



LE RÔLE DE L'ACOUSTIQUE DANS LE DESIGN ARCHITECTURAL

Maarten Hornikx, Cédric Van Hoorickx & Bram Botterman

WHITEPAPER

modulys®

WHITEPAPER

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	3
L'IMPACT DU SON SUR LES ESPACES ARCHITECTURAUX	4
INFORMATIONS GÉNÉRALES ET TERMINOLOGIE	5
PRINCIPES DE LA CONCEPTION	8
SOLUTIONS ACOUSTIQUES	10
DURABILITÉ ET ACOUSTIQUE	11
ÉTUDES DE CAS	12
DÉFIS ET CONSIDÉRATIONS	14
PERSPECTIVES ET INNOVATIONS	15
COEFFICIENTS D'ABSORPTION ACOUSTIQUE DE QUELQUES STRUCTURES ET MATÉRIAUX COURANTS	16
BIBLIOGRAPHIE	17

INTRODUCTION

Cédric Van hoorickx, professeur associé à l'Université de technologie d'Eindhoven (TU/e) aux Pays-Bas, se plonge avec ferveur dans le domaine de l'acoustique des bâtiments. Ses activités quotidiennes consistent à enseigner et à mener des recherches sur la propagation du bruit et des vibrations dans les environnements construits. Au cœur de ses efforts se trouve le perfectionnement de modèles de simulation numérique sophistiqués, méticuleusement conçus pour analyser et améliorer l'interaction complexe entre les structures et les espaces.



Bram Botterman, consultant en acoustique et chercheur affilié à l'Université de technologie d'Eindhoven (TU/e), est spécialisé dans le domaine des matériaux absorbant le son. Fondateur de Matude, il maintient un engagement constant envers le groupe d'acoustique des bâtiments de l'université technologique d'Eindhoven, son alma mater. S'engageant dans des initiatives éducatives, Bram s'efforce ardemment d'éveiller la passion des étudiants pour les nuances de l'acoustique dans les environnements construits. Grâce à ses recherches, il contribue activement à des innovations pionnières, animé par un désir ardent de traduire les nouvelles connaissances en applications tangibles.

Maarten Hornikx, professeur d'acoustique du bâtiment à l'université technologique d'Eindhoven (TU/e) aux Pays-Bas, fait autorité dans l'utilisation de simulations informatiques pour rendre l'acoustique perceptible à la fois dans les espaces clos et dans les paysages urbains. Son objectif principal est de créer des logiciels destinés à comprendre et à améliorer l'impact de l'acoustique sur divers environnements. Avec un engagement inébranlable pour relier la théorie à l'application pratique, Maarten diffuse activement les logiciels développés et soutient les initiatives de science citoyenne. À la TU/e, il dirige le groupe "Building Acoustics", dont les efforts visent à faire progresser la compréhension et la mise en œuvre dans ce domaine.



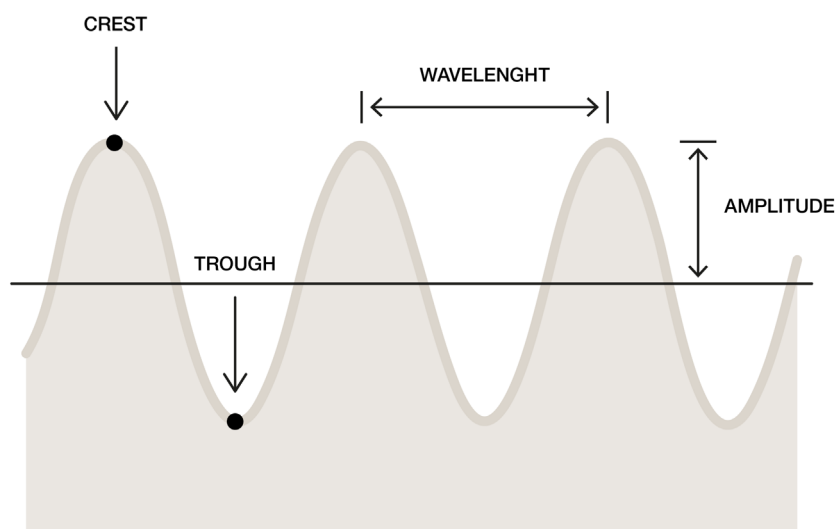
L'IMPACT DU SON SUR LES ESPACES ARCHITECTURAUX

Commençons ce livre blanc par un exercice simple mais révélateur. Où que vous soyez, prenez une petite minute pour fermer les yeux et écouter vraiment les sons qui vous entourent.

Il y a de fortes chances que vous en ayez perçu plusieurs car le son est partout. De l'effervescence d'une gare à l'ambiance feutrée d'un salon paisible. Le son s'infiltre dans notre environnement pour une bonne raison. Les êtres humains utilisent le son pour communiquer. Qu'il s'agisse de la sonnerie d'une alarme incendie signalant un danger ou du ronronnement de la machine à café, le son est une source d'information vitale dans notre quotidien. Il a aussi le pouvoir d'influencer nos émotions, comme on peut le constater avec la musique.

Pourtant, les sons utiles sont parasités par des bruits indésirables : le bruit de la circulation routière, le bourdonnement de la climatisation ou la conversation téléphonique interminable d'un collègue. Si ces bruits peuvent sembler simplement gênants, ils peuvent aussi déranger des sons fonctionnels, entraver la communication ou même masquer des signaux d'avertissement critiques. Pire encore, ils peuvent affecter les activités, perturber le sommeil et réduire la performance au travail. Des études approfondies de l'OMS (Organisation mondiale de la Santé) ont démontré les effets nocifs du bruit sur la santé.

Écoutez maintenant les sons de la pièce où vous êtes. Ces sons sont influencés par les propriétés architecturales de l'espace, un concept connu sous le nom d'acoustique de la pièce ou acoustique architecturale. Les ondes sonores traversant la pièce interagissent avec les différents éléments et limites de celle-ci, comme les murs, le sol et le plafond. Par conséquent, l'acoustique d'un espace doit être adaptée à son usage prévu. Les salles de réunion doivent faciliter la communication verbale, les restaurants doivent favoriser des niveaux de conversation confortables et les salles de concert doivent renforcer l'expérience auditive du public et des artistes. De plus, il est important de noter que certains pays comme les Pays-Bas, où plus de 10 % de la population souffrent de problèmes auditifs, accordent une place toute particulière à une excellente acoustique. L'acoustique dans la conception d'un bâtiment joue donc un rôle primordial : elle garantit le bon déroulement de nos activités quotidiennes et prévient les effets nocifs du bruit sur la santé. Le présent livre blanc détaille les aspects centraux de cette discipline cruciale.



INFORMATIONS GÉNÉRALES ET TERMINOLOGIE

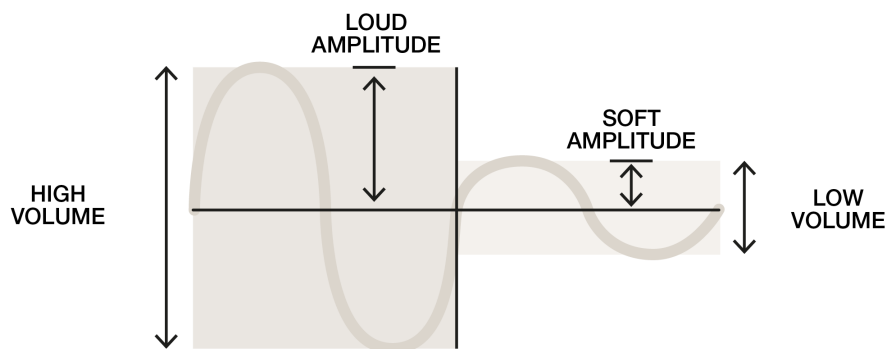
L'acoustique architecturale gère la dynamique complexe du son dans des espaces clos, de la petite pièce à l'immense salle de concert. Elle explore l'interaction entre les ondes sonores et leur environnement par le biais de phénomènes tels que la réflexion, l'absorption et la diffusion. Ces phénomènes déterminent l'ambiance sonore d'un espace en influençant la perception du son ou de la parole. Ce chapitre explique les principes fondamentaux et les termes qui interviennent dans l'acoustique architecturale.

1. Niveau de pression acoustique

Le niveau de pression acoustique est le concept de base pour décrire l'intensité d'un son émis par une source. En l'absence de son, l'atmosphère maintient une pression constante statique d'environ 1 013 hectopascals (hPa) en moyenne. La présence d'un son vient briser cette tranquillité en faisant osciller la pression, au-dessus et en dessous de la référence atmosphérique. Ces oscillations, appelées pression acoustique, intègrent le flux temporel de variations de pression induites par les ondes sonores. La perception du son est associée à la moyenne quadratique de ces fluctuations de pression dans le temps ou, plus précisément, au logarithme de la moyenne quadratique de la pression acoustique. Une mesure logarithmique, appelée « niveau de pression acoustique », est définie de cette façon :

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_{\text{RMS}}^2}{p_0^2}$$

où p_0 (égal à 20 μPa) est la pression acoustique de référence. Le niveau de pression acoustique L_p se mesure en décibels (dB). Plus le niveau de pression acoustique est élevé, plus l'expérience sonore est marquée, avec une perception d'intensité sonore accrue.



2. Niveau de bruit de fond

Des niveaux de bruit de fond excessifs peuvent lourdement perturber diverses activités. Ils peuvent, par exemple, entraver la bonne compréhension d'une communication verbale, avec une perte d'informations à la clé. De plus, des niveaux de bruit élevés peuvent gêner la concentration et entraîner frustration et irritation.

Pour limiter ces dérangements, des critères sont établis sur la base des écarts nécessaires entre le niveau de son émis (signal) et le niveau d'interférence (bruit). Ces critères, souvent ancrés dans la technologie de l'installation, dictent le niveau de bruit maximal admis pour des activités spécifiques. Par ailleurs, outre le bruit généré par l'équipement technique, les bruits ambiants provenant, par exemple, du trafic, des avions ou du métro représentent des défis supplémentaires.

Maintenir un environnement propice à la concentration et à la productivité implique la mise en place de mesures d'isolation phonique efficaces afin de limiter les niveaux sonores d'un espace défini sous des seuils spécifiques. Le niveau de bruit admis est subordonné à des facteurs tels que la puissance et la nature de la source sonore ainsi qu'aux activités prévues dans l'espace en question.

3. Absorption

Lorsque des ondes sonores telles que celles émises par un haut-parleur se heurtent aux limites d'une pièce, dont les murs, le sol et le plafond, leurs interactions sont variées. Une partie de l'énergie sonore est réfléchie vers la pièce, tandis qu'une autre est transmise aux limites et une dernière partie se dissipe dans les limites de la pièce. L'absorption acoustique correspond à la portion de son qui n'est pas réfléchie et englobe donc le son dissipé et transmis via le matériau absorbant.

Le coefficient d'absorption, représenté par la lettre grecque α , indique la capacité du matériau à absorber l'énergie sonore. Par exemple, une fenêtre ouverte affiche un coefficient d'absorption élevé, proche de l'unité, puisque pratiquement tout le son incident s'échappe de la pièce. À l'inverse, une surface hautement réfléchissante présente un coefficient d'absorption faible, proche de zéro. Dans la pratique, les coefficients d'absorption de différents matériaux et constructions sont mesurés et présentent souvent un lien avec la fréquence. Un tableau des matériaux courants se trouve au chapitre 0.

L'aire équivalente d'absorption, représentée par A (en m^2), d'une pièce correspond à la somme de toutes les surfaces de la pièce, représentée par l'indice i , chacune ayant une superficie S_i et un coefficient d'absorption associé α_i . Cette somme englobe les contributions d'absorption combinées de toutes les surfaces de la pièce. Elle peut être exprimée mathématiquement par :

$$A = \sum_i \alpha_i S_i$$

En fait, l'aire équivalente d'absorption sert de mesure cruciale pour indiquer la quantité d'éléments absorbants présents dans une pièce.

4. Temps de réverbération

Le temps de réverbération est une caractéristique fondamentale de la pièce. Il détermine le temps qui s'écoule entre l'arrêt de l'émission d'une source sonore – qu'il s'agisse d'une émission stationnaire ou d'un bruit impulsif – et le moment où le niveau de pression acoustique diminue de 60 dB. Ce paramètre est important dans le monde de l'acoustique architecturale, car il sert d'indicateur pour évaluer l'aptitude d'une pièce à remplir son usage prévu en fonction de ses propriétés acoustiques.

En résumé, le temps de réverbération mesure le temps nécessaire à un son pour s'atténuer dans un espace après l'arrêt de sa source. Un temps de réverbération court indique une décroissance rapide du son, ce qui convient à des environnements où la clarté et la précision dans la reproduction audio sont indispensables, par exemple les studios d'enregistrement ou les auditoriums. À l'inverse, des temps de réverbération longs sont privilégiés dans des espaces comme les salles de concert ou les cathédrales où la décroissance du son contribue à un sentiment d'espace et à la richesse de l'expérience auditive.

Le temps de réverbération d'un intérieur est étroitement lié à ses dimensions, en particulier au nombre de surfaces qu'une onde sonore rencontre sur une période déterminée. De plus, le temps de réverbération dépend fortement de l'absorption acoustique présente dans cet espace. La relation entre les deux phénomènes correspond à notre perception : les grandes pièces aux surfaces réfléchissantes robustes présentent souvent des temps de réverbération supérieurs, tandis que les espaces de taille plus modeste habillés d'éléments de décoration textiles comme des rideaux ou des tapis et équipés de mobilier ont généralement une réverbération minimale.

Des études empiriques ont permis au physicien américain Wallace Clement Sabine d'établir une relation quantitative entre les dimensions de la pièce (exprimée en volume V), l'aire effective d'absorption acoustique A dans cet espace et le temps de réverbération T qui en résulte. La formule de Sabine est la suivante :

$$T = \frac{0.16V}{A}$$

Le travail révolutionnaire de Sabine a posé les bases de la compréhension et de la prévision des caractéristiques de réverbération en acoustique architecturale, facilitant ainsi la conception et l'optimisation des espaces dédiés à différents usages. Des versions plus poussées de cette formule tiennent compte de l'influence de l'amortissement par l'air (un phénomène lié à l'humidité de l'air) et ont étendu son application aux pièces bien amorties (formule d'Eyring).

5. Paramètres d'acoustique des pièces

Outre le temps de réverbération, il existe également d'autres paramètres d'acoustique des pièces :

- Le temps de décroissance précoce (Early decay time - EDT) mesure le temps nécessaire au son pour décroître de 10 dB après l'arrêt de l'émission sonore. Cette mesure renseigne sur la contribution de la réflexion précoce aux caractéristiques de réverbération globales d'une pièce.
- La force sonore G mesure le niveau sonore perçu généré par des sources sonores dans la pièce étudiée en fonction de leur distance par rapport à l'auditeur.

- Les paramètres de clarté décrivent l'équilibre entre l'énergie sonore initiale et l'énergie sonore tardive. Cette catégorie regroupe la clarté C_80, la définition D_50 et le temps central T_S. Les deux premiers indices quantifient le rapport entre la réflexion précoce et la réflexion tardive et déterminent l'intelligibilité de la parole et la qualité sonore générale. Le temps central représente le centre de gravité de la pression acoustique au carré après une impulsion.
- L'énergie latérale précoce, une mesure de la largeur apparente de la source, décrit le rapport entre l'énergie sonore des réflexions latérales et l'énergie sonore totale reçue par un auditeur. Ce paramètre tient compte des niveaux de pression acoustique durant les 80 premières millisecondes suivant l'arrivée du son direct.
- Comme l'énergie latérale précoce, l'énergie latérale tardive mesure l'impression spatiale du son, mais cette fois pour les réflexions latérales tardives, c'est-à-dire après les 80 premières millisecondes suivant l'arrivée du son direct. L'énergie latérale tardive contribue à la perception de spaciosité, d'enveloppement et de naturel durant l'expérience auditive.

6. Champ sonore direct et diffus

À proximité d'une source sonore dans une pièce, l'expérience auditive est largement gouvernée par ce qu'on appelle le « champ libre » de cette source. Un champ libre correspond à l'environnement sonore d'un espace totalement ouvert et exempt de surfaces réfléchissantes. C'est comme si vous étiez en plein air ou dans une salle spécialement conçue appelée chambre anéchoïde. Dans ce scénario, le niveau de pression acoustique perçu dépend directement de la puissance de la source sonore et de la direction dans laquelle le son est émis. En s'écartant de la source, le niveau de pression acoustique diminue graduellement. Ceci s'explique par le fait que les ondes sonores se diffusent dans toutes les directions et perdent progressivement en intensité avec la distance parcourue. En résumé, vous entendrez le son plus fort et plus distinctement si vous êtes proche de la source que si vous vous en écarterez.

À l'intérieur, les ondes sonores rebondissent sur les surfaces, créant ainsi une structure d'ondes complexe. En s'éloignant de la source, le son perçu est influencé par l'énergie résiduelle de ces ondes réfléchies sur les murs et autres obstacles. Dans une pièce avec un champ sonore diffus, c'est-à-dire où le son rebondit aléatoirement en raison des nombreuses réflexions, le niveau de pression acoustique reste relativement constant. Il est déterminé par la puissance de la source sonore et l'absorption du son par l'environnement de la pièce. Cela signifie que, où que vous vous trouviez dans la pièce, le niveau sonore perçu reste relativement stable grâce aux réflexions et à l'absorption uniformes.

La discussion précédente révèle qu'à une certaine distance de la source sonore, le niveau du son direct est égal à celui du son indirect réfléchi. À cet endroit, le champ sonore direct devient le champ réverbéré. L'équilibre entre le son direct et le son réfléchi est crucial et dépend de l'usage prévu de l'espace. Cet équilibre a des répercussions pour l'audition directionnelle. Dans des environnements où prédomine la communication orale, les auditeurs doivent impérativement pouvoir localiser la source, notamment l'orateur. Dans des environnements musicaux, en revanche, la priorité est souvent donnée à la création d'un sentiment de spaciosité, via une abondance de sons réfléchis. Par conséquent, selon que l'espace est destiné à l'écoute de musique ou de conférences, l'équilibre entre le son direct et indirect doit être soigné afin d'optimiser l'expérience auditive.

PRINCIPES DE LA CONCEPTION

Au chapitre précédent, nous nous sommes plongés dans le monde complexe de l'acoustique architecturale et avons découvert des termes qui peuvent dépasser complètement même les architectes et designers les plus chevronnés. Mais ne soyez pas effrayé. Dans ce chapitre, nous transformerons ce jargon technique en directives de conception pratiques parfaitement compréhensibles et applicables. Ces lignes directrices donnent la formule gagnante pour créer des intérieurs dont l'acoustique est adaptée à leur usage.

1. Comprendre l'utilisateur et la fonction de la pièce

Procédons avec ordre et méthode : avant de commencer à esquisser des croquis ou à enfoncer des clous, faisons connaissance avec nos utilisateurs et l'usage prévu pour la pièce. Allons-nous concevoir des bureaux animés où la clarté de la communication sera essentielle ? Ou peut-être un restaurant feutré où l'ambiance est prépondérante ? Comprendre les besoins des personnes qui utiliseront l'espace est la clé.

2. Optimiser les dimensions de la pièce

Dimensionner correctement la pièce est important pour l'acoustique architecturale. Le volume de la pièce est directement lié à une série de paramètres acoustiques de celle-ci et le temps de réverbération augmente avec le volume. Lors de la détermination de la fonction prévue des locaux, on choisira généralement spontanément des pièces séparées pour des activités plus confidentielles. Lorsque des architectes affinent les dimensions de la sorte, ils peuvent procéder à tous les ajustements par la suite, comme s'assurer que certaines fréquences sonores ne sont pas trop élevées et limiter au maximum les ondes stationnaires dérangeantes.

3. Contrôler la réverbération dans la pièce

Personne n'aime les pièces où l'écho résonne comme dans une caverne, n'est-ce pas ? En intégrant stratégiquement des matériaux absorbant les sons dans le bâtiment, les architectes peuvent contrôler précisément les caractéristiques de réverbération de la pièce. Ils contribuent ainsi non seulement à la réduction des effets négatifs d'une réverbération excessive mais améliorent aussi l'intelligibilité de la parole pour que les occupants puissent communiquer plus efficacement et interagir de manière pertinente au sein de l'environnement.

4. Trouver l'équilibre entre les surfaces réfléchissantes et absorbantes

Mais il faut aller plus loin. Trouver le bon équilibre entre les surfaces qui réfléchissent le son et celles qui les absorbent est indispensable. Dans les salles de conférence, les surfaces réfléchissantes se trouvent typiquement à l'avant pour que la voix de l'orateur bénéficie des réflexions précoces et donc d'une meilleure perception dans la pièce. À l'inverse, les matériaux absorbants sont utilisés sur les murs latéraux. C'est un véritable jeu entre réflexion et absorption où chaque phénomène joue un rôle pour façonner l'acoustique de la pièce.

5. Incorporer des solutions acoustiques variables

Un même espace peut nécessiter une acoustique différente en fonction de l'activité et de l'événement qui s'y déroule. Par exemple, une salle de conférence peut servir à la fois à des présentations devant un public nombreux et à des discussions privées. Dans des espaces où la qualité sonore est primordiale, comme dans les salles de concert, les cinémas et les studios d'enregistrement, des solutions acoustiques variables peuvent améliorer la performance en optimisant l'acoustique pour différents types d'événements et de spectacles. Il peut s'agir de rideaux, de cloisons amovibles ou de panneaux acoustiques réglables. Le TivoliVredenburg à Utrecht et Amare à La Haye sont de bons exemples de salles polyvalentes.



SOLUTIONS ACOUSTIQUES

La mise en œuvre des solutions acoustiques décrites dans ce chapitre permet aux designers et aux architectes de résoudre efficacement les problèmes d'acoustique et de créer des intérieurs offrant une qualité sonore, un confort et une fonctionnalité améliorés.

1. Intégrer des surfaces absorbant les sons

Les matériaux absorbant les sons sont des éléments essentiels du design intérieur, car ils fournissent une série d'avantages fonctionnels. Ils réduisent le temps de réverbération, atténuent les échos, abaissent le niveau de bruit de fond et, cerise sur le gâteau, améliorent la transmission vocale en modifiant le rapport signal-bruit.

2. Installer des matériaux réfléchissant les sons

Les matériaux réfléchissant les sons peuvent être positionnés stratégiquement pour diriger les ondes sonores vers une zone d'écoute désirée et améliorer ainsi la projection et la clarté du son. Ils sont particulièrement importants dans les lieux de spectacle comme les salles de concert, les théâtres et les amphithéâtres où une reproduction claire et articulée du son est essentielle pour l'engagement et la compréhension par le public.

3. Utiliser des diffuseurs

Les diffuseurs dispersent les ondes sonores dans différentes directions plutôt que de les réfléchir dans une seule. Ils uniformisent la distribution du son dans l'espace

4. Optimiser l'aménagement de la pièce

Organisez le mobilier et l'aménagement de la pièce pour répartir stratégiquement les éléments qui absorbent et diffusent le son, limiter les réflexions et optimiser la performance acoustique. Par exemple, installer des bibliothèques, des plantes et des éléments de décoration en matières souples peut contribuer à briser les ondes sonores et à créer un environnement acoustique plus agréable.

5. Implémenter des systèmes de masquage sonore

Les systèmes de masquage sont l'arme secrète de l'acoustique architecturale. Ces instruments intelligents émettent un léger bruit de fond, comme le ronronnement d'un ventilateur ou le bruissement des feuilles dans une forêt paisible, qui aide à masquer les bruits indésirables en les rendant moins perceptibles et en créant ainsi un environnement globalement plus calme.

Les systèmes de masquage sonore ne se limitent pas à couvrir le bruit : ils contribuent à améliorer effectivement la confidentialité des conversations. En ajoutant un bruit de fond constant, ils mènent la vie dure aux oreilles indiscretes et créent un espace plus confidentiel et plus confortable pour tous.

DURABILITÉ ET ACOUSTIQUE

Les solutions acoustiques durables pour l'intérieur ont recours à des pratiques et des matériaux à faible impact environnemental qui s'attaquent efficacement aux problèmes d'acoustique. Ces solutions visent à améliorer l'acoustique de la pièce sans négliger l'état de la planète à long terme. Voici quelques exemples de solutions acoustiques durables :

1. Matériaux recyclés

Les matériaux recyclés comme le verre, le plastique ou le textile se retrouvent dans des panneaux absorbants, des baffles et d'autres traitements acoustiques. En détournant des déchets de la décharge et en réduisant la demande de matériaux vierges, les produits acoustiques recyclés contribuent à une économie plus circulaire et diminuent leur empreinte écologique.

2. Matériaux biodégradables

Ces matériaux sont composés de matières organiques naturelles comme la laine, le liège ou le chanvre qui se décomposent avec le temps. Lorsque vos panneaux acoustiques ont fait leur temps, ils n'iront pas encombrer les décharges pendant des siècles. Ils se décomposeront naturellement en laissant derrière eux une faible empreinte écologique.

3. Processus à faible impact et production locale

Les solutions acoustiques durables privilégient les processus de production qui limitent la consommation d'énergie, les émissions et l'épuisement des ressources. Choisir des fabricants qui ont recours à des méthodes de production à faible impact et s'approvisionner en matériaux locaux réduit les émissions de carbone liées au transport et soutient les économies locales. De plus, collaborer avec des fabricants aux pratiques et certifications écoresponsables garantit que les produits acoustiques répondent aux normes environnementales rigoureuses.

4. Constructions modulaires et démontables

Les solutions acoustiques modulaires sont des composants préfabriqués faciles à assembler, démonter et reconfigurer au besoin. Cette flexibilité répond aux évolutions des besoins acoustiques et réduit en outre les déchets de construction tout en facilitant le réemploi et le recyclage des matériaux. Les cloisons, écrans et panneaux acoustiques démontables offrent des solutions personnalisables pour optimiser l'acoustique des lieux tout en limitant l'impact environnemental.

5. Éléments acoustiques naturels

Intégrer des éléments acoustiques naturels dans les espaces intérieurs signifie suivre des principes de design biophilique et employer des matériaux organiques pour améliorer la qualité sonore et l'esthétique. On pense ici aux panneaux acoustiques en bois de sources durables, aux murs en mousse qui font office d'absorbeurs sonores et aux plantes qui améliorent la qualité de l'air ambiant et l'acoustique. Des éléments acoustiques naturels créent des environnements harmonieux et sains qui connectent les occupants à la nature et favorisent les pratiques durables dans l'aménagement intérieur.

ÉTUDES DE CAS

Jetez un œil à ces incroyables merveilles d'acoustique architecturale !

1. Amare, La Haye (Pays-Bas)

Lien : https://noaah.nl/portfolio_page/amare-the-hague/

Amare n'est pas qu'un simple complexe culturel. C'est un hub de créativité qui accueille des théâtres, des salles de concert et bien plus encore. Mais ce qui distingue ce centre est son engagement à offrir des environnements sonores parfaits à toutes sortes d'événements. Des pièces de théâtre aux concerts de musique, le design acoustique d'Amare garantit que chaque note sera entendue comme il faut.



2. Elbphilharmonie, Hambourg (Allemagne)

Lien : <https://www.herzogdemeuron.com/projects/230-elbphilharmonie-hamburg/>

L'Elbphilharmonie est un petit bijou d'architecture et d'ingénierie. Mais ce qui la démarque particulièrement est son design acoustique. Depuis sa forme atypique jusqu'à ses matériaux et sa technologie de pointe, l'Elbphilharmonie crée une expérience auditive incomparable. Sur scène ou dans le public, vous allez adorer cette salle de concert emblématique.



3. Booking.com City Campus, Amsterdam (Pays-Bas)

Lien : <https://www.unstudio.com/en/page/11733/booking.com-city-campus>

Cette architecture fascinante cache un souci marqué du détail dans chaque aspect de cet édifice ultramoderne, des matériaux aux finitions du sol jusqu'à la ventilation et l'acoustique. Le bureau certifié BREAAAM a donné la priorité au bien-être des travailleurs en leur procurant un environnement professionnel entièrement silencieux et faisant la part belle aux éléments naturels.



DÉFIS ET CONSIDÉRATIONS

Si les progrès réalisés en acoustique architecturale et la disponibilité des matériaux et solutions commercialisés ont nettement amélioré la capacité à optimiser l'acoustique des espaces, certaines situations restent problématiques. Voici un aperçu non exhaustif des principaux défis et réflexions ::

1. Acoustique initiale insuffisante / déplorable

Bon nombre d'espaces neufs ou rénovés peuvent présenter une qualité acoustique insuffisante. Il est essentiel de donner la priorité à l'acoustique durant la phase de conception d'un bâtiment ou d'une pièce. Si ce livre blanc porte principalement sur l'acoustique architecturale, une conception acoustique efficace ne peut faire l'impasse sur les sources sonores externes telles que les bruits du voisinage ou ceux du transport aérien. Comme souligné précédemment, les principes acoustiques doivent être mis en œuvre, au même titre que d'autres éléments de la conception comme l'esthétique et l'éclairage, et la présence d'un acousticien dans l'équipe de conception est un atout indéniable. Toutefois, ces considérations se heurtent souvent à des contraintes budgétaires, obligeant les architectes et designers à se passer des services d'un acousticien ou de matériaux ou éléments qui leur permettraient d'obtenir l'acoustique désirée.

2. Grands espaces ouverts

Les grands espaces ouverts tels que les cours intérieures, les terminaux d'aéroport ou les immenses centres commerciaux sont un terrain miné en raison de leurs dimensions et des volumes sonores élevés potentiels produits par leurs nombreux occupants. L'acoustique de ces environnements nécessite une attention spéciale.

3. Pièces délimitées par des murs robustes parallèles

Les murs robustes parallèles d'espaces tels que les salles de sport ou les courts de squash peuvent réduire l'intelligibilité de la parole et occasionner des échos flottants gênants. Ces problèmes acoustiques requièrent une étude minutieuse de la conception pour réduire l'impact sur les occupants.

4. Réduction des sons à basse fréquence

Les sons à basse fréquence constituent un défi particulier en termes d'absorption et d'atténuation par rapport aux sons à haute fréquence. Ils se transmettent aussi plus facilement de leurs sources extérieures vers les espaces intérieurs. En outre, la prévalence du bruit à basse fréquence est en augmentation avec la multiplication des pompes à chaleur et autres éoliennes. La créativité est de mise ici pour atténuer le bruit à basse fréquence et conserver un environnement acoustique optimal.

Afin de résoudre ces problèmes, les progrès en acoustique et les approches de conception stratégiques jouent un rôle central pour optimiser la qualité sonore de divers espaces et concilier confort, santé et fonctionnalité.

PERSPECTIVES ET INNOVATIONS

L'avenir de l'acoustique architecturale repose sur plusieurs piliers fondamentaux, notamment les avancées dans la technique, la technologie et les matériaux ainsi que l'évolution de la législation en matière de production sonore et les changements culturels liés à la perception sonore. Voici quelques pistes pour demain :

1. Le bruit : le nouveau fléau

La sensibilisation aux effets nocifs de la pollution sonore sur la santé se développe et suit un schéma comparable à celui de la reconnaissance des risques de la cigarette pour la santé autrefois. La société est de plus en plus demandeuse d'environnements scolaires, professionnels et récréatifs adaptés présentant des niveaux de bruit réduits, dans un souci de justice sociale. Cette attention renforcée à l'environnement sonore, y compris l'acoustique, devrait orienter la demande d'espaces adaptés. Des initiatives telles que soundprint.co qui répertorie les restaurants offrant des niveaux sonores acceptables ne sont que le début des efforts citoyens pour promouvoir les environnements paisibles.

2. Nouveaux matériaux acoustiques

La demande de matériaux destinés à améliorer les caractéristiques acoustiques d'un espace progresse et de nombreuses sociétés proposent des produits pour un usage à la fois privé et industriel. L'émergence des métamatériaux, c'est-à-dire des matériaux composites artificiels et souvent imprimés en 3D offrant des propriétés acoustiques uniques que l'on ne retrouve pas dans les matériaux naturels, promet une absorption acoustique et un blocage des sons plus efficaces avec des matériaux plus légers ou plus fins. Ces produits innovants devraient faire leur apparition sur le marché très prochainement.

3. Applications de réalité mixte

Imaginez que vous puissiez tester l'ambiance acoustique d'une salle de concert avant même qu'elle ne soit construite ou simuler le bruit du survol de votre maison par un avion sans faire intervenir le moindre engin volant. Ces possibilités sont à portée de main grâce à la réalité virtuelle. Ces outils sont de plus en plus prisés par les consultants en acoustique et on s'attend à ce que les applications de réalité augmentée se développent et rendent ces expériences immersives accessibles à un plus grand nombre.

4. Contrôle actif du bruit

Le contrôle actif du bruit, une technique popularisée par les casques antibruit, promet la réduction des bruits indésirables dans diverses situations. Dans les cabines d'avion, des efforts sont en cours pour réduire les niveaux de bruit par le contrôle actif du bruit, tandis qu'en acoustique architecturale, différentes innovations comme la gestion active des sons à basse fréquence via les fenêtres font d'ores et déjà leur apparition sur le marché. Ces solutions pourront jouer un rôle crucial dans la lutte contre la pollution sonore à l'avenir.

5. Environnements sonores dynamiques

L'acoustique des espaces intérieurs est sujette à un changement constant, en fonction des nouvelles technologies et tendances sociétales. Le paysage sonore ne cesse d'évoluer à mesure que de nouvelles sources émergent, comme l'essor des pompes à chaleur. Mais, aujourd'hui comme demain, une chose reste certaine : le décor sonore de notre environnement sera toujours en mouvement et nécessitera des adaptations constantes et des innovations en matière d'acoustique architecturale.

COEFFICIENTS D'ABSORPTION ACOUSTIQUE DE QUELQUES STRUCTURES ET MATÉRIAUX COURANTS

Tableau 1 - Valeurs indicatives du coefficient d'absorption du son diffus de quelques structures et matériaux courants.

Matériau	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Réf.
Béton brut	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	[1]
Brique non vernissée	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	[2]
Parpaing	0,2	0,3	0,6	0,6	0,5	0,5	[3]
Plâtre, gypse ou pierre calcaire, sur de la brique	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	[4]
Plâtre, sur lattage/chevrons, vide d'air	0,3	0,1	0,1	0,05	0,04	0,05	[3]
Plaque de plâtre sur cadre, panneaux de 9,5 mm, cavité de 10 cm comblée de laine minérale	0,28	0,14	0,09	0,06	0,05	0,05	[5]
Cloisons légèrement oscillantes (plafonds suspendus, etc.)	0,1	0,07	0,05	0,04	0,04	0,05	[6]
Simple vitrage, 3 – 4 mm	0,2	0,15	0,1	0,07	0,05	0,05	[3]
Double vitrage, verre 2 – 3 mm, vide de 1 cm	0,1	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	[7]
Bois, 50 mm d'épaisseur	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	[8]
Contreplaqué/bois dur, vide d'air	0,32	0,43	0,12	0,07	0,07	0,11	[3]
Bois sur sol dur	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	[9]
Panneaux de sol sur solives	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	[3]
Porte en bois massif	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1	[10]
Rideaux droits suspendus	0,04	0,16	0,19	0,17	0,2	0,25	[2]
Rideaux repliés contre le mur	0,05	0,15	0,35	0,4	0,5	0,5	[10]
Tapis, 5 mm d'épaisseur, sur sol dur	0,02	0,03	0,05	0,1	0,3	0,5	[6]
Moquette en laine 16 mm avec sous-couche	0,2	0,25	0,35	0,4	0,5	0,75	[9]
Couche de caoutchouc, liège, linoléum et sous-couche, ou vinyle et sous-couche, collée sur béton	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,1	[10]
Marbre ou carrelage émaillé	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	[2]
Sol en terrazzo	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	[12]
5 cm de laine minérale (40 kg/m ³), collée sur le mur, surface non traitée	0,15	0,7	0,6	0,6	0,85	0,9	[7]
Surface d'eau d'une piscine	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	[13]
Grille de ventilation	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	[7]
Sièges moyennement rembourrés, libres	0,54	0,62	0,68	0,7	0,68	0,66	[14]
Sièges moyennement rembourrés, occupés	0,62	0,72	0,8	0,83	0,84	0,85	[14]

BIBLIOGRAPHIE

- [1] “ISO/TR 11690-3, Acoustics—Recommended practice for design of low-noise workplaces containing machinery—Part 3: Sound propagation and noise predictions in workrooms,” 1997.
- [2] C. M. Harris, Handbook of Noise Control, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1991.
- [3] A. Fry, Noise Control in Building Services, Oxford, UK: Pergamon Press, 1987.
- [4] M. D. Egan, Concepts in Architectural Acoustics, New York: McGraw-Hill, 1972.
- [5] W. Fasold and H. Winkler, Bauphysikalische entwurfslehre, band 4: Bauakustik, Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, 1976.
- [6] H. Kuttruff, Room acoustics, London, UK: Spon Press, 2000.
- [7] J. Kristensen, “Sound Absorption Coefficients—Measurement, evaluation, application,” Statens Byggeforskningsinstitut, Horsholm, DK, 1984.
- [8] T. J. Cox and P. D’Antonio, Acoustics Absorbers and Diffusers - Theory, Design and Application, Boca Raton, FL: CRC Press, 2017.
- [9] L. L. Beranek, Acoustics, New York: McGraw-Hill, 1954.
- [10] H. W. Bobran, Handbuch der bauphysik, Berlin: Verlag Ulstein, 19673.
- [11] D. Templeton, Acoustics in the Built Environment, 2nd ed., Oxford, UK: Architectural Press, 1997.
- [12] T. Rossing, R. Moore and P. Wheeler, The Science of Sound, Harlow, UK: Pearson Higher Ed., 2013.
- [13] V. O. Knudsen and C. M. Harris, Acoustical Designing in Architecture, New York: John Wiley, 1953.
- [14] L. Beranek, Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture, New York: Springer, 1979.