

- 65 *Mecheels O.*: Die Physiologie der Kleidung, Mensch und Wärme, Wärmewirtschaftsverb. Baden-Württ. e.V., Stuttgart (1954).
 66 *Reiher H.*: Behagliches und gesundes Wohnen, Mensch und Wärme, Wärmewirtschaftsverb. Baden-Württ. e.V., Stuttgart (1954).
 67 *Hess R.*: Zur Kenntnis der desinfizierenden Trockenreinigung, Sonderdruck aus Das Krankenhaus, H. 3 (1960).
 68 *Von der Mark W.*: Planung und Installation von Chemischreinigungsanlagen im Krankenhaus, Sonderdruck aus Das Krankenhaus, H. 6 (1960).
 69 *Von der Mark W.*: Die Chemischreinigung verbessert die hygienische Situation im Krankenhaus, Sonderdruck aus Der Krankenhausarzt, 32. Jg., H. 10 (1960).

Le bruit et les moyens de le combattre¹

Par *Anselme Lauber*²

1. Introduction

Nous savons tous par expérience que nous vivons actuellement dans un monde agité et bruyant. Les sources de bruit sont innombrables. A la maison, nous sommes exposés aux bruits domestiques. Au dehors, le bruit du trafic et celui des constructions ne nous laissent aucun repos. A cela s'ajoute encore pour beaucoup, spécialement durant les heures de travail, les bruits industriels et des machines.

Ce genre de vie bruyant pose forcément les problèmes les plus divers. En tant que phénomène primaire physique, le bruit est avant tout une question purement technique. Dans ses effets sur les êtres humains, il revêt une importance primordiale au point de vue de la santé du peuple et de l'hygiène au travail. Enfin, le bruit est devenu un facteur économique et même un problème juridique, lorsqu'il exerce une influence intolérable sur ses semblables.

Qu'est-ce que le bruit? Un mot d'esprit français dit que «le bruit est un festival sonore». La définition américaine, quoique un peu plus laconique, nous paraît serrer de plus près la réalité: «Noise is unwanted sound», c'est-à-dire: «le bruit est un son indésirable».

Au sujet de l'importance du bruit sur la santé et l'hygiène au travail, nous faisons brièvement remarquer ce qui suit: des pressions acoustiques élevées et soudaines, telles qu'en produisent par exemple les détonations ou les explosions, peuvent facilement provoquer de très graves accidents de l'ouïe [1].

Il y a lieu de s'attendre à des surdités persistantes, lorsque l'influence sonore durable (c'est-à-dire pendant des semaines et des mois) produit les niveaux acoustiques suivants:

pour des bruits à large bande	95 dB et plus,
pour des sons purs	85 dB et plus.

¹ D'après un exposé fait le 17 novembre 1960 devant le Groupement romand d'hygiène industrielle et de médecine du travail. Texte déjà paru dans le bulletin technique des PTT, no 10, 1958.

² Adresse de l'auteur: Zwinggartenstrasse 9, Dübendorf, Zürich.

Mais des niveaux acoustiques inférieurs à 95 ou 85 dB peuvent déjà influencer sur notre bien-être. Il est, par exemple, incontestable qu'il est beaucoup plus pénible de se concentrer au milieu d'un entourage bruyant et qu'on s'y fatigue beaucoup plus rapidement que dans un endroit tranquille [2].

Il est très difficile, souvent même impossible de téléphoner lorsque le niveau moyen du bruit est supérieur à 70 dB.

L'oreille humaine est un organe d'alarme qui ne s'assoupit jamais. C'est pourquoi nous savons tous qu'un bruit insolite quelconque peut nous effrayer.

2. Aspect objectif et subjectif d'un phénomène acoustique

Il convient de distinguer deux aspects bien différents dans tout phénomène acoustique. D'un côté, nous avons les ondes et le champ acoustiques avec les caractéristiques physiques objectives du phénomène acoustique, de l'autre côté se trouve l'être humain avec les caractéristiques physiologiques de la sensation sonore subjective. Ces deux aspects des particularités les plus importantes du son sont représentés sur le *tableau I* où l'on voit, par exemple, que la sensation à la pression acoustique physique est *l'intensité sonore* et que la sensation à la fréquence sonore est la *hauteur du son*. Il est indispensable de connaître ces notions pour combattre le bruit et c'est pourquoi il en sera question de façon détaillée dans les deux paragraphes suivants.

1er aspect

Les *caractéristiques physiques* et objectives de l'onde et du champ acoustique

- a) *La fréquence du son*
mesurée en *Hertz (Hz)*
- b) *L'amplitude du son*
mesurée avec une échelle logarithmique, est appelée *niveau sonore* en *décibels (dB)*
mesurée avec une échelle linéaire, est appelée *pression acoustique* en *microbars (μb)*

2e aspect

Les *caractéristiques physiologiques* de la perception subjective du son

- a) *La hauteur du son*
exprimée en *octaves*
- b) *La perception de l'intensité acoustique*
exprimée par la *force du son* en *phones*
exprimée par l'*intensité auditive* en *sones*

Tableau I: Deux aspects différents d'un événement acoustique.

3. Quelques caractéristiques physiques importantes du son

3.1 La pression acoustique

La pression acoustique (symbole p) est une caractéristique technique particulièrement importante du son. On la mesure en microbars (μb): $1 \mu\text{b} = 1 \text{ dyne/cm}^2 = 0,1 \text{ Newton/m}^2$.

L'oreille humaine peut capter des pressions acoustiques de $0,0002 \mu b$ à $200 \mu b$, ce qui correspond au rapport très élevé de 1 à 1 million.

Le microbar est une unité linéaire assez peu maniable; c'est pourquoi on a encore tiré de la pression acoustique une unité logarithmique, le niveau acoustique.

3.2 Le niveau acoustique

Le niveau acoustique (symbole L) est une grandeur logarithmique dont l'unité est le décibel (dB). Sa définition est la suivante:

$$L = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Le niveau acoustique est donc un rapport qui exprime dans une échelle logarithmique de combien la pression acoustique p est plus grande que la pression acoustique p unitaire ou de base; une norme internationale a fixé la valeur de p_0 , comme suit:

$$p^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ dyne/cm}^2.$$

Si, à l'échelle linéaire, la zone audible (en tant que pression acoustique) correspond à un rapport de 1 à 1 000 000, cette valeur est ramenée à l'échelle logarithmique (comme niveau acoustique) à un rapport de 1 à 120. Le niveau acoustique est une unité très pratique, car il suffit de 120 dB pour décrire presque chaque intensité acoustique se produisant pratiquement.

La figure 1 représente graphiquement la relation qui existe entre la pression

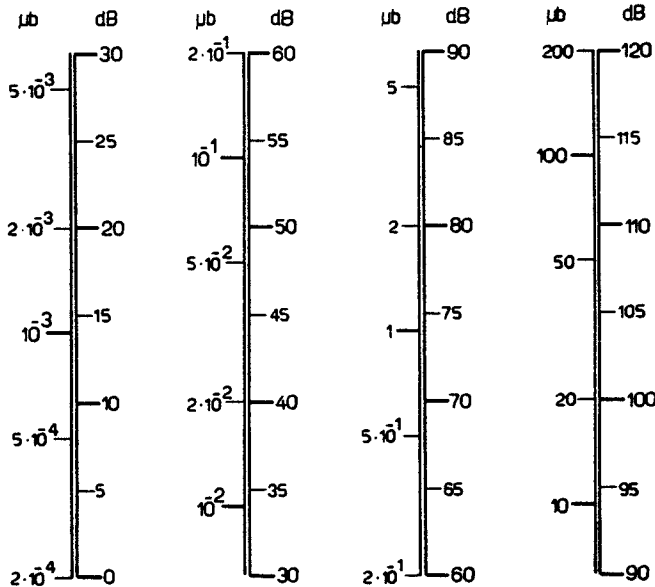


Fig. 1: Relation entre la pression acoustique (μb) et le niveau de la pression acoustique (dB)

acoustique (échelle linéaire) et le niveau acoustique (échelle logarithmique). Quelques exemples de niveaux acoustiques typiques sont donnés dans la partie supérieure du tableau III.

3.3 La fréquence acoustique

La fréquence acoustique (symbole f) est le nombre d'oscillations d'un onde acoustique; son unité est le hertz (Hz). Sa définition est la suivante :

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ oscillation par seconde}$$

Par exemple, le la^2 du diapason international a une fréquence de 440 Hz. Pour le piano, la fréquence du son le plus bas la^1 est de 27,5 Hz et celle du son le plus haut do^5 est de 4186 Hz. L'oreille humaine discerne les fréquences acoustiques de 20 à 15 000 Hz. Pour avoir une bonne audition de la parole humaine, il est nécessaire de disposer d'une bande de fréquences d'environ 300 à 3000 Hz. Etant donné que nombre de grandeurs, par exemple les niveaux des bruits et les valeurs d'isolation décrites plus loin, dépendent de la fréquence, c'est-à-dire ont des valeurs différentes selon les sons, il est quelquefois recommandé de procéder à des analyses de fréquences. A cet effet, on divise toute la gamme de fréquences à l'aide de filtres passe-bande en gammes de sons partiels qui sont ensuite mesurées séparément. On peut représenter les valeurs trouvées pour ces gammes de sons partiels comme des courbes de réponse.

Les filtres les plus utilisés sont les filtres à octaves. On les emploie surtout pour les analyses des différents bruits. Lorsqu'on analyse avec un filtre à octaves, on mesure pour tous les étages du filtre les niveaux aux différentes octaves dont la caractéristique de fréquence a une forme particulière pour chaque bruit (voir figure 2). D'autres filtres, également utilisés pour des analyses de fréquences, sont des filtres passe-bande à $\frac{1}{3}$ d'octave ou des filtres à largeur de bande passante constante.

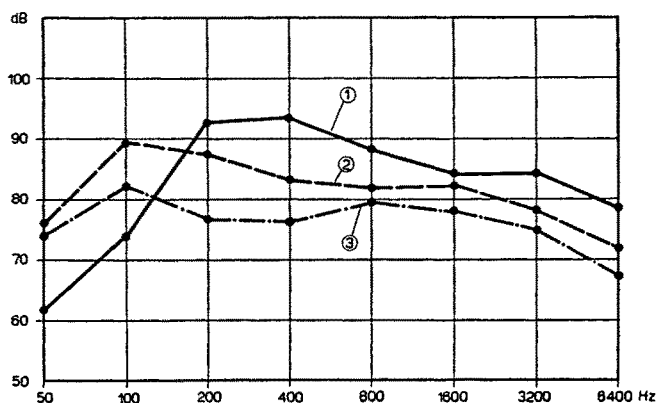


Fig. 2: Analyses de bruits typiques, réalisées avec un filtre à octaves. 1 Mercedes 300 SL; 2 Lambretta 175, TV; 3 Autobus

3.4 La propagation acoustique

A la température de 20 degrés centésimaux, les ondes acoustiques se propagent à la vitesse de 340 mètres par seconde. Lorsque la propagation acoustique n'est pas entravée à l'air libre, la pression acoustique diminue de moitié, c'est-à-dire que le niveau acoustique s'affaiblit de 6 dB, chaque fois que la distance de la source acoustique est doublée. A part cet affaiblissement naturel du niveau acoustique lors de la propagation non entravée des sons à l'air libre, divers facteurs amortissent généralement la propagation acoustique. Par exemple, le vent peut, suivant dans quelle direction il souffle, amplifier ou affaiblir les sons. Les autres facteurs qui amortissent la propagation des sons sont : l'humidité de l'air, le brouillard, la couverture du sol, etc. Tous affaiblissent la propagation des sons aigus presque toujours plus fortement que celle des sons graves. La figure 3 représente les conditions de propagation typiques en terrain libre (aérodrome).

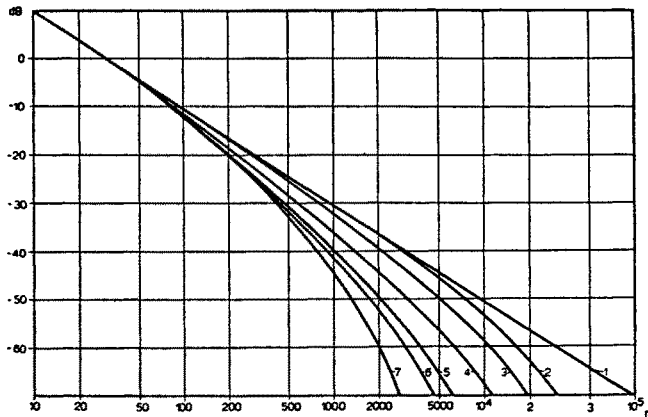


Fig. 3: Propagation horizontale du son à deux mètres au-dessus d'un terrain d'aviation

1: Loi $1/r$

2: Gamme de fréquences 20...75 Hz

3: Gamme de fréquences 75...150 Hz

4: Gamme de fréquences 150...300 Hz

5: Gamme de fréquences 300...600 Hz

6: Gamme de fréquences 600...1200 Hz

7: Gamme de fréquences 1200...2400 Hz

4. Quelques caractéristiques importantes de la sensation auditive

Un phénomène acoustique provoque chez l'homme des sensations nombreuses et diverses. Nous pouvons, par exemple, différencier une intensité sonore d'une hauteur de son et ressentir le tout plus ou moins agréablement ou désagréablement.

4.1 Intensité sonore

La sensation de l'intensité sonore (symbole L) est mesurée en phones. Zéro phone correspond à l'onde acoustique où l'homme sain commence à

percevoir les sons; à 120...140 phones, la perception des sons est si forte qu'elle devient douloureuse (limite de la douleur).

La figure 4 montre la relation entre le niveau acoustique (en dB) et l'intensité sonore (en phones). On voit par là que c'est aux sons d'environ 3000 Hz que l'oreille est la plus sensible et, en outre, on constate que les phones et les dB ont la même valeur numérique pour un son pur de 1000 Hz, mais qu'ils diffèrent grandement l'un de l'autre aux sons graves et aigus.

Il n'est actuellement possible de mesurer exactement l'intensité sonore (en phones) que si l'on peut comparer l'intensité sonore du bruit inconnu avec celle d'un son pur de 1000 Hz. C'est naturellement un procédé de mesure difficile et compliqué, parce qu'il requiert des personnes d'essai et beaucoup de temps.

Il est beaucoup plus simple de mesurer une pression acoustique ou un niveau acoustique (en μb ou en dB); actuellement, il existe pour cela de nombreux appareils de mesure de la pression et du niveau acoustiques qui sont très bons. La plupart de ces appareils ont deux courbes de poids «A» et «B» (appelées souvent aussi «courbes d'oreille») qui doivent imiter la caractéristique de fréquence de l'ouïe humaine moyenne (voir aussi la figure 4).

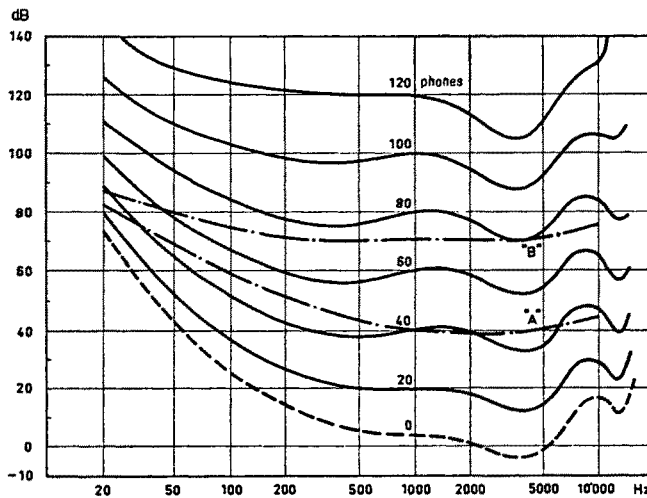


Fig. 4: Relation entre le niveau de la pression acoustique (dB) et la force du son (phone)

On croyait auparavant qu'en employant ces courbes d'oreille on pouvait mesurer de façon simple les intensités sonores (en phones). Mais il s'est bientôt révélé que les niveaux acoustiques mesurés à l'aide des courbes d'oreille peuvent différer de l'intensité sonore (en phones) effective à un point tel qu'on désigne généralement aujourd'hui les valeurs mesurées à l'aide des courbes d'oreille «A» et «B» par «niveaux acoustiques pondérés» et qu'on les indique en dB (A) et dB (B), selon qu'on a employé la courbe «A» ou «B» pour la mesure

(voir aussi les « Instructions sur la lutte contre le bruit dans le trafic routier » données par le Département fédéral de justice et police aux directions de police cantonales du 24 février 1957).

En Allemagne, les niveaux acoustiques mesurés à l'aide des courbes « A » et « B » ne sont pas appelés « niveaux acoustiques pondérés », mais « phones DIN ».

Il n'est pas étonnant du tout que les niveaux acoustiques mesurés à l'aide des deux « courbes d'oreille » diffèrent souvent beaucoup des valeurs effectives de l'intensité sonore en phones. La figure 4 montre clairement comment ces courbes recouvrent incomplètement les propriétés effectives de l'oreille. De plus, à part la caractéristique de fréquence, il y aurait lieu de tenir compte encore de nombreux autres phénomènes, par exemple des caractéristiques dynamiques de l'oreille, qui exercent une très grande influence selon la fonction de temps du bruit à mesurer.

En résumé, nous pouvons dire que l'indication d'une intensité sonore en phones décrit parfaitement la sensation de l'intensité acoustique, mais qu'il s'agit d'une mesure très peu pratique, car

- a) il est très difficile et compliqué de mesurer exactement les intensités sonores,
- b) il est très peu pratique de calculer avec les intensités sonores.

C'est pourquoi la notion de l'intensité sonore (en phones) devrait autant que possible être évitée. Dans la plupart des cas, il suffit d'indiquer le niveau acoustique (en dB) et les niveaux acoustiques pondérés mesurés à l'aide des courbes « A » et « B » (en dB [A] et dB [B]). Outre la mesure compliquée de l'intensité sonore (en phones) par la comparaison subjective avec un son pur de 1000 Hz, il est possible de calculer une intensité sonore (en phones) à partir d'une analyse de fréquence en ayant recours à l'intensité auditive décrite plus loin [3]. Les intensités sonores ainsi obtenues doivent être désignées comme des « intensités sonores calculées »; elles correspondent dans la plupart des cas beaucoup mieux aux valeurs réelles de l'intensité sonore que ce n'est le cas pour les niveaux acoustiques estimés (en dB [A] et dB [B]) [4].

4.2 L'intensité auditive

Dans ce qui précède, nous avons dit qu'il était peu pratique de calculer avec les intensités sonores (en phones). Cela saute immédiatement aux yeux lorsqu'on se demande de combien de phones une intensité sonore donnée doit être augmentée ou diminuée pour qu'elle soit doublée ou diminuée de moitié. La réponse rigoureusement exacte à cette question (compte tenu du caractère logarithmique de l'intensité sonore) serait qu'il faut ajouter ou retrancher 6 phones. Mais cela n'est malheureusement pas le cas (on devrait en moyenne ajouter ou retrancher 10 phones).

C'est pourquoi on a été obligé d'introduire une nouvelle grandeur, l'intensité auditive (symbole N), avec l'unité sone. Le caractère linéaire de cette échelle en sones correspond beaucoup mieux à la sensation d'intensité acoustique que l'échelle phone de l'intensité sonore. Une sensation d'intensité auditive multipliée par x correspond effectivement à un chiffre en sones multiplié par x ; cela signifie qu'on peut additionner des valeurs isolées en sones et que leur somme correspond à la sensation d'intensité auditive en résultant. Etant donné que la relation fixe, représentée à la figure 5, est valable entre les valeurs de sones et de phones, ces deux grandeurs peuvent facilement être coordonnées l'une par rapport à l'autre. Par exemple, le nombre de sones résultant d'un calcul peut sans autre être à nouveau transformé en une intensité sonore (en phones). Il faut espérer que cette relation sera bientôt normalisée sur le plan international.

Nous nous résumons en attirant l'attention sur le fait que l'échelle d'intensité auditive en sones, avec son caractère linéaire, est beaucoup mieux adaptée à la sensation d'intensité acoustique que l'échelle d'intensité sonore en phones.

C'est pourquoi il est beaucoup plus simple de calculer avec les valeurs d'intensité acoustique (en sones) qu'avec les intensités sonores (en phones).

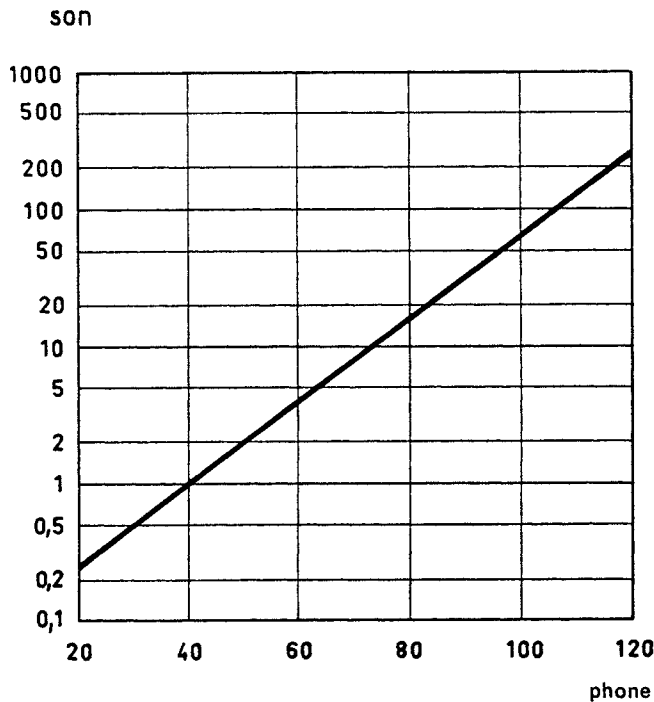


Fig. 5: Relation entre l'intensité auditive (sone) et la force du son (phone)

4.3 La hauteur du son

Raisonnablement, nous devons distinguer les deux sensations de hauteur de son suivantes : l'harmonique et la mélodique; une échelle divisée par l'intervalle de l'octave est adjointe aux deux sensations de hauteur de son. Cependant, la sensation de hauteur de son harmonique est pratiquement la plus importante des deux. Son point zéro est le $la^1 = 440$ Hz du diapason international normalisé.

La plus petite variation de hauteur de son encore perçue par l'oreille humaine dépend de la fréquence à laquelle cette variation se produit et du niveau acoustique qui domine à ce propos (voir figure 6).

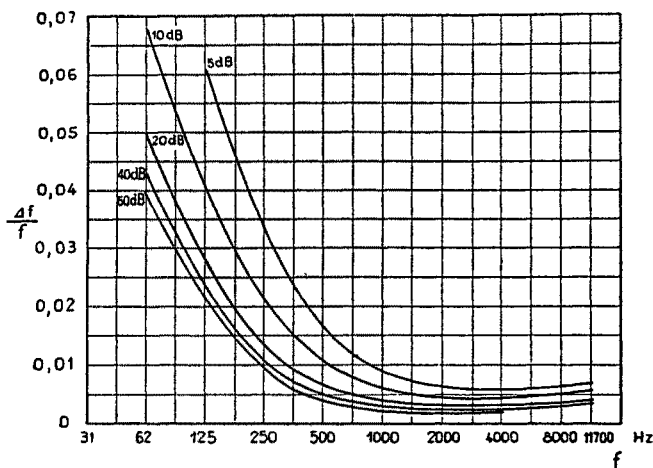


Fig. 6: Plus petite variation relative de fréquence audible

$\frac{\Delta f}{f}$ Variation relative de fréquence f : Fréquence
dB: Niveau de la pression sonore

4.4 L'inconfort d'un son

Une autre sensation subjective tout particulièrement importante d'un son est son inconfort. Il s'agit d'une notion extrêmement compliquée et complexe que l'on peut difficilement et seulement approximativement définir.

A part les caractéristiques physiques du son, les conditions psychologiques qui dominent chez ceux qui reçoivent les sons jouent aussi un rôle important pour la formation de l'impression d'inconfort. Il y a lieu de tenir compte des facteurs suivants :

a) Caractéristiques physiques :

Le niveau acoustique.

Le spectre acoustique (sons aigus et sons graves).

La fonction de temps du bruit (bruit continu, bruit rythmique, bruit arythmique, bruit sous forme d'impulsions).

b) Facteurs psychologiques :

L'instant (jour ou nuit).

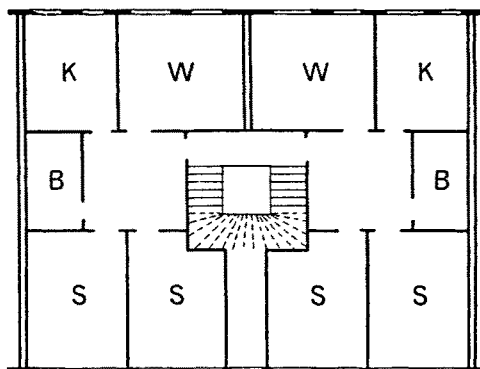
L'acoustique du voisinage (quartier de villas tranquille, région industrielle bruyante).

L'accoutumance au bruit (celui qui reçoit les sons était-il déjà auparavant accoutumé au bruit ou non?).

Ce n'est que par une vaste opération de recherches des avis qu'il serait possible d'élucider l'importance de tous ces facteurs sur la sensation d'inconfort.

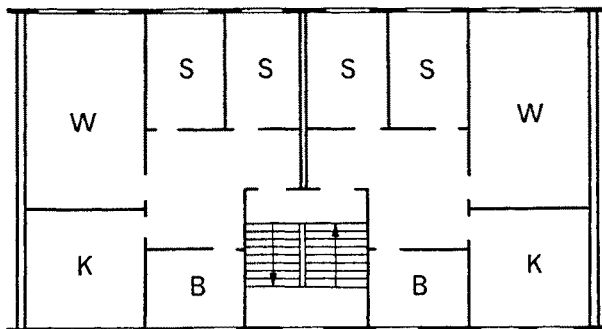
Rappelons pour terminer que le bruit incommode presque toujours nettement moins celui qui le fait que son voisin.

faux:



Str.

correct:



Str.

Fig. 7: Exemple de distribution correcte et fausse des zones bruyantes et silencieuses dans un appartement. B: Salle de bains, K: Cuisine, S: Chambre à coucher, Str: Rue bruyante, W: Salon

5. La lutte contre le bruit par une planification correcte

Le principe de toute lutte contre le bruit consiste à diminuer autant que possible le bruit à la source. C'est pourquoi, en achetant une machine ou un appareil, on veille à ce qu'ils fassent le moins de bruit possible. La machine la plus bruyante n'est pas nécessairement la meilleure.

Le bruit est une mauvaise expression de force et de puissance; il ne doit pas contribuer au «sex appeal» moderne, car il signifie bien plutôt perte et

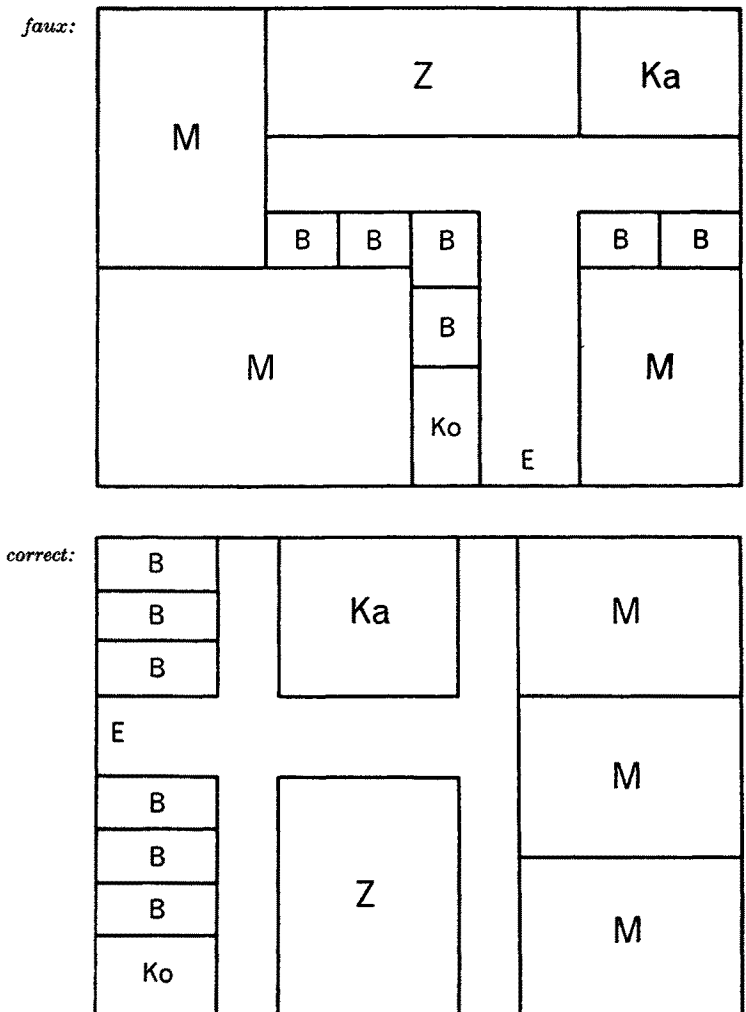


Fig. 8: Exemple de distribution correcte et fautive des zones bruyantes et silencieuses dans une fabrique. B: Bureaux, E: Entrée, Ka: Cantine, Ko: Salle de conférence, M: Atelier, Z: Bureaux de construction

usure. En établissant les plans de toute une installation, on a la possibilité de faire quelque chose de bien ou de mauvais au point de vue de la technique des sons. A cet effet, il faut faire une nette distinction entre les zones de bruit et les zones de repos qui devraient être bien séparées les unes des autres.

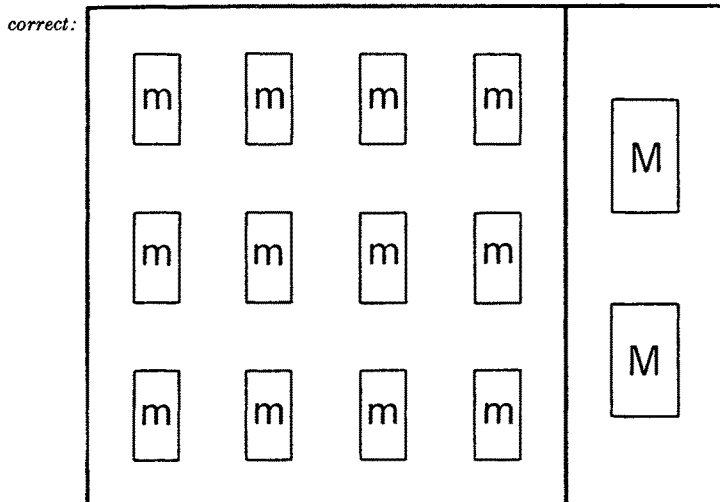
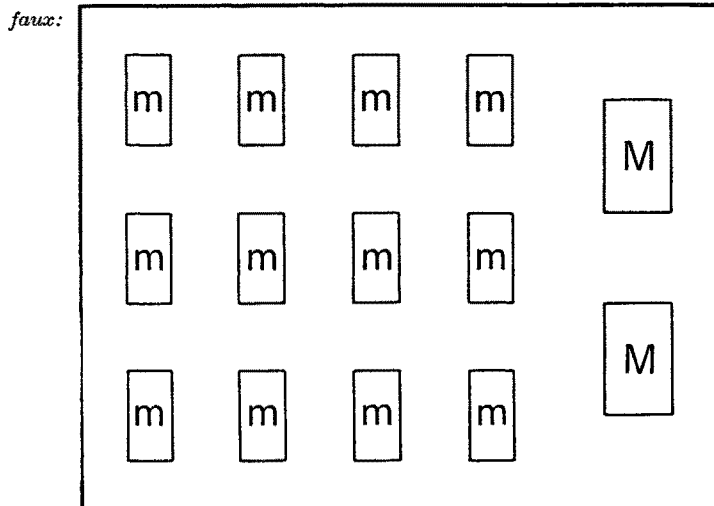


Fig. 9: Exemple d'emplacement correct et faux d'une machine bruyante dans un atelier
m: Places de travail avec machines faisant un bruit normal
M: Places de travail avec machines très bruyantes

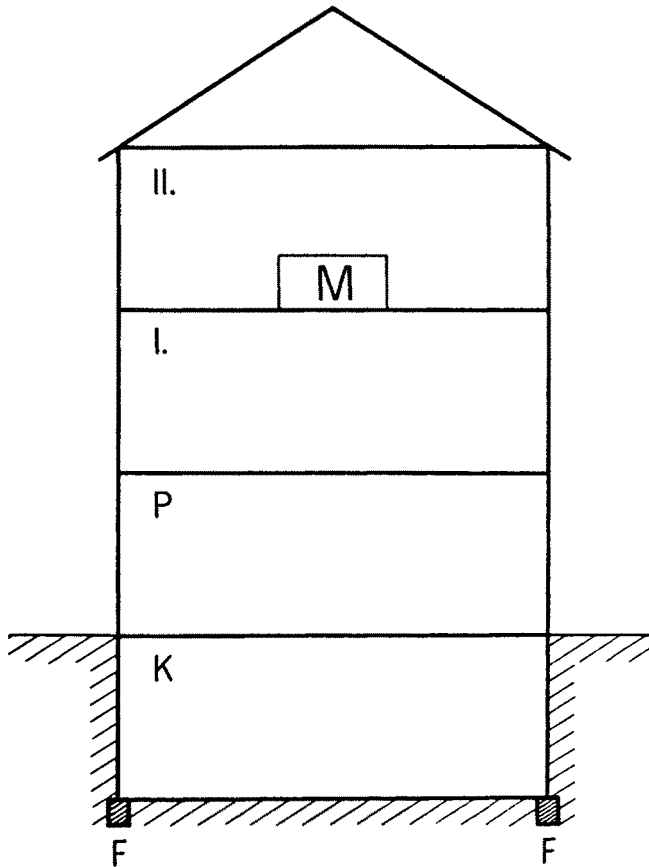


Fig. 10a: Exemple d'emplacement faux d'une machine vibrant fortement M: Machine, F: Fondations, K: Sous-sol, P: Rez-de-chaussée, I: Premier étage, II: Deuxième étage

Il est naturellement important d'observer ce principe en établissant les plans de colonies entières, où il faut d'avance séparer les zones industrielles et les zones de résidence.

Dans les maisons d'habitation et les édifices utilitaires, les zones de bruit typiques sont: les salles des machines, les halls des guichets, les cages d'escalier, les corridors, les cuisines, les salles de bains, etc. Les zones de calme typiques sont certains locaux de bureaux, salles de conférence, locaux de repos, chambres à coucher, etc.

On ne saurait assez insister sur l'influence qu'exerce une planification correcte de l'acoustique sur le confort au travail et à la maison. Prévués d'avance, des mesures de protection acoustiques suffisantes dépassent rarement plus de 15% environ de la somme totale de construction. Au contraire, les améliorations ultérieures nécessitent généralement des mesures architectoniques très

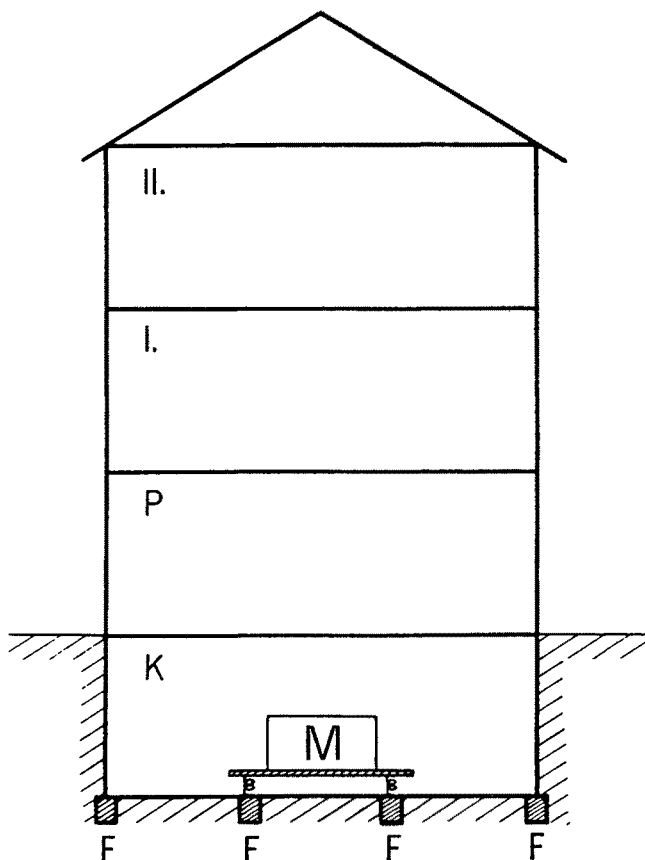


Fig. 10b: Exemple d'emplacement correct d'une machine vibrant fortement M: Machine, F: Fondations, K: Sous-sol, P: Rez-de-chaussée, I: Premier étage, II: Deuxième étage

chères. Les figures 7, 8, 9 et 10 montrent quelques exemples typiques de planification acoustique correcte et fausse.

La manière de faire actuelle, qui consiste à installer le plus grand nombre possible de machines dans une unique salle de travail aux dimensions gigantesques, est une grave erreur au point de vue de l'acoustique. Etant donné que le local rassemble toutes les énergies acoustiques qui s'y produisent et en forme une valeur moyenne, la machine la plus bruyante détermine dans une large mesure le niveau acoustique et dérange inutilement à la place de travail une machine plus silencieuse. L'expérience prouve que l'application de panneaux acoustiques permet d'abaisser dans un local de ce genre le niveau acoustique de 3 à 8 dB au maximum, de sorte que cette mesure a plutôt le caractère d'une solution provisoire qui a souvent un effet plus psychologique que technique. L'isolation est naturellement ici aussi correcte au point de vue de l'acoustique,

c'est-à-dire la séparation des machines particulièrement bruyantes des autres places de travail. Enfin, n'importe qui se rend immédiatement compte qu'une machine à étamper n'a pas sa place à côté d'une microbalance.

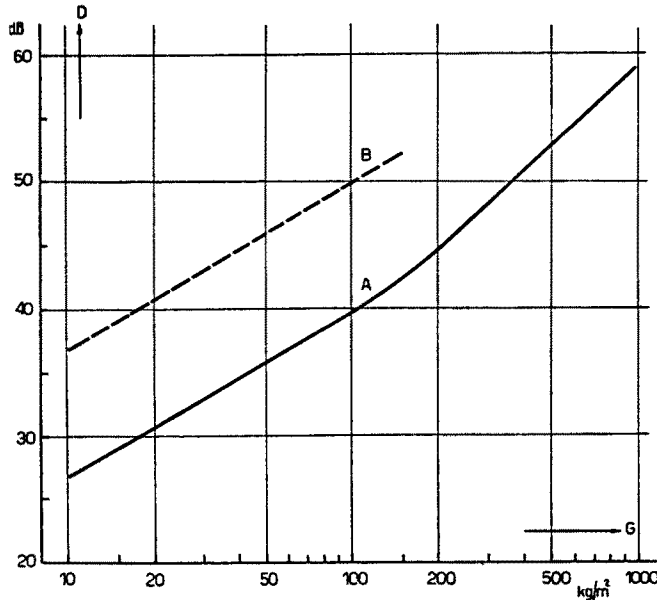


Fig. 11: Isolation moyenne des sons transmis par l'air
D: Isolation en dB, G: Poids du mur en kg/m², A: Mur simple, B: Mur double avec 10 cm d'espace entre les parois

6. Son aérien – son d'impact et leur isolation

Pour lutter avec succès contre le bruit d'un dérangement acoustique, il est absolument nécessaire de distinguer le son aérien du son d'impact qui sont isolés par des moyens différents. Les producteurs de sons aériens sont, par exemple, tous les chanteurs, les instruments de musique à vent, les appareils radiophoniques, les klaxons d'automobiles, etc. Ceux qui engendrent les sons d'impact sont tous les marteaux, les moteurs et machines montés de façon irrationnelle, souvent aussi les installations sanitaires. Les bruits de pas qui sont produits soit par une marche normale, soit par la danse ou la gymnastique, forment une catégorie particulière.

Nombreuses sont aussi les sources perturbatrices qui produisent simultanément les deux sortes de sons. En principe, pour isoler les dérangements dus aux sons aériens, on sépare la source perturbatrice de son voisinage à l'aide d'une enveloppe de protection. Le succès est d'autant plus grand que cette enveloppe est plus lourde et plus épaisse. La figure 11 montre clairement que l'isolation des sons aériens (en dB) dépend du poids (en kilogrammes par

mètre carré) de la paroi de séparation (enveloppe). Les légères parois homogènes, les portes et les fenêtres n'isolent jamais contre les sons aériens comme les constructions massives. Si, par exemple, une paroi n'isole pas suffisamment contre les sons aériens, il ne suffit pas de la recouvrir d'un côté ou des deux côtés de panneaux acoustiques (on ne gagne généralement que très peu), mais il faut la rendre plus épaisse et plus lourde.

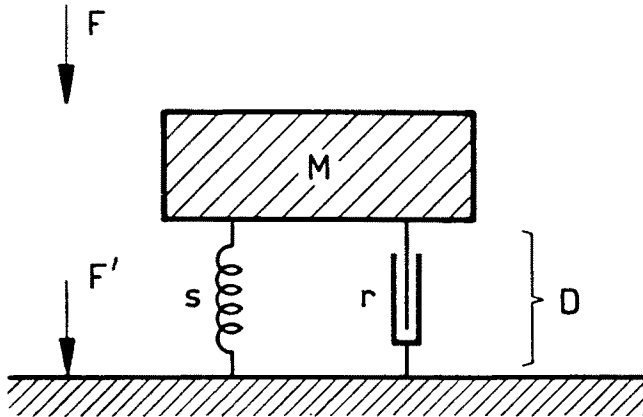


Fig. 12. Dispositif d'isolation des sons transmis par des corps solides
 F: Force d'excitation, M: Masse en oscillation, D: Couche amortissante, s Rigidité, r Frottement,
 F': Force sur la base

Des limites sont imposées à cette manière de faire, car on ne peut pas toujours construire librement des parois épaisses et lourdes. Il est alors indiqué de faire des constructions à double paroi ou des constructions «sandwich» à plusieurs couches, dont l'isolation est nettement plus grande que le poids global de ces constructions. Mais, pour ces constructions à deux ou plusieurs couches, il faut soigneusement éviter tous les ponts acoustiques entre les couches. Il est, par exemple, inadmissible de tirer des tubes de lignes, etc. à travers ces parois et de les fixer de chaque côté. Une seule brique coincée entre deux parois peut déjà fortement diminuer l'isolation acoustique.

On est surpris de constater à quelle importante isolation contre les sons aériens on peut arriver de nos jours avec des parois modernes (même mobiles) de construction légère à plusieurs couches, si cette construction à plusieurs revêtements est intelligemment et surtout soigneusement établie.

On réalise l'isolation contre les perturbations dues aux sons d'impact par un montage élastique de la source sur la construction porteuse et de maintien. Il s'agit donc ici de l'action réciproque entre la masse et l'élasticité, à l'aide de laquelle on obtient l'isolation désirée (voir aussi la figure 12). A ce propos, on doit savoir que la fréquence propre de ce mécanisme oscillant doit toujours être

plus petite que celle de la perturbation provoquée par les sons d'impact. Dans nombre de cas, la masse elle-même du générateur des sons d'impact suffit déjà comme masse, de sorte que, pour l'isoler, on n'a plus besoin que de le placer sur un support suffisamment élastique (ressorts en acier, éléments de caoutchouc, coussins de liège, nattes, etc.).

Dans les immeubles locatifs, les conduites d'eau des diverses installations sanitaires provoquent fréquemment des perturbations par sons d'impact. C'est pourquoi ces conduites doivent être soigneusement isolées par une couche élastique, une attention particulière étant vouée à l'isolation entre les tuyaux et les brides de fixation. Les moteurs d'ascenseurs, les pompes de circulation d'eau et les compresseurs sont aussi souvent des générateurs de sons d'impact, que l'on devrait soigneusement isoler.

Les dérangements dus aux bruits des pas représentent une catégorie spéciale de dérangements provoqués par les sons d'impact. Une première mesure de l'isolation contre les bruits des pas réside dans l'emploi de passages élastiques tendres (tapis, revêtements de caoutchouc poreux, etc.). Mais la mesure la meilleure et la plus radicale revient à établir des planchers « flottants » pour lesquels une natte en fibres est posée entre la couche porteuse et la dalle coulée en béton armé qui ne doit être en contact en aucun endroit avec la construction porteuse. Pour terminer, nous ajouterons encore que les boules sur les jeux de quilles engendrent des sons d'impact particulièrement forts qui peuvent provoquer des bruits considérables dans les maisons locatives annexes [5].

En résumé, on peut dire que l'isolation contre les dérangements dus aux sons aériens se fait par l'isolement de la source perturbatrice par rapport au voisinage et que l'isolation contre les dérangements provoqués par les sons d'impact a lieu, en revanche, par l'amortissement de la source perturbatrice par rapport à la construction porteuse et de maintien.

7. Quelques valeurs d'isolation importantes

Le *tableau II* donne le résumé d'un certain nombre de valeurs typiques d'isolation contre les sons aériens. Il en ressort que l'on obtient actuellement avec des parois mobiles à plusieurs couches en construction légère les mêmes isolations contre les sons aériens qu'avec de lourdes parois en maçonnerie. En outre, il faut mentionner que les portes spéciales à haute isolation sont très chères. Il faut à peine escompter une isolation contre les sons aériens supérieure à 30 dB pour les fenêtres qu'on peut ouvrir et fermer.

Au *tableau III*, des valeurs d'isolation typiques ont été combinées avec différents niveaux acoustiques. Il s'est révélé que, même avec des fenêtres fermées par des vitres doubles, le bruit d'une rue très passante ne peut plus être ramené au niveau nécessaire au « repos et au sommeil ». En outre, on cons-

tate que seule une protection de l'ouïe individuelle peut encore aider à travailler à des niveaux acoustiques supérieurs à 105 dB, si l'on veut éviter de graves atteintes à la santé.

C'est pourquoi il paraît être indiqué de prendre en considération les visites médicales périodiques de l'ouïe, au moins par sondages, pour les ouvriers qui travaillent longtemps à des niveaux acoustiques de plus de 85 dB.

		Isolation contre les bruits transmis par l'air
A Parois	1. Mur constitué de briques isolantes de 12 cm d'épaisseur, crépi des deux côtés au ciment	≥ 40 dB
	2. Mur constitué de briques isolantes de 25 cm d'épaisseur, crépi des deux côtés au ciment	≥ 48 dB
	3. 1 mur constitué de briques isolantes de 25 cm d'épaisseur, et 1 mur constitué de briques isolantes de 12 cm d'épaisseur; crépissage au ciment de 1 cm, espace 10 cm; poids environ 560 kg/m ²	≥ 58 dB
	4. Paroi mobile à double couche (2 panneaux de copeaux de bois agglomérés et remplissage). Epaisseur 9 cm, poids environ 32 kg/m ²	40 dB
	5. Paroi mobile à double couche (2 panneaux de copeaux de bois agglomérés et remplissage). Epaisseur 21 cm, poids environ 33,5 kg/m ²	50 dB
B Portes	6. Porte simple, suivant l'épaisseur du bois et l'étanchéité des battues	24...28 dB
	7. Porte double, composée de 2 portes suivant position 6	30...35 dB
	8. Porte spéciale simple, suivant la construction	30...45 dB
	9. Porte spéciale double, suivant position 8	40...60 dB
C Fenêtres	10. A vitrage simple (3...4 mm de verre)	22 dB
	11. A vitrage double (2 × 3...4 mm de verre)	26 dB
	12. A vitrage double (5 et 7 mm de verre), avec battues étanches	32 dB

Tableaux II: Divers exemples typiques de l'isolation contre les bruits transmis par l'air

8. Quelques exemples typiques de la lutte contre le bruit

Pour illustrer les explications susmentionnées, nous décrivons ci-après quatre mesures de lutte contre le bruit exécutées pratiquement.

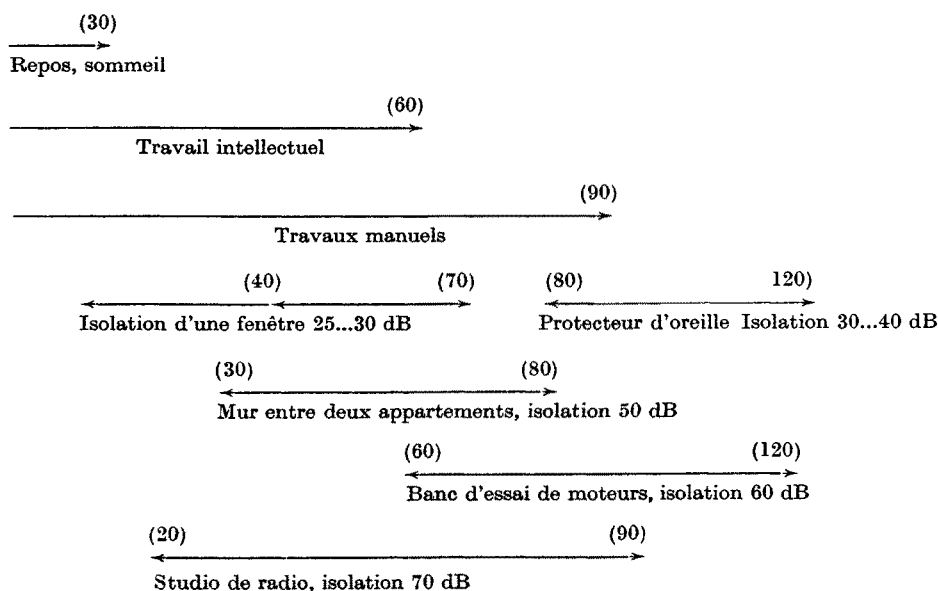
Affaiblissement d'un bruit d'échappement

Sur la partie extérieure d'un grand mur de fabrique se trouvent les ouvertures tubulaires de l'entrée et de la sortie d'air de l'installation d'air comprimé de deux grandes machines à souder par points. Le bruit « d'aspiration et d'explosion » de cette installation troublait grandement le travail dans les locaux d'un bâtiment administratif voisin.

L'application de pots d'échappement ordinaires d'automobile aux extrémités tubulaires de l'installation d'air comprimé a diminué cette perturbation d'au moins 20 dB, sans que le fonctionnement des machines à souder par points en soit le moins du monde influencé désavantageusement.

0	20	40	60	80	100	120
Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Insupportable	Niveau sonore (dB)
Tic-tac d'une montre Bruit de la respiration	Parc tranquille Chambre à coucher	Voix faible Rue tranquille	Automobile Dialogue Radio Musique (piano, violon) Bruit d'habitation	Trafic routier Bruit de chantier Travaux métallurgiques Musique (orchestre)	Moteur d'avion Chaudronnerie Filature Marteau-pilon	

Tableau III: Tableau synoptique de niveaux et isolations sonores typiques



Diminution du bruit occasionné par une machine bruyante

Une machine à perforer les bulletins de fermeture des sacs postaux provoque dans un local un bruit de fond régulier de 83 dB, auquel se superposent des impulsions acoustiques de brève durée. Malgré son niveau acoustique modérément élevé, cette perturbation a une influence désagréable, du fait

qu'il faut compter dans le même local des estampilles-valeurs avec la plus grande sûreté, ce qui est rendu très difficile par les impulsions sonores désagréables.

La machine décrite étant déjà bien isolée contre les bruits d'impact, il s'agit avant tout d'une perturbation due aux sons aériens qui pourrait être détournée du reste du local par des parois en bois mobiles. Ces parois diminueraient le bruit de la machine dans le reste du local d'au moins 20 dB, ce qui serait tout à fait suffisant.

Isolation contre les bruits d'impact d'un jeu de quilles

Les jeux de quilles donnent naissance à des bruits d'impact particulièrement forts qui se font sentir de façon tout à fait désagréable dans les bâtiments locatifs annexes.

Dans un cas pratique, on a observé de forts bruits, bien que l'architecte ait ordonné l'isolation nécessaire contre les bruits d'impact.

Il s'est révélé que l'effet de l'isolation contre les bruits d'impact a été supprimée par des ponts acoustiques massifs. La dalle de béton sur laquelle on jouait aux quilles présentait (en particulier sur les bords) divers contacts non isolés avec la construction principale du bâtiment. En outre, de nombreuses constructions en bois (parois de séparation entre les pistes, réception et renvoi des boules et parois d'amortissement des boules à l'extrémité des pistes) étaient, d'une part, amarrées sur la dalle en béton, et, d'autre part, appuyées directement, sans isolation, sur les parois de la construction principale du bâtiment.

La suppression de ces ponts acoustiques a permis de réduire les bruits de plus de 40 dB.

Diminution des bruits dus aux machines de bureau dans une chancellerie

Une trentaine de machines à écrire des modèles les plus divers et une machine comptable spécialement bruyante étaient installées dans une chancellerie très spacieuse. Le niveau de bruit général dérangeait réellement les personnes travaillant dans ce local.

Une paroi de séparation légère en bois permit de créer un petit bureau dans lequel trouvèrent place les machines les plus bruyantes. Le plafond (des deux locaux) fut recouvert de panneaux acoustiques à coefficient moyen d'absorption des sons élevé. Pour que l'effet d'absorption des sons fût encore augmenté, les panneaux acoustiques ne furent pas directement collés au plafond, mais fixés sur un lattis de telle sorte qu'un espace de 4 cm fût ménagé entre les panneaux et le plafond. A cet effet, on a utilisé des panneaux acoustiques perforés de façon tout à fait irrégulière, car l'expérience prouve que la perforation régulière des panneaux produit un brouillage. Les panneaux acoustiques diminuant plus fortement les impulsions de bruit que les bruits continus

réguliers, les mesures décrites ont apporté une nette amélioration des conditions acoustiques.

9. Réverbération et temps de réverbération

Chacun remarque immédiatement la grande différence d'acoustique qui existe entre une salle de bains et un salon. Les sons se réfléchissent particulièrement bien contre les parois dures d'une salle de bains, de sorte que le temps pour absorber cette énergie est long. Dans un salon recouvert de tapis, aux fenêtres garnies de lourds rideaux, et pourvu de meubles rembourrés, une grande partie des sons sont absorbés; ce local a un temps de réverbération court.

L'expérience nous a enseigné la valeur du temps de réverbération la plus favorable pour chaque emploi et pour chaque local. Une des tâches les plus importantes de l'acoustique consiste à réaliser le temps de réverbération le plus favorable. Il existe actuellement un grand nombre de panneaux acoustiques excellents qui absorbent les sons et diminuent ainsi le temps de réverbération.

La diminution du temps de réverbération provoque, premièrement, une baisse du niveau général du bruit dans le local d'environ 3 à 8 dB et, secondement, une meilleure intelligibilité de la parole (cette dernière uniquement dans les locaux pas trop grands).

Les panneaux acoustiques sont de plus en plus utilisés dans les salles de machines, les halls de guichets, les bureaux, les salles de conférences, les restaurants, les corridors, etc. Pour des motifs pratiques, ils sont de préférence appliqués aux plafonds. Il est possible de faire des montages intéressants qui permettent de combiner avec des éléments simples les nécessités de l'acoustique aux exigences du chauffage par rayonnement, de l'isolation thermique, de la ventilation et du conditionnement des locaux, ainsi que de l'éclairage.

Mais la pose de panneaux acoustiques peut aussi être exagérée et il est recommandé de s'adresser à ce sujet à un spécialiste; car il faut veiller, entre autres choses, à ce que tous les sons soient absorbés de façon uniforme.

Pour illustrer pratiquement le conditionnement acoustique des locaux, la figure 13 reproduit les courbes de réverbération de deux grandes salles de gymnastique de dimensions à peu près égales. La courbe A a été mesurée pour une salle de gymnastique qui n'a pas été traitée du point de vue acoustique, tandis que la courbe B a été obtenue dans une salle dont l'acoustique a été conditionnée. Dans le premier cas, on se rend immédiatement compte des temps de réverbération très longs (valeur moyenne: 5,2 secondes) qui provoquent une très mauvaise intelligibilité de la parole et un niveau de bruit inutilement élevé, alors que dans le second cas les temps de réverbération sont nettement plus courts (valeur moyenne: 2,2 secondes), ce qui donne des caractéristiques acoustiques généralement plus favorables et plus agréables.

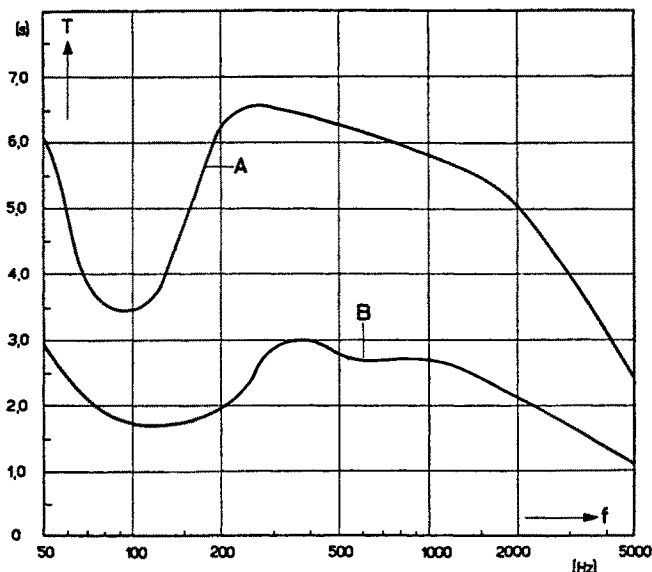


Fig. 13: Temps de réverbération de 2 salles de gymnastique
T: Temps de réverbération en secondes, F: Fréquence en Hertz, A: Salle de gymnastique sans traitement acoustique, B: Salle de gymnastique avec traitement acoustique

10. Conclusions

Par ces explications, on a essayé de donner un bref aperçu des divers problèmes du bruit et de la lutte contre le bruit, en approfondissant davantage les notions les plus importantes. Avec l'aimable autorisation de M. le professeur Furrer, auteur de l'ouvrage «Raum- und Bauakustik für Architekten» [6], nous avons pu tirer de ce livre de nombreux exemples de chiffres pratiques et d'illustrations. Nous renvoyons les lecteurs qui désirent étudier plus à fond ce domaine aux ouvrages mentionnés sous chiffres [7] et [8].

Pour terminer, nous nous permettons de relever qu'il est important d'éveiller le plus possible d'intérêt aux questions qui ont trait au bruit et à la lutte contre le bruit. C'est pourquoi nous devons saluer chaleureusement tous les efforts qui tendent à lutter raisonnablement contre le bruit, car il s'agit ici d'efforts dont chacun de nous bénéficie.

Résumé

On emploie souvent, en parlant de questions d'acoustique, des expressions inexactes, ce qui peut provoquer des malentendus.

C'est pourquoi l'auteur traite premièrement des grandeurs physiques les plus importantes du son et de quelques expressions caractérisant la sensation sonore subjective. Il aborde ensuite les problèmes spécifiques de la lutte contre le bruit.

La lutte efficace contre le bruit est souvent un problème d'organisation et il importe d'en tenir compte déjà dans la première planification.

Il faut d'abord combattre le bruit à sa source même. Les constructeurs doivent accorder une attention beaucoup plus grande au bruit que font les machines et les autorités doivent agir de manière encore plus énergique à l'égard des machines inutilement bruyantes. La propagation du son est expliquée à l'aide d'un cas typique et des indications rudimentaires sont données sur la technique de l'insonorisation. L'article se termine par un bref exposé des moyens que l'acoustique des locaux nous fournit pour lutter contre le bruit.

Le tout est complété par des exemples pratiques et des notes bibliographiques.

Zusammenfassung

Häufig wird über akustische Fragen mit ungenauen Ausdrücken gesprochen, was leicht zu Mißverständnissen führt.

Es werden daher zunächst die wichtigsten physikalischen Größen des Schalles und einige Ausdrücke, die die subjektive Schallempfindung charakterisieren, besprochen. Anschließend werden die spezifischen Probleme der Lärmbekämpfung behandelt.

Wirksame Lärmbekämpfung ist oft auch ein organisatorisches Problem und muß daher schon bei der ersten Planung berücksichtigt werden.

Primär soll der Lärm bei seiner Entstehung an der Quelle bekämpft werden. Die Konstrukteure müssen der Geräuschentwicklung der Maschinen viel größere Beachtung schenken, und die Behörden sollten noch energischer gegen unnötig laute Maschinen vorgehen. Die Schallausbreitung wird an Hand eines typischen Falles kurz besprochen, und über die Technik der Schallisolation werden einige rudimentäre Angaben gemacht. Schließlich wird kurz von den Mitteln gesprochen, die uns die Raumakustik zur Bekämpfung des Lärms zur Verfügung stellt.

Die Ausführungen werden durch praktische Beispiele und Literaturhinweise ergänzt.

Bibliographie

- [1] Ruedi, L., und W. Furrer. Das akustische Trauma. Basel 1947.
- [2] Koch. Betriebslärm – seine Folgen und seine Bekämpfung. Soest i. Westf. 1958.
- [3] Stevens, S. S. Calculation of the Loudness of Complex Noise. Journal of the Acoustical Society of America 28 (1956), 807.
- [4] Quietzsch, G. Objektive und subjektive Lautstärkemessungen. Acoustica 5 (1955), 49.
- [5] Lauber, A. Lärmbekämpfung bei Kegelbahnen. Schweiz. Bauzeitung, 1958, Nr. 9, S. 125.
- [6] Furrer, W. Raum- und Bauakustik für Architekten. Basel 1956.
- [7] Harris, Cyril M. Handbook of Noise Control, New York 1957.
- [8] Zeller, W. Technische Lärmbabwehr. Stuttgart 1950.

Röntgeninstitut des Inselspitals und der Universität Bern
Direktor Professor A. Zuppinger

Die Strahlenbelastung durch medizinisch-diagnostische Maßnahmen

Prof. A. Zuppinger

Im November 1957 erfolgte in der Schweiz eine Erhebung über die medizinische Strahlenbelastung. [1,2] Jeder fünfte Arzt und Zahnarzt, der einen Röntgenapparat besitzt, wurde ersucht, während 4 Wochen einen Fragebogen auszufüllen, in welchem sämtliche diagnostischen Leistungen sowohl in bezug auf Anzahl wie auch in bezug auf die Art einzuzeichnen waren. Einen gleichen