-50 dB	

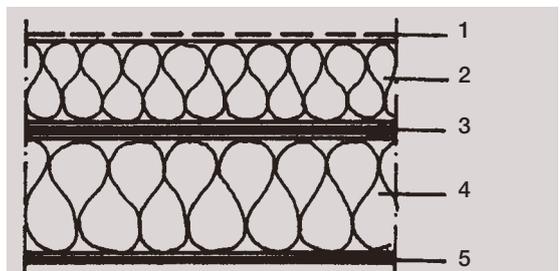


Figure 19: Variante 2

1 Tôle d'aluminium perforée (proportion des perforations 25 %)	1,5 mm
2 Panneaux en laine de verre (55 kg/m ³)	40 mm
3 Tôle d'aluminium	2 mm
4 Panneaux en laine de verre (55 kg/m ³)	60 mm
5 Tôle d'aluminium	3 mm
Masse = env. 25 kg/m ² , R' _w = 40-45 dB	

6 Méthode de calcul d'une enceinte

6.1 Procédé d'évaluation

Le procédé d'évaluation de l'efficacité d'une enceinte s'appuie sur les valeurs empiriques mentionnées dans le tableau 2 (cf. point 3.2.1). Autres conditions: connaître le coefficient d'isolation acoustique du matériau utilisé pour l'enceinte et munir la face interne de l'enceinte d'un bon matériau absorbant.

Variante 1

Si le coefficient d'isolation acoustique de la construction se situe entre 25 et 30 dB, les valeurs indiquées dans le tableau 2 pour l'indice de qualité de l'isolement contre les sons aériens D_{pA} peuvent être reprises directement.

Variante 2

Si, en tant que valeur de base, le niveau de puissance acoustique L_W est connu, on peut soustraire 5 dB à L_W pour obtenir le niveau de pression sonore L_p dans l'enceinte. Si, par ailleurs, on admet que la réduction du niveau sonore, exprimée selon la courbe de pondération A d'un matériau d'enceinte pour des fréquences moyennes, est inférieure de 5 dB à celle du coefficient d'isolation acoustique de la construction, il est possible d'évaluer le niveau de pression sonore L_p' actif à l'extérieur de l'enceinte.

Exemple 1

Niveau de puissance sonore d'une source sonore:

$$L_W = 100 \text{ dB(A)}$$

Matériau d'enceinte utilisé:

$$R'_w = 30 \text{ dB}$$

Niveau de pression sonore L_p à l'extérieur de l'enceinte:

$$L_p' = 100 - 5 - (30 - 5) \\ = 70 \text{ dB(A)}$$

Exemple 2

Comme le montre l'exemple 2, le procédé peut également être inversé:

1. Niveau de puissance sonore d'une machine très bruyante $L_W = 110 \text{ dB(A)}$
2. Niveau de pression sonore dans une enceinte $L_p' = 105 \text{ dB(A)}$
3. Niveau souhaité de l'acoustique des locaux $L_p = 80 \text{ dB(A)}$
4. Différence entre le niveau de pression sonore à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte $L_p = 25 \text{ dB}$
5. Coefficient d'isolation acoustique de la construction nécessaire $R'_w = 30 \text{ dB}$

6.2 Mode de calcul précis

Dans ce mode de calcul précis, il s'agit de déterminer l'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA} (dans une analyse par bande d'octaves). Pour ce faire doivent être connus:

- la puissance acoustique de la source sonore (analyse par bande d'octaves)
- le volume du local
- les temps de réverbération du local (éventuellement estimés)

La puissance acoustique ne sera pas traitée ici. La publication «Mesure des émissions acoustiques sur des machines» (réf. Suva 66027) en traite longuement. Pour une meilleure compréhension, tout le mode de calcul est exposé à l'aide d'un exemple.

6.2.1 Données du problème

Un groupe convertisseur doit être muni d'une enceinte. Le fabricant communique les niveaux de puissance sonore $L_{W,okt}$ suivants:

Fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
$L_{W,okt}$	91	98	102	101	99	98	91	85	dB

Il en résulte $L_{WA} = 104 \text{ dB}$

Exigence

A un emplacement de travail situé à $d = 5 \text{ m}$ de distance, le niveau de pression sonore ne doit pas dépasser $L_p = 70 \text{ dB(A)}$.

Recherché

Indice de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA} de l'enceinte.

6.2.2 Bases de calcul

Le niveau de puissance sonore doit d'abord être converti en niveau de pression sonore L_p au lieu d'immission. Pour ce faire, on admet que la puissance acoustique se propage sous forme hémisphérique, c'est-à-dire que la surface enveloppante S s'élève à:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \pi \cdot 5^2 = 157 \text{ m}^2$$

Dans le local de travail où sera installé le groupe convertisseur, on admet des temps de réverbération de 1 s (il existe un bon plafond acoustique). Le volume du local est de $V = 800 \text{ m}^3$.

Selon Sabine, la capacité de la pression sonore s'élève à:

$$A = \frac{0,163 \cdot V}{T} = \frac{0,163 \cdot 800}{1} = 130 \text{ m}^2$$

Dans les différentes bandes d'octaves, le niveau de pression sonore $L_{p,okt}$ à l'emplacement de travail sera de:

$$\begin{aligned} L_{p,okt} &= L_{W,okt} - 10 \lg \frac{S}{1 + \frac{4S}{A}} \\ &= L_{W,okt} - 10 \lg \frac{157}{1 + \frac{4 \cdot 157}{130}} = L_{W,okt} - 14 \end{aligned}$$

Fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
K_{okt}	-17	-7	0	+6	+9	+10	+10	+8	dB

Tableau 5: Valeur de correction pour la conversion de L_p en $L_{p,okt}$.

N°	Désignation	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
1	Niveau de puissance acoustique selon les indications de l'entreprise	91	98	102	101	99	98	91	85	dB
2	Correction du niveau de pression acoustique au lieu d'immission	-14 dB								
3	Niveau de pression acoustique au lieu d'immission	77	84	88	87	85	84	77	71	dB
4	Exigences au poste de travail	70 dB(A)								
5	Différence entre n° 3 et 4	7	14	18	17	15	14	7	1	dB
6	K_{okt} d'après point 6.2.2, table 5	-17	-7	+0	+6	+9	+10	+10	+8	dB
7	Indice requis de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA}	0	7	18	23	24	24	17	9	dB

Tableau 6: Calcul de l'indice requis de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA} .

Il existe un rapport entre le niveau de pression sonore pondéré A et les niveaux de pression sonore par bande d'octave de la source sonore dont il sera tenu compte à l'aide d'une simple correction (addition de 8 bandes d'octaves et correction A). Cette correction k_{okt} est additionnée à la différence $L_{W,okt} - L_p$. Les valeurs de k_{okt} sont indiquées dans le tableau 5.

6.2.3 Calcul

L'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA} peut être calculé à l'aide du tableau 6.

6.2.4 Choix de l'enceinte

Pour atteindre les valeurs requises, l'enceinte doit répondre aux caractéristiques de construction du groupe 3 sous point 4.2. Est valable, comme déjà indiqué, l'indice de qualité de l'isolement contre les sons aériens pour l'enceinte installée, c'est-à-dire avec ouvertures pour la ventilation, etc.

6.3 Résumé

Le mode de calcul exact fournit des indications précises qui peuvent par ex. être reprises dans un cahier des charges lors de la commande (valeurs garanties). Si les données acoustiques nécessaires manquent, il peut suffire de déterminer et de se faire garantir un niveau de pression sonore maximum admissible en dB(A) à un point défini se trouvant hors de l'enceinte. Les calculs correspondants seront effectués par le fournisseur.

7 Evaluation coût/efficacité

7.1 Généralités

D'un point de vue purement commercial, les investissements pour des mesures de protection contre le bruit – et les enceintes en font partie – ne mènent pas à une augmentation de la productivité. Des mesures techniques particulières permettent d'améliorer la qualité du produit, mais c'est certainement une exception. Les enceintes, par conséquent, amènent «uniquement» une amélioration de la qualité de l'emplacement de travail sous forme d'une réduction du bruit. Vu que la motivation et la productivité des employés sont influencées par le niveau du bruit, les mesures de protection contre le bruit se répercutent indirectement sur la productivité. Considérée sous cet aspect, l'utilisation d'enceintes comme mesure efficace de protection contre le bruit est certainement justifiée.

7.2 Valeur empirique

Les enceintes sont relativement onéreuses mais également très efficaces. Il reste à savoir où se trouve l'investissement limite pour les enceintes. La réponse à cette interrogation est donnée cas par cas. Le montant de l'investissement est beaucoup plus important lorsqu'il s'agit de l'enceinte d'une rotative offset à bobines plutôt que de celle d'une pompe hydraulique. La différence peut s'élever à plusieurs dizaines de milliers de francs.

Sur la base de sa longue expérience dans ce domaine, la Suva a développé un calcul coût/efficacité qui a fait ses preuves. A cet effet, les indications suivantes sont nécessaires:

- l'effet de l'enceinte en dB(A), valeur moyenne,
- le coût en francs et
- le nombre d'employés profitant de cet effet.

A l'aide de ces trois valeurs, on calcule le facteur coût/efficacité **Coût en francs par décibel et poste de travail**. D'après les expériences de la Suva, une valeur limite de CHF 1500.– ne devrait pas être dépassée. Dans les exemples du chapitre 8, le facteur coût/efficacité est généralement indiqué.

Dans les cas extrêmes, le coût d'une enceinte acoustique peut avoisiner celui de l'installation à isoler. Cela peut notamment arriver pour les machines à souder par ultrasons. Cependant, ici également, un facteur coût/efficacité raisonnable peut être atteint, comme le démontre le point 8.1.3.

8 Exemples

Quelques exemples représentatifs ont été choisis parmi une multitude de solutions réalisées. De la différenciation des exemples bons et insatisfaisants, il ressort que les concepteurs d'enceintes n'ont pas toujours la main heureuse.

8.1 Bons exemples

8.1.1 Broyeur de matière plastique

Un grand broyeur de matière plastique servant uniquement à broyer des harasses à boissons usagées devait être muni d'une enceinte. La figure 20 montre la solution adoptée.



Figure 20: Broyeur de matière plastique pour harasses à boissons usagées. La bande transporteuse pour l'acheminement du produit à broyer (à droite) est conçue comme un amortisseur de bruit. Le granulat obtenu est aspiré par l'intermédiaire d'un tuyau. L'enceinte est constituée à l'extérieur par une tôle d'acier de 1,5 mm d'épaisseur et à l'intérieur par de la laine minérale de 50 mm et une tôle perforée.

L'indice de qualité d'isolement contre les bruits aériens est de:

$D_{pA} = 22 \text{ dB(A)}$

Nombre de postes de travail protégés:

1

Coût:

CHF 16 500.–

Facteur coût/efficacité:

CHF 750.– par dB et par poste de travail

Appréciation

Mesure très efficace, puisque le niveau acoustique du local a pu être ramené à 82 dB(A). De ce fait, des moyens individuels de protection de l'ouïe ne sont plus nécessaires.

8.1.2 Installation de conditionnement de vis

Dans une société de négoce, des boîtes en carton sont remplies de vis provenant de caisses en bois. À l'aide d'un monte-charge incliné, les caisses pleines sont déversées dans une auge en tôle d'où les vis accèdent à un conduit en tôle vertical par l'intermédiaire d'un convoyeur à vibrations en passant par un entonnoir rapporté en haut par soudure. Les vis orientées dans leur position par un champ magnétique tombent ensuite dans des boîtes en carton. Le niveau de pression sonore obtenu à l'emplacement de travail à proximité immédiate de l'installation était de $L_{eq} = 102 \text{ dB(A)}$ avant la construction de l'enceinte [valeurs maximales jusqu'à 118 dB(A)]. L'enceinte est représentée figure 21.

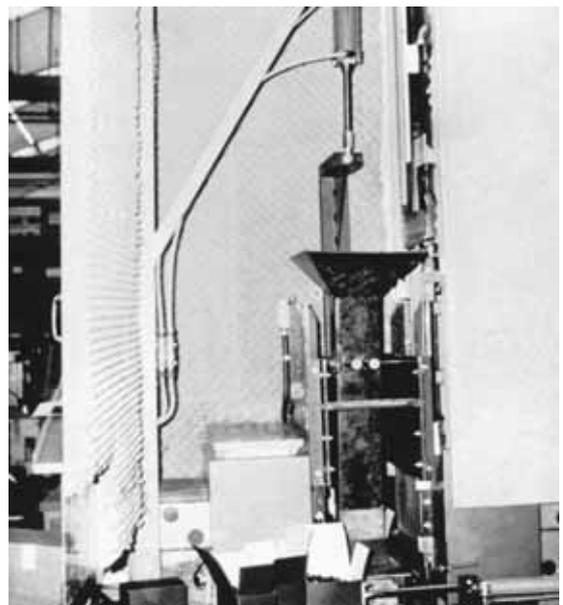


Figure 21: Enceinte ouverte d'une installation de conditionnement de vis. Au centre de la photo, on reconnaît l'entonnoir de remplissage. Pour que l'installation puisse fonctionner avec l'enceinte fermée, les boîtes remplies sont évacuées pneumatiquement sur le côté, fermées et étiquetées automatiquement.

L'enceinte est une construction en bois, constituée à l'extérieur par un panneau aggloméré de 25 mm d'épaisseur et à l'intérieur par un panneau de mousse à structure gaufrée de 45 mm (répartition du bruit principal entre 1 000 et 4 000 Hz).

L'indice de qualité d'isolement contre les bruits aériens est de:	$D_{pA} = 18 \text{ dB(A)}$
Nombre de postes de travail protégés:	12
Coût:	CHF 32 000.-
Facteur coût/efficacité:	CHF 148.- par dB et par poste de travail

Appréciation

Les coûts vraiment élevés, comprenant également les frais pour la transformation de toute l'installation, permettent de réduire sensiblement le bruit à 84 dB(A) au poste de travail le plus bruyant. Le facteur coût/efficacité est particulièrement favorable dans ce cas.

8.1.3 Machine à souder par ultrasons

Munir des machines à souder par ultrasons d'enceintes est réalisable sans trop de problèmes – comme le montrent les figures 22 et 23 – grâce aux cabines préfabriquées.



Figure 22: Machine à souder par ultrasons munie d'une enceinte (porte de l'enceinte fermée).



Figure 23: Machine à souder par ultrasons munie d'une enceinte (porte de l'enceinte ouverte).

Les fractions du bruit haute fréquence peuvent être réduites massivement à l'aide de constructions relativement simples. Dans le cas présent, on a utilisé à l'extérieur une tôle d'aluminium de 2 mm d'épaisseur revêtue à l'intérieur d'éléments préformés doublés de matière fibreuse Idikell B 201. L'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens est de: $D_{pA} = 28 \text{ dB(A)}$.

A la fréquence effective de 22 kHz (en même temps le maximum dans l'analyse des fréquences), le niveau sonore a pu être ramené de 126 à 84 dB, soit une réduction de 42 dB.

Nombre de postes de travail protégés:	1
Coût:	CHF 7 200.-
Facteur coût/efficacité:	CHF 257.- par dB et par poste de travail

Appréciation

Mesure très efficace. Les moyens de protection de l'ouïe ne sont plus nécessaires. Inconvénient: réduction de la productivité (jusqu'à 20 %, selon le produit à fabriquer).

8.1.4 Plieuse d'une presse rotative

La plieuse d'une rotative est relativement bruyante et influence de façon déterminante le niveau de pression sonore dans une imprimerie. Il faut des cabines assez grandes pour pouvoir réduire le bruit efficacement (cf. figure 24).



Figure 24: Vue partielle de l'enceinte de la plieuse d'une presse rotative: à gauche, le pupitre de commande, à droite, le convoyeur sur lequel les journaux pliés quittent l'enceinte.

Un bâti en acier sur lequel a été montée à l'extérieur une tôle de 2 mm d'épaisseur sert d'enceinte. Une tôle perforée recouvre la couche de laine minérale épaisse de 80 mm.

L'indice de qualité d'isolement contre les bruits aériens est de:

$D_{pA} = 18 \text{ dB(A)}$

Nombre de postes de travail protégés:

5

Coût:

CHF 160 000.–

Facteur coût/efficacité:

CHF 1 778.– par dB et par poste de travail

Appréciation

La réduction du bruit de 103 à 85 dB(A) est remarquable puisqu'il y a différentes ouvertures nécessaires au fonctionnement. De surcroît, l'ensemble de la surface est relativement grand (env. 300 m²). Étant donné que le bruit a pu être ramené au-dessous de la limite de danger pour l'ouïe, le dépassement du facteur coût/efficacité que nous recommandons peut être accepté.

8.1.5 Installation de centrifugation de tuyaux armés de fibres de verre

Dans une entreprise, des tuyaux en matière plastique armés de fibres de verre pouvant atteindre 2 m de diamètre sont centrifugés dans des tuyaux en acier. Le bruit des tuyaux d'acier en rotation dans lesquels est injecté le matériau de base s'élevait sans enceinte – en fonction de la vitesse de rotation et du diamètre – à environ 105 dB(A). La situation à l'origine est visible sur la figure 25.



Figure 25: Installation de centrifugation de tuyaux armés de fibres de verre sans enceinte.



Figure 26: Installation de centrifugation de tuyaux armés de fibres de verre après mise en place d'un cloison de séparation.

Comme le montre la figure 26, un cloisonnement de séparation a été construit entre les deux bras d'injection de matière plastique (un plafond en béton existait déjà). Le bruit a pu être ramené à 90 dB(A). L'installation d'aspiration très performante installée en même temps assure une meilleure qualité de l'air.

La cloison de séparation est une construction métallique (tôle de 3 mm, sans absorption).

L'indice de aualité d'isolement contre les bruits aériens est de:	$D_{pA} = 15 \text{ dB(A)}$
Nombre de postes de travail protégés:	8-10
Coût:	inconnu

Appréciation

L'objectif de réduire le bruit à environ 85 dB(A) n'a pas été atteint lors de la première tentative. Une couche d'absorption côté bruit n'y aurait pas changé beaucoup, car le bruit s'échappe avant tout du volet indispensable au chargement. D'autres examens ont entraîné le changement des roulements des tuyaux, les roulements à rouleaux ayant été remplacés par des roulements à billes. A l'aide de cette mesure supplémentaire, il a été possible de ramener le niveau acoustique du local à 82 dB(A) et de descendre ainsi au-dessous du seuil de danger pour l'ouïe.

8.1.6 Enceinte partielle d'une presse à découper à excentrique

Dans un atelier de montage, deux petites presses à découper à excentrique (10 t) étaient utilisées chaque jour pendant plusieurs heures pour la fabrication de petites pièces. Le niveau sonore relevé à l'emplacement de travail était de $L_{eq} = 90 \text{ dB(A)}$ (des moyens de protection de l'ouïe sont nécessaires). L'alimentation en matériel se faisant manuellement, une

L'indice de aualité d'isolement contre les bruits aériens est de:	$D_{pA} = 6 \text{ dB(A)}$
Nombre de postes de travail protégés:	3
Coût:	CHF 4 500.-
Facteur coût/efficacité:	CHF 250.- par dB et par poste de travail



Figure 27: Presse à découper à excentrique munie d'une enceinte partielle. La conduite de la machine n'a pas été rendue plus difficile par cette mesure.

Appréciation

Grâce à cette mesure très avantageuse au niveau du coût, il est possible de travailler sur ces presses à découper sans moyens de protection individuels de l'ouïe. En outre, le niveau sonore a pu être nettement réduit dans l'atelier de montage.

enceinte intégrale n'était pas envisagée. Une enceinte partielle telle que représentée figure 27 a été construite.

Construction de l'enceinte partielle

A l'extérieur, des panneaux agglomérés de 20 mm, à l'intérieur, des plaques de mousse à structure en pyramide de 50 mm absorbant efficacement les sons aigus et les moyennes fréquences (faible encrassement en l'absence de pistolet soufflant pour le nettoyage, le découpage se faisant à sec).

8.1.7 Machine automatique de moulage et de montage

Pour la fabrication de produits en matière plastique, une presse d'injection a été reliée à une machine automatique de moulage par l'intermédiaire d'un convoyeur à vibrations. Toute l'installation fonctionne automatiquement; les petites pièces finies passent par une goulotte et glissent dans les containers d'expédition. Aux postes de travail à proximité immédiate de l'installation, un niveau moyen de pression sonore de $L_{eq} = 93 \text{ dB(A)}$ a été relevé.

Pour lutter contre le bruit, une enceinte en bois a été construite, constituée par des parois en panneaux agglomérés de 40 mm d'épaisseur. Des plaques de «pavatex» souple perforé ont

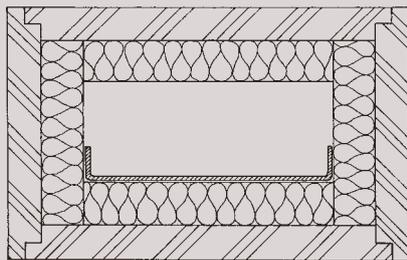


Figure 28: Canal à revêtement absorbant pour l'évacuation de matériel.

L'indice de qualité d'isolement contre les bruits aériens est de:

$D_{pA} = 23 \text{ dB(A)}$

Nombre de postes de travail protégés:

3

Coût:

CHF 5 000.-

Facteur coût/efficacité:

CHF 72.- par dB et par poste de travail

Appréciation

Cet exemple montre que les constructions en bois permettent de construire des enceintes extrêmement avantageuses au niveau du coût. L'objectif fixé, à savoir ramener le niveau sonore à environ 70 dB(A), a été atteint.

été montées à l'intérieur. Deux fenêtres en vitrage isolant (verre de 4 et 6 mm) ainsi qu'une porte avec double feuillure et joint complet l'enceinte. L'aération a pu être adaptée sans trop de frais. L'évacuation du matériel se fait par un canal à revêtement absorbant (cf. fig. 28).

8.1.8 Cabines de commande

La cabine de commande d'une installation très bruyante peut se présenter sous forme d'enceinte. Dans ce cas, ce n'est pas la source de bruit, mais l'homme qui est muni d'une enceinte. On construit des cabines de commande insonorisées. Les figures 29 et 30 montrent deux exemples.

Pour ce type de cabines, l'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens se situe entre 25 et 40 dB(A).



Figure 29: Cabine de commande dans une frouderie.



Figure 30: Cabine de commande (à gauche) d'un four électrique (à droite).

8.1.9 Groupe hydraulique

Le bruit produit par le groupe hydraulique de grande puissance d'une grosse presse spéciale détériore considérablement l'environnement de travail. Une cellule complète, dont l'efficacité est démontrée à la figure 31, améliore nettement ces conditions.

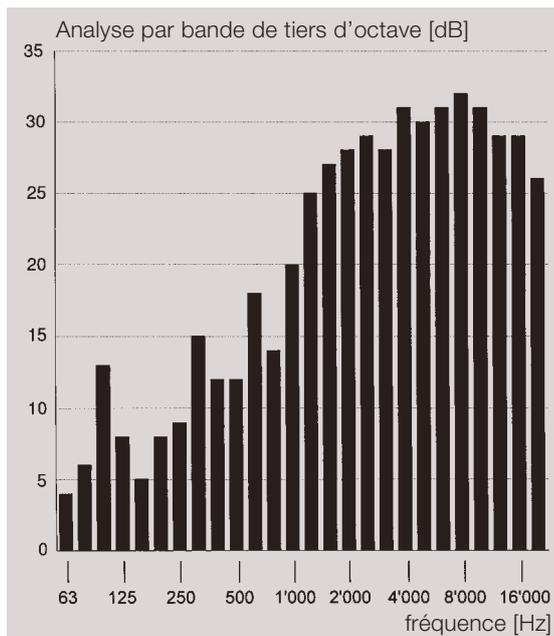


Figure 31: Efficacité de l'enceinte d'un groupe hydraulique.

L'indice de aualité d'isolement contre les bruits aériens est de:

$D_{pA} = 25 \text{ dB(A)}$

Nombre de postes de travail protégés:

3

Coût:

CHF 28 000.-

Facteur coût/efficacité:

CHF 373.- par dB et par poste de travail

Appréciation

Cette enceinte améliore considérablement les conditions sonores. Le rapport coût/efficacité peut donc être considéré comme bon.

8.1.10 Presse automatique à découper

Un niveau moyen de pression acoustique de 105 dB(A) est mesuré à une distance de 1 m d'une presse automatique à découper. Etant donné que cette machine est implantée dans une halle abritant 45 autres postes de travail pas particulièrement bruyants, la réalisation d'une enceinte se justifie pleinement. La solution mise en oeuvre est représentée sur les figures 32 et 33.

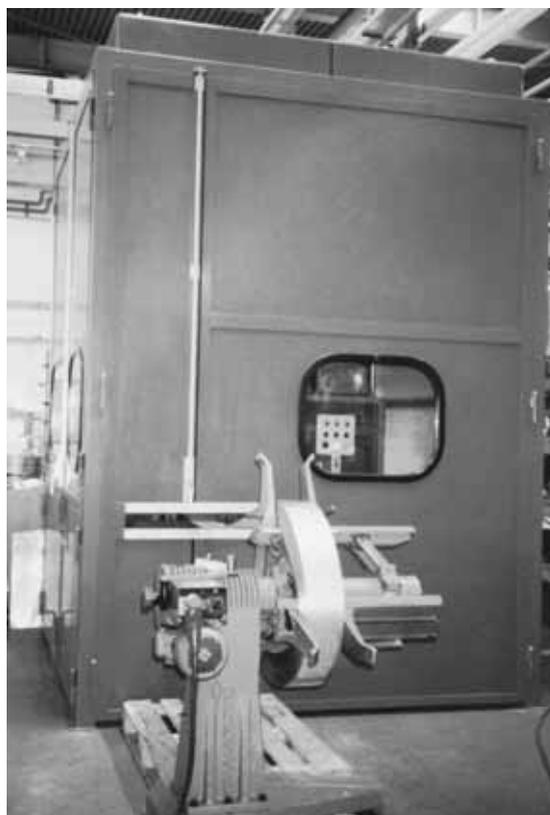


Figure 32: Enceinte d'une presse automatique à découper (au premier plan, on peut reconnaître le dévidoir d'alimentation des feuilards).

L'indice d'isolement contre les bruits aériens est de:

$D_{pA} = 20 \text{ dB(A)}$

Nombre de postes de travail protégés:

45

Coût:

CHF 32 000.-

Facteur coût/efficacité:

CHF 35.- par dB et par poste de travail



Figure 33: Partie frontale de l'enceinte ouverte de la presse à découper.

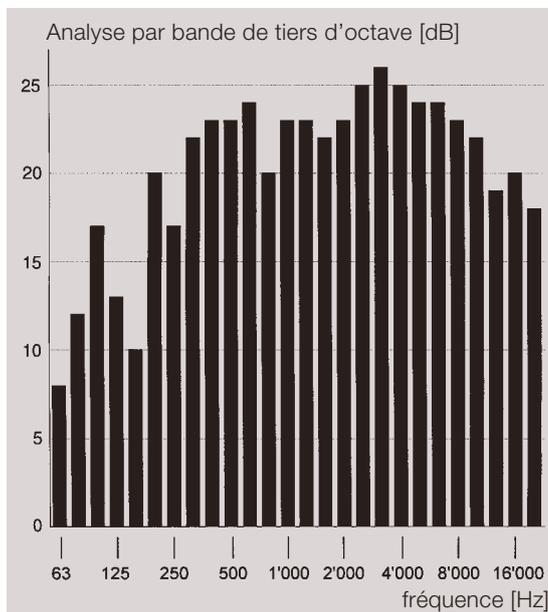


Figure 34: Indice de qualité d'isolation contre les sons aériens d'une presse automatique à découper.

Appréciation

L'excellent facteur coût/efficacité obtenu dans cet exemple découle du grand nombre de postes de travail protégés.

8.1.11 Enceinte partielle d'une scie circulaire à coupe oblique

Un magasin de matériaux est équipée de plusieurs scies circulaires à coupe oblique pour le débitage de profilés d'aluminium. Ces machines produisent aux postes de travail respectifs un niveau moyen de pression acoustique de 95 dB(A), avec des valeurs maximales pouvant atteindre 112 dB(A). Ces machines n'étant pas utilisées continuellement, les valeurs de pointe très élevées perturbent considérablement les postes de travail voisins. L'installation d'enceintes partielles permet d'améliorer considérablement l'environnement sonore. La figure 35 présente la solution réalisée.



Figure 35: Enceinte partielle d'une scie circulaire à coupe oblique.

Appréciation

Selon le point de mesure, l'efficacité d'une enceinte partielle peut atteindre une valeur comprise entre 15 et 27 dB(A). Conformément aux attentes, les conditions sonores pour les opérateurs s'en sont trouvées pratiquement inchangées.

8.1.12 Enceintes intégrées

Pour certains types de machines, il peut s'avérer judicieux d'intégrer directement l'enceinte acoustique à la construction de la machine. Ce procédé a été adopté pour une presse à découper de précision, représentée à la fig. 36.



Figure 36: Enceinte intégrée d'une presse à découper de précision Feintool MFA 2500 CNC.

Appréciation

L'efficacité de cette enceinte intégrée atteint 12 dB(A) environ. Il en résulte que le niveau de pression acoustique au voisinage de la presse descend au-dessous de 85 dB(A), supprimant le besoin de port de protecteurs d'ouïe personnels [valeur de mesure au poste de travail: avec éjecteur pneumatique 83 dB(A), avec éjecteur mécanique 80 dB(A)].

8.2 Exemples insatisfaisants

Le fait que les enceintes n'amènent pas toujours au résultat escompté ne doit pas être dissimulé. Un échec est toutefois souvent à mettre sur le compte de l'inobservation des principes d'exécution les plus élémentaires. Des résultats insatisfaisants nuisent chez les intéressés à la réputation des enceintes comme mesure de protection contre le bruit et leur enlèvent la motivation pour d'autres investissements de ce genre. Cela n'est pas nécessaire; mieux, il ne doit pas en être ainsi!

8.2.1 Presse à estamper

Les presses à estamper sont des machines très bruyantes. En plus, elles transmettent des vibrations importantes au sol. La machine dont il est question ici provoquait au départ un niveau maximum (FAST) sur le lieu d'utilisation de 124 dB(A) pour un $L_{eq} = 108$ dB(A). La machine a ensuite été munie d'une enceinte (cf. figures 37 et 38).



Figure 37: Vue d'ensemble de la presse à estamper munie d'une enceinte.



Figure 38: Fenêtre en verre acrylique à entraînement pneumatique devant l'estampe.

Exécution de l'enceinte: tôle d'acier (3 mm), laine minérale de 60 mm et recouvrement par une tôle perforée. Le dispositif coulissant à entraînement pneumatique devant l'estampe (source principale du bruit) a été réalisé en verre acrylique de 4 mm d'épaisseur.

Les mesures effectuées ultérieurement ont donné un indice de qualité d'isolement contre les sons aériens de $D_{pA} = 5$ dB(A). Les différences de niveau des bandes par tiers d'octave sont représentées par une courbe significative quant à l'efficacité de l'enceinte (cf. figure 39).

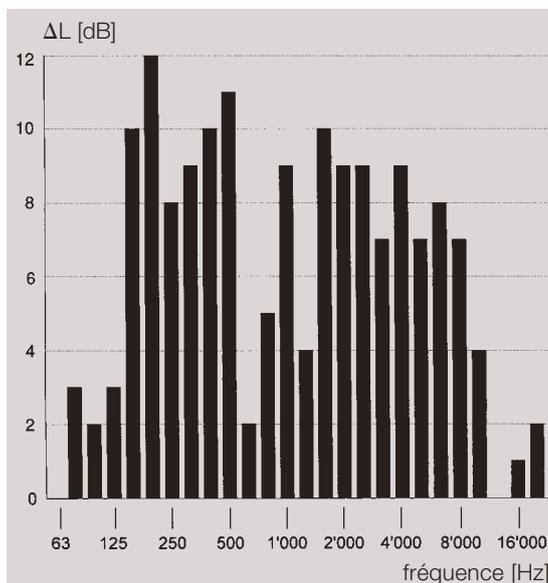


Figure 39: Efficacité de l'enceinte de la presse à estamper. ΔL représente l'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens D_{pA} par bande de tiers d'octave.

Nombre de postes de travail protégés:	4
Coût:	CHF 170 000.–
Facteur coût/efficacité:	CHF 8 500.– par dB et par poste de travail

Appréciation

L'enceinte réalisée ne donne pas satisfaction. L'effet produit par des investissements très élevés n'est que de 5 dB(A). Mais où sont les problèmes? D'une part, le dispositif coulissant placé devant la matrice, principale source du bruit, n'est pas étanche et largement sous-dimensionné. Les conduites d'air comprimé se trouvent en dehors de l'enceinte et rayonnent du bruit parce qu'elles sont raccordées de manière rigide à la presse. En outre, il existe des ponts acoustiques dans l'enceinte qui compromettent le résultat. L'amélioration qualitative escomptée de qualité d'isolation contre les sons aériens se situe à 15–20 dB(A). Ramener le niveau sonore au-dessous de la valeur seuil de 87 dB semble incertain

8.2.2 Turbines Pelton

Une centrale hydroélectrique est équipée de 3 groupes de machines, chacune d'une puissance de 12 MW. Le bruit devait être réduit dans la cabine de commande séparée. A cet effet, on a construit, à titre d'essai, une calotte constituée d'une couche de mousse de 5 cm d'épaisseur fixée sur une ossature en bois. Cette calotte a été abaissée sur la partie turbine (cf. figure 40). L'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens s'élevait, selon le lieu de mesure, à 1–2 dB(A). Comme il s'agit d'un essai, on ne tient pas compte du facteur coût/efficacité.



Figure 40: Calotte acoustique pour turbine Pelton, montage d'essai.

Appréciation

Le constructeur de la calotte n'a pas prêté attention à différents principes et a commis des erreurs de réflexion:

- la mousse absorbe effectivement, mais n'isole pratiquement pas. Il faudrait de la masse pour une isolation acoustique.
- le générateur couplé en direct d'un groupe de turbines rayonne également du bruit.
- les transmissions de bruit dans la cabine de commande -tel que révélé plus tard – ont été provoquées par voie solide
- dans le cas de centrales électriques, il est plus judicieux de protéger directement l'homme au travail (cabine insonorisée). Les investissements sont nettement inférieurs.

L'idée de munir la machine d'une enceinte a été abandonnée ultérieurement au profit d'une rénovation de la cabine de commande.

8.2.3 Broyeur de matières plastiques

Dans un atelier de fabrication de tuyaux en matière plastique, le broyeur est installé dans un local séparé. A l'entrée, pour permettre le broyage des tuyaux, une seule ouverture d'alimentation est pratiquée (figure 41). Des joints de plusieurs centimètres de largeur sont présents autour de l'ouverture pour la trémie d'alimentation, de sorte que l'efficacité acoustique de cette mesure, judicieuse de prime abord, est réduite à moins de 5 dB par rapport à un niveau d'émission d'environ 105 dB(A). De surcroît, la principale composante sonore au-dessus de cette ouverture d'alimentation se transmettant par rayonnement, elle ne permet pas d'espérer un meilleur résultat.

Dans une seconde phase, une cabine a été construite autour de l'ouverture d'alimentation (figure 42). De plus, le puits de chute des tuyaux a été revêtu de matériaux absorbants. Cette mesure a permis de réaliser une baisse du niveau supérieure à 20 dB. Il en résulte que le niveau d'évaluation au poste de travail (selon le produit) se situe aux alentours de 85 dB(A).



Figure 41: Côté alimentation d'un broyeur pour tuyaux en matière plastique.



Figure 42: Enceinte sur l'alimentation d'un broyeur pour tuyaux en matière plastique.

8.2.4 Relieuse

Une grosse relieuse a été installée avec enceinte de sécurité et de protection acoustique. A la mise en service de la machine, le niveau de pression acoustique mesuré surpassait la valeur de garantie d'environ 10 dB.

Une enquête détaillée a révélé que l'enceinte présentait des jeux de l'ordre de 10 mm par rapport à la structure porteuse (figure 43). Ces ouvertures, préconisées par un designer industriel pour raisons optiques, étaient largement responsable des mauvais résultats obtenus. En outre, la construction de l'enceinte était complètement ouverte vers le bas.



Figure 43: Capsule non étanche sur une relieuse.

Cet exemple montre que les compromis relatifs aux conditions acoustiques de base, telles que l'étanchéité absolue d'une capsule, ne sont pas rentables. Les frais de réfection importants qu'il a fallu consacrer ensuite auraient pu être éliminés grâce à une conception optimale du point de vue acoustique.

9 Commande de l'enceinte

Le paramètre le plus important pour la commande d'une enceinte est l'indice de qualité d'isolement contre les sons aériens. Il peut être indiqué soit en niveau acoustique pondéré A ou en valeurs de bandes par octave. Il y a évidemment toute une série d'autres points indispensables lors d'une commande (cf. point 3.1).

En annexe, vous trouverez un modèle de spécifications pour offre ou commande. Y sont rassemblées les indications qui devraient être fournies à une firme spécialisée dans les enceintes d'isolation acoustique. Des indications précises favorisent la coopération entre le client et l'entreprise. En pratique, le modèle en annexe peut être recopié et rempli si besoin est. Le modèle de spécifications comprend les points suivants:

1. Description générale de l'installation
2. Conception de l'enceinte (dimensions, type de construction, volets, portes, etc.)
3. Données acoustiques et exigences
4. Matériaux et traitement de surface
5. Conditions et exigences relatives à la technique de fonctionnement
6. Equipement électrique
7. Exigences de montage

Cette liste est relativement longue en raison de la multitude des possibilités d'application. Elle ne se prétend pas exhaustive pour autant. Des indications concernant le nombre de pièces, les délais de livraison, les prescriptions de réception, les conditions de paiement, etc., ne sont pas comprises.

Si un client souhaite acheter une enceinte, il attend avec raison un bon effet acoustique sans limitation de fonctionnement de l'installation. C'est cette exigence qui doit être respectée!

10 Conclusions

La lutte contre le bruit à l'aide d'enceintes contribue à l'humanisation des postes de travail. Les enceintes – intégrales ou partielles – sont un moyen technique reconnu pour la lutte contre le bruit et la réduction de la propagation du bruit. La technique de protection contre le bruit a atteint dans ce domaine un niveau très élevé (figure 44). Des firmes spécialisées sont en mesure de proposer aujourd'hui des solutions pratiques en réponse à des problèmes très complexes. La construction personnelle d'enceintes n'est rentable que lorsqu'on maîtrise les problèmes évoqués dans cette brochure. En cas de doute, il est recommandé de s'adresser à un spécialiste. Il peut être révélateur de procéder à une comparaison des prix.

Si les indications exposées sont respectées lors de la conception et de la construction des enceintes, on peut généralement compter sur un résultat satisfaisant.

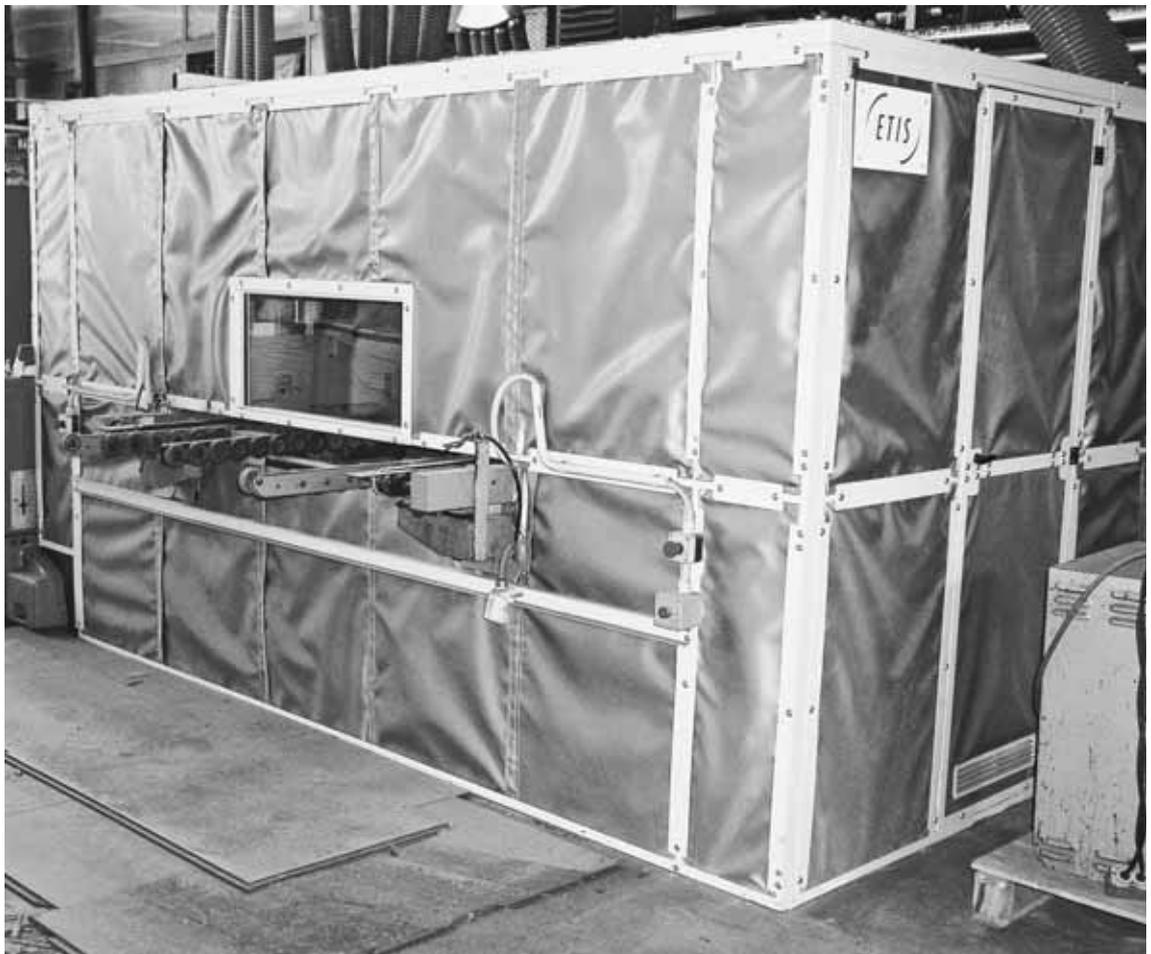


Figure 44: Enceinte légère moderne pour fraisense automatique pour revêtements de sols en matière synthétique. Diminution du niveau sonore de 93 à 76 dB(A). ETIS SA, Herisau.

Remerciements

Nous remercions toutes les firmes qui n'auraient pas été expressément citées pour leur autorisation de publier les photos de leurs locaux de production.

Bibliographie

- Protection contre le bruit à l'aide d'enceintes, VDI n° 2711 (retiré sans remplacement)
- Mesure des émissions acoustiques sur des machines, réf. Suva 66027
- Acoustique des locaux industriels, réf. Suva 66008

Sauf indication contraire, tous les résultats de mesure figurant dans cet ouvrage proviennent des archives de la Suva

Annexe

Modèle de spécifications d'offre et de commande pour enceintes d'isolation acoustique

1 Données générales

1.1 Description

Description de la machine ou de l'installation:

Machine(s) devant être munie(s) d'enceinte(s):

1.2 Dimensions

Dimensions de l'enceinte d'après schéma n° _____ ci-joint.

- principales dimensions de l'enceinte:
longueur _____ mm, largeur: _____ mm, hauteur: _____ mm
- cotes intérieures cotes extérieures
- dimensions de la machine devant être munie d'une enceinte d'après schéma n° _____ ci-joint

2 Construction de l'enceinte

2.1 Conditions de montage ou d'installation

- fixe
- monté dans un véhicule
- dessous d'enceinte ouvert (installation sur surface fermée)
- dessous d'enceinte fermé
- autres dispositions _____

2.2 Lieu d'installation

- espace fermé
- en plein air, sous toit
- en plein air
- sur un véhicule

2.3 Emplacement de l'enceinte

Inégalité: \pm _____ mm

- Echelonnement d'après schéma ci-joint _____

Liaison du son transmis par voie solide entre la surface de contact et la source sonore

- non oui cf. schéma de la surface de contact n° _____
- _____

2.4 Type de construction

- levable d'une seule pièce
- levable partiellement (cf. schéma n° _____)
- entièrement démontable
- partiellement démontable (cf. schéma n°. _____)
- déplaçable d'une seule pièce (cf. schéma n° _____)
- déplaçable partiellement (cf. schéma n° _____)
- entièrement praticable
- partiellement praticable (cf. schéma n° _____)

2.5 Volets

- cf. schéma n° _____
- quantité: _____
- taille: _____
- commande manuelle
- commande pneumatique
- commande hydraulique
- commande électrique
- _____

2.6 Fenêtres

- cf. schéma ci-joint n° _____
- quantité: _____
- taille: _____
- _____

2.7 Portes

- portes battantes: _____ pièce(s)
- portes coulissantes: _____ pièce(s)
- taille standard
- dimensions: _____

2.8 Ouvertures pour passages

- cf. schéma n° _____ ci-joint
- _____
- _____

3 Données acoustiques et exigences

3.1 Indice de qualité d'isolement contre les sons aériens requis de l'enceinte

Fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
D_{pA}									dB

3.2 Valeurs initiales pour la détermination de D_{pA}

3.2.1 Emission sonore de la source de bruit non munie d'une enceinte

- niveau de puissance acoustique $L_{WA} =$ _____ dB
- analyse par bande d'octave existante ($L_{W,okt}$)
- analyse par bande de tiers d'octave existante ($L_{W,terz}$)
- niveau de pression acoustique à _____ m de distance: $L_A =$ _____ dB
avec facteur surface de mesure de _____ m^2
- spectre par bande d'octave du niveau de pression acoustique L_{okt} à _____ m de distance connu. (cf. «Mesure des émissions acoustiques sur machines», réf. Suva 66027)

Fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
$L_{W,okt}$ ou L_{okt}									dB

3.2.2 Emission sonore maximale admissible de la source sonore munie d'une enceinte

- niveau de puissance acoustique $L_{WA} =$ _____ dB
- niveau de pression acoustique à _____ m de distance de la paroi de l'enceinte $L_A =$ _____ dB
- niveau de puissance acoustique par bande d'octave (par ex. courbe NR), $L_{W,okt}$
- Niveau de pression acoustique par bande d'octave (par ex. courbe NR), L_{okt} à une distance de _____ m

Fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
$L_{W,okt}$ ou L_{okt}									dB

4 Matériaux et traitement de surface

4.1 Côté extérieur de l'enceinte

- au choix du fournisseur
- acier, au choix
- acier, matériau n° _____
- aluminium, matériau n° _____
- matière plastique
- bois
- _____

4.2 Matériau d'absorption acoustique

- au choix du fournisseur
- laine minérale, ininflammable
- laine d'acier
- mousse à pores ouverts, difficilement inflammable
- résistant à l'huile
- _____

4.3 Recouvrement du matériau d'absorption acoustique

- au choix du fournisseur
- plaques perforées en _____
- tissu de _____
- non-tissé en _____
- métal déployé en _____
- _____

4.4 Protection de surface de la face extérieure de l'enceinte

- au choix du fournisseur
- non traité
- galvanisé
- apprêté
- _____

5 Mesures et exigences techniques de fonctionnement

5.1 Règles de sécurité

- pas nécessaire

5.2 Indications et exigences pour la ventilation de l'enceinte

5.2.1 Débit d'air

- renouvellement d'air: _____ fois/h
- quantité de chaleur à évacuer (total, par ex. éclairage compris _____ kW
réchauffement admissible de l'air frais: _____ °C ± 2°C

5.2.2 Type de ventilation

- tirage naturel (sans ventilateur)
- ventilation forcée avec
- ventilateur extracteur ventilateur refoulant

5.2.3 Contrôle de l'air frais

- entrée directe par des ouvertures insonorisées dans la paroi de l'enceinte
- entrée par des ouvertures existantes (par ex. sol)
- sortie directe par des ouvertures insonorisées dans la paroi de l'enceinte
- utilisation des systèmes existants d'après les indications jointes

5.2.4 Températures

- température la plus élevée de la source de bruit à la surface sans enceinte _____ °C
- température la plus basse de la source de bruit à la surface sans enceinte _____ °C
- entrée d'air frais _____ °C

5.3 Conditions ambiantes

5.3.1 Conditions climatiques

- humidité souvent élevée (> 75 % r.F.)
- température extérieure souvent élevée (> 30°C)
- présence de neige et de glace
- air ambiant salin
- l'air ambiant contient les produits corrosifs suivants:

- _____

5.3.2 Pollution par la source de bruit

- rejet de poussière
- type d'impuretés _____
- dégagement constant d'humidité
- rejet d'huile

- _____

5.3.3 Matériaux utilisés à la source du bruit

- danger d'explosion
- favorisant l'incendie, facilement inflammables
- toxiques, nuisibles pour la santé, caustiques
- corrosifs
- produit: _____

- _____

5.4 Divers

6 Equipement électrique

6.1 Installations électriques

6.1.1 Eclairage

- au choix du fournisseur
- disposition des luminaires d'après schéma n° _____ ci-joint
quantité: _____ puissance: _____ W
type: _____
- _____

6.1.2 Prises de courant

- disposition au choix du fournisseur
- quantité: _____ puissance de raccordement: _____ kW
- disposition d'après schéma n° _____ ci-joint

6.1.3 Ventilateurs d'aération

- disposition au choix du fournisseur
- disposition d'après schéma n° _____ ci-joint
- _____

6.2 Type de protection pour l'équipement électrique

- éclairage: _____
- ventilateurs: _____
- protection de toutes les pièces contre les explosions

6.3 Alimentation électrique de l'équipement

- éclairage: _____ V, _____ Hz
 - courant alternatif
 - courant continu
- ventilateurs: _____ V, _____ Hz
 - courant triphasé
 - courant alternatif
 - courant continu
- prises de courant: _____ V, _____ Hz
 - courant triphasé
 - courant alternatif
 - courant continu
- les installations électriques à l'intérieur de l'enceinte, y compris les coffrets à bornes, font partie de la livraison
- _____

Suva

Case postale, 6002 Lucerne
Tél. 041 419 58 51
www.suva.ch

Edition: mars 2010

Référence

66026.f