

SILENCE

on vit !

Des acteurs s'engagent pour renforcer
le confort acoustique des espaces intérieurs



LES NOTIONS ESSENTIELLES DE L'ACOUSTIQUE

Maurice AUFFRET
Conseil en Acoustique

mardi 23 juin 2015
Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
Place Carpeaux 92055 La Défense

Conférence-Débat organisée par la FIPS et le CIDB



SILENCE

on vit !

Des acteurs s'engagent pour renforcer
le confort acoustique des espaces intérieurs



DESCRIPTEURS FONDAMENTAUX

2

Maurice AUFFRET

mardi 23 juin 2015
Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
Place Carpeaux 92055 La Défense

Conférence-Débat organisée par la FIPS et le CIDB



SILENCE

on vit !

Des acteurs s'engagent pour renforcer
le confort acoustique des espaces intérieurs



3

LE SON - LE BRUIT

Maurice AUFFRET

mardi 23 juin 2015
Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
Place Carpeaux 92055 La Défense

Conférence-Débat organisée par la FIPS et le CIDB



Définition du son

Le son est une sensation auditive provoquée par des variations de pression de l'air.

Ce phénomène physique complexe se décompose en trois étapes :

- L'émission
- La propagation
- La réception



Définition du bruit

Norme AFNOR 30001 : Phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme désagréable ou gênante.

Cette définition met en évidence 3 dimensions de nature différente :

- La dimension physique
- La dimension physiologique
- La dimension psychosociologique



Définition du bruit

La dimension physique

Le bruit est un phénomène vibratoire qui obéit à des lois physiques classiques. Ces lois utilisent les caractéristiques physiques mesurables du bruit :



Définition du bruit

La dimension physiologique

Le bruit est à l'origine d'une série de perceptions ressenties par le sujet exposé.

Il est important de pouvoir relier la perception aux caractéristiques mesurables du phénomène qui en sont à l'origine.

Cela impose la définition de descripteurs mesurables adaptés.



Définition du bruit

La dimension psychosociologique

Il s'agit de la représentation et de la signification que l'auditeur donne aux phénomènes qui lui sont imposés.

Deux personnes exposées au même bruit peuvent l'interpréter de manière totalement différente.

Dimension énoncée par l'occupant et que l'acousticien doit « décoder » pour proposer des solutions techniques.

SILENCE

on vit !

Des acteurs s'engagent pour renforcer
le confort acoustique des espaces intérieurs



9

DESCRIPTEURS PHYSIQUES

Maurice AUFFRET

mardi 23 juin 2015
Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
Place Carpeaux 92055 La Défense

Conférence-Débat organisée par la FIPS et le CIDB





La dimension physique

Les descripteurs

Ils rendent compte des caractéristiques physiques des sons et des bruits et constituent une approche objective des phénomènes acoustiques.

Ils sont au nombre de 4 :

- **La pression**
- **La fréquence**
- **La durée**
- **La puissance de la source**



La pression acoustique

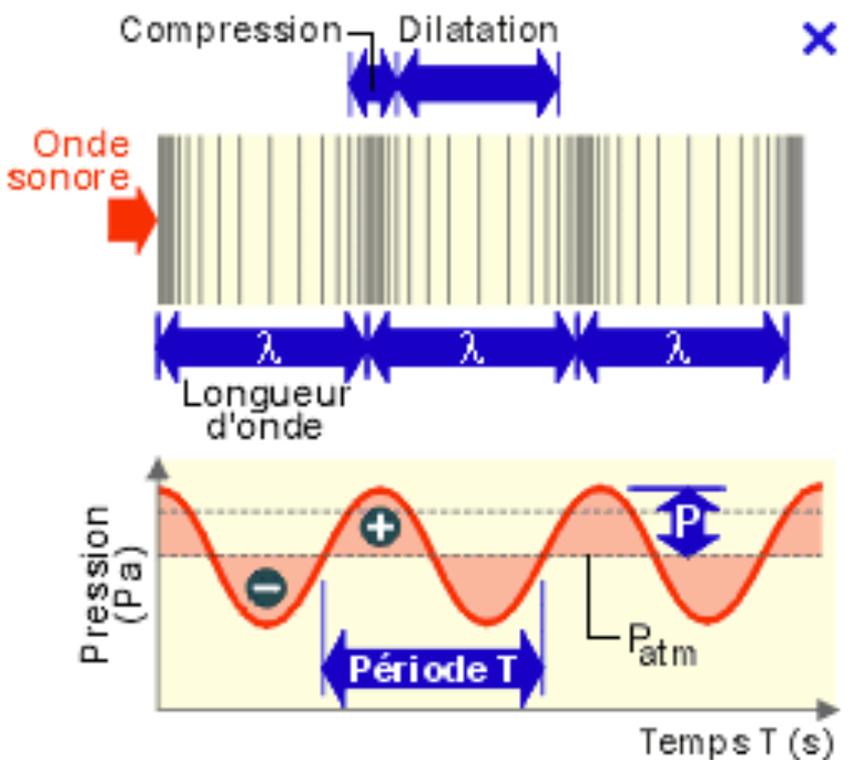
Elle constitue la dimension la plus accessible du phénomène.

Au passage d'une onde sonore en un point, la pression de l'air oscille autour d'une valeur moyenne constante correspondant à la pression atmosphérique.

La différence entre la pression $P(t)$ et la pression atmosphérique P_0 est la pression acoustique instantanée dont l'unité est :

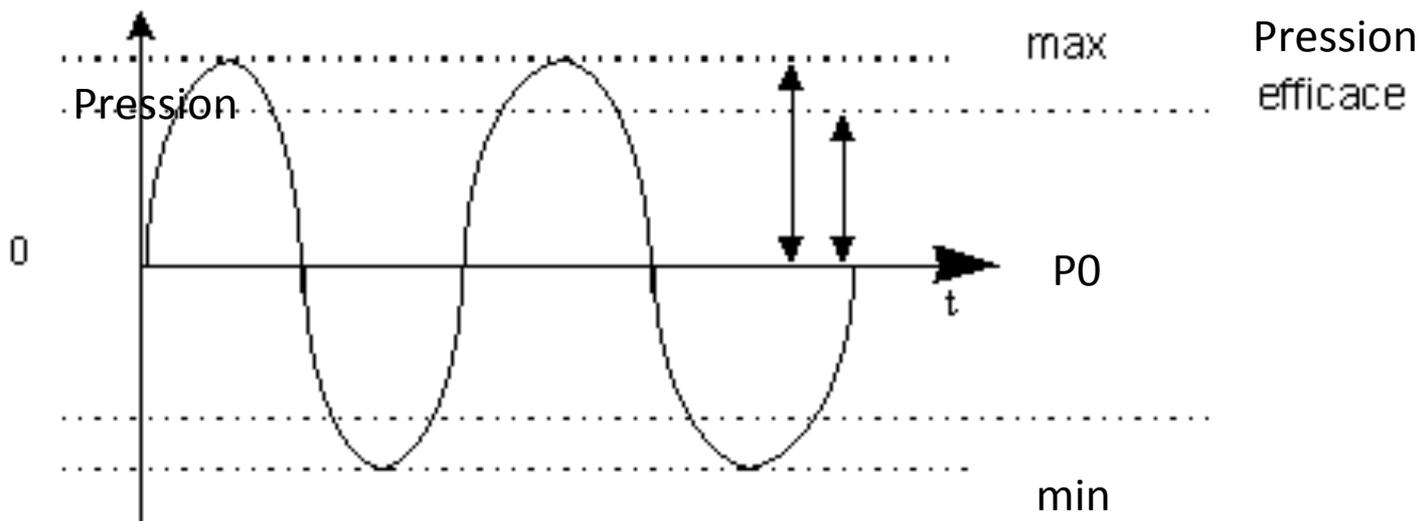
le Pascal (Pa) ou Newton par m^2 (N/m^2)

La pression acoustique



L'enchaînement des variations périodiques successives entraînent la mise en place d'une onde sonore

La pression efficace



Pour les mesures de niveau sonore, on s'intéresse moins aux valeurs de la pression sonore instantanée qu'à la pression acoustique efficace que les ondes sonores véhiculent.

La valeur efficace de la pression acoustique, grandeur positive, se calcule sur une période d'intégration

La pression acoustique

Pression atmosphérique

10^5 Pa

Pression acoustique minimum détectable

2×10^{-5} Pa

Pression acoustique maximum supportable

200 Pa

Pression acoustique maximum existante

20 000 Pa

Les variations des pressions acoustiques mesurables varient sur
une échelle de grandeur de 10^7



Le niveau de pression acoustique

LE DÉCIBEL

$$L_p = 10 \log \frac{p_{\text{eff}}^2}{p_0^2}$$

- p_{eff} = pression acoustique efficace
- p_0 = $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (pression acoustique minimum détectable).

Le niveau de pression acoustique

NIVEAU DE PRESSION L_p

Pression acoustique en Pascal		Niveau de pression en dB
$2 \cdot 10^2$		140
	6,32.10	130
$2 \cdot 10^1$		120
	6,32	110
2		100
	$6,32 \cdot 10^{-1}$	90
$2 \cdot 10^{-1}$		80
	$6,32 \cdot 10^{-2}$	70
$2 \cdot 10^{-2}$		60
	$6,32 \cdot 10^{-3}$	50
$2 \cdot 10^{-3}$		40
	$6,32 \cdot 10^{-4}$	30
$2 \cdot 10^{-4}$		20
	$6,32 \cdot 10^{-5}$	10
$2 \cdot 10^{-5}$		0

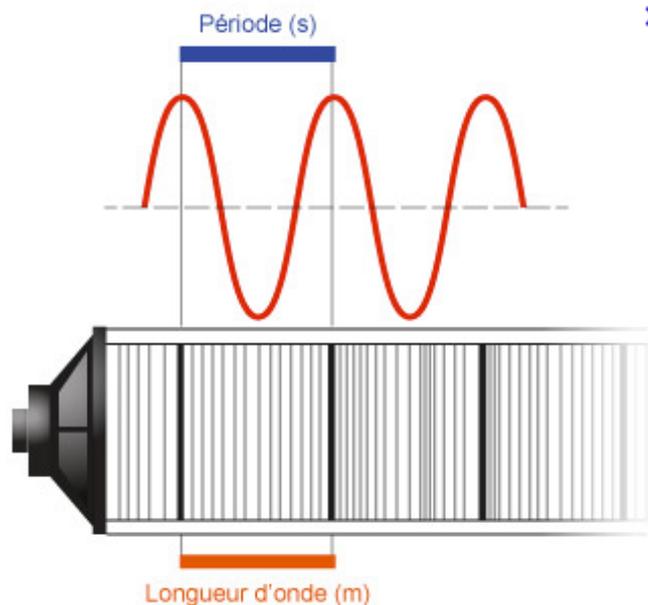
Pour les niveaux de pression faibles (en dessous de 50 dB), il suffit d'une variation minime de la pression acoustique pour augmenter le niveau de 10 dB.

Par contre, la même augmentation de niveau demande une variation plus importante (quelques Pa) pour les niveaux élevés (supérieurs à 100).

On peut dire que la manipulation du décibel nécessite un effort mental permanent !

Le décibel du bas est différent du décibel du haut.

FREQUENCE D'UN SON



x

Au passage d'une onde sonore, la pression acoustique se reproduit après un intervalle de temps appelé **Période**.

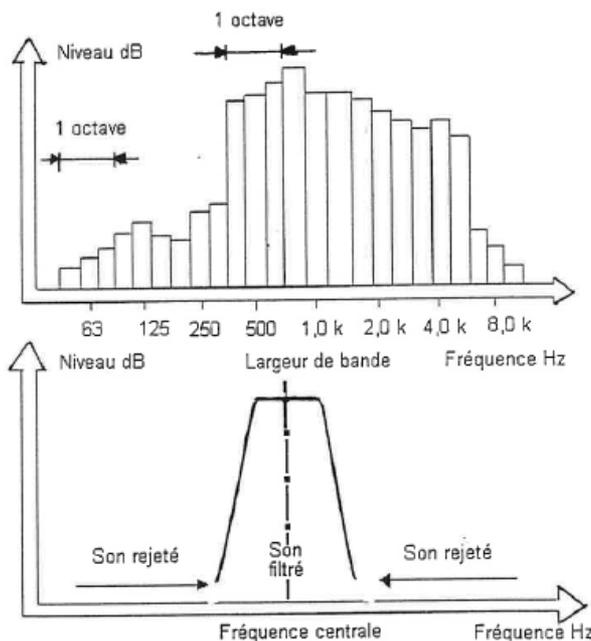
La fréquence f d'un son est le nombre de période par seconde.

Elle s'exprime en **Hertz (Hz)**.

L'onde se propageant à la vitesse C_0 pendant la période T , elle a parcouru la distance $\lambda = C_0/f$ appelée la longueur d'onde

$C_0 = 340 \text{ m/s}$ (vitesse du son dans l'air)

ANALYSE SPECTRALE D'UN SON



La recherche d'informations détaillées sur un bruit impose un découpage de la gamme de fréquences en bandes.

Ce découpage est réalisé au moyen de filtres qui rejettent tout signal dont la fréquence ne correspond pas à la bande de fréquence choisie.

Ces bandes ont une largeur appelé bande passante Δf d'un octave ou d'un 1/3 d'octave.

CARACTÉRISTIQUES DES FILTRES

Caractéristiques des filtres

Octave			1/3 d'octave		
FI	FC	FS	FI	FC	FS
11	16	22	14,1	16	17,80
			17,8		22,40
22	31,5	44	22,4	25	28,2
			28,2		35,5
			35,5	40	44,7
44	63	88	44,7	50	56,2
			56,2		70,8
			70,8	80	89,1
88	125	177	89,1	100	112
			112		141
			141	160	178
177	250	355	178	200	224
			224		282
			282	315	355
355	500	710	355	400	447
			447		562
			562	630	708
710	1 000	1 420	708	800	891
			891		1 122
			1 122	1 250	1 413
1 420	2 000	2 840	1 413	1 600	1 778
			1 778		2 239
			2 239	2 500	2 818
2 840	4 000	5 680	2 818	3 150	3 548
			3 548		4 467
			4 467	5 000	5 623
5 680	8 000	11 360	5 623	6 300	7 079
			7 079		8 913
			8 913	10 000	11 220
11 360	16 000	22 720	11 220	12 500	14 130
			14 130		17 780
			17 780	20 000	22 390

FI = Fréquence inférieure, FC = Fréquence centrale, FS = Fréquence supérieure

SILENCE

on vit !

Des acteurs s'engagent pour renforcer
le confort acoustique des espaces intérieurs



ISOLATION ET CORRECTION ACOUSTIQUES

mardi 23 juin 2015
Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
Place Carpeaux 92055 La Défense

Conférence-Débat organisée par la FIPS et le CIDB





ISOLATION ET CORRECTION ACOUSTIQUES D'UN LOCAL

Isolation acoustique

L'**isolation** est l'ensemble des techniques destinées à réduire la **transmission du bruit** :

- de l'espace extérieur vers l'intérieur d'un local
- de l'intérieur d'un local vers l'extérieur
- entre deux ou plusieurs locaux d'un même bâtiment

La source sonore est toujours extérieure au local à protéger.

ISOLATION ET CORRECTION ACOUSTIQUES D'UN LOCAL

Correction acoustique

La correction acoustique traite de la réponse d'un local où se trouvent simultanément :

- la source du bruit
- Les occupants

Selon l'usage du local, l'objectif recherché est de :

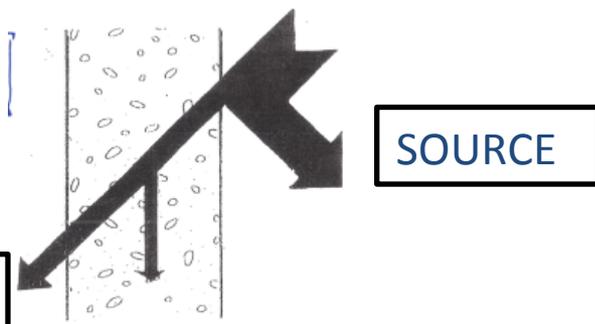
- Améliorer les conditions d'écoute (salles de classe, auditorium)
- Diminuer le niveau sonore (restaurants, bureaux, halls d'immeuble)
- Diminuer le niveau sonore pour favoriser l'écoute (réduire le rapport signal/bruit)

ISOLATION ET CORRECTION ACOUSTIQUES D'UN LOCAL

ISOLATION Réduction de l'énergie transmise

Domaine de l'isolation

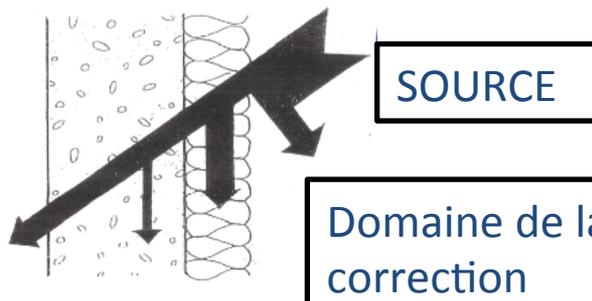
RÉCEPTION



CORRECTION Réduction de l'énergie réfléchie

SOURCE

Domaine de la correction



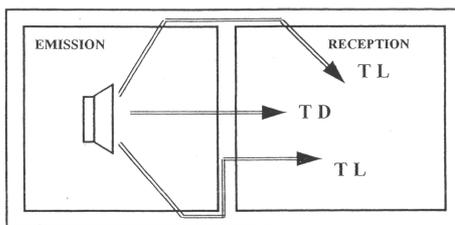
L'isolation permet de réduire l'énergie transmise

La correction permet de réduire l'énergie réfléchie

La réduction de l'énergie réfléchie n'a aucune incidence sur l'énergie transmise par la paroi, dont l'isolement reste constant.



PROPAGATION DU BRUIT ENTRE DEUX LOCAUX



TRANSMISSION DIRECTE TD

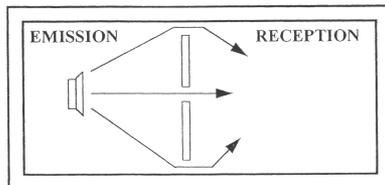
Elle est uniquement supportée par l'élément de construction séparatif

TRANSMISSION LATÉRALE TL

Elle pénètre dans le local de réception par contournement partiel ou total de l'ouvrage séparatif.

TRANSMISSION PARASITE

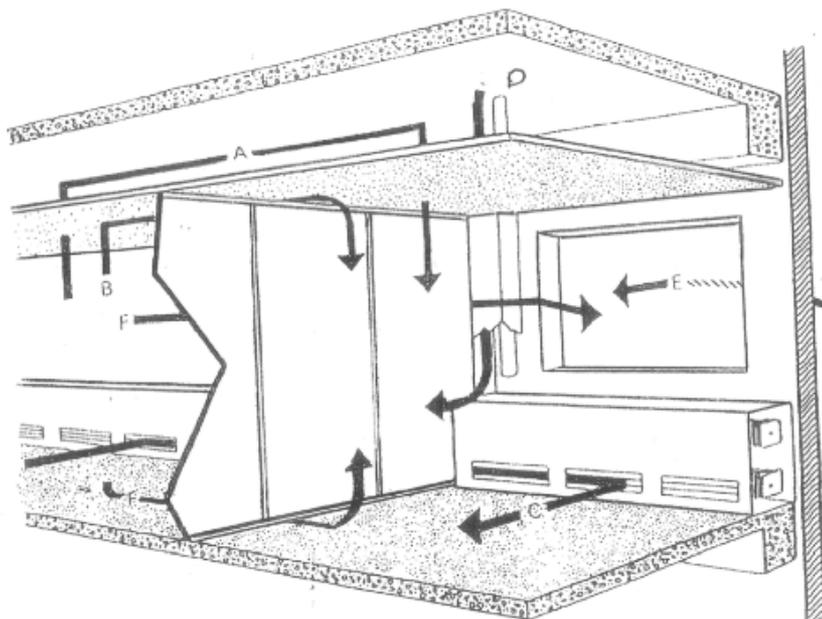
Elle utilise pour s'installer un défaut d'étanchéité (absence de joint : seuil de porte, passage de canalisation)



Pour améliorer l'isolement entre deux locaux il faudra réduire **SIMULTANEMENT** l'importance de toutes les propagations directe, latérale et éventuellement parasite

176

DÉFAUTS D'ISOLEMENTS COURANTS CAS DES BUREAUX



Transmissions parasites entre deux bureaux

- A. Propagation par le plenum
 - absence d'absorbant
 - absence de barrière acoustique
- B. Transmission par la structure du plafond
- C. Transmission par l'habillage des convecteurs et encoffrements horizontaux
- D. Transmission par les percussions verticales
- E. Transmission par les appuis sur les supports inférieurs

SILENCE

on vit !

Des acteurs s'engagent pour renforcer
le confort acoustique des espaces intérieurs



CORRECTION ACOUSTIQUE

26

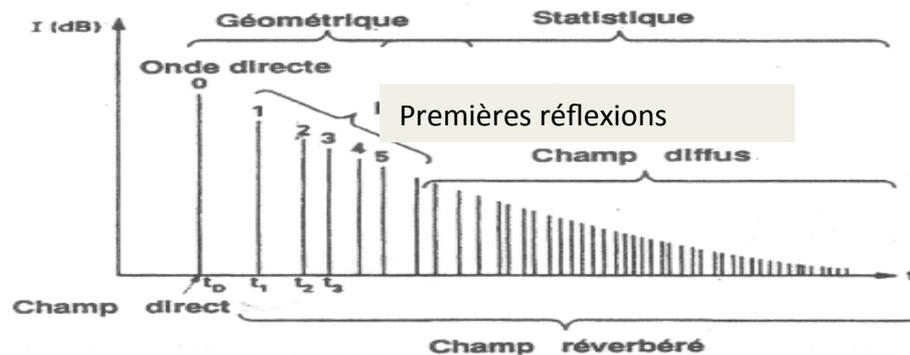
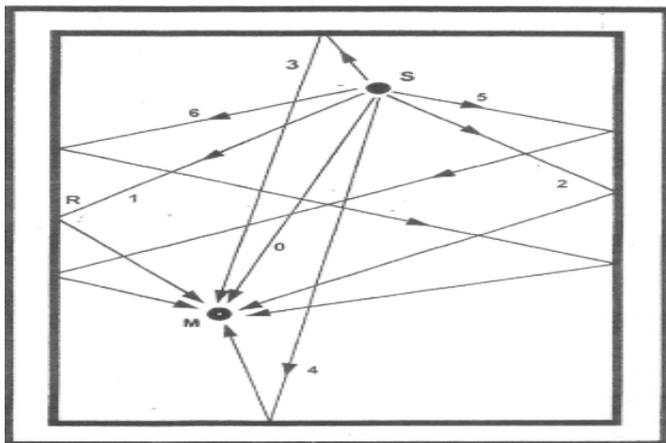
Maurice AUFFRET

mardi 23 juin 2015
Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
Place Carpeaux 92055 La Défense

Conférence-Débat organisée par la FIPS et le CIDB



Propagation des ondes sonores en espace clos : onde directe et ondes réfléchies



27

Maurice AUFFRET



Réponse d'un local excité par une impulsion

Le **son direct** parvient à l'auditeur en premier. C'est le plus fort.

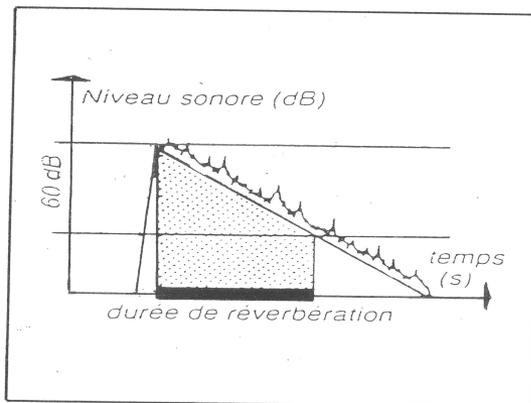
Les **réflexions précoces** (jusqu'à 80 ms).

- parviennent à l'auditeur de manière présente et distincte
- lui apportent des informations sur la réponse spatiale du local
- doivent être maîtrisées de manière très précise dès la conception

Les **réflexions tardives** de forte densité constituent la **réverbération** en champ diffus (de niveau relativement constant au sens large).

- associent une forte densité de réflexions à un niveau plus faible
- apportent des informations sur la réponse du local
- ne dépendent pas de la position de la source
- peuvent être modélisées statistiquement

La durée de réverbération



Il s'agit de la durée nécessaire pour que le niveau de pression acoustique décroisse de 60 dB après l'arrêt de l'émission de la source.

La durée T60 est exprimée en secondes.

Deux plages d'évaluation distinctes sont acceptées

- Taux de décroissance de 20 dB, noté T20 avec une décroissance de 5 à 25 dB
- Taux de décroissance de 30 dB, noté T30 avec une décroissance de 5 à 35 dB

La durée de réverbération

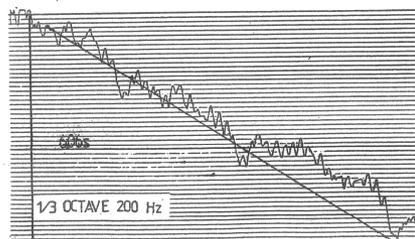
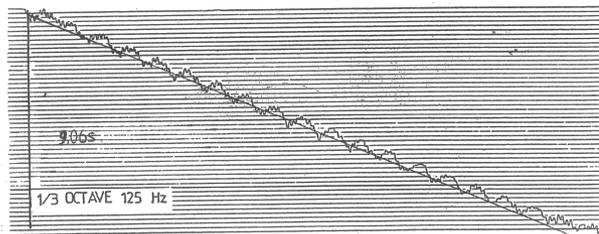
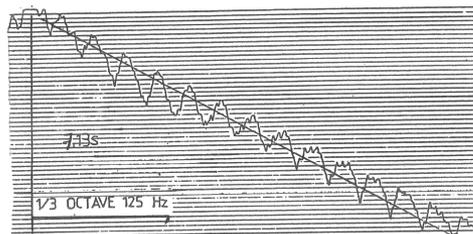
Durées de réverbération a 1000Hz couramment mesurées :

Type de local	Durée en s
Studio d'enregistrement	0.3 s
Chambre meublée	0.4s
Chambre non meublée	0.8 s
Bureau paysager	0.8 s
Restaurant meublé occupé	0.8
Restaurant meublé non occupé	1.2 s
Salle sportive	1.2 s
Piscine	1.5 s
Hall de gare	2.0 s
Eglise	3.5 s
Piscines non traitées	5.0 s
Salle réverbérante vide	7.0 s



La durée de réverbération

Variations des durées de réverbération d'un local



Le coefficient d'absorption

Le coefficient d'absorption

La quantité d'énergie absorbée par un matériau dépend :

- de l'angle sous lequel le son atteint le matériau
- de la fréquence du son incident
- de la nature du matériau
- des caractéristiques du local

On définit le coefficient d'absorption α d'un matériau comme le rapport :

$$\alpha = \text{énergie absorbée} / \text{énergie incidente atteignant le matériau}$$

Le coefficient α varie de 0 à 1.

Quand le son incident rencontre une paroi dure, lisse, lourde et réfléchissante $\alpha \rightarrow 0$;

Une fenêtre ouverte dans une paroi ne réfléchit aucune énergie, elle absorbe totalement l'énergie incidente $\alpha \rightarrow 1$

Le coefficient α d'un matériau est exprimé par bande de fréquence (tiers d'octave)

Soit sous forme de tableau

Soit sous forme de courbe

Le coefficient d'absorption

Le coefficient d'absorption α SABINE

Il est établi , en chambre réverbérante , conformément aux dispositions de la norme NFS31-003.

Il est noté α_s et varie de 0 à 1,3.

Il est mesuré à partir de l'évaluation de la durée de réverbération :

- En l'absence du matériau testé (chambre vide)
- En présence d'un échantillon de matériau de surface normalisée (10 à 12 m²)

Le coefficient α sabine est systématiquement utilisé en pratique pour qualifier le comportement des matériaux absorbants

COÉFFICIENT D'ABSORPTION PONDÉRÉ α_w

Coefficient d'absorption pratique α_p

Il est calculé à partir des valeurs du coefficient α sabine , en bande de tiers d'octave
Ces valeurs sont converties en valeur unique par moyenne arithmétique pour chaque bande d'octave

Elles constituent le α_p

Coefficient d'absorption α_w

Indice unique indépendant de la fréquence.

Il est égal à la valeur à 500 hertz , de la position d'un gabarit de référence , positionné sur la courbe de variation du coefficient α_p par bande d'octave

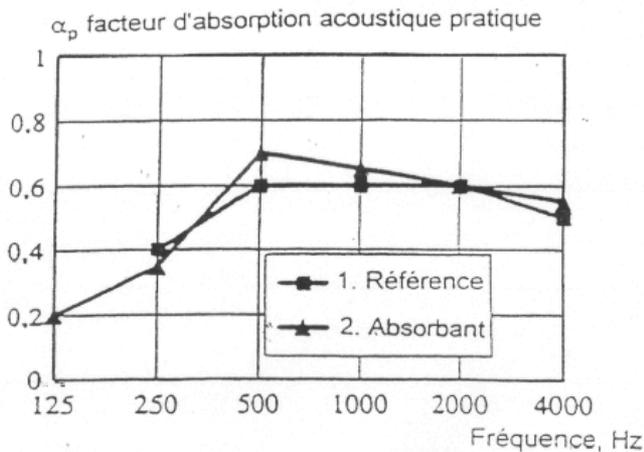
La somme des écarts défavorables des α_p devant être inférieure ou égale 0,1

Facteurs de forme LMH (Low , Médium, High)

Ils rendent compte de la position des écarts favorables supérieurs à 0,25



COÉFFICIENT D'ABSORPTION PONDÉRÉ α_w



Exemple de calcul de $\alpha_w = 0,60$

Fréquence Hz	1. Ref	2. Abs
125		0,20
250	0,40	0,35
500	0,60	0,70
1000	0,60	0,65
2000	0,60	0,60
4000	0,50	0,55

L'aire d'absorption équivalente

La quantité

$$A = S\alpha = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 + \dots + S_n\alpha_n$$

Est appelée Aire d'absorption équivalente du local.

Par exemple, si un matériau possède un coefficient α de 0,8 à 1 000 Hz, 1m² de ce matériau est équivalent à 0,80 m² de fenêtre ouverte.

Les objets absorbants placés dans un local doivent être pris en compte quand on calcule son AAE.

Ces objets dont les surfaces sont difficiles à calculer, sont affectés d'une AAE forfaitaire A_i . Les personnes présentes dans une salle constituent également une surface qui dans certaines conditions restent difficiles à évaluer.



La formule de sabine

En 1895, WC Sabine a proposé la formule suivante :

$$T = \frac{0,16V}{A}$$

T est la durée de réverbération en seconde

V est le volume du local en m³

A est l'aire d'absorption équivalente de la salle en m²

Comme le coefficient d'absorption, la durée de réverbération est rarement constante elle varie en fonction de la fréquence.

On la présente souvent sous forme de tableau et de courbe donnant des valeurs par bandes d'octave ou de 1/3 d'octave.

TR OPTIMUM

La réverbération d'un local joue un rôle important sur la conservation ou la dégradation du message parlé

La mise en place d'un traitement entraînant un TR trop court, dénature la qualité de la voix, en modifiant le timbre ainsi que l'équilibre tonal. Un TR trop long entretient un brouillage du message

Pour un volume donné le TR optimum résulte d'un compromis entre le niveau et la réverbération.

Le niveau sonore augmente avec la réverbération et le coefficient d'intelligibilité décroît

Salle vide destinée à la parole

- $TR_{opt} = 0,32 + 0,17 \log V$ (Knudsen)

Salle vide destinée à la musique

- $TR_{opt} = 0,75 + 0,12 V^{1/3}$ (Watson)

Les paramètres les plus influents affectant la perception des sons sont :

la durée de réverbération et principalement la durée de réverbération initiale EDT

La distribution des réflexions précoces