



Créateur d'acoustique durable

Acoustique des espaces intérieurs

Matinée technique SOLFI2A - 16/12/2021



Présentation et activités liées à l'acoustique

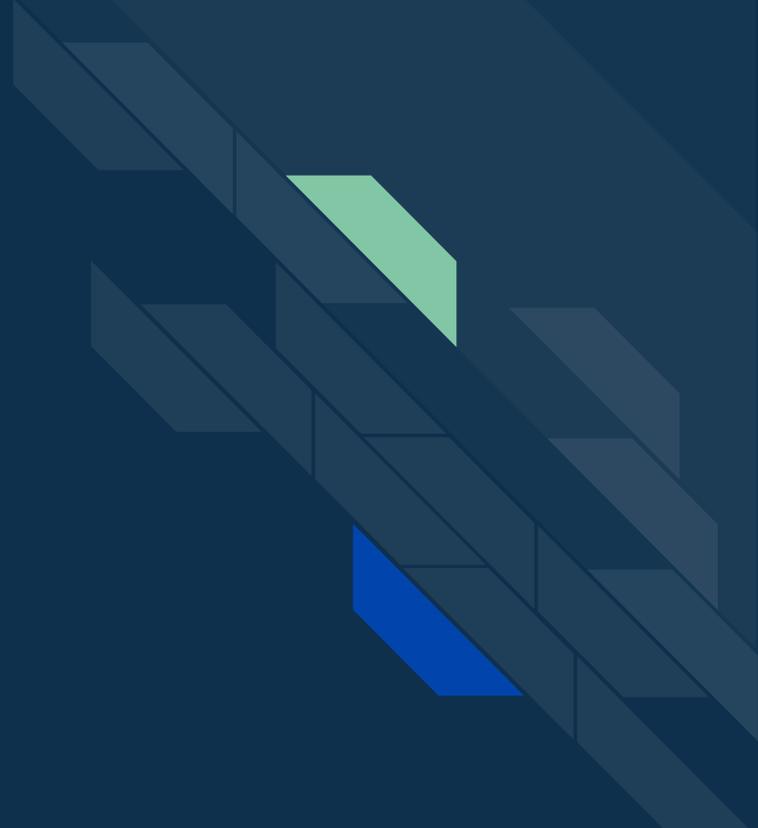
ECHO
system

- **Diagnostic immobilier** - connaître l'environnement sonore de sa future acquisition immobilière
- **Mesures acoustiques in-situ** - évaluation des isolements acoustiques, temps de réverbération, bruits d'équipement

bois hd
Centre d'ingénierie
by esb

- **Analyse et amélioration produit** (menuiserie ext.)
- **Tests laboratoire** (affaiblissement acoustique, absorption)
- **Accompagnement au développement de nouveaux produits** (matériaux, produits de la construction, agencement)

Notions d'acoustique



Notions d'acoustique

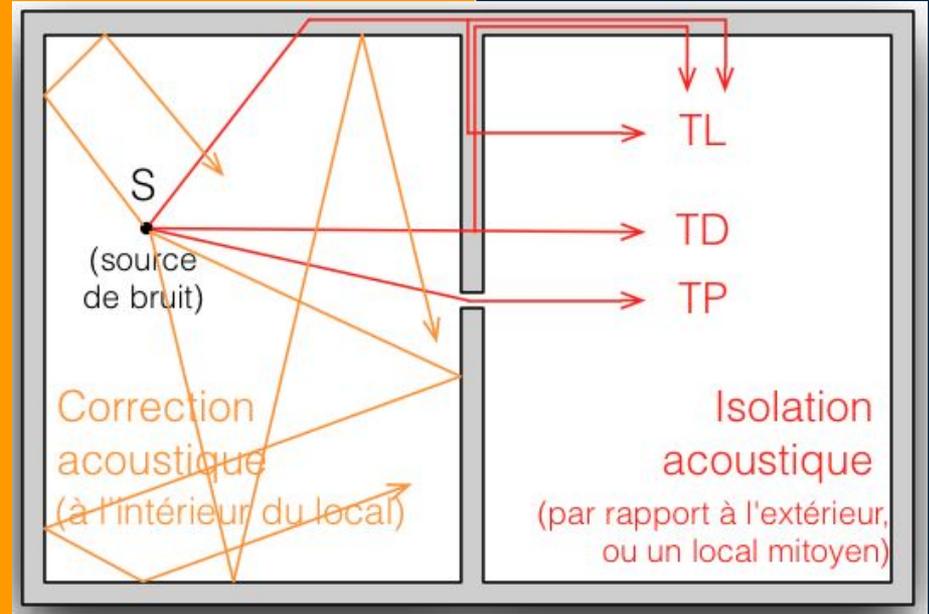
Acoustique intérieure, c'est quoi ?

(appelée aussi correction acoustique)

Objectif : Maîtriser et adapter l'environnement sonore par rapport aux attentes des activités qui s'y déroulent.

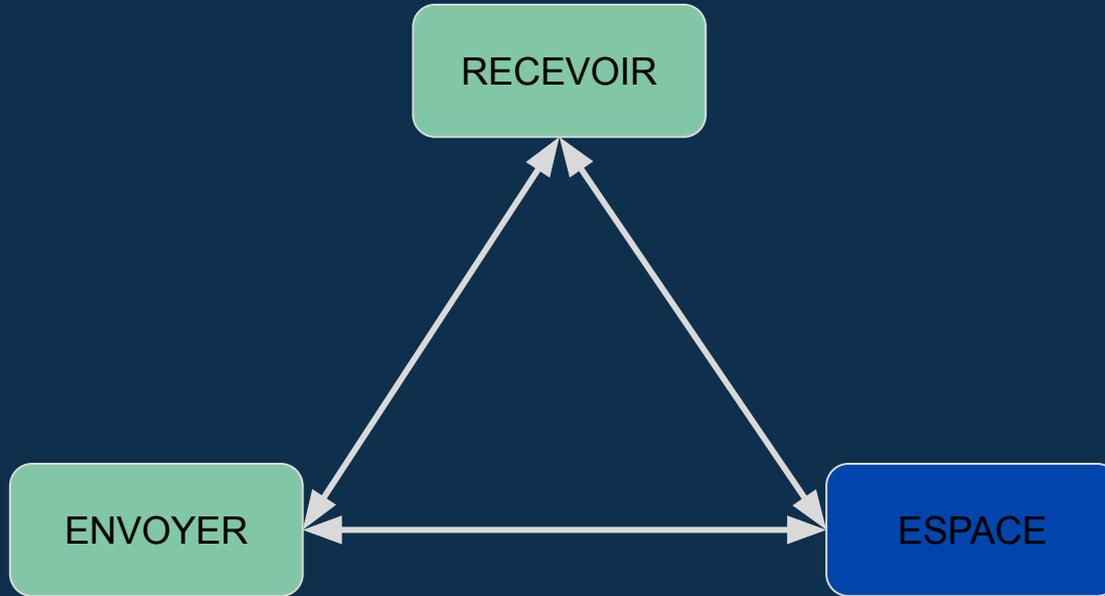
Comment : la correction concerne toute ou partie des étapes de la vie d'une onde acoustique :

- **l'émission** : les sources sonores,
- **la propagation** : le parcours des ondes sonores,
- **la réception** : microphones, oreilles.



Notions d'acoustique

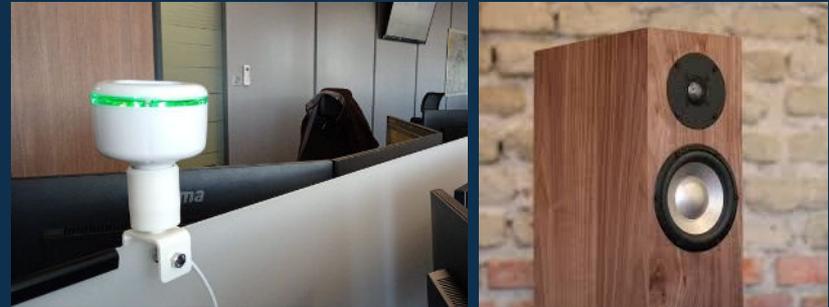
Acoustique intérieure, c'est quoi ?



Notions d'acoustique

Acoustique intérieure, cela concerne quoi ?

1. Emission. Exemple : masquage sonore (à gauche) / traitements des signaux musicaux (à droite)



2. Propagation : traitements des surfaces de l'espace

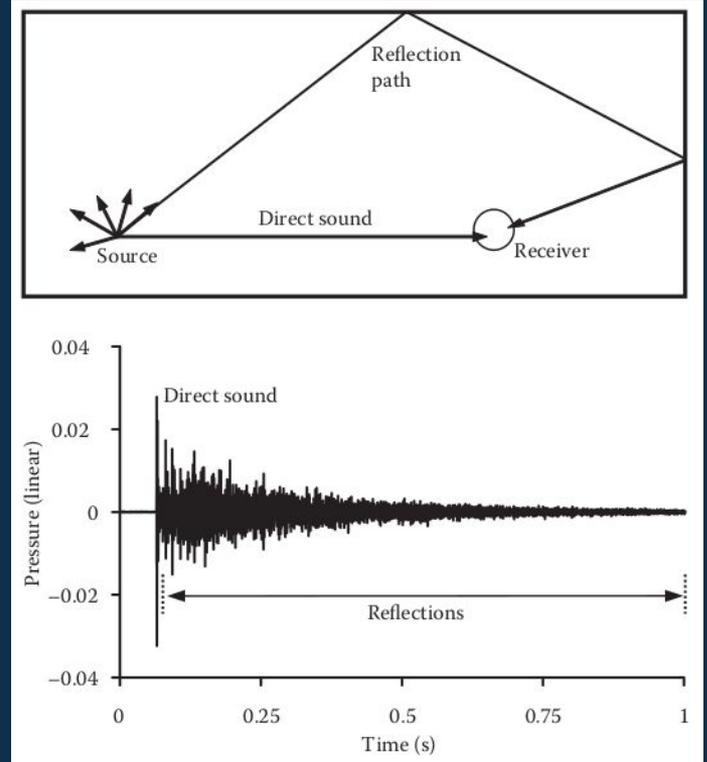
Sujet de la matinée technique d'aujourd'hui



3. Réception. Exemple : casques actifs ou passifs

Notions d'acoustique

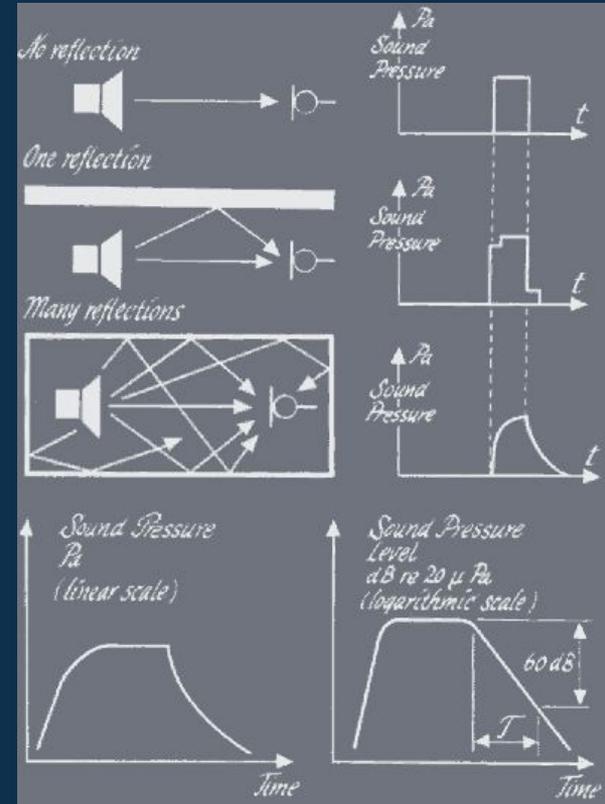
Temps de réverbération



Notions d'acoustique

Temps de réverbération : définition

- Durée nécessaire au son pour **décroître de 60 dB** après extinction d'une source sonore
- **Indicateur acoustique** : T_r ou T_{60} , exprimé en seconde
- T_r est fonction de la fréquence, une valeur moyenne est toutefois calculée.
- Durée proportionnelle au **volume** de l'espace et **inversement** proportionnelle à l'aire équivalente (ou à la **quantité de matériaux absorbants**)



Notions d'acoustique

Temps de réverbération - blind test

A votre avis, dans quel lieux ces sons ont été enregistrés ?

- Distinguer les sons au **premier plan**, et ceux situés aux **seconds plans**,
- Essayer de **décrire** ce que vous entendez,
- Faites des associations possibles entre **l'activité des personnes** et les **espaces**,
- En fermant les yeux, cela aide à se concentrer sur nos oreilles.

A



B



C



D



Notions d'acoustique

Temps de réverbération

Des environnements très réverbérants : (lieux de culte et piscine)



Notions d'acoustique

Temps de réverbération

Des environnements très **absorbants** : (salle anéchoïque et salle de cinéma)



Notions d'acoustique

Temps de réverbération et gêne/inconfort

Relation entre activités / lieux :



activité d'une réunion

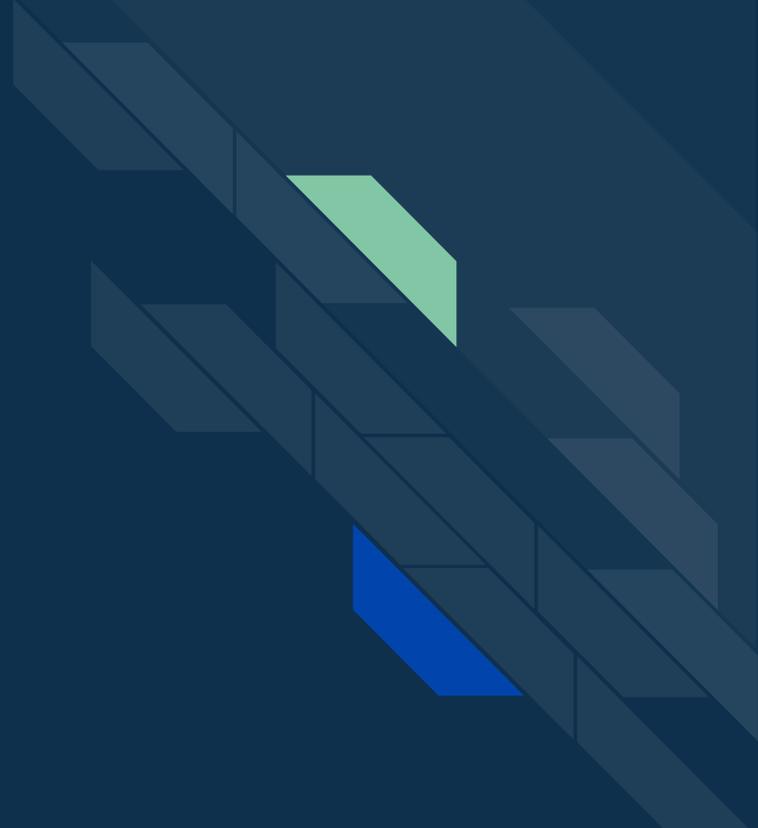


activité d'une production musicale



Notions d'acoustique

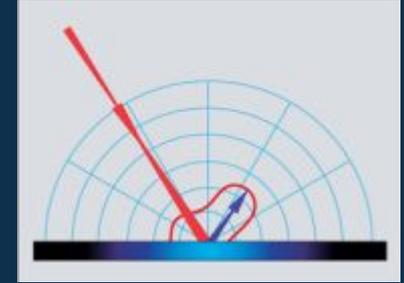
Les traitements acoustiques



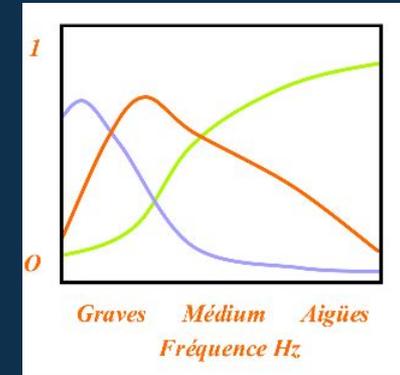
Notions d'acoustique

Absorption

- Caractérise la **capacité à absorber l'énergie** des ondes incidentes
- α = énergie absorbée / énergie incidence
 - si $\alpha \approx 1$: énergie abs. = énergie inc. \Rightarrow **matériaux très absorbant**
 - si $\alpha \approx 0$: énergie abs. \ll énergie inc. \Rightarrow **matériaux très réfléchissant**
- Un matériau est dit "absorbant", si $\alpha \geq 0.4$ environ
- L'absorption d'un matériau varie en fonction de la fréquence.



Matériau absorbant



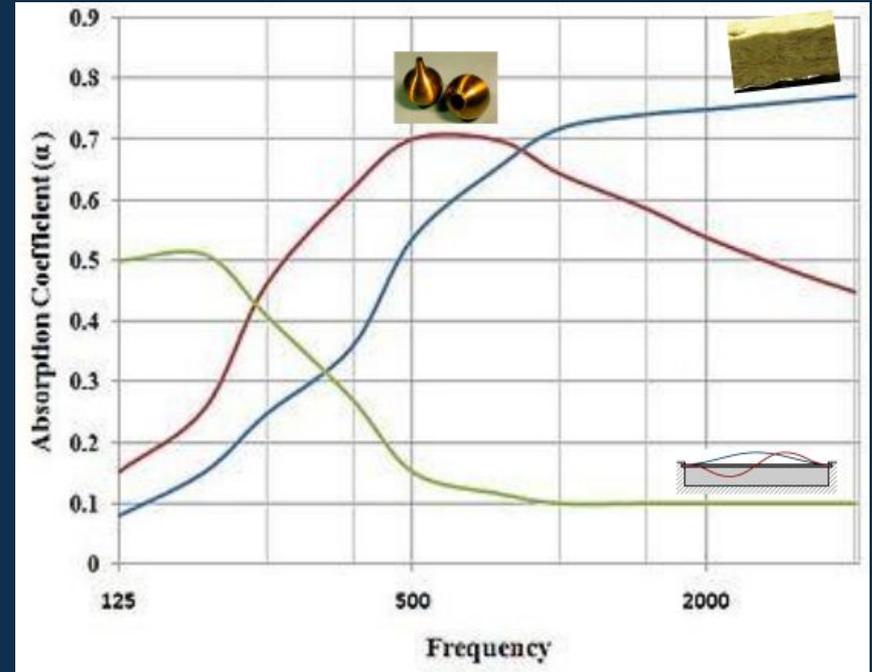
Notions d'acoustique

Absorption

Il existe principalement 3 méthodes pour absorber :

- Effet **membrane** (ou diaphragme)
- Effet **résonateur** (Helmholtz, $\frac{1}{4}$ d'onde,...)
- Effet **poroux/fibreux**

Pour chacune de ces techniques, l'**efficacité dépend de la fréquence**. Ceci étant, il est possible de **combiner plusieurs effets** sur le même produit = panneaux perforés



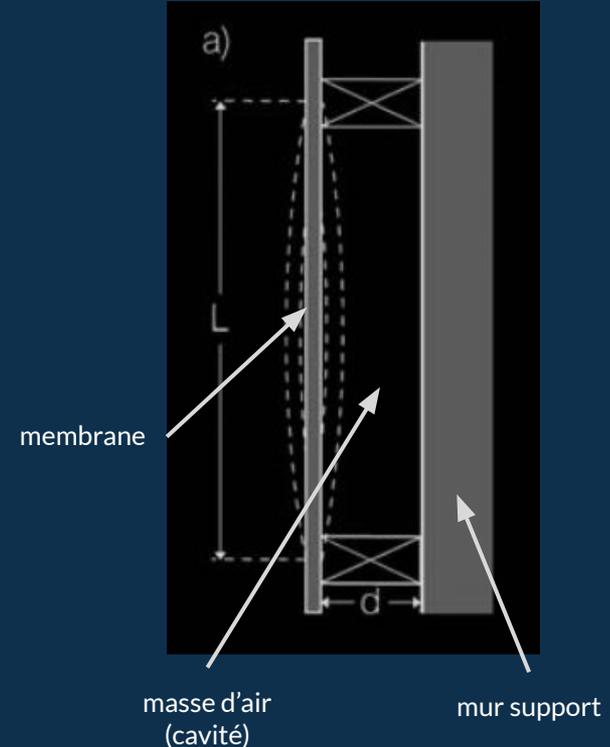
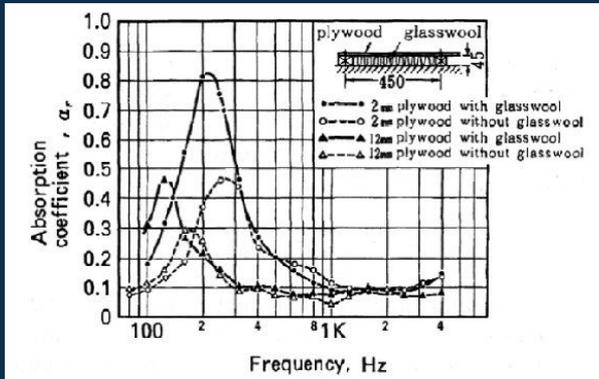
Notions d'acoustique

Absorption - effet membrane

Principe : Le panneau + masse d'air rentre en vibration naturelle à une fréquence particulière \Rightarrow **absorption** autour de cette fréquence

Paramètres influents :

- Masse surfacique du panneau,
- Distance de la cavité arrière.



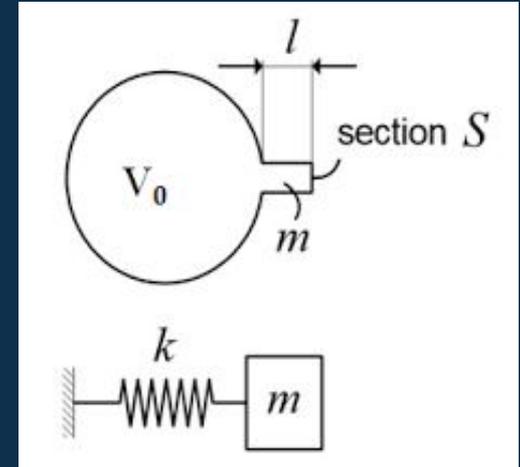
Notions d'acoustique

Absorption - effet résonateur

Principe : Le masse d'air dans le col et le volume arrière rentre en vibration naturelle à une fréquence particulière → **absorption** autour de cette fréquence

Paramètres influents :

- Géométrie de l'ouverture,
- Volume de la cavité.



Equivalence mécanique au résonateur acoustique d'Helmholtz

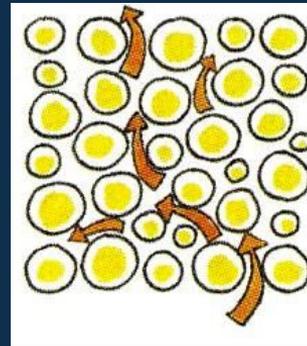
Notions d'acoustique

Absorption - effet poreux/fibreux

Principe : Effet de dissipation de l'énergie acoustique par transfert de chaleur par frottements et effet visqueux avec l'air.

Paramètres influents :

- Résistance au passage de l'air : entre 2000 et 100 000 Pa.s/m²
- Epaisseur du matériau
- Distance de la paroi rigide



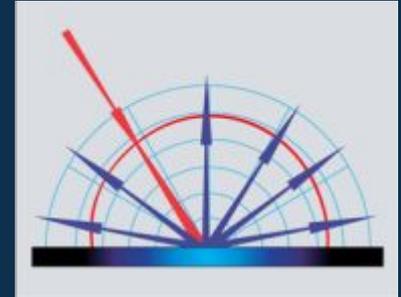
Notions d'acoustique

Diffusion

Capacité à réfléchir les ondes incidentes dans toutes les directions



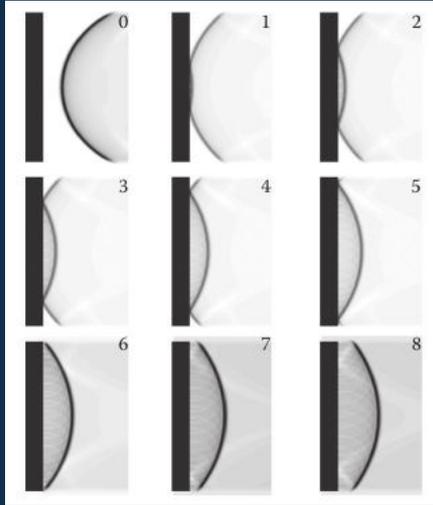
Studio Blackbird (Nashville)



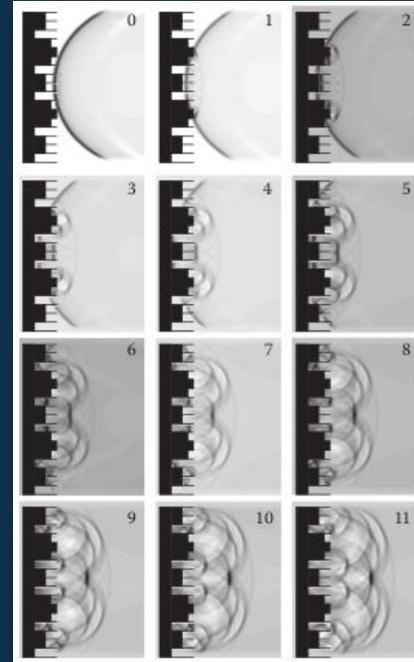
Matériau diffusant

Notions d'acoustique

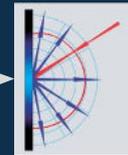
Diffusion



Evolution temporelle d'une onde réfléchi sur une **surface plate**

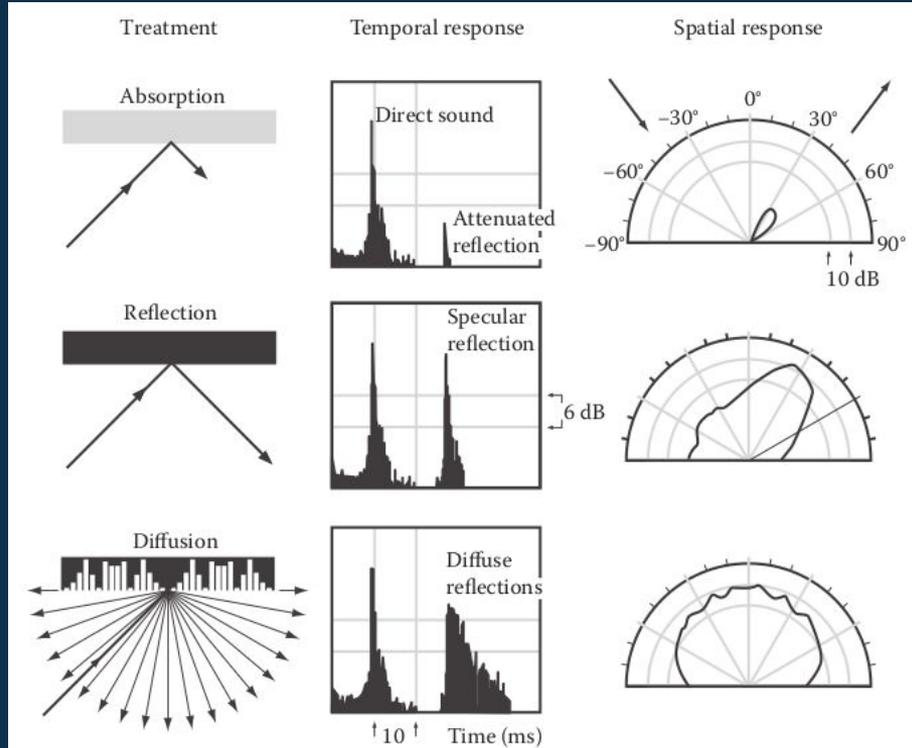


Evolution temporelle d'une onde réfléchi sur un **diffuseur** (type Schroeder)



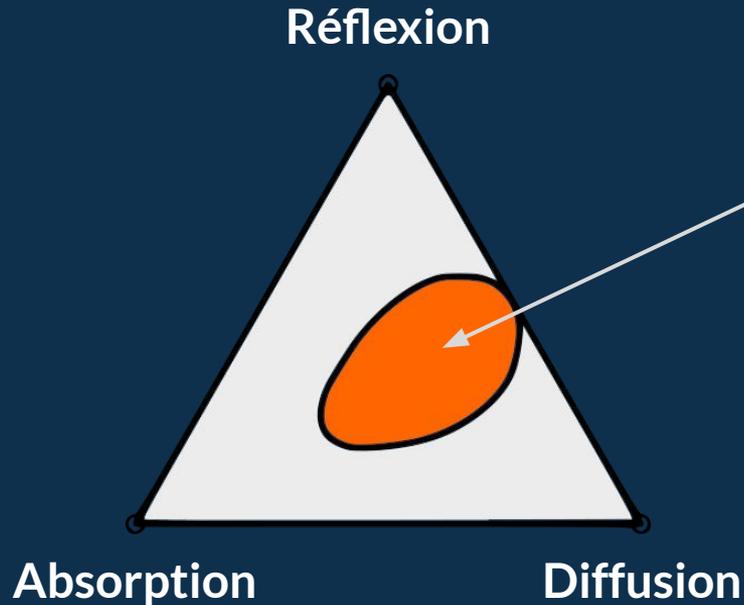
Notions d'acoustique

Différences entre absorption, réflexion et diffusion



Notions d'acoustique

Absorption, réflexion et diffusion, quelle technique choisir ?

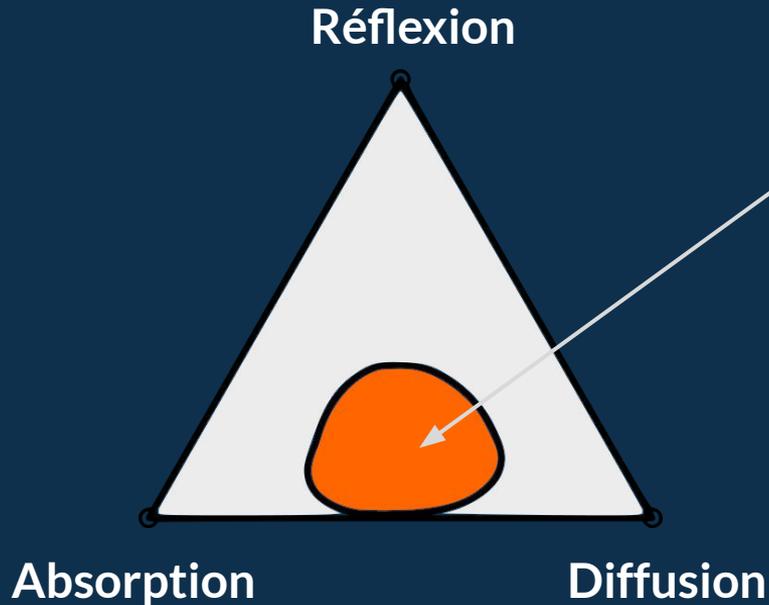


Activités de production sonore :

- Halle de concert et de récital,
- Auditorium,
- Théâtres,
- Salles d'audiences,
- Lieux de cultes.

Notions d'acoustique

Absorption, réflexion et diffusion, quelle technique choisir ?

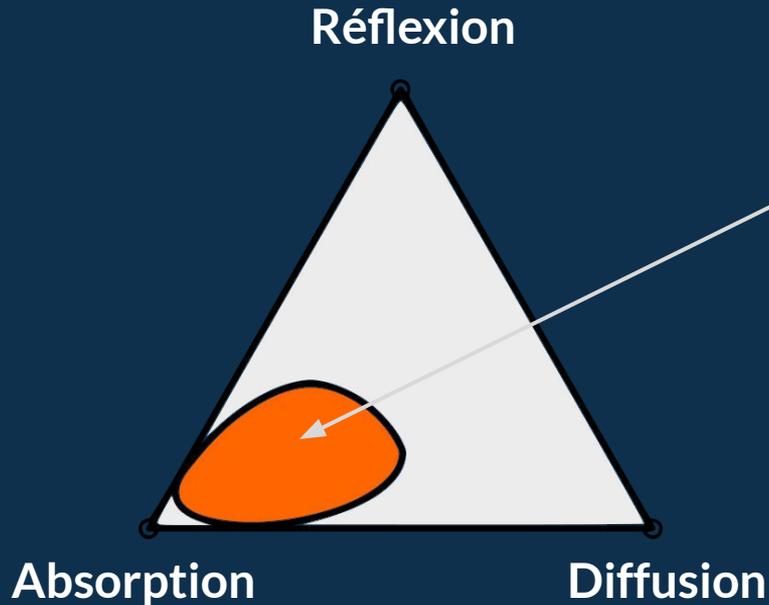


Activités de reproduction sonore :

- Studios d'enregistrements / broadcast,
- Salles de visioconférence,
- Home-cinema.

Notions d'acoustique

Absorption, réflexion et diffusion, quelle technique choisir ?

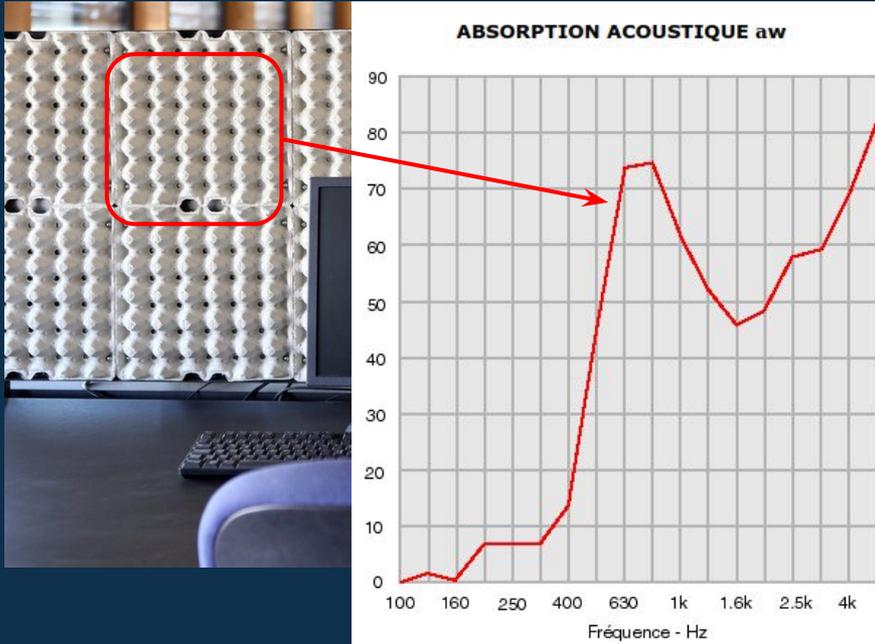


Activités avec contrôle du bruit :

- Usines,
- Gymnases,
- Piscines,
- Bibliothèques,
- Atrium.

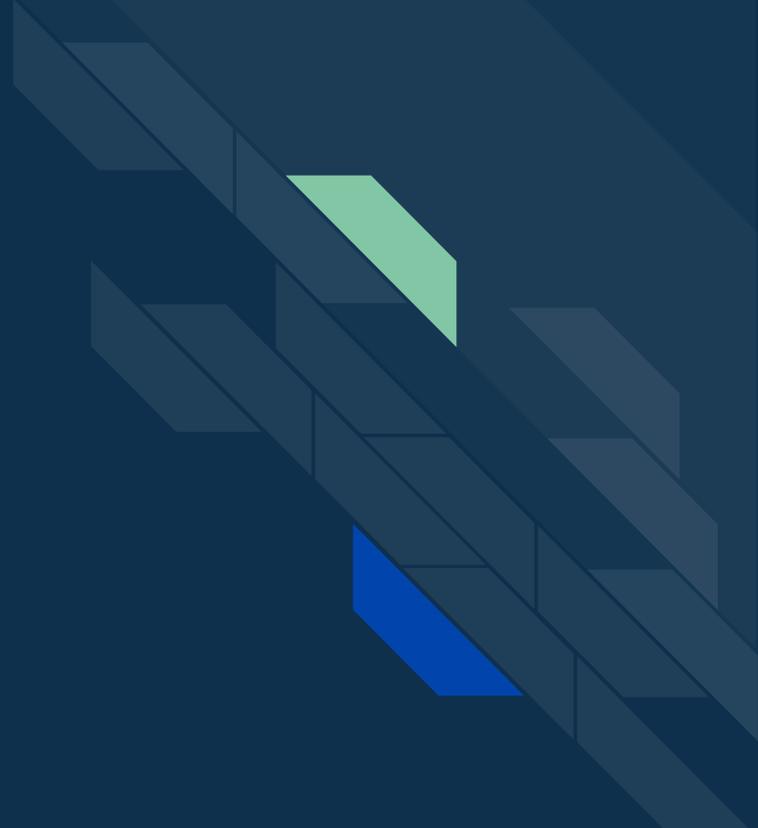
Notions d'acoustique

La boîte d'œufs : mythe ou réalité ?



- Crête d'absorption vers 700 Hz, correspondant à la fréquence de résonance (membrane).
- L'absorption aux fréquences supérieures est liée à la surface et à la porosité du matériau.
- La légèreté du matériau ne lui confère aucune propriété en matière d'isolation acoustique.
- L'absorption est très sélective et convient uniquement dans le cas où l'on souhaite absorber une fréquence ponctuelle autour de 700 Hz.
- La correction est inexistante aux basses fréquences.
- Enfin, la boîte à œufs est très inflammable, donc dangereuse.

Correction acoustique



Correction acoustique : nécessité ou option ?

Confort acoustique au travail



photo Wellko

Réglementation : Code du travail - limiter l'exposition aux bruits des salariés.

Étude de l'INRS :

“**67 % des actifs français se disent dérangés par le bruit sur leur lieu de travail** (Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail).

Les secteurs les plus concernés sont **l'industrie (16,8 %)** et la **construction (10,5 %)**. Un certain nombre de ces salariés seront atteints de surdité irréversible.”

Correction acoustique : nécessité ou option ?

Effet Lombard



Phénomène de **modification de la prononciation humaine pour compenser la présence de bruits environnants**. L'humain est obligé de forcer la voix pour avoir un propos intelligible.

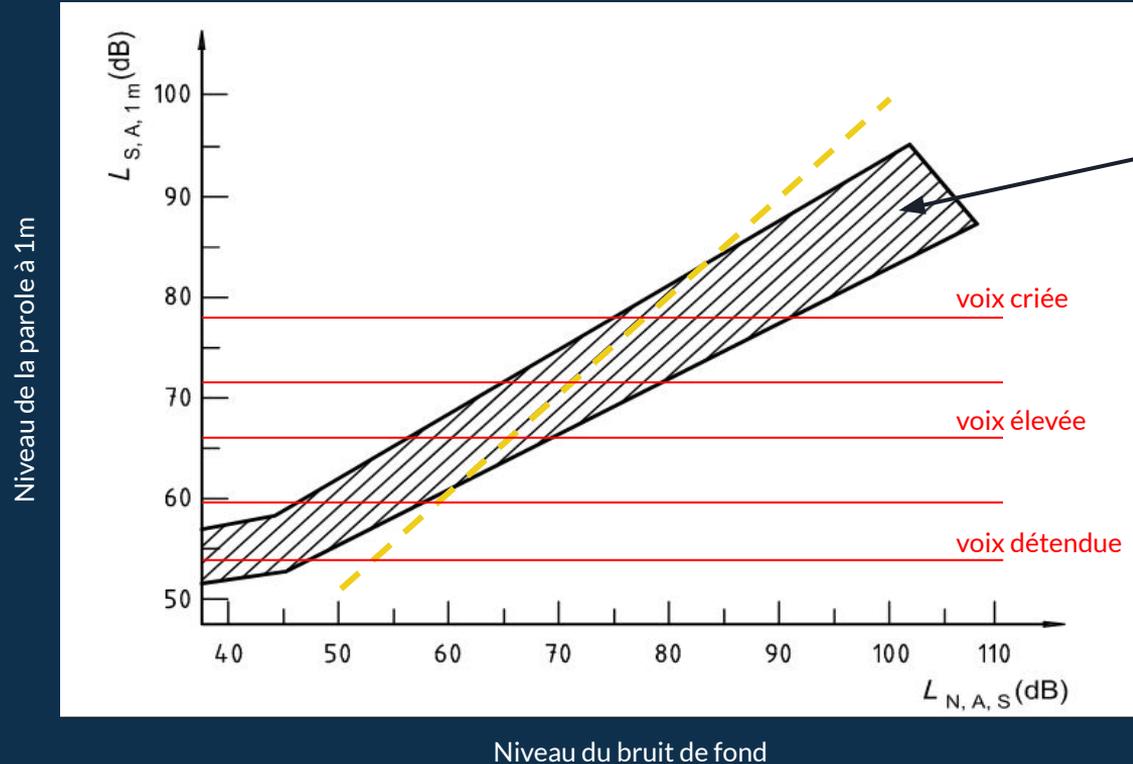
Restaurants, salles de réception, cantines, ce sont probablement les meilleurs exemples de l'effet cocktail.

Au-delà de parler plus fort, nous adaptons notre **tonalité, notre articulation et notre prononciation des voyelles** de façon à être mieux compris.

Cercle vicieux : plus le bruit de fond sera élevé, plus nous allons amplifier notre effort vocal... et donc augmenter encore davantage le bruit de fond.

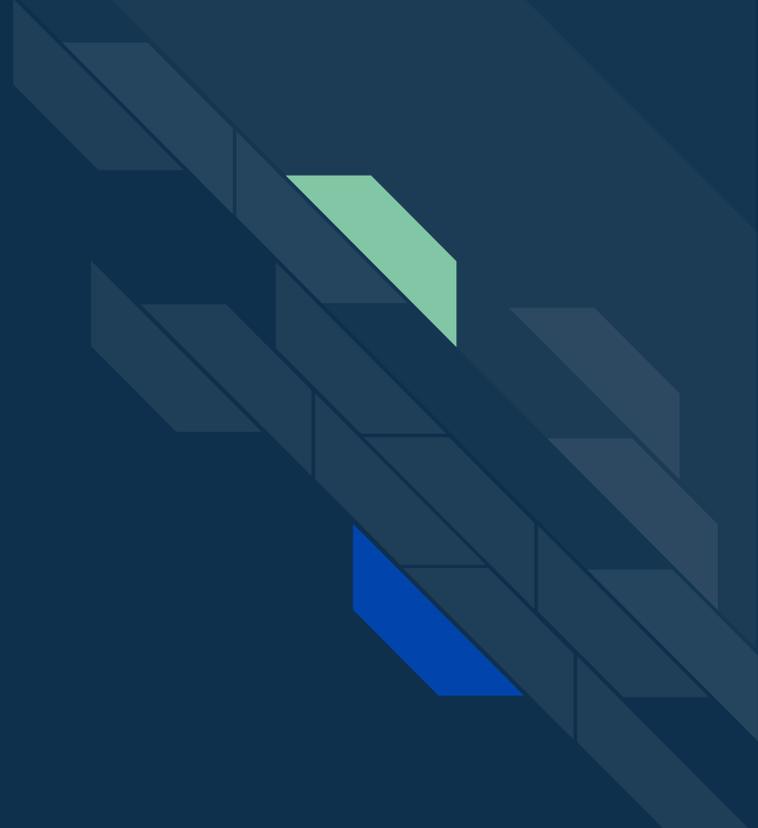
Correction acoustique : nécessité ou option ?

Effet Lombard



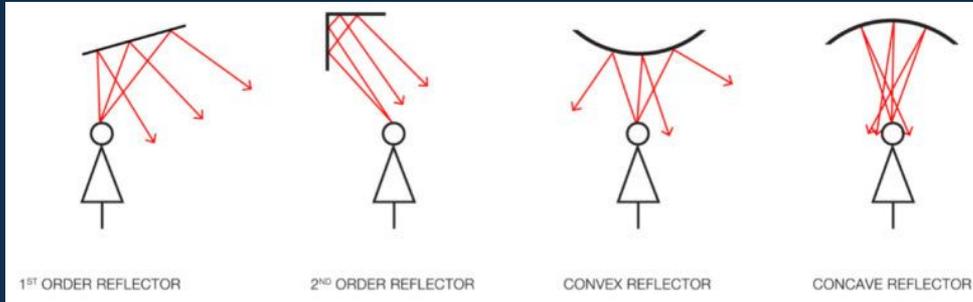
Variabilité de
l'effet Lombard
parmi différents
interlocuteurs
=
zone à éviter

Concevoir la correction acoustique



Concevoir la correction acoustique à l'échelle des espaces

Impact des formes :



source : acoucou.org

Impact du volume :

Temps de réverbération optimal pour les salles vides destinées à la parole - Formule de Knudsen :

$$T_{r,opt} = 0,32 * 0,17 \log V \quad (V \text{ en m}^3)$$

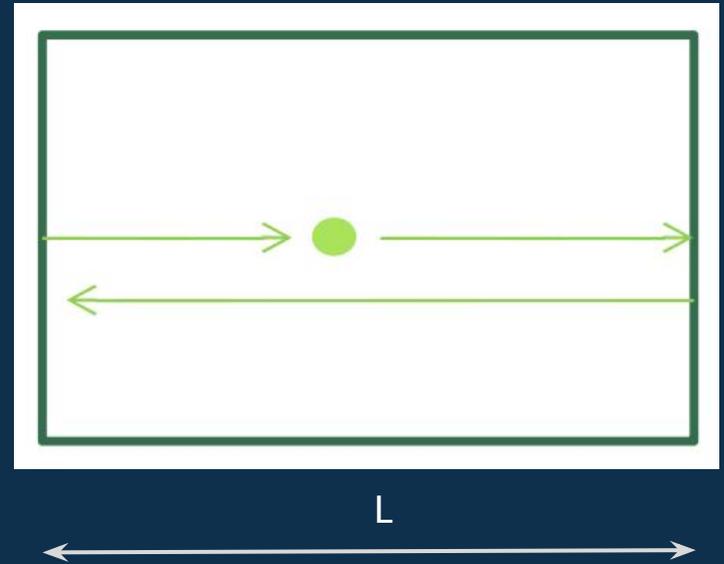
Concevoir la correction acoustique à l'échelle des espaces

Impact des dimensions :

Deux signaux décalés:

- $t_{\text{echo}} < 5 \text{ ms}$: Perçus comme unique
- entre 5-40 ms : Unique mais légèrement déformé
- entre 40-80 ms : Sensation d'espace et de déformation
- $> 80 \text{ ms}$: l'écho se fait sentir

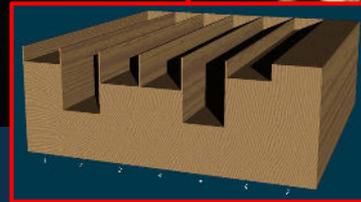
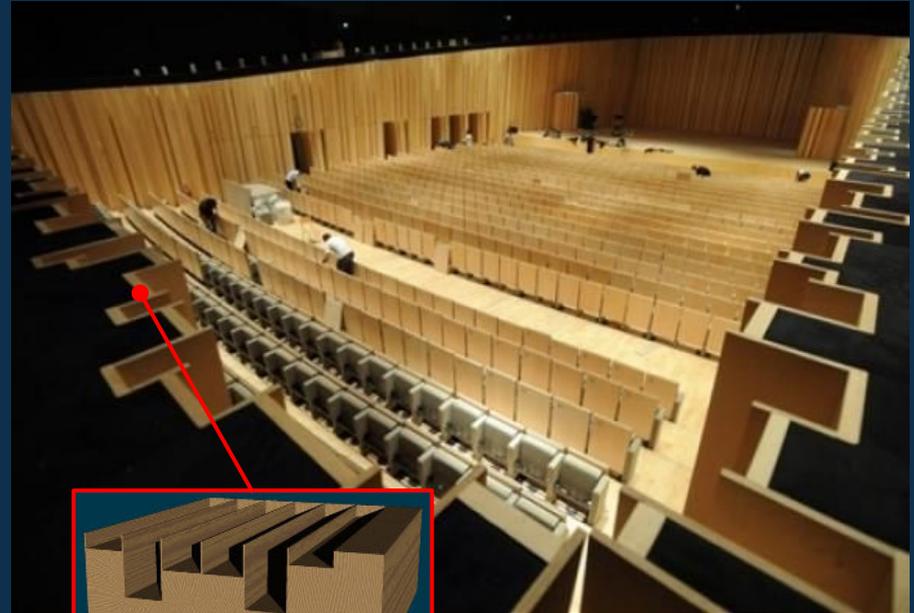
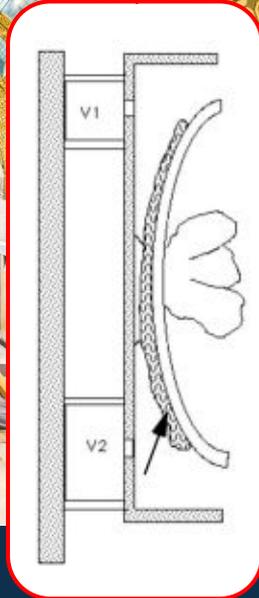
$$t_{\text{echo}} = 2 * L / 343 \text{ (L en m)}$$



Concevoir la correction acoustique à l'échelle des espaces

Résonateurs de Helmholtz

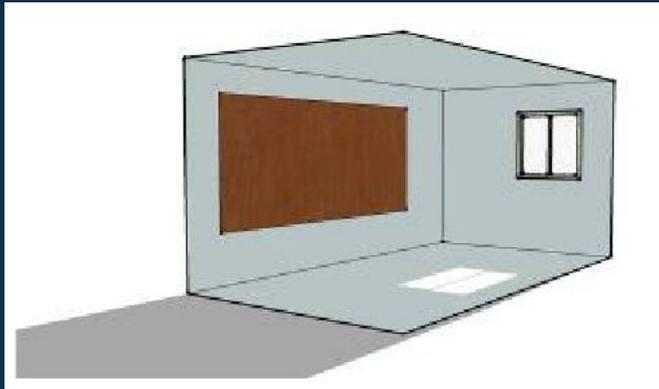
Diffuseurs Schroeder



Musée d'Orsay

Auditorium de Poitiers

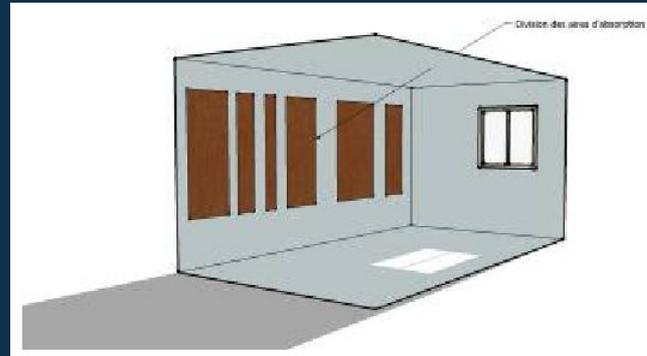
Concevoir la correction acoustique à l'échelle des espaces



Eviter de concentrer et centrer le traitement acoustique



De préférence :
Localiser les absorbants sur les encoignures



ou favoriser les divisions pour profiter des effets de bords.

Concevoir la correction acoustique à l'échelle de l'agencement



Armoire avec panneaux absorbants - source Print Acoustic



“Faïence” acoustique - assemblage de panneaux diffusants et absorbants

Concevoir la correction acoustique à l'échelle de l'agencement



Diffuseurs acoustiques involontaires
(quantifiable ?) - photo : Cocktail Scandinvé



Absorbants/diffuseurs - photo : Idea&Ko



Alcôve en panneaux absorbants - photo : Wood
mobilier

Concevoir la correction acoustique à l'échelle du matériau

CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) —
Etude MABIONAT, Mai 2016

Gamme de matériaux couverte

La base de données rassemble les propriétés de plus de 60 matériaux, issus des 4 grandes familles suivantes illustrées figure 1 :

- a) des laines végétales (laines de lin, de chanvre, de coco, de bois ...),
- b) des granulats végétaux en vrac (chènevotte, particules de pin, moelle de tournesol ...),
- c) des bétons végétaux (béton de chanvre, béton de bois),
- d) des panneaux thermoformés (à partir de colza, de lin, de tournesol, ...).



(a)



(b)



(c)

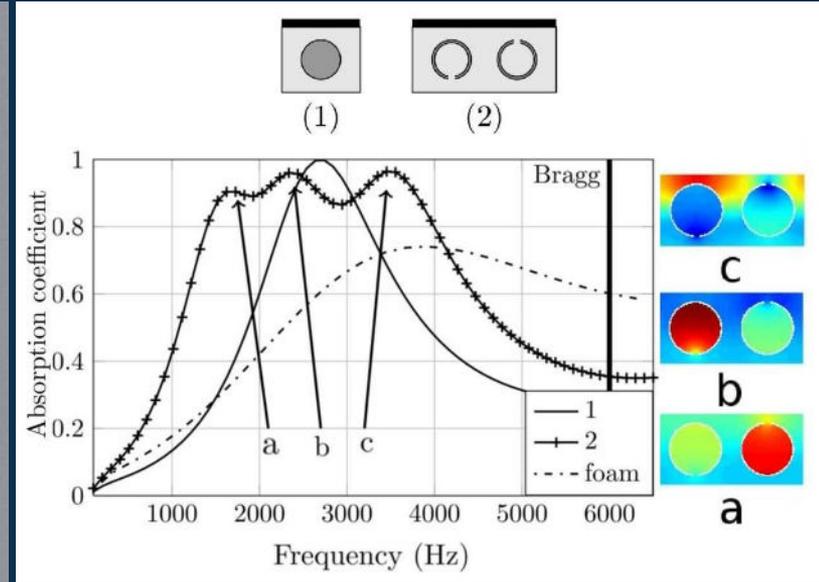
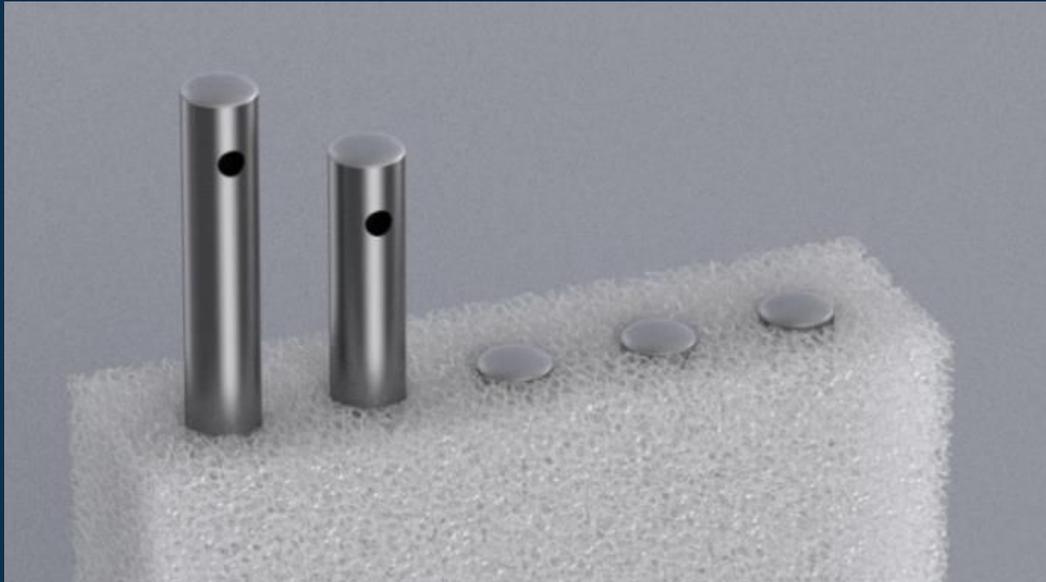


(d)

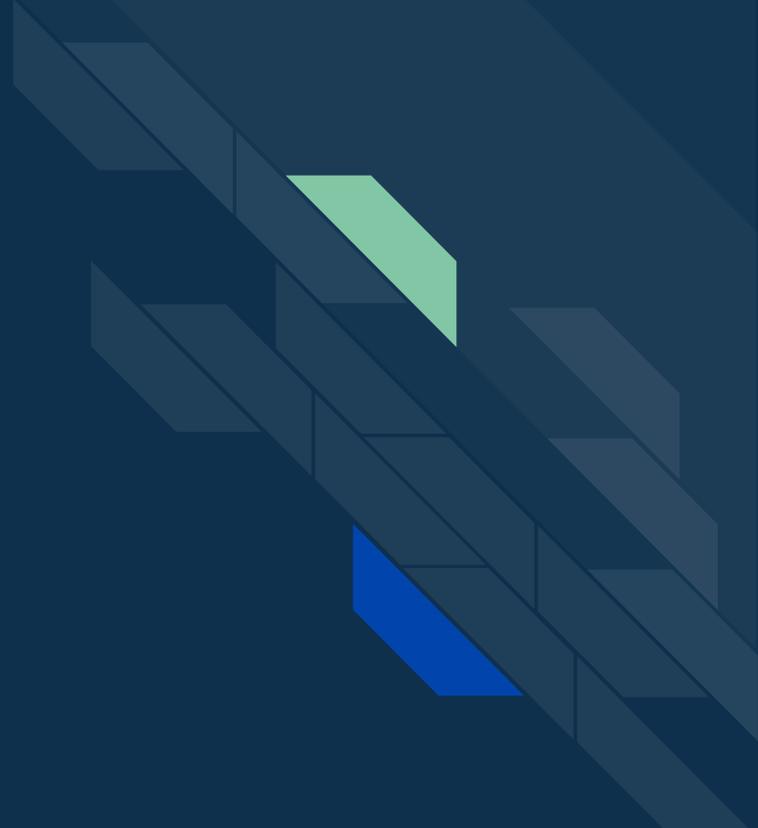
Fig. 1 : catégories de matériaux intégrées à la base de données

Concevoir la correction acoustique à l'échelle du matériau

Le concept des métamatériaux



Identifier les limites de la correction acoustique



Limites de la correction acoustique

- On ne traite pas toute les problématiques du bruit dans les espaces intérieurs avec la correction acoustique. Importance d'avoir **bien identifier l'origine du bruit**.
- Il est parfois nécessaire de **sortir du périmètre de la correction acoustique** pour résoudre une gêne (isolation acoustique).
- Tous les **matériaux ne sont pas équivalents**. Il est important de demander les performances aux fabricants (essais laboratoire).
- Attention aux réhabilitations et aux changements d'usage des espaces = **Anticiper**