



L'IMPACT DU REVÊTEMENT DE SOL SUR LE CONFORT ACOUSTIQUE

KP Acoustics

LIVRE BLANC

modulyss®

LIVRE BLANC

TABLE DES MATIÈRES

LES AUTEURS	3
L'IMPORTANCE DE L'ACOUSTIQUE	4
LE CONFORT ACOUSTIQUE	4
L'ACOUSTIQUE DES ESPACES INTÉRIEURS	5
LE REVÊTEMENT DE SOL ET L'ACOUSTIQUE	9
UNE CONCEPTION ADAPTÉE À CHAQUE ESPACE	12
INNOVATIONS ET TENDANCES D'AVENIR EN MATIÈRE DE REVÊTEMENTS DE SOL ACOUSTIQUES	16
LE DESIGN BIOPHILIQUE ET LE REVÊTEMENT DE SOL	17
LA DURABILITÉ ET LE REVÊTEMENT DE SOL ACOUSTIQUE	18
RECOMMANDATIONS PRATIQUES ET ÉTUDES DE CAS	20
CONCLUSION	23
RÉFÉRENCES	24

LES AUTEURS

CHRIS BARLOW



Chris Barlow dirige le département Recherche et innovation chez KP Acoustics Research Labs au Royaume-Uni. Il est titulaire d'une maîtrise et d'un doctorat de l'Université de York, et travaille dans l'audio et l'acoustique depuis plus de 25 ans, tant dans le secteur académique qu'industriel. Alors professeur d'acoustique à l'Université Southampton Solent, Chris est revenu dans le secteur industriel en 2021 pour diriger le département R&D du groupe KP Acoustics où il poursuit son engagement actif en faveur de la recherche et de la formation en acoustique.

Il se spécialise dans le croisement entre reproduction des sons et acoustique et est particulièrement fasciné par la réaction des personnes aux sons et la manière dont les bruits nous affectent consciemment et inconsciemment dans les environnements intérieurs et extérieurs. Chris est actuellement membre du Council of the Institute of Acoustics et préside l'IOA Education committee. Il a reçu une récompense pour service distingué à l'Institute of Acoustics en mai 2023 et est devenu membre de l'Institute of Acoustics en mai 2024.

JUAN BATTANER-MORO

Juan Battaner-Moro est le directeur de l'échange de connaissances chez KP Acoustics Research Labs. Il est titulaire d'une licence en physique et d'une maîtrise de sciences en contrôle des bruits et vibrations. Il est membre effectif de l'Institut (MIOA). Il possède plus de 25 ans d'expérience en consultance acoustique, recherche et formation technique.



STEVEN LESLIE



Steven Leslie est responsable consultance chez KP Acoustics. Il a étudié la technologie audio à l'Université de Salford avant de travailler dans le secteur de l'acoustique. Ses plus de 17 ans d'expérience en consultance acoustique l'ont amené à travailler sur un large éventail de projets de constructions neuves et de rénovations portant sur des logements, espaces commerciaux, bureaux, établissements de soins de santé, établissements scolaires, infrastructures et complexes mixtes. Il a collaboré aussi bien avec des équipes réduites pour des projets de petite taille qu'avec des équipes multidisciplinaires pour des projets d'envergure.

L'IMPORTANCE DE L'ACOUSTIQUE

L'ouïe est le seul de nos sens à être actif en permanence et totalement conscient de l'espace. Notre corps réagit instinctivement au bruit. Des niveaux sonores relativement faibles suffisent à provoquer une réaction de stress — la réaction de fuite-combat qui libère des hormones du stress dans notre flux sanguin et déclenche une série d'effets physiologiques dont l'accélération du rythme cardiaque, l'élévation de la tension artérielle et le ralentissement de la digestion.

Il est prouvé que les effets du stress induit par le bruit persistent quelque temps après l'exposition au bruit. Ce pic de stress a des effets à long terme sur la santé, notamment sur le système cardiovasculaire. On estime ainsi que l'exposition au bruit est liée à 48 000 nouveaux cas de maladies cardiaques chaque année en Europe [1].

Un adulte passe en moyenne 90 % de sa vie à l'intérieur, que ce soit au travail, pendant ses loisirs ou chez lui. Nous y sommes exposés à une vaste gamme de bruits générés par les éléments techniques du bâtiment, nous-mêmes ou les autres occupants de l'immeuble. L'environnement acoustique intérieur affecte notre capacité à communiquer, à nous concentrer, à apprendre, à socialiser ou à dormir. Cela signifie que l'acoustique du bâtiment influence largement notre qualité de vie, de notre productivité au travail à notre capacité à nous reposer et à nous détendre à la maison.

LE CONFORT ACOUSTIQUE

Le concept de qualité de l'environnement intérieur (QEI) s'intéresse aux aspects de la conception, de l'analyse et de l'exploitation de bâtiments sains et confortables [2]. Il tient compte d'une grande série de critères psychologiques, sociaux, comportementaux et contextuels pour définir ce qui contribue à un environnement « confortable » [3]. Les caractéristiques principales de la QEI sont le confort thermique, le confort visuel, la qualité de l'air ambiant et le confort acoustique.

On peut définir le confort acoustique comme « l'état de bien-être et de satisfaction perçu engendré par les conditions acoustiques d'un environnement » [4]. La conception d'un bâtiment influence significativement le confort acoustique. Une mauvaise acoustique aura des répercussions sur le niveau de stress, la faculté d'apprentissage et la productivité, le confort physique et l'intimité [5].

Une bonne conception acoustique, en revanche, sera profitable pour les occupants du bâtiment. Des études ont révélé que les écoles dont l'acoustique avait été optimisée présentaient des niveaux de bruit réduits et enregistraient une amélioration de la capacité d'apprentissage et du comportement des élèves. Un logement mieux isolé contre les bruits de choc peut voir sa valeur augmenter [6].

L'ACOUSTIQUE DES ESPACES INTÉRIEURS

Lorsque nous pensons au bruit, nous pensons généralement aux bruits aériens, c'est-à-dire aux ondes sonores qui se déplacent dans l'air. Toutefois, si une source sonore est en contact physique avec la structure du bâtiment (p. ex. un téléviseur fixé au mur ou les vibrations occasionnées par les pas sur le sol), l'onde sonore est transmise directement par la structure. Ce bruit de structure est ensuite répercuté à d'autres endroits du bâtiment sous forme de bruit aérien [7].

Lorsqu'une onde sonore aérienne heurte une surface (p. ex. un mur, le plafond, le sol), une partie de son énergie est absorbée par le matériau (absorption acoustique) à la suite des frictions qu'elle subit, une partie est transmise par la structure et l'énergie résiduelle est réfléchie dans la pièce (illustration 1).

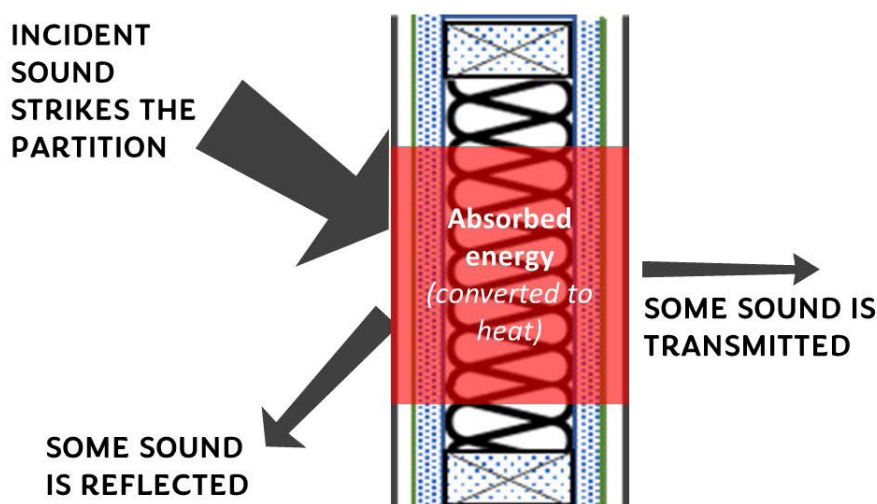


Illustration 1 — réflexion, absorption et transmission acoustique

Dans une pièce, le son direct emprunte le chemin le plus court (le plus direct) pour atteindre l'auditeur (illustration 2), mais, comme le son se déplace dans toutes les directions à partir d'une source donnée, une partie de l'onde sonore sera réfléchie une ou deux fois par les surfaces à proximité avant d'atteindre l'auditeur. L'auditeur utilise ces « réflexions précoces » pour identifier la taille de la pièce et sa position relative dans celle-ci. C'est un genre d'écholocalisation.

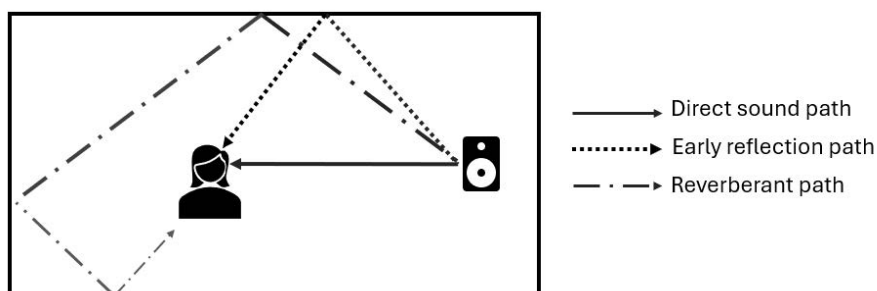


Illustration 2 — les trajectoires des sons dans un espace clos

Comme le nombre de trajectoires possibles entre la source sonore et l'auditeur est infini, l'onde sonore continuera à se réfléchir sans relâche jusqu'à dissipation de la totalité de son énergie. Ce processus de réflexion acoustique continue est appelé réverbération.

Le temps de réverbération (illustration 3) correspond au temps que met la puissance sonore dans un espace à retomber à un millionième de son amplitude initiale (soit une diminution de 60 décibels) après l'arrêt de la source sonore. C'est la raison pour laquelle on le représente souvent par RT60.

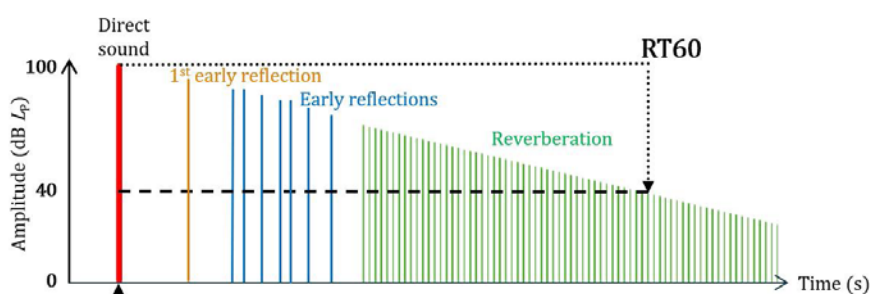


Illustration 3 — temps de réverbération

Si une pièce comporte de nombreuses surfaces absorbantes (un ameublement en matières souples, de la moquette et des rideaux), le temps de réverbération sera court, tandis que des matériaux moins absorbants comme des murs en brique ou des sols durs prolongeront le temps de réverbération.

Le coefficient d'absorption se définit par la proportion d'énergie d'un bruit incident qui arrive sur une surface sans être absorbée ni transmise, c'est-à-dire la quantité d'énergie non réfléchi dans la pièce. Sa valeur est comprise entre 0 (aucune absorption) et 1 (aucune réflexion/absorption acoustique parfaite).

$$\alpha = \left(\frac{I_a + I_t}{I_i} \right) \text{ where } I_i = \text{incident energy, } I_a = \text{absorbed energy \& } I_t = \text{transmitted energy}$$

L'absorption dépend fortement de la fréquence. Par exemple, pour les matériaux de construction courants, les coefficients d'absorption sont généralement donnés pour des fréquences espacées d'un tiers d'octave entre 100 Hz et 5000 Hz. Un coefficient d'absorption « pondéré » est une valeur unique généralement utilisée pour exprimer le niveau d'absorption d'un matériau.

Le coefficient de réduction du bruit (NRC pour noise reduction coefficient) est une autre valeur unique généralement utilisée aux États-Unis et au Canada qui correspond à la moyenne des coefficients d'absorption à 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz et 2000 Hz.

Une partie de l'énergie sera également transmise, c'est-à-dire qu'elle traversera la cloison.

Elle y parvient en faisant bouger la cloison et l'énergie de vibration se transmet à l'autre côté de la cloison, qui agit alors comme une source sonore en permettant à l'onde sonore de se propager dans l'air de l'espace adjacent [8].

Le coefficient de transmission détermine le rapport entre l'amplitude de l'onde transmise et celle de l'onde incidente.

$$\tau = \left(\frac{I_r}{I_i} \right) \text{ where } I_i = \text{incident energy, } I_t = \text{transmitted energy}$$

LE SON DANS LES ESPACES CLOS

Les plafonds apparents et les sols en béton, en pierre, en stratifié ou en vinyle caractérisent de nombreux bâtiments commerciaux modernes, particulièrement dans les espaces publics tels que les atriums, mais la tendance gagne d'autres pièces également.

La réverbération due à la faible absorption acoustique peut amplifier considérablement le niveau sonore de chaque bruit de cet espace, par exemple le bruit des appareils électroménagers, des téléviseurs, des discussions ou de toute autre activité [7]. Ce phénomène nuit au confort acoustique et accentue le risque de déranger les autres usagers du bâtiment par le bruit.

Une solution typique pour réduire le temps de réverbération est l'utilisation d'absorbeurs poreux qui laissent pénétrer l'onde sonore dans leurs petits pores ou ouvertures. L'énergie de l'onde sonore qui pénètre dans le matériau est convertie en chaleur par la friction et est absorbée. Parmi les absorbeurs poreux, on peut citer les tissus (comme les rideaux et les tapis), les mousses à cellules ouvertes, les fibres compressées ou compactées (p. ex. les fibres minérales et les fibres de verre, les fibres plastiques ou même la laine).

INTELLIGIBILITÉ ET INTIMITÉ

L'intelligibilité et la confidentialité des discussions sont deux aspects importants de l'acoustique d'une pièce, en particulier dans les bâtiments commerciaux. L'intelligibilité de la parole détermine la facilité d'audition et de compréhension du message vocal. Les classes, les salles de conférence, les établissements de soins de santé et les lieux émettant des annonces de sécurité critiques (p. ex. consignes en cas d'urgence) nécessitent de bons niveaux d'intelligibilité.

La confidentialité de la parole est l'inverse de l'intelligibilité : elle détermine la mesure dans laquelle le message vocal ne peut pas être compris. De nombreux bureaux, en particulier ceux où l'on échange des informations sensibles comme les banques, les assurances et les soins de santé, requièrent de pouvoir discuter à l'abri des oreilles indiscrettes. Par définition, une intelligibilité élevée dans un espace entraîne de faibles niveaux de confidentialité, et inversement.

L'indice de transmission de la parole (STI) est une mesure standard de l'intelligibilité. Cette mesure indirecte réalisée par une machine détermine la compréhensibilité de l'information contenue dans le message vocal et s'appuie sur un signal de test spécial reproduisant les caractéristiques de la parole. Les valeurs STI vont de 0 = totalement inintelligible à 1 = parfaitement intelligible (illustration 4).

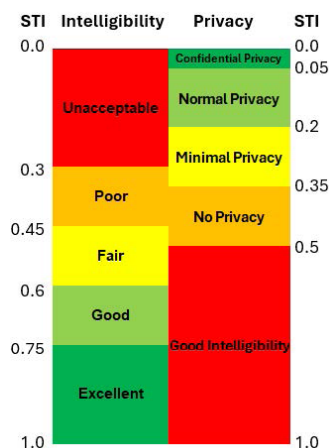


Illustration 4 — comparaison des valeurs STI pour l'intelligibilité et la confidentialité de la parole

Des niveaux élevés de bruit de fond masquent des éléments du message vocal et réduisent ainsi son intelligibilité. Il est donc possible d'optimiser l'intelligibilité en améliorant l'isolation phonique (réduire le bruit extérieur parasitant l'espace) et en atténuant le bruit généré dans l'espace (par exemple le bruit des équipements).

S'il peut être souhaitable de diminuer le bruit de fond dans certains cas, une meilleure intelligibilité des conversations avoisinantes peut être source de distraction et de gêne dans des environnements tels que des bureaux.

Un temps de réverbération allongé peut également réduire l'intelligibilité de la parole, car la réverbération brouille la clarté du message vocal. Accélérer l'absorption du son réfléchi en ajoutant des matériaux absorbants tels que des tapis, de l'ameublement en matières souples et des panneaux acoustiques a pour effet de réduire le temps de réverbération. L'effet amplificateur de la pièce est alors atténué, ce qui diminue le niveau de bruit général, tandis que l'intelligibilité de la parole et la clarté des autres sons comme la musique sont améliorées.

TRANSMISSION DU BRUIT

La transmission d'un espace à l'autre des bruits émis par différentes sources dépend de la conception et de la structure des murs et des sols. Ces éléments influencent à la fois l'isolation acoustique contre les bruits aériens (ceux qui se déplacent dans l'air avant de se heurter à une cloison) et le niveau d'isolation contre les bruits transmis par les structures (ou bruits de choc).

L'isolation contre les bruits aériens consiste à limiter le niveau de pression acoustique des bruits aériens à travers l'élément de séparation et se mesure en comparant le niveau de pression acoustique moyen des deux côtés de l'élément de séparation à une gamme de fréquences donnée.

Si un élément de séparation vibre lorsqu'une onde sonore heurte un de ses côtés, elle agit comme une source sonore de l'autre côté et le son est transmis à travers la cloison. Les structures plus lourdes ne bougent pas aussi facilement. Par conséquent, les matériaux plus denses et les structures plus grandes isoleront mieux.

Chaque doublement de la masse réduit le son de 6 dB. En d'autres termes, ajouter de la masse à une structure légère aura un impact significatif, mais le stade où cette solution n'est plus économique arrive rapidement en raison des contraintes physiques et du coût des matériaux.

La mesure standard de l'isolation contre les bruits aériens est l'indice d'affaiblissement acoustique (R), exprimé en décibels, ou indice de perte de transmission (TL). Comme pour l'absorption acoustique, la transmission dépend fortement de la fréquence, et ces valeurs se mesurent par bandes de fréquence individuelles pour indiquer la performance d'une structure à différentes fréquences.

Il existe plusieurs méthodes de classification de l'isolation contre les bruits aériens, les principales étant l'indice de transmission du son (ITS) essentiellement utilisé aux États-Unis et au Canada et l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré (Rw) en usage partout dans le monde. Ces deux indices sont des valeurs SNR (single number rating) qui indiquent la performance d'isolation phonique par une seule valeur en décibels.

Ils ne sont pas directement comparables, car ils utilisent des gammes de fréquences légèrement différentes pour la mesure. La valeur d'ITS sera généralement 3-4 dB supérieure à l'indice R_w équivalent pour une même structure. L'ITS et le R_w proviennent en outre de mesures de laboratoire idéalisées. Ces valeurs seront rarement atteintes en situation réelle, et de nombreux codes de construction mentionnent les valeurs sur le terrain ou in situ plutôt que les mesures obtenues en laboratoire.

Il faut également noter que, comme l'isolation phonique dépend fortement de la fréquence, ces valeurs SNR ne donnent pas une idée complète du niveau d'isolation phonique à des fréquences particulières.

La transmission sonore directe est en outre accompagnée d'une transmission « latérale ». Dans ce cas, l'onde sonore traverse les structures isolantes, par exemple les interstices autour des portes, ou emprunte les conduits de ventilation ou les gaines électriques.

LE REVÊTEMENT DE SOL ET L'ACOUSTIQUE

TRANSMISSION STRUCTURELLE

Les sols influencent l'acoustique d'un bâtiment de différentes manières, la principale étant probablement leur relation avec la transmission structurelle du bruit. Dans un espace très fréquenté comme un immeuble à appartements, des bureaux, une école ou un hôpital, les bruits de choc sur le sol sont variés : bruits de pas, déplacement d'équipements tels que des chariots, vibrations de machines ou chutes d'objets.

Les vibrations occasionnées par ces chocs se propagent dans la structure via des raccordements rigides — par exemple sol-solive-plafond — et sont répercutées sous forme de bruits dans les espaces situés en dessous (illustration 5). Les bruits de choc sont à la fois transmis directement dans la pièce et indirectement via la structure.

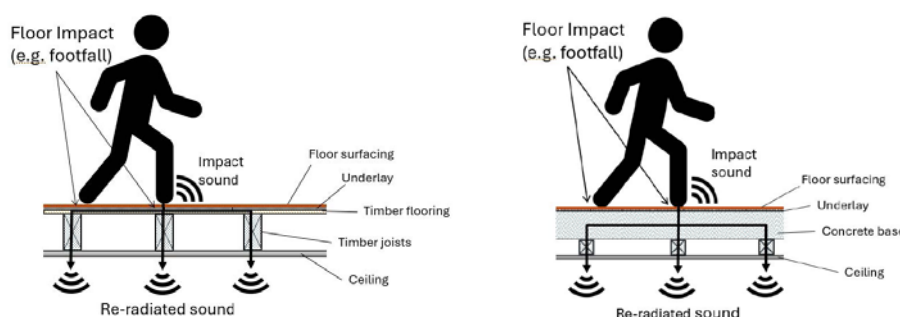


Illustration 5 — voies de transmission des bruits de choc à travers des structures de sol courantes (plancher à gauche et béton à droite)

En plus de leur valeur R_w ou ITS pour l'isolation contre les bruits aériens, les sols sont également notés selon la part de bruits de choc réémis dans les espaces inférieurs au moyen du niveau de pression acoustique pondéré du bruit de choc normalisé ($L_{n,w}$) ou, aux États-Unis et au Canada, l'indice d'isolement aux bruits d'impact IIC.

Pour réduire les bruits d'impact, la structure doit atténuer le choc et réduire la transmission des vibrations qui la secouent. Les matériaux résilients — c'est-à-dire des matériaux qui ne sont pas totalement rigides et se compressent dans une certaine mesure avant de revenir à l'état initial — jouent un rôle central dans la réduction de la transmission structurelle des bruits.

La moquette ou les revêtements de sol en vinyle, plus souples, réduisent les chocs sur une surface en se compressant légèrement et atténuant ainsi l'impact initial. Cela limite la quantité de vibrations sur la surface proprement dite et donc les bruits de choc et les bruits transmis par la structure. Ces revêtements réduisent généralement les bruits de choc d'au moins 10 dB.

Les sous-couches résilientes bien conçues placées sous une surface de sol rigide réduiront considérablement la transmission sonore dans les principaux éléments structurels (poutres et solives ou blocs de béton). L'ajout d'une sous-couche acoustique à un plancher permet ainsi de réduire la transmission structurelle des bruits d'environ 15 dB.

Une sous-couche plus épaisse et plus dense réduira davantage encore les bruits de choc et la transmission sonore à travers un sol en moquette, tandis qu'un sous-plancher posé sur une barrière acoustique ou des supports résilients peut atténuer les bruits de choc de n'importe quel type de sol. Pour augmenter encore le confort acoustique, il est possible de fixer des dalles de plafond sur des supports résilients (illustration 6).

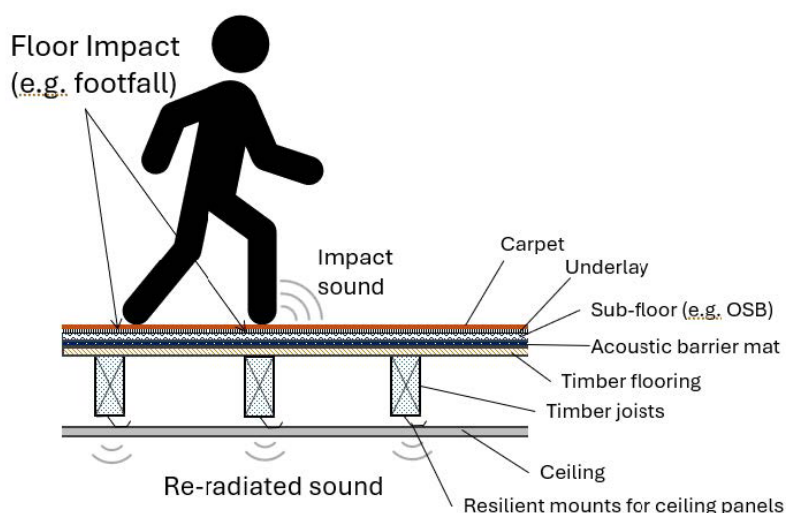


Illustration 6 — réduction de la transmission des bruits de choc par des couches résilientes

ABSORPTION ET RÉVERBÉRATION

Les sols durs comme le stratifié ou le bois, le vinyle rigide, la pierre ou le béton présentent tous des coefficients d'absorption très faibles (illustration 7) et donc des temps de réverbération élevés, ce qui accentue le bruit et diminue l'intelligibilité.

L'absorption par des matériaux poreux est directement liée à l'épaisseur de ceux-ci et dépend fortement de la fréquence. L'absorption est plus efficace lorsque l'épaisseur du matériau correspond à au moins un quart de la longueur d'onde de l'onde sonore et chute drastiquement à des fréquences plus basses où les longueurs d'onde sont plus importantes.



Illustration 7 — atrium avec un sol dur
« The Atrium » par itmpa (photo sous licence CC BY-SA 2.0.)

À la fréquence la plus basse de la voix (environ 125 Hz), un quart de longueur d'onde mesure environ 69 cm. Par conséquent, même une moquette relativement épaisse n'offrira qu'une faible absorption à ces fréquences (illustration 8). Dans une plage de fréquences moyenne, en revanche, la moquette peut constituer un absorbeur relativement efficacement : le coefficient de réduction du bruit d'une moquette à poil coupé de 1 cm posée sur du béton sera de 0,4 à 1000 Hz (c.-à-d. 40 % de l'énergie incidente sera absorbée en moyenne) et celui d'une moquette de 4 mm avec un support en mousse sera de 0,25 [9].

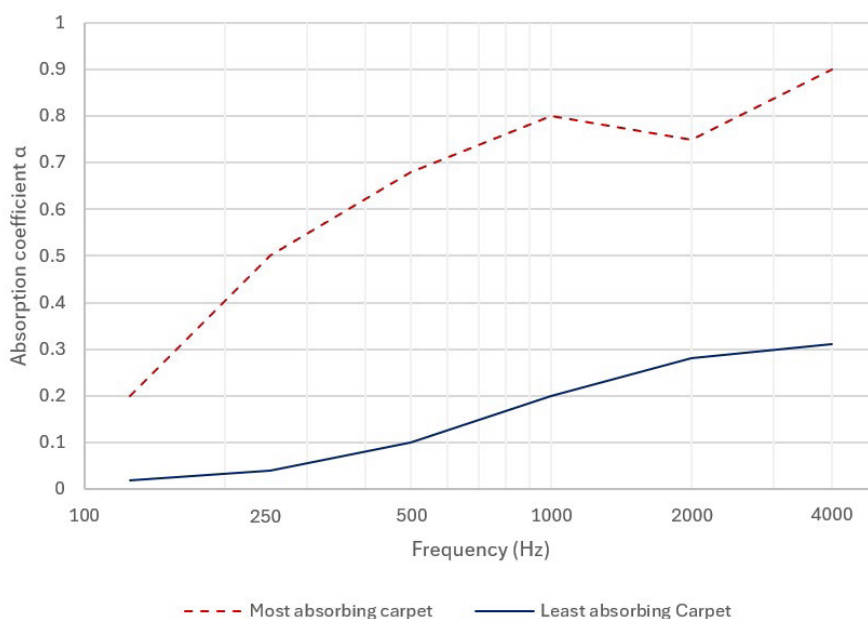


Illustration 8 — coefficients d'absorption de différentes moquettes. Extrait de [10]

Alors que l'essentiel du traitement acoustique concerne le plafond ou la pose de panneaux muraux, le sol, en raison de sa grande surface, peut aussi contribuer largement à l'absorption du bruit dans une pièce. Étant donné que l'épaisseur et la densité des absorbeurs conditionnent la performance, les moquettes épaisses à poil long associées à une sous-couche lourde seront plus efficaces que les fines moquettes sans sous-couche. Un espace entièrement revêtu de moquette peut réduire le niveau de pression acoustique réverbéré d'une pièce d'environ 3 dB par rapport à un sol dur.

UNE CONCEPTION ADAPTÉE À CHAQUE ESPACE

BUREAUX

Le bureau paysager constitue un défi particulier. Si travailler dans un espace ouvert comporte des avantages pour l'occupant (p. ex. partage de connaissances et facilité d'interaction), cela crée également de nombreuses difficultés acoustiques qui peuvent nuire à l'usage de l'espace.



Illustration 9 — bureaux de Bayer — The Wings

Les usagers se plaignent généralement du dérangement occasionné par les autres occupants de l'espace et du manque d'intimité. Les conversations, les bruits de pas, le bruit des appareils électroniques (téléphones, ordinateurs, imprimantes et équipements plus spécialisés) compromettent les avantages de l'espace.

Si plusieurs personnes doivent parler dans une pièce, l'effet Lombard devient problématique. Les personnes haussent la voix pour être entendues, surpassant ainsi les autres discussions en cours dans la pièce. À leur tour, les autres personnes se mettent à parler plus fort et le niveau sonore de la pièce augmente continuellement. Une solution simple pour contrôler ce phénomène consiste à réduire l'effet amplificateur des réflexions dans la pièce au moyen d'absorbeurs et à limiter le bruit direct qui se propage entre les personnes en utilisant des séparateurs de pièce. La combinaison d'un sol revêtu de moquette et d'absorbeurs fixés au mur ou au plafond comme des dalles de plafond acoustiques réduira les réflexions occasionnées par le sol et le plafond (illustration 10).

Alors que l'essentiel du traitement acoustique concerne le plafond ou la pose de panneaux muraux, le sol, en raison de sa grande surface, peut aussi contribuer largement à l'absorption du bruit dans une pièce. Étant donné que l'épaisseur et la densité des absorbeurs conditionnent la performance, les moquettes épaisses à poil long associées à une sous-couche lourde seront plus efficaces que les fines moquettes sans sous-couche. Un espace entièrement revêtu de moquette peut réduire le niveau de pression acoustique réverbéré d'une pièce d'environ 3 dB par rapport à un sol dur.

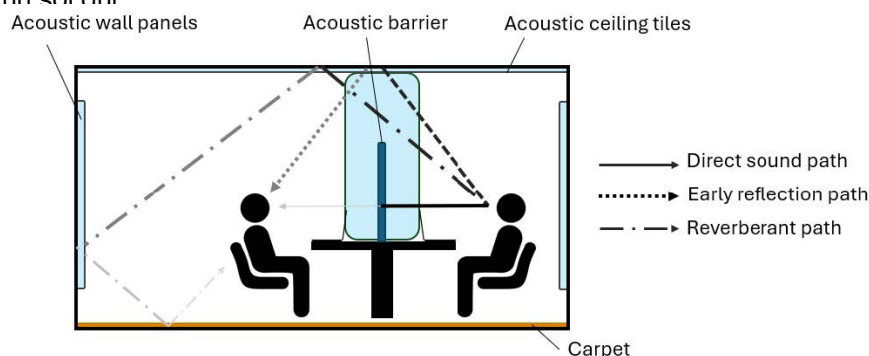


Illustration 10 — réduction des niveaux sonores de la parole par des absorbeurs et des barrières acoustiques

HÔTELLERIE

Dans le secteur hôtelier, les tendances actuelles en matière de design architectural donnent la part belle au style industriel avec les plafonds et les équipements techniques apparents. Ces configurations vont de pair avec des niveaux de réverbération élevés (illustration 11). Les conversations, la musique et les bruits de cuisine sont tous amplifiés dans un environnement propice à la réverbération, ce qui diminue la capacité à y discuter. La perception et le goût des aliments peuvent même être perturbés par la présence et le niveau du bruit de fond [11]. Comme la réverbération excessive est généralement le principal problème, l'acoustique peut être optimisée ici aussi par l'utilisation de matériaux absorbants tels que la moquette, les rideaux et les panneaux acoustiques.



Illustration 11 — The Nightcar

SOINS DE SANTÉ

Les hôpitaux sont souvent bruyants. Les sources de bruit dans une enceinte hospitalière sont les alarmes, les bruits de pas, les voix, les poubelles et les fermetures de porte. Le bruit provient des installations et des machines, de la ventilation et des équipements spécialisés, ainsi que du trafic et des sirènes extérieurs. Les patients sont plus vulnérables au stress et aux nuisances que les personnes en bonne santé, et cet inconfort nuit à leur repos et allonge leur convalescence.

Les niveaux sonores sont particulièrement élevés aux soins intensifs, par exemple, où on enregistre en moyenne entre 60 et 67 dB(A) (illustration 11) [12]. Contrairement aux salles de réveil classiques, il y a relativement peu de variation sur la journée [12]. Des niveaux de pression acoustique supérieurs à 55 dBA la nuit sont considérés comme dangereux pour la santé des patients [13]. Les bruits de pas sont problématiques. Les sols durs accroissent le niveau des bruits de choc, la réverbération et la transmission sonore potentielle aux étages inférieurs.

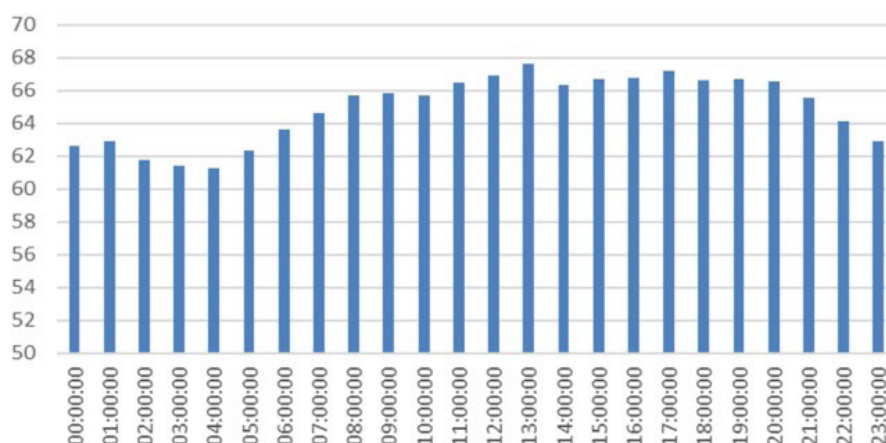


Illustration 11 — *L_{Aeq} moyen combiné par heure du jour dans une unité de soins intensifs de 18 lits (extrait de [12], reproduit avec l'autorisation de l'auteur).*

ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT

Une bonne intelligibilité de la parole est essentielle dans les établissements scolaires comme les écoles et universités. En classe, les étudiants passent entre 45 et 75 % de leur temps à écouter les enseignants ou leurs condisciples [14]. Une mauvaise intelligibilité nuit à la compréhension et a donc un impact significatif sur l'apprentissage. Une mauvaise acoustique en classe peut affecter chez les élèves la compréhension des cours, la mémoire à court terme, les fonctions cognitives de niveau supérieur et le développement du langage.

Le bruit de fond provient notamment de bruits externes (circulation, avions et activités dans la cour de récréation) ainsi que du bruit et des vibrations des équipements techniques du bâtiment (ventilation et chauffage) et des usagers du bâtiment, qu'ils se trouvent dans le local ou dans les classes voisines (illustration 12).

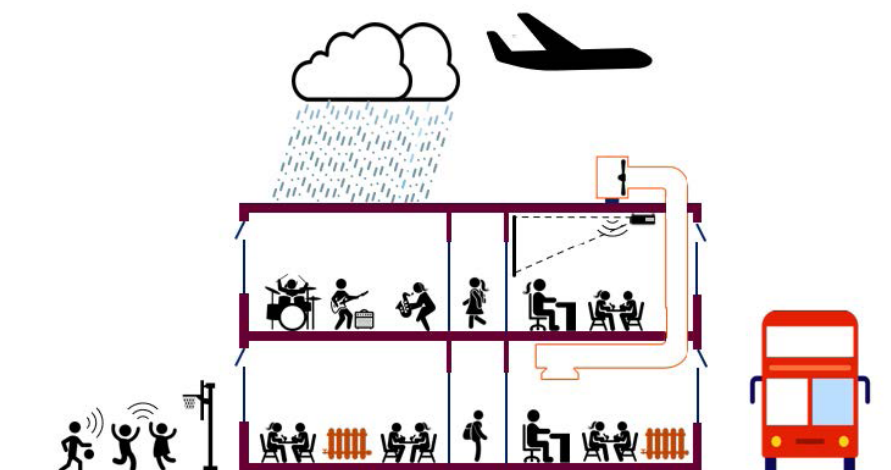


Illustration 12 — sources de bruit en milieu scolaire (extrait de [15])

Les cours interactifs engendreront inévitablement du bruit, c'est ce que l'on appelle le « bavardage ». Dans une classe avec une mauvaise acoustique, l'effet Lombard fera augmenter progressivement les niveaux sonores. Le résultat sera une communication difficile et un apprentissage particulièrement compliqué pour les étudiants souffrant d'un déficit auditif, tandis que les étudiants hypersensibles au bruit seront très perturbés et auront du mal à se concentrer.

L'utilisation de matériaux absorbants (moquettes, dalles de plafond et panneaux muraux, par exemple) peut raccourcir le temps de réverbération et donc réduire les niveaux de bruit et optimiser l'intelligibilité. Selon plusieurs études, une réduction du temps de réverbération de ~ 1 s à $\sim 0,5$ s peut améliorer significativement les résultats aux tests et la mémorisation d'informations [14].

Les vibrations résultant d'activités physiques peuvent se communiquer à l'étage inférieur et perturber les classes qui s'y trouvent, tandis que les bruits aériens peuvent traverser les murs, les plafonds et les sols. Les systèmes de revêtements de sol résilients tels que les sous-couches ou barrières acoustiques, la moquette et l'ajout de masse au sol limiteront la transmission des chocs sur le sol.

LOCAUX INDUSTRIELS ET ENTREPÔTS

Il est essentiel de limiter le bruit en milieu industriel, en particulier pour la sécurité du personnel, à la fois pour réduire les risques liés à une exposition à un bruit excessif et pour assurer l'audibilité et l'intelligibilité des systèmes de sécurité tels que les alarmes et les équipements de sonorisation.

Ces espaces ne permettant pas de recourir à des revêtements de sol spécifiques pour absorber le bruit, la principale solution aux problèmes acoustiques consiste à fixer des panneaux absorbants sur le toit et les murs (illustration 13).



Illustration 13 – Panneaux acoustiques en milieu industriel

INNOVATIONS ET TENDANCES D'AVENIR EN MATIÈRE DE REVÊTEMENTS DE SOL ACOUSTIQUES

Ces dernières années, les systèmes de revêtements de sol acoustiques ont bien progressé : la performance acoustique peut être considérablement améliorée avec des solutions plus légères ou moins chères, ou encore plus faciles à installer.

SOUS-COUCHE ET REVÊTEMENT ACOUSTIQUES

Un revêtement acoustique est une couche rigide, en OSB, contreplaqué ou aggloméré par exemple, fixée sur une couche de matériau résilient, généralement une mousse polymère. Il offre un résultat similaire à un faux-plancher, mais avec une plus grande facilité de pose et une épaisseur réduite et peut être facilement installé sur les sols existants. Si la couche rigide est plus épaisse (toute l'épaisseur du revêtement), certains de ces produits peuvent être posés directement sur les solives en bois pour former un nouveau sol qui sera plus bas (illustration 14 – à droite).



Illustration 14 – exemples de sous-couche acoustique – SoundLay® (à gauche) et de revêtement acoustique – SoundDeck Extra® (à droite).

Les sous-couches acoustiques fonctionnent de manière similaire, mais présentent généralement une structure multi-couche ou en sandwich, où une couche en mousse ou vinyle dense est adossée à une mousse acoustique plus compressible. La couche supérieure est suffisamment rigide pour recevoir directement les revêtements de sol, ce qui facilite la pose et limite l'épaisseur du sol par rapport à un faux-plancher complet ou à un revêtement acoustique. (illustration 14 - à gauche). Les nouveaux matériaux acoustiques des sous-couches sont encore plus efficaces en termes de réduction du bruit d'impact, assurent confort et durabilité et augmentent le coefficient d'absorption acoustique du revêtement de sol.

MOQUETTES ACOUSTIQUES

À l'instar des revêtements de sol spécialisés, certaines moquettes intègrent une sous-couche acoustique. Le support (illustration 15) est plus dense et plus épais que les supports de moquette traditionnels pour offrir une meilleure réduction des bruits de choc.

Ce type de revêtement peut aussi absorber les bruits efficacement et donc être utile pour limiter la réverbération et les bruits ambiants dans une pièce. La combinaison de fibres classiques et de mousses ou aérogels acoustiques pour améliorer l'absorption acoustique permet de se rapprocher de la performance d'absorption des panneaux muraux tout en conservant une faible épaisseur de produit.

La moquette acoustique est en outre plus rapide et moins chère à poser, puisqu'il ne faut installer qu'un seul revêtement. Sous forme de dalles acoustiques modulaires, elle peut être remplacée et réutilisée facilement et offre une solution économique à long terme sans perte d'intégrité acoustique.



Illustration 15 — moquette avec support acoustique — comfortBACK®.

LE DESIGN BIOPHILIQUE ET LE REVÊTEMENT DE SOL

« La biophilie est le besoin profond de connexion avec la nature » [16]. Le design biophilique vise à maintenir une vie saine en renforçant le lien avec la nature par l'utilisation de motifs et de structures inspirés du monde naturel [17]. Des recherches ont démontré qu'une exposition à des éléments naturels les plus modestes soient-ils pouvait avoir un effet bénéfique sur les personnes. Par conséquent, il y a un intérêt croissant pour le design biophilique afin d'améliorer la qualité de l'environnement intérieur.

Le revêtement de sol est souvent négligé dans le design biophilique (illustration 18), mais il est important de l'intégrer dans une approche plus large. Les surfaces de sol et les moquettes peuvent aider à créer une ambiance naturelle en choisissant judicieusement la couleur et les motifs de la moquette ou des matériaux naturels comme le bois massif pour les revêtements durs.



Illustration 18 — éléments biophiliques en design : des plantes, du bois massif, un espace ouvert et une moquette aux couleurs/motifs naturels. (Bureaux d'Insight — Sheffield City Centre)

La combinaison d'un revêtement de sol biophilique et d'autres éléments acoustiques tels qu'une sous-couche acoustique permet de concilier esthétique et confort acoustique et d'améliorer ainsi la qualité générale de l'environnement intérieur.

LA DURABILITÉ ET LE REVÊTEMENT DE SOL ACOUSTIQUE

Une grande partie des matériaux acoustiques couramment utilisés sont des ressources épuisables issues de l'extraction de minéraux ou des matériaux à forte teneur en carbone gris : produits à base de pétrole comme le plastique (PET, mousses de mélamine, etc.) et minéraux extraits de gisements ou de carrières comme le gypse ou le béton (utilisé pour ajouter de la masse aux panneaux de particules acoustiques). La composition des revêtements de sol acoustiques inclut généralement du néoprène ou du polyéthylène pour la résilience et du béton ou un panneau de particules pour la masse supplémentaire.

Les revêtements de sol peuvent aussi être composés de matériaux durables tout en fournissant d'excellentes propriétés isolantes et absorbantes. Les moquettes de qualité supérieure intègrent de la laine de mouton depuis des siècles, mais il est aussi possible d'utiliser de la laine recyclée ou d'autres qualités de laine. D'autres produits naturels tels que des tasseaux de bois, un tapis en liège et du caoutchouc utilisés en sous-couche peuvent assurer une bonne isolation contre les bruits de choc, tout en offrant de bonnes propriétés d'isolation thermique. Le liège et d'autres bois durables tels que le bambou peuvent également servir de revêtements de sol pour limiter les bruits de choc dans l'espace. En outre, leur aspect naturel fonctionne bien avec le style biophilique.

Le plastique recyclé peut être efficacement transformé en moquette ou sous-couche. Les matériaux biodégradables et recyclés deviendront plus courants et offriront une acoustique exceptionnelle pour un impact environnemental limité.

Les pneus recyclés constituent une solution particulièrement intéressante pour les revêtements de sol. Quelque 1,5 milliard de pneus usagés sont mis au rebut chaque année. La majorité finit en décharge avec tous les risques environnementaux que cela comporte. Or, ces pneus peuvent être facilement transformés en d'autres produits après broyage en granulés (particules), copeaux ou poudre (illustration 19) [18]. En plus de la quantité de matériaux bruts ainsi disponibles, cette solution présente un autre avantage : les coûts énergétiques de fabrication sont relativement faibles par rapport à de nombreux processus de recyclage.



*Illustration 19 — granulés de caoutchouc provenant de pneus de voiture recyclés
(Photo de Michal Ďurčina sous licence CC BY-SA 4.0.)*

Les tapis fabriqués à partir de granulés de caoutchouc compressés réduisent parfaitement les bruits de choc sur le sol [19], une propriété particulièrement utile dans les salles de musculation, les salles de sport et les infrastructures industrielles. Ils peuvent aussi assurer de bons niveaux d'absorption acoustique (illustration 19) [20].

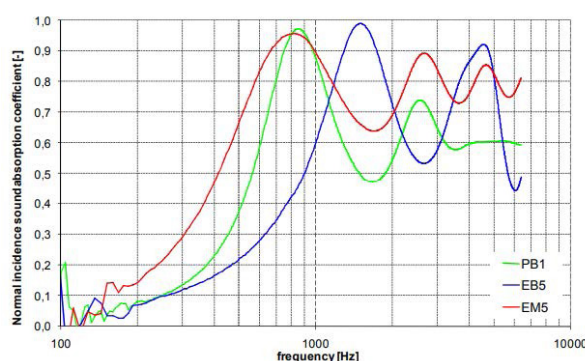


Illustration 20 — coefficient d'absorption acoustique de 3 matériaux en granulés de caoutchouc (48 mm, 38 mm et 62 mm d'épaisseur). Extrait de [20]:37

Les polymères naturels (bioplastiques) comprennent le vinyle biosourcé provenant d'huiles de végétaux et de bois et fournissent des plastiques plus durables que ceux issus de la pétrochimie. Ils peuvent être utilisés seuls pour des moquettes, des sous-couches et des mousses acoustiques, ou être mélangés à des matériaux issus de la pétrochimie classique pour réduire l'empreinte carbone des produits. Les bioplastiques peuvent aussi être fabriqués à partir d'huiles de cuisson usagées, d'huiles industrielles ou de déchets de plastique recyclés [21].

MÉTAMATÉRIAUX ACOUSTIQUES

Les métamatériaux acoustiques sont des matériaux composites développés pour présenter des propriétés ou des performances que l'on ne retrouve pas dans les matériaux conventionnels. Ils visent notamment à renforcer l'absorption acoustique ou l'isolation phonique en atteignant des performances que seule une structure massive atteint actuellement, tout en limitant les dimensions et les quantités de matériaux. Les métamatériaux peuvent présenter une structure interne complexe (cellulaire, par exemple) pour dissiper l'énergie plus efficacement ou des microstructures dynamiques capables de se modifier en présence de stimuli externes.

Malgré le nombre de recherches menées sur les métamatériaux acoustiques ces dix dernières années [22], il y a toujours assez peu de matériaux sur le marché et de littérature sur la durabilité des métamatériaux acoustiques pour les revêtements de sol. Cependant, le secteur se développe rapidement et on peut s'attendre à voir arriver sur le marché des métamatériaux destinés à réduire la transmission structurelle du bruit dans un avenir relativement proche.

Les métamatériaux offrent beaucoup de potentiel en termes d'absorption acoustique, car ils sont ultrafins. Intégrés dans des moquettes ou revêtements de sol, ils permettraient à ces produits d'être aussi performants que les absorbeurs traditionnels pour les murs ou les plafonds. Et en étant intégrés dans un produit qui sera installé quoi qu'il arrive, ils réduiront la facture globale et la complexité de la pose.

DES MOQUETTES INTELLIGENTES ET DES CAPTEURS EMBARQUÉS

Des capteurs ultrafins peuvent désormais être installés dans les matériaux des moquettes ou les sous-couches. Capable de détecter les pas et les impacts, ce système transforme le sol en tablette tactile pour déceler les chutes dans un environnement de soins de santé [24] ou gérer les systèmes d'éclairage. À l'avenir, des systèmes pourront surveiller les niveaux de bruit et de vibration et inclure des systèmes de masquage acoustique ou des commandes CVC pour contrôler dynamiquement le bruit en fonction des niveaux d'occupation d'un espace [25].

ÉTUDES DE CAS

PROBLÈMES DE VISIOCONFÉRENCE DANS UNE SALLE DE CONFÉRENCE/DE RÉUNION

Dans ce projet, la principale salle de conférence/réunion (illustration 21) d'un consultant en design présentait une réverbération excessive à cause des surfaces réfléchissantes, dont des parois vitrées et un parquet. Par conséquent, l'intelligibilité n'était pas bonne lors des téléconférences, et la confidentialité des discussions qui s'y tenaient n'était pas assurée, dérangeant même les bureaux voisins.

Comme la plupart des parois ne pouvaient pas être traitées sur le plan acoustique, la réverbération a été limitée au moyen d'absorbeurs installés au plafond et autour de l'écran afin de réduire les réflexions initiales et une moquette en lés munie d'un support acoustique a été posée pour améliorer davantage l'absorption acoustique.

Le temps de réverbération de la pièce est passé de 1,1 s à 0,5 s, ce qui a augmenté l'intelligibilité de la parole et réduit les niveaux de pression acoustique réverbérée.



Illustration 21 — salle de réunion.

BRUIT DE CHOC SUR LE SOL D'UNE SALLE DE SPORT

Il est très courant de convertir des espaces en salles de sport, que ce soit dans des immeubles résidentiels ou dans des espaces mixtes. Dans ce projet, un immeuble commercial a été transformé en immeuble résidentiel et salle de sport. Le site existant était un immeuble commercial avec le rez-de-chaussée composé d'appartements résidentiels, le premier étage à convertir en salle de sport et les deuxième et troisième étages à transformer en appartements résidentiels.

Il fallait éviter la transmission des bruits de choc entre le sol de la salle de sport et l'étage résidentiel situé en dessous. Un plancher flottant léger composé d'un sous-plancher rigide sur une sous-couche acoustique en caoutchouc recyclé a été posé, tandis que l'isolation a été optimisée avec des suspentes acoustiques fixées sur le plafond de l'étage inférieur et une couche de laine minérale sur une plaque de plâtre acoustique double couche pour réduire la transmission des bruits aériens.

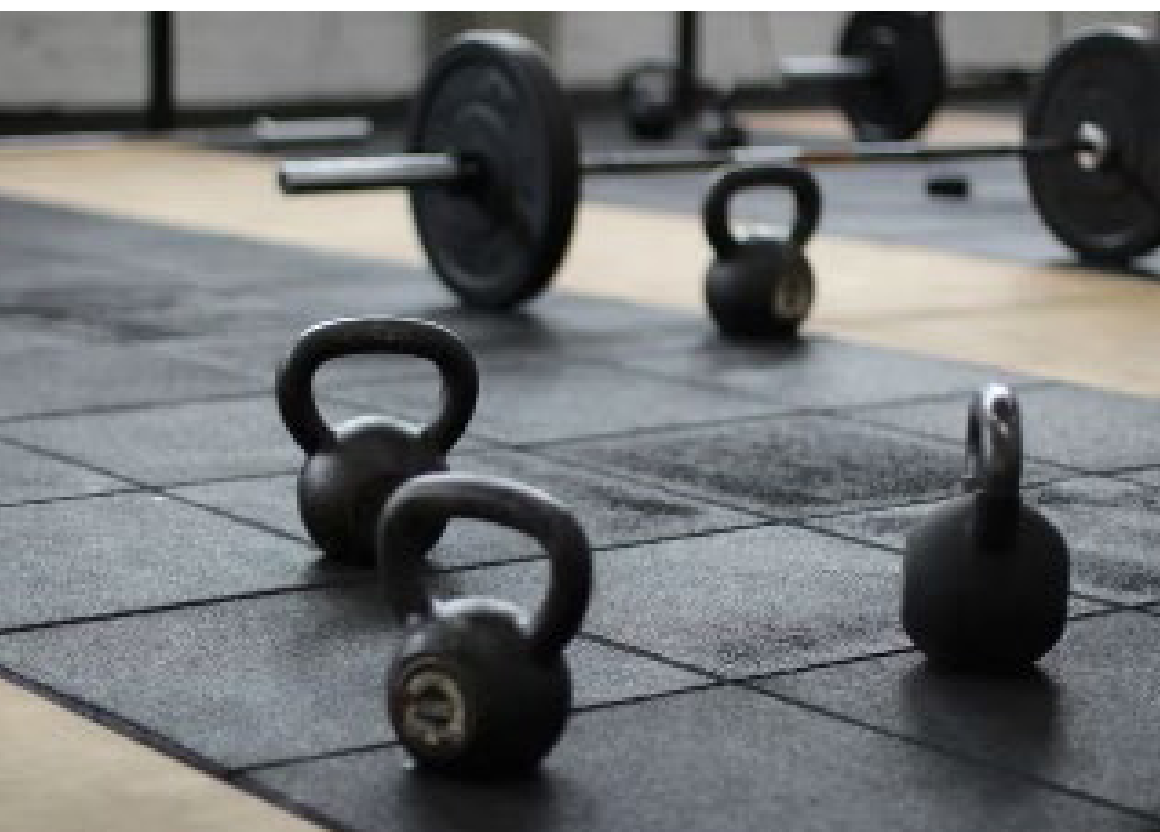


Illustration 22 — revêtement de la zone d'haltères d'une salle de sport

Plusieurs échantillons de revêtements d'isolation acoustique spécialisés pour les salles de sport (illustration 23) ont été testés en laissant tomber des poids de référence de 23 kg. Les essais ont révélé une réduction des bruits de choc à l'étage inférieur de 21 dB pour la structure la plus performante par rapport à un sol nu. En d'autres termes, la combinaison du plancher flottant léger et du revêtement isolant ont permis de faire baisser le bruit dans les logements en dessous des niveaux requis.

RECOMMANDATIONS PRATIQUES

Meilleures pratiques pour le choix d'un revêtement de sol acoustique

Tenez compte de l'usage prévu : faut-il un revêtement résistant et lavable ? S'agit-il d'une installation neuve ou d'une transformation ? Le revêtement doit-il être compatible avec des systèmes de revêtement existants (p. ex. faut-il un revêtement pour tout recouvrir ?) ou peut-on le poser comme un nouveau sol ?

Identifiez vos priorités : par exemple réduire les bruits de pas dans l'espace, réduire la transmission structurelle aux étages inférieurs et/ou réduire la réverbération.

Identifiez les restrictions ou les conflits possibles dans les exigences de conception : par exemple, dans un établissement de soins de santé, la moquette peut être impraticable en raison des exigences d'hygiène. Quels sont vos besoins acoustiques ? Poser de la moquette sur la surface de marche peut réduire le champ réverbéré d'environ 3 dB et le bruit d'impact d'au moins 10 dB.

Tenez compte de la durabilité des matériaux : est-il possible d'utiliser des matériaux plus durables répondant aux mêmes exigences ?

Conseils pour collaborer avec des spécialistes en acoustique lors de la conception et de la rédaction des spécifications

Consultez un acousticien dès les premiers stades du projet pour l'intégrer totalement dans le processus de conception. Les travaux de rattrapage ont tendance à être très onéreux, et l'implication d'un spécialiste d'emblée permet d'identifier immédiatement les problèmes potentiels. Veillez à informer l'acousticien des limitations ou des exigences du projet (par exemple s'il faut utiliser des matériaux durables). Cherchez un spécialiste disposant de l'expérience et des qualifications requises, par exemple l'affiliation à des organismes professionnels appropriés.

CONCLUSION

Un bon environnement acoustique est essentiel pour la plupart des usages d'un bâtiment. Que ce soit pour apprendre à l'école, se concentrer ou collaborer efficacement dans un bureau, bien récupérer à l'hôpital ou se détendre et se reposer à la maison, l'acoustique a un effet non négligeable sur la fonction de l'espace.

Le confort acoustique fait partie intégrante de la qualité de l'environnement intérieur, c'est-à-dire le confort globalement perçu par les occupants d'un immeuble. La surface du sol est souvent négligée lors de la conception acoustique. Or, elle offre un panel complet d'opportunités pour améliorer le confort acoustique.

Les moquettes équipées d'une sous-couche acoustique peuvent réduire considérablement le bruit de choc transmis dans les étages inférieurs. La moquette acoustique ou d'autres matériaux comme les revêtements en liège ou en granulés de caoutchouc peuvent garantir de bons niveaux d'absorption acoustique et avoir ainsi un effet notable sur la réverbération et le contrôle du bruit au sein d'un espace.

Les revêtements de sol peuvent également soutenir le design biophilique en intégrant des matériaux, des coloris et des motifs naturels sur le sol, tandis que le choix de matériaux durables pour les revêtements ne cesse de s'étoffer, de la laine naturelle au plastique ou caoutchouc recyclé.

RÉFÉRENCES

- [1] WHO, "Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe," WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2011.
- [2] International Organisation for Standardization, "BS ISO 17772-1:2017. 'Energy performance of buildings. Indoor environmental quality. Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings'," ISO, Geneva, 2018.
- [3] M. Diaz, M. B. Piderit and S. Attia, "Parameters and indicators used in Indoor Environmental Quality (IEQ) studies: a review," Journal of Physics Conference Series vol. 2042, no. 1, 2021.
- [4] E. Azar, W. O'Brien, S. Carlucci, T. Hong, A. Sonta, J. Kim, M. S. Andargie, T. Abuimara, M. El Asmar, R. Jain, M. M. Ouf, F. Tahmasebi and J. J. Zhou, "Simulation-aided occupant-centric building design: A critical review of tools, methods, and applications," Energy.and. Buildings?.vol. 224, 2020.
- [5] O. Hahad, M. Kuntic, S. Al-Kindi, I. Kuntic, D. Gilan, K. Petrowski, A. Daiber and T. Münzel, "Noise and mental health: evidence, mechanisms, and consequences.," Journal of exposure. science.TM.environmental.epidemiology?.2024.
- [6] J. M. Bliefnick, E. E. Ryherd and R. Jackson, "Evaluating hospital soundscapes to improve patient experience," Journal of the Acoustical. Society.of.America?.vol. 145, no. 2, 2019.
- [7] R. J. Peters, B. J. Smith and M. Hollins, Acoustics and Noise Control, Harlow: Pearson Education, 2011.
- [8] R. H. Palmer, "Noise in High Rise Buildings," in 86th.International. Congress on Sound and Vibration, Bangkok, 2013.
- [9] Carpet and Rug Institute, "Technical Bulletin - Acoustical Characteristics of Carpet," CRI, Dalton, 2014.
- [10] T. J. Cox and P. D'Antonio, Acoustic Absorbers & Diffusers, Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [11] A. Woods, E. Poliakoff, D. Lloyd, J. Kuenzel, R. Hodson, H. Gonda, J. Batchelor, G. Dijksterhuis and A. Thomas, "Effect of background noise on food perception," Food Quality and Preference?.vol. 22, no. 1, pp. 42-47, 2011.
- [12] D. Dawson, R. Barham, M. Hamilton and B. Philips, "Towards the acoustical characterisation of an Intensive Care Unit," in European. Society of Intensive Care Medicine, 2018.
- [13] B. Berglund, T. Lindvall and D. H. Schwela, "Guidelines for Community Noise," World Health Organisation, Geneva, 1999.
- [14] B. Shield and J. Dockrell, "The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children," Journal of the Acoustical Society of America. vol. 123, pp. 133-144, 2008.
- [15] Department for Education, "Building Bulletin 93: acoustic design of schools - performance standards," DfE, London, 2003.
- [16] C. O. Ryan, W. D. Browning, J. O. Clancy, S. L. Andrews and N. B. Kallianpurkar, "Emerging Nature-Based Parameters for Health and Well-Being in the Built Environment," International Journal of Architectural Research. vol. 8, no. 2, pp. 62-75, 2014.
- [17] Y. Al-Dmour and V. Garaj, "Flourishing the Biophilic Workplaces: A Co-Design Toolkit," in TWR.8688, Milan, 2022.

- [18] J.-A. Balmori, M. Casado-Sanz , M. Machimbarrena, S. Quirós-Alpera, R. Mostaza and L. Acuña, "The Use of Waste Tyre Rubber Recycled Products in Lightweight Timber Frame Systems as Acoustic Insulation: A Comparative Analysis of Acoustic Performance," *Buildings?*.vol. 14, no. 1, 2024.
- [19] J. Pfretzschner and R. M. Rodriguez, "Acoustic properties of rubber crumbs," *Polymer Testing*.vol. 18, no. 12, pp. 81-92, 1999.
- [20] F. Asdrubali, F. D'Alessandro and S. Schiavoni, "Sound absorbing properties of materials made of rubber crumb," in *Acoustics*.6, Paris, 2008.
- [21] H. Abrha, J. Cabrera , Y. Dai, M. Irfan, A. Toma, S. Jiao and X. Liu, "Bio-Based Plastics Production, Impact and End of Life: A Literature Review and Content Analysis," *Sustainability?*.Vols. 14, , no. 4855, 2022.
- [22] A. Arjunan, A. Baroutaji, J. Robinson, A. Vance and A. Arafat, "Acoustic metamaterials for sound absorption and insulation in buildings," *Building and Environment* .vol. 251, 2024.
- [23] FutureShape, "SensFloor," 11 February 2025. [Online]. Available: <https://future-shape.com/en/system/>. [Accessed 11 February 2025].
- [24] M. A. Aud, C. C. Abbott,, H. W. Tyrer, R. V. Neelgund, U. G. Shriniwar, A. Mohammed and K. K. Devarakonda, "Smart Carpet: Developing a sensor system to detect falls and summon assistance," *Journal of Gerontological Nursing*. vol. 36, no. 7, 2010.
- [25] Build Review, "Smart Carpets for Smart Solutions," *Build Review*, 22 September 2021. [Online]. Available: <https://www.build-review.com/smart-carpets-for-smart-solutions/>. [Accessed 14 Feb 2025].