

LE SON  
notes sur la propagation et  
l'absorption acoustique



**ARTDESIGN**

24, rue Louis Blanc  
75010 Paris (France)

**Tel :** 01 47 86 29 51

**Fax :** 01 70 44 82 14

info@artdesign-mobilier.com

<http://www.artdesign-mobilier.com>

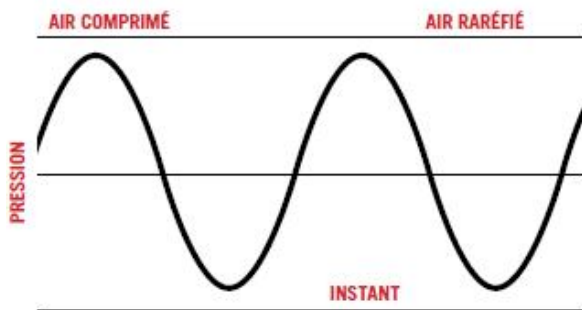
**LE SON**  
ÉLÉMENTS SUR LA PROPAGATION ET SUR LA PHONOABSORPTION

SOUS LA DIRECTION DE  
**MARCO FACONDINI**  
EXPERT-CONSEIL EN ACOUSTIQUE

# 1. le son

## LE SON EST UNE VARIATION DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE PERCEPTIBLE À L'OREILLE HUMAINE

Le son est une onde élastique longitudinale qui requiert un moyen de propagation et dont la perturbation a lieu parallèlement à la direction de propagation. Une source [corps vibrant] et un support élastique de propagation comme l'air, l'eau, le bois, le métal, etc. sont nécessaires à son existence [aucune propagation sonore n'a lieu dans le vide]. Le son transmet de l'énergie mécanique qui arrive aux corps récepteurs par radiation à partir de la source à travers le moyen de propagation. La perturbation se déplaçant sur le support de propagation se présente physiquement comme une succession de pressions et de dépressions et, donc, comme une oscillation de chaque particule en vibration autour d'une position moyenne propre fixe.

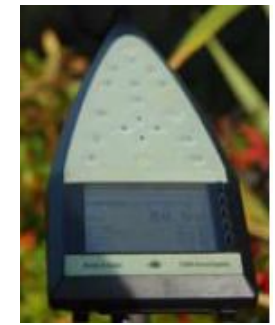
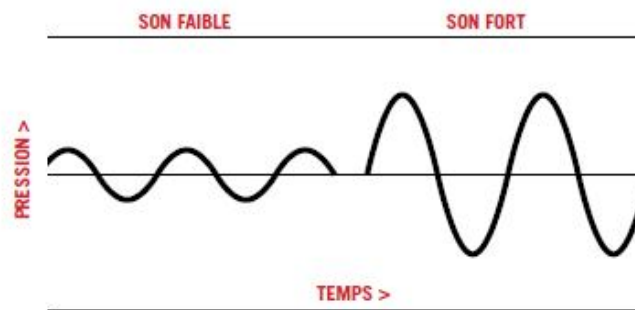


## INTENSITÉ DU SON

Il s'agit de la grandeur qui permet de distinguer les sons faibles des sons forts.

Un son est d'autant plus fort que l'amplitude des oscillations de la source génératrice est grande. L'intensité est définie comme le flux moyen d'énergie qui, dans l'unité de temps, traverse une surface disposée perpendiculairement à la direction de propagation. L'unité de mesure de l'intensité sonore est le **DECIBEL (dB)**.

Le décibel repose sur une Échelle logarithmique comprise entre **20 et 140 dB**.



## LE PHONOMÈTRE

Le phonomètre est l'instrument de mesure de l'intensité sonore.

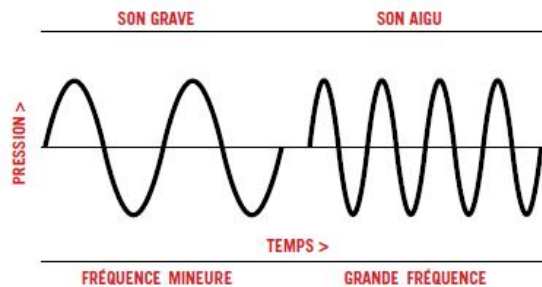
Le phonomètre, ou appareil de mesure du niveau sonore, est un instrument qui réagit aux sons de façon semblable à l'oreille humaine. Ce dispositif permet de déterminer le niveau sonore produit en divers points de l'espace par une ou plusieurs sources sonores grâce à un appareil électronique qui transforme en signaux électriques les impulsions résultant de la pression sonore. Il est essentiellement constitué d'un microphone, d'un préamplificateur, de filtres et d'un indicateur numérique pour la lecture des données.

Étant donnée sa fonction spécifique et du fait que les mesures effectuées avec cet instrument doivent avoir une **valeur d'ordre légal**, le phonomètre est un instrument "standardisé" (IEC, UNI, etc.) appartenant à une CLASSE spécifique qui en indique le degré de précision. Il doit être régulièrement "étalonné" et homologué par les laboratoires habilités.

## FRÉQUENCE DU SON

Il s'agit du nombre de variations de pression dans une unité de temps [seconde].  
Ce nombre est mesuré en cycles par secondes, soit en Hertz (Hz).

Le son est une onde élastique longitudinale qui requiert un moyen de propagation et dont la perturbation a lieu parallèlement à la direction de propagation. Une source [corps vibrant] et un support élastique de propagation comme l'air, l'eau, le bois, le métal, etc. sont nécessaires à son existence [aucune propagation sonore n'a lieu dans le vide].



Le son transmet de l'énergie mécanique qui arrive aux corps récepteurs par radiation à partir de la source à travers le moyen de propagation. La perturbation se déplaçant sur le support de propagation se présente physiquement comme une succession de pressions et de dépressions et, donc, comme une oscillation de chaque particule en vibration autour d'une position moyenne propre fixe.

## CHAMP AUDITIF DE L'HOMME

Normalement compris entre 20 et 20 000 Hz, soit entre 20 et 20 000 cycles/sec.

1 Hertz = 1 cycle/sec

La capacité d'audition de l'oreille humaine est limitée par deux seuils exprimant les niveaux [minimum et maximum] pouvant être perçus par notre appareil auditif.



# 1. le son

## LONGUEUR D'ONDE

Un cycle ou une période représentant l'intervalle de temps nécessaire pour effectuer une oscillation complète.

Ce cycle ou cette période *lambda*  $\lambda$  se mesure en secondes. La fréquence est obtenue à partir de son inverse: par exemple, un son à 500 Hz effectue 500 cycles par seconde.

## POUR CEUX QUI VEULENT APPROFONDIR

### CALCUL DE LA LONGUEUR D'ONDE ET DE LA FRÉQUENCE D'UN SON

Définitions:

$\lambda$  = longueur d'onde en m.

C = 344 m/sec [vitesse moyenne du son dans l'air]

f = fréquence du son en Hertz [Hz]

Pour calculer la longueur d'onde d'un son :

$$\lambda = C/f$$

Exemple n° 1:

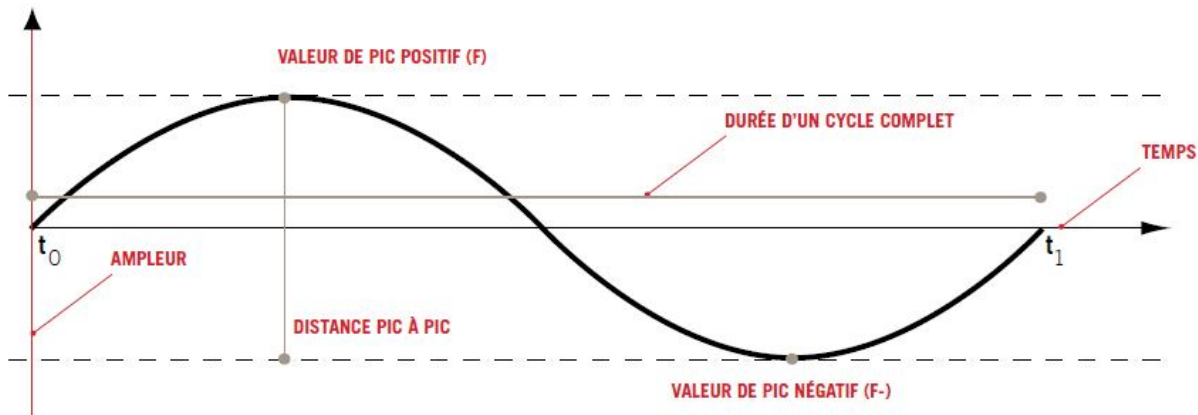
Calculer la longueur d'onde d'une fréquence de 500 Hz:

$$\frac{344 \text{ mt/sec}}{500 \text{ Hz}} = 0,688 \text{ mt}$$

Exemple n° 2 :

Calculer la fréquence d'une onde de 0,688 m :  $f = \frac{C}{\lambda}$

$$\frac{344 \text{ mt/sec}}{0,688 \text{ mt}} = 500 \text{ Hz}$$



## SON ET BRUIT

Le bruit peut être défini comme **tout son en mesure de perturber, gêner voir même attaquer l'intégrité d'une personne du point de vue physiologique ou psychologique.**

**LE SON produit par un instrument musical** [un violon par exemple] génère des ondes acoustiques de caractère régulier et périodique en mesure de provoquer des sensations auditives agréables.

**LE BRUIT produit par des équipements génère des ondes** acoustiques de caractère irrégulier et non périodique en mesure de provoquer des sensations auditives désagréables.

Le bruit est considéré comme un élément polluant, un produit de refus généré au cours des diverses activités humaines. Dans ce sens, **le bruit représente tout son en mesure de perturber, gêner voir même attaquer l'intégrité d'une personne du point de vue physiologique ou psychologique.**

*L'exposition des travailleurs au bruit représente certainement l'un des risques les plus diffus dans le monde moderne industrialisé: cette exposition varie en fonction du type de production, des départements et des tâches assumées par chaque travailleur.*

Sur le lieu de travail, les effets auditifs du bruit sont de types divers et sont essentiellement représentés par une **SURDITÉ PAR EXPOSITION AU BRUIT** [perte partielle de la capacité auditive], pathologie résultant de l'exposition à des intensités élevées de bruit.

**Le bruit est considéré comme lésionnel pour l'ouïe au-delà de 85 dB(A).** En dessous des 80 dB(A), des effets extra auditifs sont possibles en cas de susceptibilité individuelle.

**La surdité professionnelle résultant de l'exposition au bruit est certainement la maladie la plus fréquemment indemnisée par l'INAIL (Institut national d'assurance contre les accidents du travail).**

L'exposition continue au bruit au-delà d'une certaine intensité provoque, dans l'organisme humain, des dommages tant physiques que psychiques - dommages qui peuvent être:

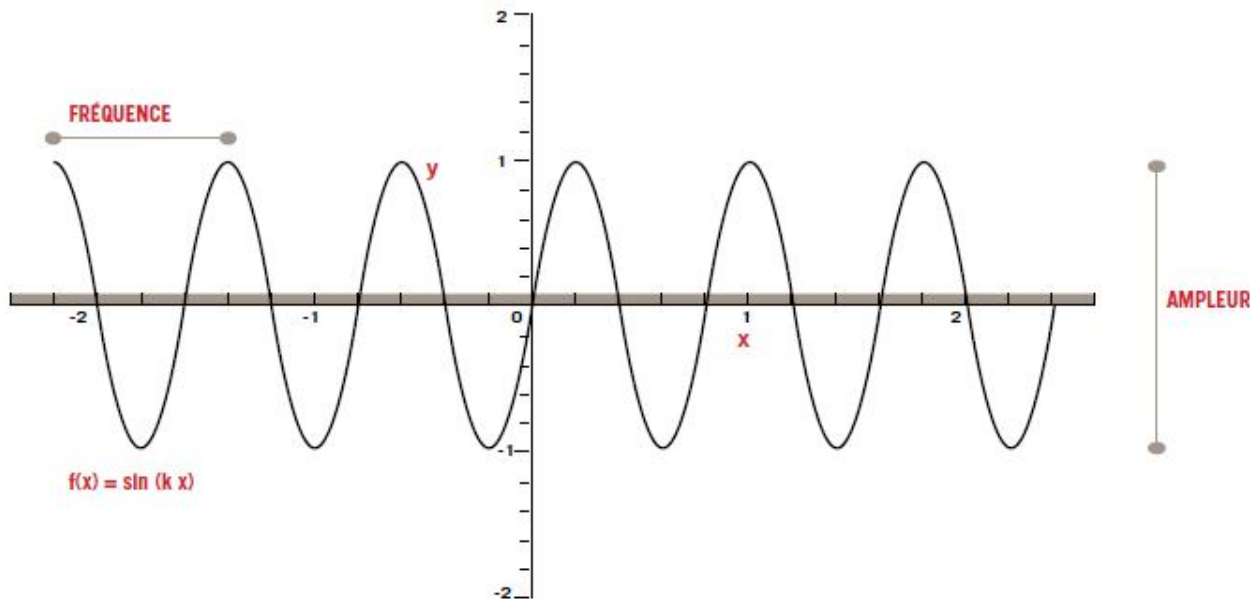
- **provisoires**, c'est-à-dire de durée limitée dans le temps;
- **irréversibles**, c'est-à-dire qu'ils ne disparaissent plus et restent pour toujours.

## TIMBRE ET FORME D'ONDE

Dans la réalité, un son ou un bruit sont composés d'une série plus ou moins complexe de *composants partiels ou harmoniques qui constituent la forme d'onde caractéristique*.

**Ces composants déterminent le timbre qui représente une sorte d'ADN du son ou du bruit.**

L'onde sonore la plus simple que l'on puisse imaginer est l'onde harmonique qui a cette forme [sinusoïde]:



Comme on verra, il s'agit d'une série ininterrompue d'ondes qui sautent et redescendent. Si vous pouviez insérer cette fonction dans votre ordinateur, vous entendriez un son continu reproduisant toujours la même note.

Une onde harmonique possède certaines caractéristiques la rendant unique.

Ces caractéristiques sont la **fréquence** et l'**ampleur**.

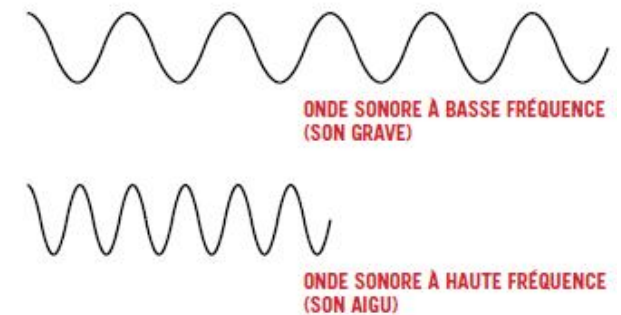
On verra que les ondes de la première sont plus espacées que celles de la seconde.

Cela veut dire que la première onde a une fréquence plus basse par rapport à la seconde, avec une variation correspondante de la note reproduite : la première note sera plus grave que la seconde.

Nous avons également dit que la fréquence se mesure en Hertz (Hz) et, donc, l'augmentation des Hertz correspond

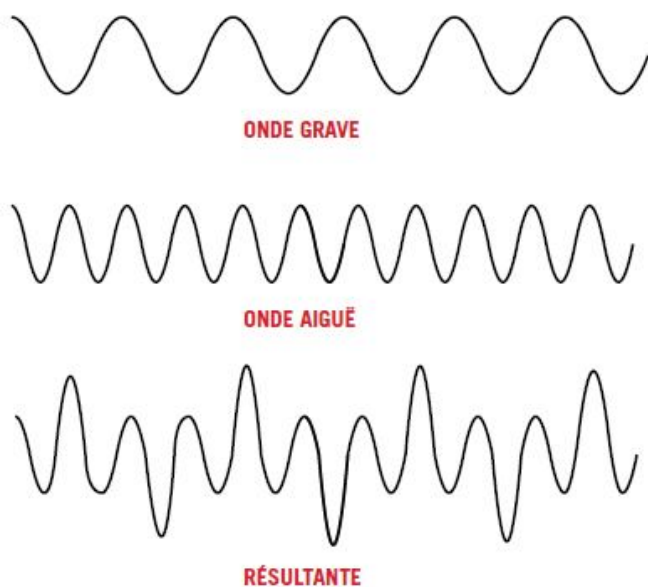
à une note toujours plus élevée ou aiguë.

La seconde caractéristique, l'ampleur, représente la hauteur associée aux ondes individuelles : une ampleur plus élevée correspond donc à un volume plus élevé de l'onde individuelle.



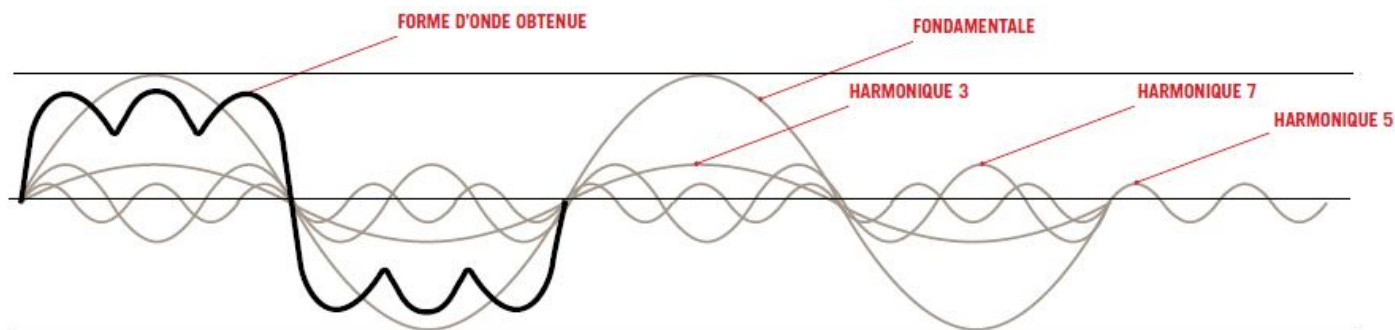
Supposons maintenant que nous ayons deux ondes harmoniques de fréquences différentes et, donc, reproduisant deux notes différentes que nous voulons jouer simultanément.

Pour ce faire, il suffit de faire la somme des deux formes d'onde instant par instant de sorte à obtenir une combinaison sous la forme d'une nouvelle onde. Voyons comment se déroule ce processus :



Comme vous voyez, l'onde obtenue a une forme très bizarre qui résulte de la sommation des deux ondes originales. De fait, les ondes sonores assument normalement des formes bien plus étranges et imprévisibles. Celles-ci peuvent toutefois toujours être ramenées à la somme de formes d'ondes plus simples. C'est en partant de cette observation que le physicien et mathématicien français Joseph Fourier a inventé l'analyse harmonique avec le "**Théorème de Fourier**" qui revêt une importance fondamentale dans la théorie moderne des signaux

**Toute onde peut être considérée comme la somme d'un ensemble d'ondes dont la première est dite fondamentale et les ondes successives harmoniques ou partielles.**



Dans notre exemple, nous avons choisi une onde carrée parce que, bien qu'il s'agisse d'un cas particulier, elle permet d'expliquer très simplement le sens du théorème de Fourier.

#### **SYNTHÈSE D'UNE ONDE CARRÉE**

Comme on verra, l'onde obtenue suit un profil de type "carré". De fait, elle n'a rien de carré mais on pourrait avoir une meilleure approximation si, au lieu d'utiliser la somme d'une fondamentale et de trois sons concomitants d'ordres inégaux, nous avions envisagé un nombre bien plus élevé d'harmoniques (21 au moins).

## PROPAGATION DU SON

Le son se propage à travers l'air, l'eau, le bois, le métal ou tout autre matériau à des vitesses de propagation différentes. Ces vitesses sont exprimées en mètres/seconde.

Par exemple, le son se propage dans l'air à environ 344 m/s, dans l'eau à environ 1441 m/s, et dans l'acier à environ 5000 m/s.

## PROPAGATION DU SON DANS DIVERS MATÉRIAUX

MATÉRIAU	M/s	Kg/m <sup>3</sup>
Acier	5000	7800
Aluminium	5100	2700
Laiton	3500	8400
Plomb	1220	11400
Ardoise	4500	3000
Granit	3950	2700
Brique	3650	1800
Marbre	3810	2700
Verre	5500	2600
Sapin	4640	450
Hêtre	3340	750
Frêne	4670	700
Pin	3320	500
Peuplier	4280	370
Chêne	3850	800
Liège	500	240
Air	344	1,21
Eau	1441	1000

Il ressort du tableau ci-dessus que **la vitesse de propagation est plus élevée dans les matériaux avec une structure moléculaire plus compacte (acier, aluminium, verre, etc.)**.

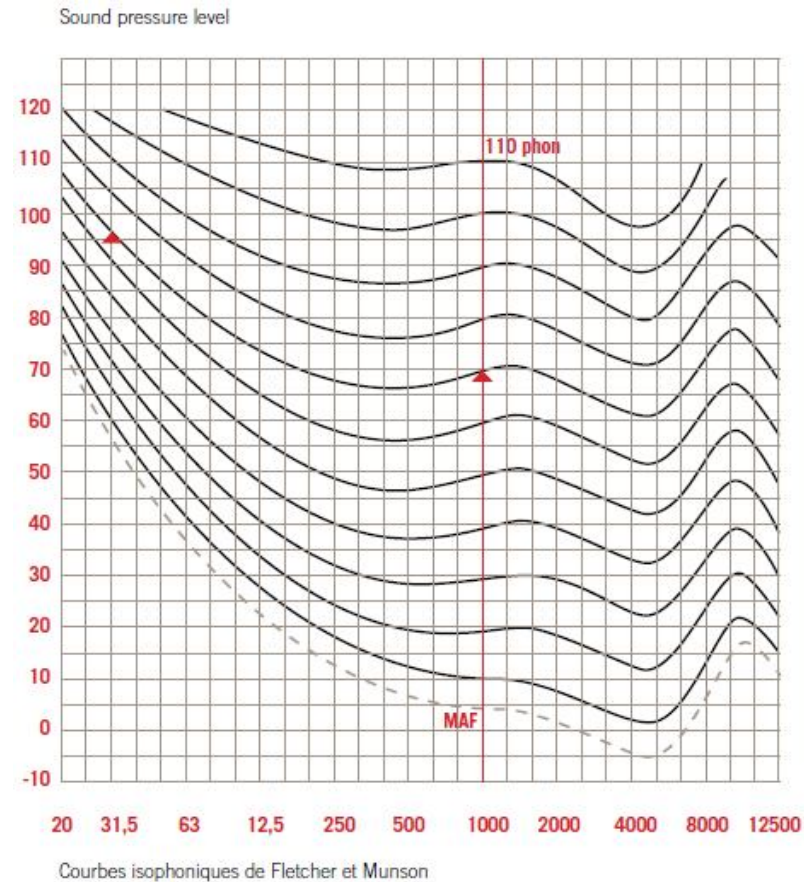
Au contraire, **la vitesse diminue sensiblement dans les matériaux moins compacts et plus légers (air et liège)**.

Le bois représente un cas à part : malgré un poids contenu, le bois présente une vitesse élevée surtout dans le sens de la fibre. C'est précisément pour cette raison que le bois est, d'usage, employé dans la fabrication d'instruments musicaux.

## SENSATION SONORE

La réponse de notre appareil auditif n'est pas linéaire, c'est-à-dire qu'elle n'est pas la même à toutes les fréquences: il est possible de dire que deux sons ayant des fréquences différentes peuvent avoir la même intensité, mais donner un niveau différent de sensation [ou de perturbation].

Un diagramme significatif a été élaboré au cours des années 30 par les chercheurs Fletcher et Munson qui, après avoir examiné un grand nombre de sujets, ont développé des courbes d'isosensation, ou isophoniques, qui représentent le niveau qu'un son doit avoir en pression sonore pour donner la même sensation auditive à des fréquences différentes.



**La réponse de l'oreille en fréquence change selon l'intensité du signal à l'arrivée, provoquant un changement de timbre du signal perçu.**

Si l'on observe l'échelle des courbes isophoniques de Fletcher et Munson à 110 dB SPL [Sound Pressure Level], on note que l'intensité d'un son à 1 000 Hz est égale à 70 dB, tandis que l'intensité d'un son à 31,5 Hz est égale à 95 dB SPL. Cela signifie que, pour obtenir la même sensation auditive, la fréquence de 31,5 Hz doit être augmentée de 25 dBA SPL par rapport à celle de 1 000 Hz.

C'est pour cette raison que de nombreux amplificateurs Haute Fidélité sont équipés d'un bouton **Loudness** dont la fonction est de compenser la diminution de sensibilité de l'oreille pour les sons basse fréquence entendus à bas volume.

## RÉSUMONS

**1. LE SON** est défini comme une **VARIATION DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE** perceptible à l'oreille humaine.

**2. L'INTENSITÉ DU SON** est le flux moyen d'énergie traversant une surface.  
Elle se mesure en Décibel (dB).

**3. LA FRÉQUENCE DU SON** exprime le nombre des variations de la pression atmosphérique en l'espace d'une seconde. Ce nombre est mesuré en cycles ou périodes par seconde, soit en Hertz (Hz).

**4. LE CHAMP AUDITIF DE L'HOMME** est compris entre 20 et 20 000 Hz.

**5. La LONGUEUR D'ONDE** du son  $[\lambda]$  représente le cycle complet d'une onde.

**6. Le SON et le BRUIT** génèrent des ondes acoustiques de caractère différent.

**7. Le TIMBRE** représente une sorte d'ADN du son et du bruit. Il est constitué de la somme de nombreuses FORMES D'ONDE combinées entre elles.

**8. LA PROPAGATION DU SON** advient à travers l'air, l'eau, le bois, le métal ou d'autres matériaux avec différentes vitesses de propagation exprimées en mètres/sec.

**9. LA SENSATION SONORE** de notre appareil auditif n'est pas linéaire: deux sons ayant des fréquences différentes peuvent avoir la même intensité, mais donner un niveau différent de sensation [ou de perturbation].

## 2. les paramètres acoustiques

### SENSATION SONORE

Plus haut, nous avons parlé du phonomètre et de la mesure de l'intensité sonore qui trouve de grandes applications dans les domaines de la mesure du bruit environnant et en milieu industriel, de l'exposition sonore des travailleurs ou de l'exposition au bruit de la circulation ou celui produit par un voisin trop bruyant.

Dans le champ qui nous intéresse, l'**acoustique architectonique**, les paramètres ou descripteurs définissant la qualité acoustique d'un environnement confiné [délimité par un volume fermé] sont très diversifiés et tous liés entre eux : examinons-en quelques-uns

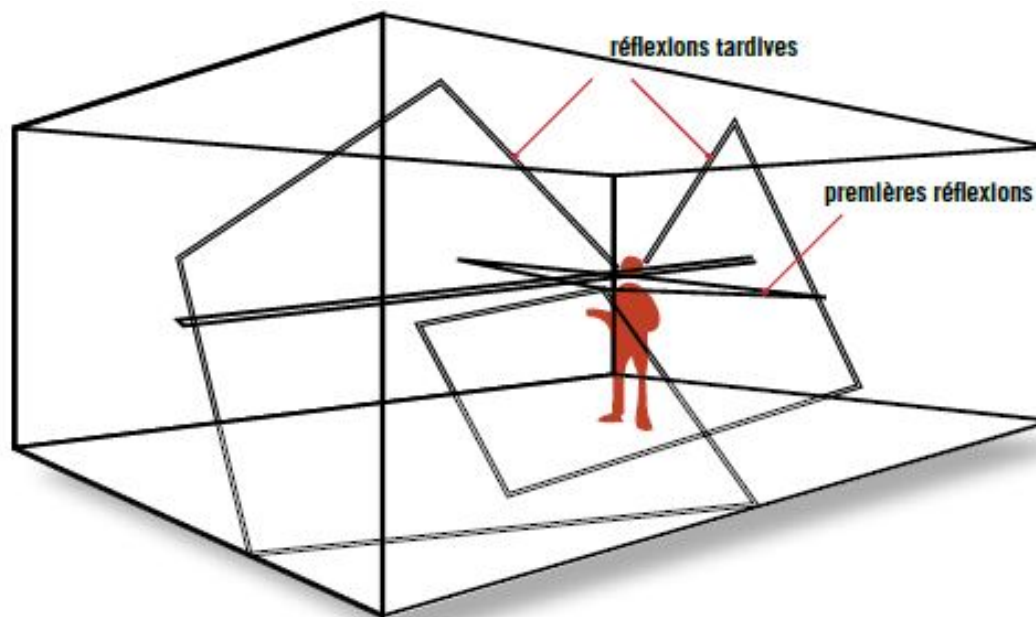
### PRINCIPAUX PARAMÈTRES ACOUSTIQUES

**TEMPS DE RÉVERBÉRATION**  
**TEMPS BARYCENTRIQUE**  
**C50 INDICE DE CLARTÉ VOCALE**  
**C80 INDICE DE CLARTÉ MUSICALE**  
**IACCE3 CORRÉLATION BINAURALE**  
**INDICE D'INTELLIGIBILITÉ DE LA PAROLE**

La valeur de ces descripteurs détermine le degré de qualité acoustique d'un théâtre ou d'une salle de concert, mais aussi celle d'une salle de conférence, des bureaux, des écoles, des locaux commerciaux, des salles d'essai, des cinédoms.

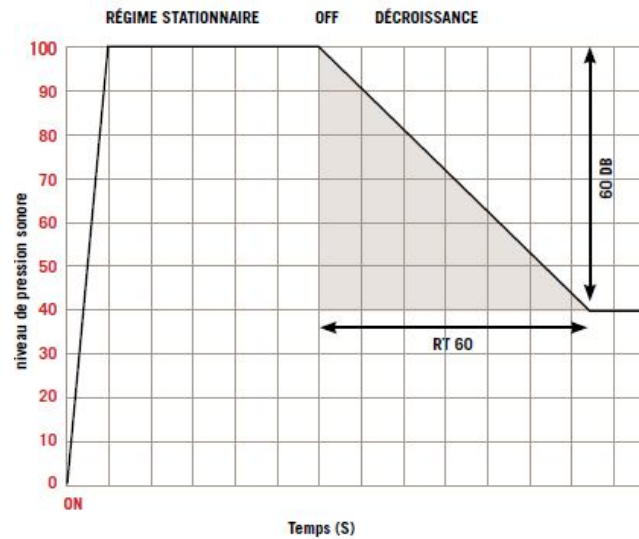
### TEMPS DE RÉVERBÉRATION

Le **TEMPS DE RÉVERBÉRATION [RT 60]** est certainement l'un des paramètres les plus connus en acoustique et il est, à juste titre, considéré comme fondamental parce qu'il a des répercussions positives ou négatives sur tous les autres descripteurs. La réverbération exprime la "résonance" environnementale, soit la capacité d'un milieu à maintenir l'énergie sonore pendant un certain laps de temps suite à une sollicitation initiale. La figure illustre l'évolution, sous forme schématique, des réflexions sonores générées par les surfaces de la salle [parois, plafond et sol].

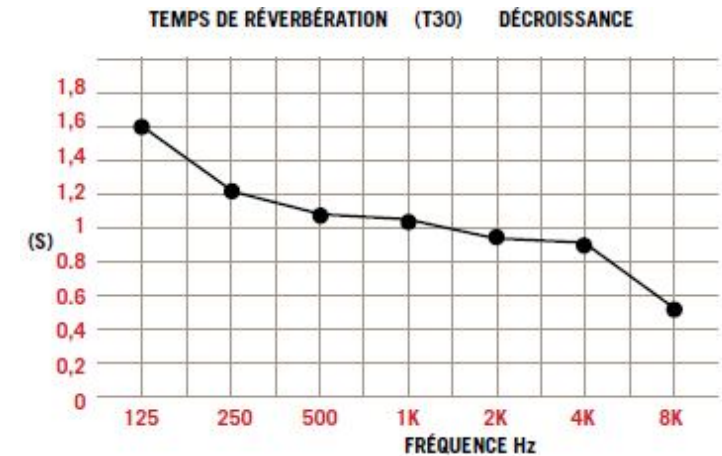


## RÉSUMONS

La mesure du temps de réverbération peut être exécutée avec diverses procédures instrumentales qui ont évolué avec le temps grâce à l'apport des technologies informatiques. Parmi celles-ci, mentionnons la mesure à régime stationnaire, le coup de pistolet et les techniques plus récentes de la réponse impulsionnelle et du sine-sweep. Pour faciliter la compréhension, examinons la technique du régime stationnaire qui est de toutes façons celle la plus utilisée. Les instruments utilisés sont un diffuseur acoustique, un microphone omnidirectionnel de précision et un analyseur qui "lit" la variation de la pression sonore dans le temps.



Le diffuseur acoustique est activé avec un signal sonore [ON] qui atteint un régime stationnaire en saturant d'énergie l'environnement, puis la source est désactivée [OFF] au bout de quelques secondes. L'intervalle entre la position OFF et le silence relatif représente la décroissance sonore, c'est-à-dire la réverbération dans l'environnement. Par convention, le niveau de pression sonore à prendre en compte est l'intervalle compris entre le régime stationnaire maximal et la décroissance sonore de 60 dB. L'intervalle de temps entre la position OFF et les - 60 dB indique le temps de réverbération dans l'environnement qui sera automatiquement filtré et rendu par l'analyseur sous forme graphique dans les diverses bandes d'octaves. Le graphique illustre l'évolution de RT 60.



## VALEURS OPTIMALES DU TEMPS DE RÉVERBÉRATION

ENVIRONNEMENT	RT-60 [S]
PETITE SALLE D'ÉTUDE	0,5
GRANDE SALLE D'ÉTUDE	1
CINÉMA	0,7 ÷ 0,8
OPÉRA (musique lyrique)	1,3 ÷ 1,5
SALLE DE CONCERT (musique symphonique)	1,7 ÷ 2,3
ÉGLISE (musique sacrée)	2,5 ÷ 5

## INTELLIGIBILITÉ DE LA PAROLE [STI]

Un autre descripteur plutôt important dans le cas des salles de conférence, des lieux de culte, des écoles et des bureaux est l'indice STI [Speech Transmission Index] qui décrit l'intelligibilité de la parole, c'est-à-dire le degré de qualité dans la perception de l'articulation de la langue parlée et la compréhension du contenu textuel. Ce paramètre est automatiquement mesuré par l'analyseur sonore.



Il ressort de ce tableau que les valeurs considérées comme bonnes sont celles supérieures à 0,6.

## POUR CEUX QUI VEULENT APPROFONDIR

### TEMPS DE RÉVERBÉRATION [T60]

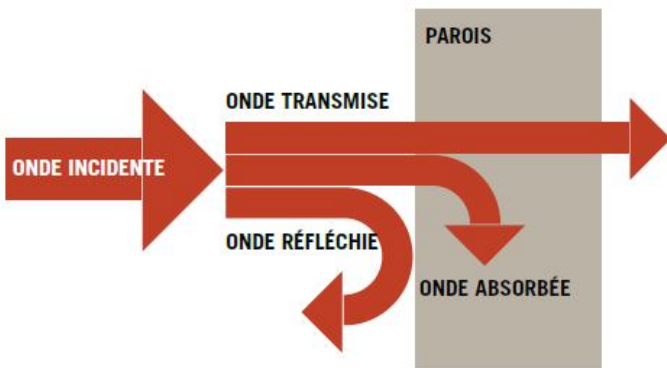
Le temps de réverbération, ou trainée sonore, est le temps requis pour que le son diminue de 60 dB par rapport à sa valeur initiale dans un environnement clos. Cela équivaut à une perte de puissance ou d'intensité sonore d'un million de fois ( $10 \log 1\ 000\ 000 = 60$  dB) par rapport au moment initial. Plus simplement dit, la réverbération décrit l'intervalle de temps requis pour l'extinction du son dans son passage d'un niveau maximum d'intensité au silence relatif (courbe de décroissance).

$$T_{60} = 0.16 \frac{V}{\sum_i \alpha_i S_i}$$

Généralement défini comme T60, le temps de réverbération est obtenu à partir de la relation existant entre le volume V de l'environnement et la zone couvrant toutes les surfaces présentes dans une salle, surfaces pour lesquelles il faut déterminer le coefficient relatif d'absorption acoustique  $\alpha$ . **Ce paramètre est considéré** comme l'un des plus importants descripteurs acoustiques parce qu'il définit le degré de "résonance" de l'environnement, c'est-à-dire la capacité d'une salle à maintenir l'énergie initiale sollicitante dans un laps de temps défini.

### 3. absorption du son

La loi de conservation affirme que l'énergie ne peut être ni créée, ni détruite, mais seulement transformée d'une forme en une autre. En acoustique, l'énergie vibratoire des particules en mouvement de l'air peut être dissipée sous forme de chaleur.



Le dessin illustre ce qui arrive physiquement à une onde acoustique frappant une paroi en maçonnerie de type général: l'onde incidente se "subdivise" en plusieurs ondes qui seront réfléchies, absorbées et transmises par la paroi même.

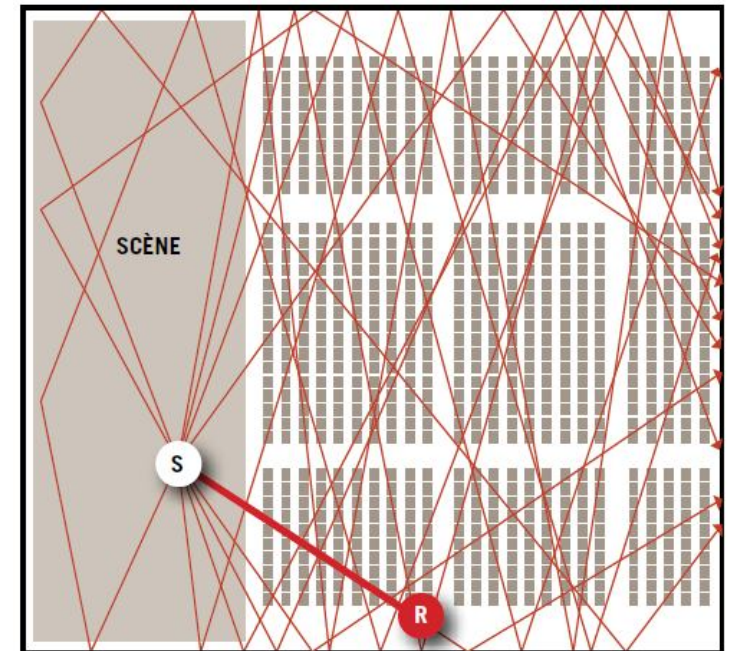
Du fait que les réflexions sont nombreuses en environnement clos, chacune de celles-ci produira une dissipation progressive qui entraînera l'extinction totale de l'énergie sonore originale: **chaque réflexion génère une perte d'énergie.**

La durée de la dissipation de l'énergie dans le temps est donc fonction du type de surfaces que l'onde incidente rencontrera sur son parcours.

➤ Dans un environnement vide avec des parois en maçonnerie ou en ciment lisse, elle produira de nombreuses réflexions qui seront lentement amorties dans le temps: **RÉVERBÉRATION LONGUE.**

➤ Dans un environnement meublé et traité sur le plan acoustique, les réflexions seront moindres et elles seront amorties plus rapidement dans le temps: **RÉVERBÉRATION BRÈVE.**

La figure illustre de façon schématique la progression des réflexions dans une salle de conférences non traitée du point de vue acoustique. Le récepteur **R** reçoit l'onde directe provenant de la source **S** sur la scène ainsi qu'une série de réflexions retardées influant négativement sur la compréhension du texte [intelligibilité de la parole].



MATÉRIAU	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1KHz	2KHz	4KHz
Sol en ciment	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Sol en bois	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Sol en ciment peint	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07
Maçonnerie avec enduit	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
Vitres à grands carreaux [mm 8 - 12]	0.20	0.10	0.05	0.03	0.03	0.03
Fenêtres traditionnelles à un carreau [mm 3]	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Siège métallique non occupé	0.15	0.20	0.30	0.40	0.40	0.30
Siège métallique occupé	0.30	0.40	0.60	0.80	0.85	0.85
Bouches et grilles d'aération	0.15	0.20	0.30	0.35	0.30	0.20
Rideaux [470 g/mq]+ inter. cm 10	0.20	0.28	0.43	0.50	0.54	0.62
Moquettes d'intérieur + base en caoutchouc	0.10	0.10	0.20	0.30	0.45	0.65
<b>Screenball P10F02</b> [inter. cm 4]	0.19	0.63	0.95	0.95	0.84	0.88
<b>Screenball P10F02</b> [inter. cm 20]	0.65	0.95	0.93	0.89	0.76	0.76
<b>Screenball P10F02</b> [inter. cm 30]	0.70	0.88	0.81	0.90	0.74	0.65
<b>Screenball P15F02</b> [inter. cm 4]	0.22	0.66	0.95	0.95	0.76	0.72
<b>Screenball P15F02</b> [inter. cm 20]	0.66	0.94	0.90	0.88	0.68	0.65
<b>Screenball P15F02</b> [inter. cm 30]	0.67	0.84	0.79	0.87	0.67	0.56
<b>Screenball P15F03</b> [inter. cm 4]	0.21	0.63	0.95	0.95	0.82	0.80
<b>Screenball P15F03</b> [inter. cm 20]	0.67	0.93	0.94	0.87	0.73	0.66
<b>Screenball P15F03</b> [inter. cm 30]	0.66	0.85	0.81	0.89	0.70	0.62
<b>Screenball P30F03</b> [inter. cm 4]	0.24	0.74	0.95	0.85	0.65	0.50
<b>Screenball P30F03</b> [inter. cm 20]	0.64	0.89	0.79	0.70	0.54	0.39
<b>Screenball P30F03</b> [inter. cm 30]	0.61	0.76	0.74	0.73	0.52	0.36

### L'EFFET PRINCIPAL D'UN EXCÈS DE RÉVERBÉRATION EST DE COMPROMETTRE L'INTELLIGIBILITÉ DU DISCOURS PARLÉ EN MASQUANT LES SONS CONSONANTIQUES DE NIVEAU INFÉRIEUR

Par exemple, le mot anglais "back" ne peut être compris que si on saisit clairement le son consonantique final "ck" qui permet de distinguer "back" de "bat", "bad", "bag" ou "ban". À travers cet exemple, aussi simple soit-il, on peut se faire une idée des effets que peut avoir la réverbération sur la capacité de compréhension du discours parlé et on peut comprendre pourquoi une communication orale peut être plus facilement reçue dans des pièces caractérisées par des temps brefs de réverbération.

De plus, dans des environnements de dimensions moyennes ou grandes, la réverbération tend à s'accroître pour les fréquences les plus basses [ou graves] en raison de la plus grande distance entre les parois et du volume plus important de l'environnement. L'effet de ces excédents est souvent défini sous le nom d'"écho".

### COEFFICIENT D'ABSORPTION ACOUSTIQUE

**La quantité des réflexions produites par une surface générique est fonction du coefficient d'absorption acoustique "α" [alfa] de celle-ci.**

Une paroi en maçonnerie avec enduit ou un sol en marbre sont des surfaces hautement réfléchissantes et, donc, avec un bas coefficient d'absorption acoustique ; un rideau en velours épais, par contre, ou un revêtement fibreux, sont des matériaux avec une capacité élevée d'absorption acoustique.

Si un matériau absorbe 50 % de l'énergie sonore incidente, on dit que son coefficient  $\alpha = 0,50$ . Le coefficient  $\alpha$  a des valeurs comprises entre 0 et 1.

Une fenêtre ouverte est considérée comme un absorbeur idéal parce que le son qui la traverse ne retourne pas dans la pièce et, par conséquent, son coefficient  $\alpha$  est 1.

**Un matériau au coefficient  $\alpha$  élevé présente une grande capacité d'absorption.**

Le coefficient  $\alpha$  représente le degré de phonoabsorption d'une surface, d'un revêtement ou de tout autre objet faisant obstacle à la diffusion du son, par exemple des panneaux, des personnes, des fauteuils, des rideaux, etc.

Le coefficient  $\alpha$  est mesuré dans une salle de réverbération, auprès de laboratoires acoustiques habilités qui exécutent des mesures sur des échantillons de matériau d'environ 10-12 m<sup>2</sup>.

Les mesures sont filtrées par bandes d'octave [125 - 4000 Hz] afin de permettre de soigner la conception acoustique en fonction de la fréquence.

## NOTE TECHNIQUE

Abbiamo detto che, per convenzione, i coefficienti di  $\alpha$  Nous avons dit que, par convention, les coefficients d'absorption acoustique  $\alpha$  sont compris entre 0 et 1. On se demandera donc quelle est la raison qui fait que les mesures de laboratoire donnent souvent des valeurs supérieures à l'unité, par exemple 1,06 ou 1,07. Ceci est dû à l'effet de la diffraction du son sur les bords de l'échantillon, effet qui "apparaît" aux appareils de mesure acoustiquement plus grand de ce qu'il n'est en réalité.

### LA DIFFRACTION EST LE PROCESSUS PAR LEQUEL LE SON, EN PRESENCE DES ARÊTES OU AUTRES OBSTACLES PHYSIQUES, CHANGE DE DIRECTION PAR RAPPORT À SA TRAJECTOIRE RECTILIGNE.

En pratique, pendant les mesures de laboratoire, le son "voit" également les bords du support sur lequel repose l'échantillon avec pour effet que celui-ci "apparaît" plus grand qu'il n'est.

Ces excédents sont arrondis à l'unité, bien qu'il n'existe pas de méthode standard pour faire les ajustements : naturellement, il s'agit de petits arrondissements qui n'influent pas le moins du monde sur la qualité du projet acoustique dans son ensemble.

**Certains fabricants publient les valeurs effectivement mesurées** [Pream par exemple], même si elles sont supérieures à l'unité ; dans ce cas, il appartiendra au concepteur de procéder aux arrondissements du moment que les programmes de calcul n'acceptent pas de valeurs supérieures à 1.

**D'autres fabricants, par contre, modifient ces mêmes valeurs en les arrondissant à l'unité ou à 0,99.**

Dans le cas des coefficients acoustiques des panneaux Screenball susmentionnés, j'ai arrondi les valeurs dépassant l'unité à 0,95, avec quelque précaution, en prenant en compte le fait qu'un absorbeur parfait doit être considéré comme purement théorique, même à l'intérieur d'un environnement spécialisé tel qu'un laboratoire d'acoustique. Autant dire que seul un site en plein air et sans obstacle de quelque nature que ce soit offre les conditions idéales d'absorption acoustique absolue!

Frequenza [Hz]	T <sub>1</sub> [s]	T <sub>2</sub> [s]	4V (m <sub>2</sub> - m <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> [m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	$\alpha_s$	$\alpha_{tot}$
100	3,75	3,36	0,0	1,0	0,09	0,19
125	3,97	3,25	0,0	1,8	0,17	
160	4,33	2,97	0,0	3,4	0,31	
200	5,15	2,95	0,1	4,5	0,42	0,63
250	5,63	2,54	0,0	6,9	0,64	
315	5,63	2,18	0,0	9,0	0,83	
400	5,57	1,93	0,1	10,7	0,99	1,06
500	5,18	1,78	0,1	11,7	1,08	
630	5,40	1,76	0,1	12,1	1,12	
800	4,81	1,67	0,1	12,4	1,15	1,07
1000	4,40	1,67	0,1	11,8	1,09	
1250	4,37	1,78	0,0	10,6	0,98	
1600	4,16	1,85	0,0	9,6	0,89	0,84
2000	3,59	1,78	-0,1	9,2	0,85	
2500	3,20	1,75	-0,1	8,4	0,78	
3150	2,93	1,66	0,0	8,4	0,78	0,88
4000	2,67	1,48	0,1	9,5	0,88	
5000	2,34	1,30	0,3	10,6	0,98	

## ABSORPTION ET ISOLATION ACOUSTIQUE

L'ABSORPTION ET L'ISOLATION ACOUSTIQUE SONT DEUX CONCEPTS ABSOLUMENTS DISTINCTS

**L'absorption acoustique** - comme nous l'avons vu - est la capacité d'un matériau à absorber l'énergie incidente que celui-ci reçoit ou qui traverse ledit matériau: un panneau en fibre de verre est léger et présente une capacité élevée d'absorption, mais il n'est pas isolant acoustiquement parce qu'une grande partie de l'énergie est en mesure de le traverser facilement.

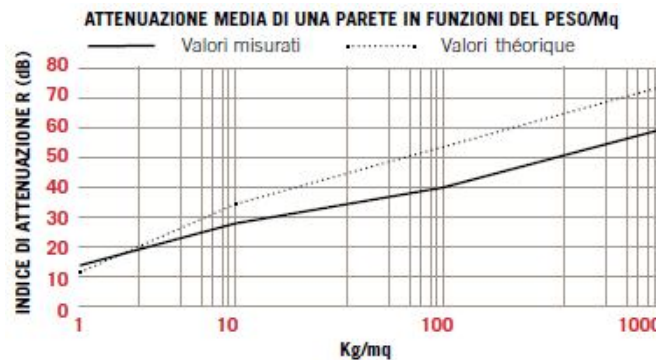
**L'isolement acoustique** est la capacité d'un matériau à isoler l'énergie incidente que celui-ci reçoit ou qui traverse ledit matériau: une partition en maçonnerie ou en C.A. est lourde et présente une capacité élevée d'isolement acoustique, mais il n'absorbe pas le son parce qu'une grande partie de l'énergie est réfléchi.

De la même façon, on dit qu'un matériau est **loi de la masse**. Plus une paroi est pesante, plus elle isole du bruit extérieur: plus un mur est massif, plus il sera difficile pour les ondes sonores de le traverser.

De la même façon, on dit qu'un matériau est **isolant acoustiquement** lorsqu'il a un bas coefficient de transmission "t". Par exemple, un rideau suspendu au milieu d'une pièce a une capacité élevée d'absorption acoustique, mais est peu isolant acoustiquement parce que l'énergie incidente est en partie convertie en chaleur par friction en traversant le tissu et est en grande partie transmise à travers le rideau. Un mur massif avec enduit lisse est très isolant acoustiquement, mais absorbe peu les sons, parce que presque toute l'énergie incidente est réfléchi et renvoyée dans l'environnement.

C'est pourquoi une conception acoustique soignée se préoccupe de:

- isoler l'environnement des bruits extérieurs au moyen de partitions épaisses et pesantes;
- insérer les éléments phonoabsorbants en fonction de la destination d'usage de l'environnement.



## RÉSUMONS

**1. LE TEMPS DE RÉVERBÉRATION** exprime la "résonance" environnementale, soit la capacité d'un milieu à maintenir l'énergie sonore pendant un certain laps de temps suite à une sollicitation initiale.

**2. L'INTELLIGIBILITÉ DE LA PAROLE [STI]** indique le degré de qualité dans la perception de l'articulation du discours parlé > compréhension du texte.

**3. LE COEFFICIENT D'ABSORPTION ACOUSTIQUE  $\alpha$**  représente le degré d'absorption acoustique d'une surface : panneaux, personnes, fauteuils, rideaux, etc.

**4. L'ABSORPTION ET L'ISOLATION ACOUSTIQUE** sont deux concepts distincts : l'absorption est la capacité d'un matériau à **ABSORBER l'énergie incidente**; l'isolement acoustique est la capacité d'un matériau à **ISOLER l'énergie incidente**.

# 4. Matériaux phonoabsorbants

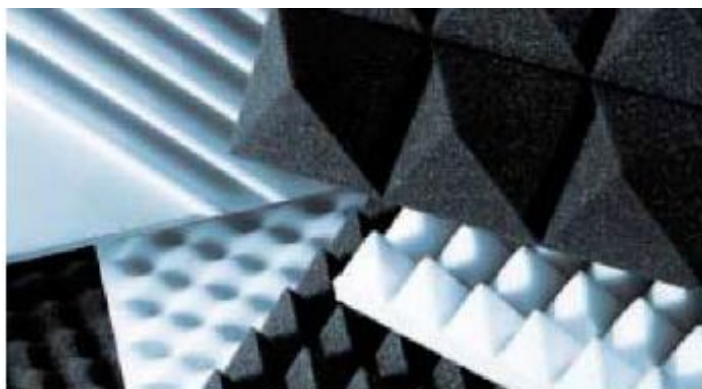
Les matériaux phonoabsorbants peuvent être subdivisés dans les catégories suivantes:

- MATÉRIAUX POREUX
- RÉSONATEURS PHONOABSORBANTS
- PANNEAUX PHONOABSORBANTS PERFORÉS
- PANNEAUX VIBRANTS [MEMBRANES]

## MATÉRIAUX POREUX

Ici, les ondes sonores font vibrer les particules d'air dans les matériaux en question. **La friction des molécules d'air avec les pores et les fibres du matériau même produit une dissipation de l'énergie sonore, entraînant sa transformation en chaleur. En pratique, une certaine résistance de flux se développe à l'intérieur des matériaux par rapport à l'air contenu en présence d'énergie sonore en provenance de l'extérieur.** Ces matériaux peuvent être divisés, en fonction de leur composition, en matériaux à structure fibreuse (fibres minérales, fibres de verre, cellulose, etc.) et en matériaux plastiques expansés (polyuréthane). Ces derniers doivent toutefois présenter une structure à cellules ouvertes pour être efficaces. Les matériaux à cellules closes empêchent le mouvement de l'air à leur intérieur et ne permettent donc pas la dissipation de l'énergie sonore qu'ils reçoivent.

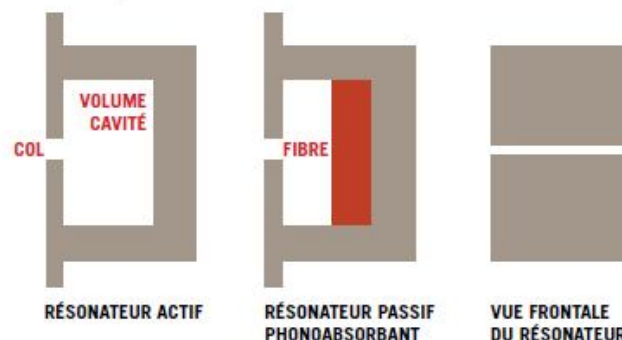
*Polyuréthane expansé à cellules ouvertes [pyramidal, courbe, curviligne]*



## RÉSONATEURS PHONOABSORBANTS

Tout le monde sait que, lorsqu'on souffle dans le goulot d'une bouteille vide, on peut entendre un son : la bouteille fait lieu de résonateur. L'emploi de vases en céramique, de jarres et de cavités en pierre avec des ouvertures exposées au son placés en dessous des gradins des théâtres de l'antiquité ou à l'intérieur de certaines églises médiévales à des fins acoustiques a été historiquement démontrée. Plus tard, ces simples résonateurs furent appelés résonateurs de Helmholtz, du nom du chercheur allemand qui, le premier, en décrivit les caractéristiques physiques. Ces structures sont constituées d'un volume contenant de l'air raccordé à la cavité au moyen d'un col resserré et d'une ouverture. L'énergie du son incident fait vibrer l'air contenu dans le goulot du résonateur qui, en raison de son volume, se comporte comme une masse reliée à un ressort: en bref, il se comporte comme une espèce de "piège à son" !

PAROIS EN MAÇONNERIE



Ce système - mais avec des ouvertures au col bien plus amples - était souvent employé dans les théâtres antiques afin d'amplifier la voix des acteurs et il est mentionné dans le traité "De Architectura" de Vitruve, un architecte romain qui vécut au I<sup>er</sup> siècle après J.C.

Dans ce cas, nous parlons de **RÉSONATEUR ACTIF** par ce le système amplifie le son qui le frappe, comme d'ailleurs cela se passe dans n'importe quelle cavité rigide.

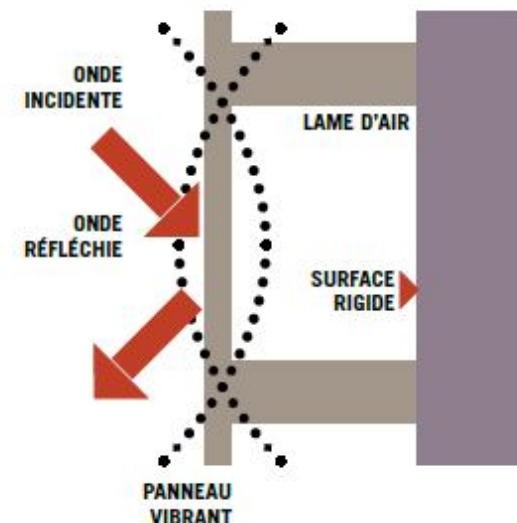
Cependant, si nous plaçons un matériau phonoabsorbant à l'intérieur de la cavité, le système "piège" le son qui est immédiatement amorti par le matériau fibreux ; dans ce cas, nous parlons de **RÉSONATEUR PASSIF** [ou réactif], ou encore phonoabsorbant. **Dans** de nombreuses églises médiévales, plus particulièrement en Suède et au Danemark, ce système a été employé afin de réduire l'excès de réverbération, et on utilisait de la cendre comme matériau phonoabsorbant intérieur.



Tokyo, métro - [plafond acoustique en métal]

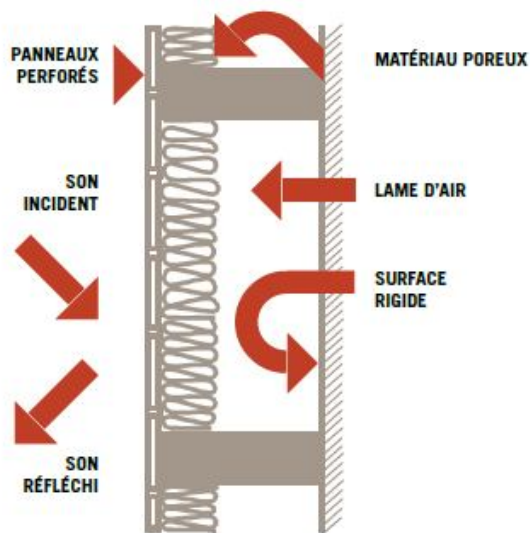


Tokyo, route à circulation rapide - [barrières anti-bruit]



### PANNEAUX PHONOABSORBANTS PERFORÉS

On peut obtenir un dispositif phonoabsorbant semblable aux résonateurs de Helmholtz avec des panneaux perforés en bois, plâtre ou métal montés à une certaine distance d'une surface rigide.



Les trous dans le panneau agissent comme une série de "goulets" divisant le même volume d'air de fond [cavité].

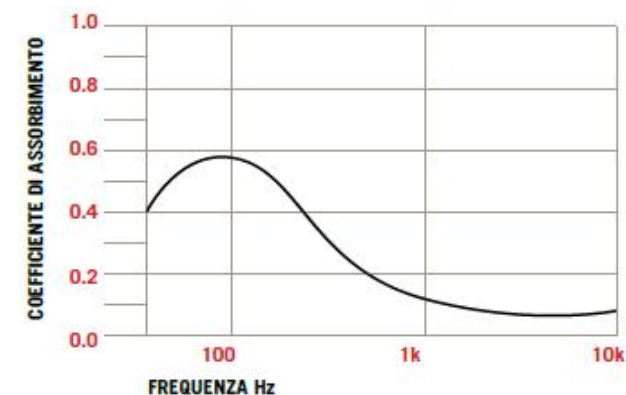
Tout comme le résonateur de Helmholtz, le **panneau se comporte comme un "piège" à sons de grandes dimensions** qui - lorsqu'il est doté de matériel fibreux de fond - est en mesure de garantir des valeurs élevées d'absorption acoustique.

Ce système est largement employé pour la correction acoustique de tous les types d'environnements : les plafonds acoustiques perforés en plâtre, placoplâtre ou aluminium ne sont rien d'autre que l'application pratique du résonateur de Helmholtz !

### PANNEAUX VIBRANTS [MEMBRANES]

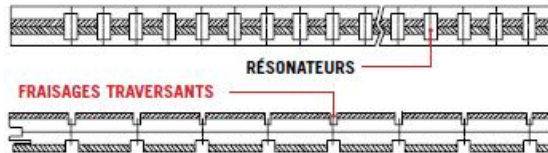
Si un matériau hermétique relativement fin est fixé à une certaine distance d'une surface rigide, il se comporte comme un système masse-ressort et démontre des résonances caractéristiques ou des fréquences privilégiées de vibration. Lorsqu'une onde sonore frappe ces panneaux, elle tend à contraindre le système en vibration ; si la fréquence du son incident correspond à une des fréquences de résonance du système, le transfert d'énergie qui a lieu est au maximum. **Du fait que les panneaux fins ont une inertie** et sont, de plus, amortis par la fixation aux extrémités, une partie de l'énergie sonore qui les frappe est convertie en énergie mécanique et est donc "absorbée".

Par ailleurs, le panneau étant placé en vibration, il renverra de nouveau l'énergie dans la pièce et, par conséquent, son efficace en tant qu'absorbeur acoustique sera limitée. **Les panneaux vibrants tendent à être plus efficaces aux basses fréquences, avec un pic d'absorption maximal à la fréquence de résonance ;** généralement, la fréquence d'absorption maximale diminue tandis que la densité superficielle du panneau et/ou la profondeur de la lame d'air entre le panneau et la surface rigide augmentent. Dans ce cas aussi, pour une plus grande efficacité acoustique, il faut insérer un matériau absorbant poreux dans la lame d'air. La figure suivante présente l'absorption acoustique typique d'un panneau ou d'une membrane vibrante.



## 4. Screenball

**Screenball®** est un panneau phonoabsorbant en fibres de densité moyenne fraisé et doté de résonateurs internes exploitant les propriétés acoustiques des systèmes phonoabsorbants susmentionnés en conjuguant un excellent rendement acoustique et une esthétique agréable.



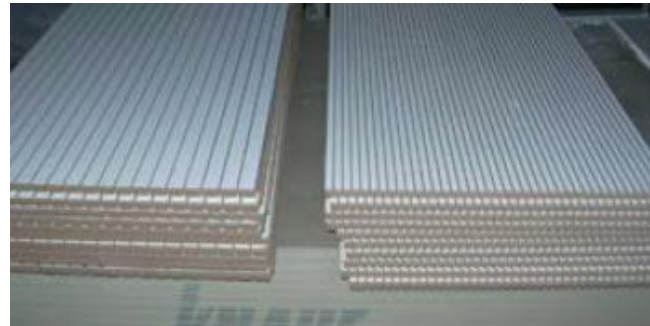
Sur le plan physique, le panneau **Screenball®** assume une fonction acoustique "combinée" en utilisant simultanément trois des systèmes phonoabsorbants déjà vus.

### PANNEAUX PHONOABSORBANTS PERFORÉS RÉSONATEURS PHONOABSORBANTS PANNEAUX OU MEMBRANES VIBRANT(E)S

**PANNEAU PHONOABSORBANT PERFORÉ** parce que doté de fraisages continus traversants communiquant avec la lame d'air à l'arrière.

**RÉSONATEUR PHONOABSORBANT** parce que doté de cavités internes ou de résonateurs de Helmholtz.

**PANNEAU OU MEMBRANE VIBRANTE** parce que réalisé avec des matériaux et ancrages relativement élastiques permettant les vibrations de structure.



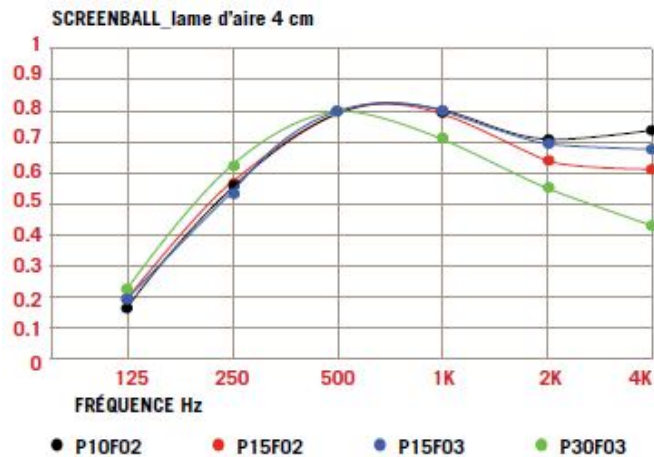
### GRAPHIQUES D'ABSORPTION ACOUSTIQUE

Les graphiques suivants présentent les valeurs  $\alpha$  des panneaux mesurés avec trois configurations différentes de montage. Pour supporter les panneaux, on a prévu un matelas en fibre de polyester "SIMESIL 1000" d'une épaisseur de 4 cm et avec une masse superficielle de 1000 g/m<sup>2</sup>.

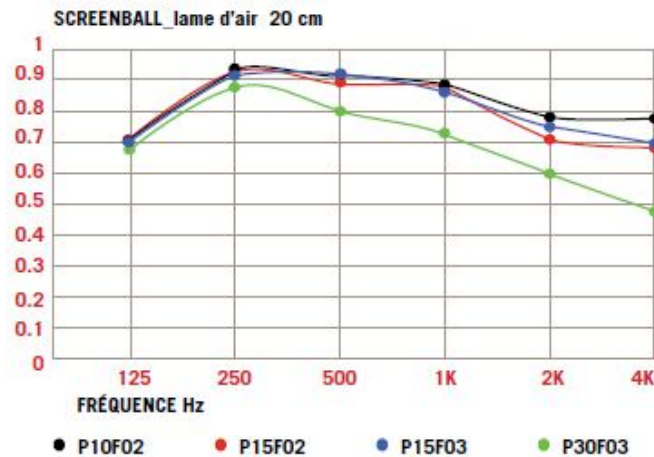
**Istituto Giordano:**

*panneaux en attente de montage en salle réverbérante*

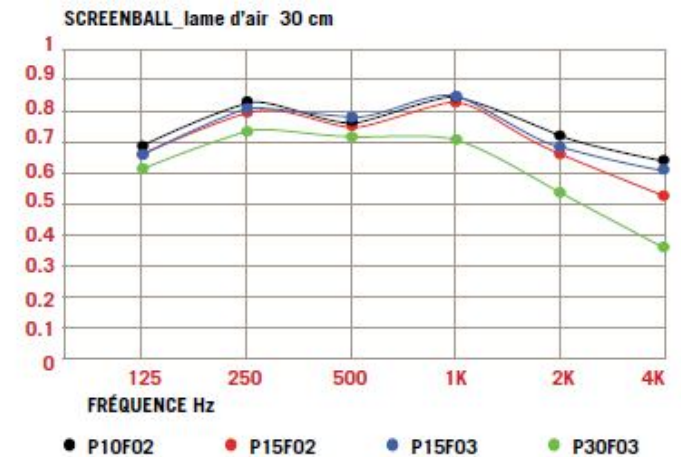
**Remarque:** Dans tous les graphiques, on notera que le panneau **Screenball P30**, indépendamment de la lame d'air, est moins efficace aux fréquences hautes et moyennement hautes [1K - 4 K]. Cette particularité résulte de la plus grande largeur des plaques qui, donc, reflètent partiellement le son. **Naturellement, il ne s'agit pas d'une erreur de conception, mais d'une caractéristique qui permet au concepteur de choisir le type de fabrication en fonction des exigences acoustiques spécifiques parce qu'il ne faut pas toujours absorber les sons en mesure égale sur toutes les fréquences.**



Cette configuration est adaptée pour le montage au mur des panneaux. Avec une épaisseur contenue de 4 cm, on obtient de bonnes valeurs d'absorption acoustique, surtout dans les bandes de fréquence centrales [250 Hz - 2K]. Comme pour tous les panneaux de ce type, la profondeur limitée de la lame d'air ne permet pas d'atteindre des valeurs  $\alpha$  élevées aux fréquences les plus basses.



Cette configuration est adaptée pour le montage traditionnel au plafond des panneaux [plafond acoustique]. La lame d'air de 20 cm assure des valeurs  $\alpha$  élevées sur toute la bande de fréquence et permet le passage d'équipements technologiques de dimensions normales.



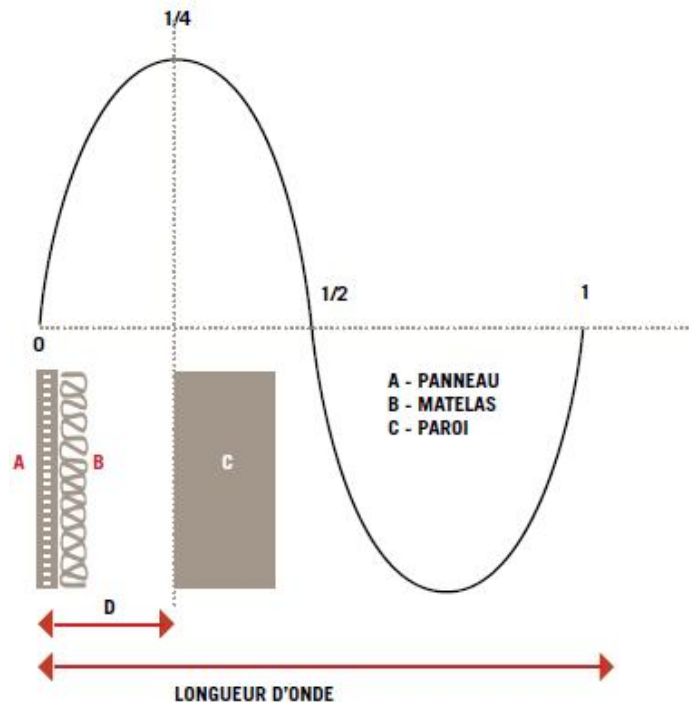
Cette configuration est également adaptée au montage traditionnel au plafond des panneaux [plafond acoustique]. La lame d'air de 30 cm assure des valeurs  $\alpha$  élevées sur toute la bande de fréquence et permet le passage d'équipements technologiques de dimensions supérieures.

## EFFET DE LA LAME D'AIR

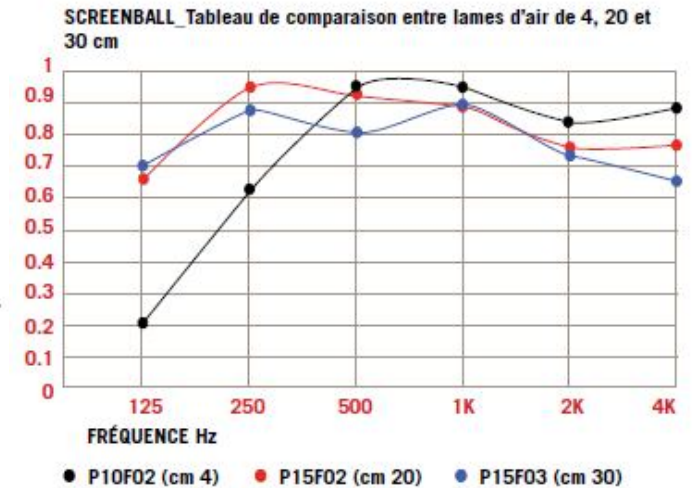
Généralement parlant - pour tous les matériaux phonoabsorbants - **l'absorption aux basses fréquences peut être augmentée en maintenant une certaine distance entre le panneau et la paroi ou le plafond.** De cette façon, on peut sensiblement améliorer les prestations sans surcoût.

On peut expliquer cet effet d'amélioration en invoquant les réflexions du son par la paroi solide qui tendra à renvoyer l'énergie qui la frappe.

**En plaçant du matériel phonoabsorbant à un quart de la longueur d'onde que nous souhaitons absorber  $[\lambda/4]$ , on obtiendra l'effet absorbant maximal parce que, à ce point, la vitesse des particules d'air est à son maximum.**



**L'ABSORPTION SONORE D'UN MATÉRIEL POREUX VARIE AVEC LA DISTANCE DE LA PAROI SOLIDE. ON OBTIENT L'ABSORPTION MAXIMALE LORSQUE LE MATÉRIEL EST PLACÉ À UN QUART DE LA LONGUEUR D'ONDE DE LA PAROI.**



Le tableau comparatif, dressé en référence au SCREENBALL PF10F02, indique clairement la plus grande efficacité des produits placés à une distance de 20 et 30 cm par rapport à la paroi ou au plafond. L'effet est très sensible aux fréquences basses ou moyennement basses comprises entre 125 et 500 Hz tandis que, dans les bandes suivantes de 500 Hz et 4K, les valeurs paraissent mieux alignées.

## EXEMPLE DE CALCUL PRÉVISIONNEL POUR RT60

### BUREAU ESPACE OUVERT ACOUSTIQUEMENT NON TRAITÉ

#### CALCUL DU TEMPS DE RÉVERBÉRATION - Rapport produit par TanAcoustic Studio

Local BUREAU ESPACE OUVERT (8x5x3) Volume: 120 m<sup>3</sup>

##### Structure et coefficients d'absorption acoustique

Matériau	Sup. (Mq)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Lino ou parquet de bois sur cls	40,00	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
Mur enduit	78,00	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,10
Plafond enduit	40,00	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,10

Fréquence (Hz)	Temps de réverbération (s)	Temps optimal (s)	Temps de réverbération moyen
125	1,57	0,89	1,32 s
250	1,43	0,66	
500	1,39	0,56	
1000	1,28	0,51	
2000	1,19	0,54	
4000	1,39	0,56	

### BUREAU ESPACE OUVERT ACOUSTIQUEMENT TRAITÉ

#### CALCUL DU TEMPS DE RÉVERBÉRATION - Rapport produit par TanAcoustic Studio

Local BUREAU ESPACE OUVERT (8x5x3) Volume: 120 m<sup>3</sup>

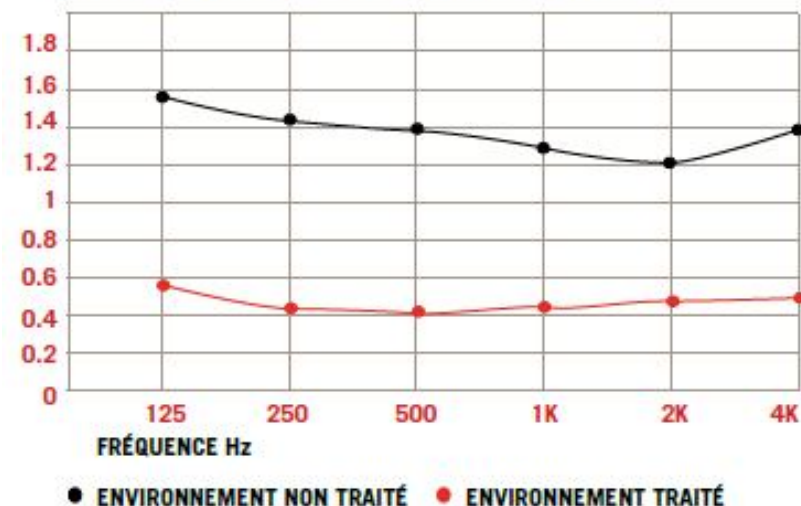
##### Structure et coefficients d'absorption acoustique

Matériau	Sup. (Mq)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Lino ou parquet de bois sur cls	40,00	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
Mur enduit	78,00	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,10
<b>Screenball P10F02</b>	<b>40,00</b>	<b>0,65</b>	<b>0,95</b>	<b>0,93</b>	<b>0,89</b>	<b>0,76</b>	<b>0,76</b>

+ fibre de 4 cm et lame d'air de 20 cm

Fréquence (Hz)	Temps de réverbération (s)	Temps optimal (s)	Temps de réverbération moyen
125	0,55	0,89	0,42 s
250	0,41	0,66	
500	0,41	0,56	
1000	0,42	0,51	
2000	0,46	0,54	
4000	0,48	0,56	

### BUREAU ESPACE OUVERT RT 60 - DIMENSION 8X5X3



GRAPHIQUE DU TEMPS DE RÉVERBÉRATION

Comme illustré dans le graphique, le seul emploi du plafond acoustique **Screenball P10F02** produit un changement remarquable des conditions acoustiques ambiantes. De plus, l'exemple présenté ne tient pas compte de l'ameublement normal d'un bureau, du type fauteuils, tables, étagères, rideaux, etc., qui contribuent davantage encore à l'amélioration des valeurs prévisionnelles calculées.

## EMPLOI DES PANNEAUX SCREENBALL

La qualité et la salubrité de l'environnement à tous les niveaux sont aujourd'hui des facteurs indispensables qui distinguent une bonne conception architectonique tant dans un cadre privé que public. Nous connaissons bien les risques dérivant d'une exposition excessive au bruit sur les lieux de travail et nous connaissons également les véritables problèmes de la cohabitation quotidienne avec les bruits qui dérangent nos moments de tranquillité et de repos.

Une grande partie de ces éléments font d'ailleurs l'objet de réglementations légales depuis quelques années, même si les règlements ne sont malheureusement pas toujours respectés. C'est le cas par exemple pour les bâtiments scolaires qui ont totalement négligé les lois en matière de qualité acoustique et d'isolation acoustique, en dépit de toute une série de régulations sérieuses et bien conçues qui remontent parfois aux années 70.

Ces derniers temps, toutefois - grâce aussi à la reconnaissance de la "nocivité biologique" que comporte l'exposition au bruit - l'attention portée à ce type de problème s'est énormément accrue jusqu'à se transformer en une obligation légale: depuis quelques années, en effet, il est obligatoire de produire un Certificat acoustique de projet délivré par un Technicien habilité en acoustique [inscrit à l'ordre régional]: ce certificat doit être joint au projet architectonique de tout édifice public ou privé et sans lui aucun permis de construire ne peut être délivré.

L'objectif du législateur est donc des plus clairs : désormais, construire des bâtiments capables d'assurer le confort acoustique nécessaire relativement aux diverses activités humaines et aux diverses fins liées à l'exploitation desdits bâtiments.

**C'est dans ce cadre que s'insère le produit dénommé Screenball parce que celui-ci est acoustiquement efficace, esthétiquement agréable et réalisé en matériaux dont la salubrité est certifiée en regard de l'environnement.**

**On trouvera ci-dessous une liste présentée à titre purement indicatif des environnements dans lesquels le panneau Screenball peut être proposé.**

<b>BUREAUX</b>	ESPACE OUVERT	DIRECTION	SALLE DE REUNION	PERSONNEL
<b>ÉCOLE</b>	SALLE DE COURS	SALLES SPEC.	BUREAUX	LABORATOIRES
<b>CENTRES COMM.</b>	MAGASINS	FOYERS	COULOIRS	BARS/REST.
<b>MAGASINS</b>	SALLE EXPO	/	/	/
<b>BARS/RESTAURANTS</b>	SALLE	ENTREES	/	/
<b>HÔTELS</b>	"	"	RECEPTION	CHAMBRES
<b>BIBLIOTHÈQUES</b>	ESPACE OUVERT	SALLE LECTURE	CONFERENCES EXPOSITION	
<b>THÉÂTRES</b>	LOGES	REGIE AUDIO	FILTRES ACOUSTIQUES	SALLE D'ESSAI
<b>SALLE DE CONCERT</b>	"	"	"	"
<b>SALLE DE CONFÉRENCE</b>	"	"	"	BUREAUX
<b>CINÉMA</b>	SALLE PROJECT.	REGIE VIDEO	"	"
<b>SALLE DE REUNION</b>	"	"	"	"
<b>STUDIO RADIO/TV</b>	TRANSMISSION	REGIE AUDIO	FILTRES ACOUSTIQUES	"
<b>SALLE HI-FI</b>	/	/	/	/
<b>CINÉDOM</b>	/	/	/	/

# 5. annexe

## ACOUSTIQUE PSYCHOPHYSIQUE

### Comment l'appareil auditif de l'homme est fait et comment il fonctionne

L'appareil auditif de l'homme peut être considéré comme composé de trois parties : l'**oreille externe** (ou conque auriculaire), l'**oreille moyenne** et l'**oreille interne**. À l'intérieur de la conque auriculaire, on trouve un conduit appelé canal auriculaire (ou conduit auditif) qui se termine sur une membrane appelée tympan. La membrane du tympan est un diaphragme subtil, élastique, très résistant, imperméable à l'eau et à l'air, qui sépare l'oreille externe de l'oreille moyenne.

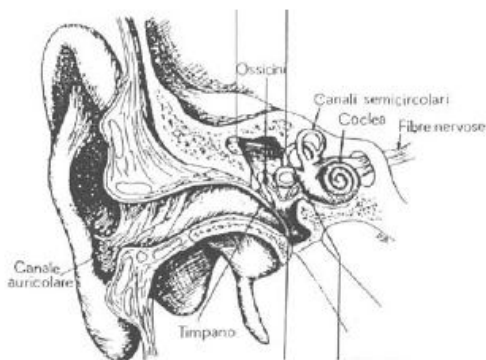


Figure 1 : Oreille humaine

## DOMMAGES À L'APPAREIL AUDITIF DE L'HOMME

Les bruits instantanés [impulsifs] mais avec une valeur de pic très élevée peuvent provoquer des dommages irréversibles à l'appareil auditif de l'homme. Il s'agit de bruits brefs survenant à l'improviste et très violents pour lesquels il n'est pas possible d'effectuer de mesure "intégrée" sur un laps de temps prolongé. Le niveau de ce bruit soudain est donc mesuré avec une option particulière du phonomètre qui permet d'évaluer l'intensité maximale instantanée de l'évènement sonore. C'est la raison pour laquelle la réglementation européenne et la réglementation Italienne imposent des limites à la valeur maximale de pic tolérable sur les lieux de travail.

Une exposition sur quelques heures à des niveaux élevés peut provoquer un dysfonctionnement temporaire de l'organe de l'équilibre. Outre la labyrinthite, les nausées et la perte de l'équilibre, cela peut encore entraîner des problèmes au volant d'un véhicule : pour cette même raison, il peut arriver que, après une soirée en discothèque, on ait des difficultés à conduire même sans avoir bu.

Une exposition de plusieurs heures par jour à des niveaux moyens-hauts sur plusieurs années peut provoquer des dommages permanents à l'appareil auditif de l'homme.

Les diagnostics relatifs sont faits dans des cabines d'écoute dans lesquelles on fait entendre au patient des tons purs à diverses fréquences, en partant de la valeur audible minimale et en augmentant le volume jusqu'à ce que le son soit effectivement entendu par le patient : cela permet d'établir la perte de sensibilité aux différentes fréquences et de tracer des audiogrammes.

## EFFETS DU BRUIT SUR L'HOMME

Le bruit peut être considéré comme un élément polluant, un produit de refus généré au cours des diverses activités humaines. Dans ce sens, **le bruit représente tout son en mesure de perturber, gêner voir même attaquer l'intégrité d'une personne** du point de vue physiologique ou psychologique. **L'exposition au bruit représente certainement l'un des risques les plus diffus dans le monde industrialisé.**

## EFFETS DU BRUIT

### EFFETS ACOUSTIQUES

-Le bruit endommage l'ouïe de façon progressive, symétrique et bilatérale.

- Les dommages à l'appareil auditif résultant du bruit sont irréversibles et ne peuvent pas être réparés, ni avec des traitements médicaux, ni avec des prothèses acoustiques, du fait que le bruit détruit les cellules nerveuses de réception.

- L'éloignement de la source d'exposition au bruit arrête la progression des dommages d'ordre acoustique.

### EFFETS MÉDICAUX

- Difficulté de concentration, fatigue mentale, gêne, anxiété, mal de tête.

- Vasoconstriction des vaisseaux périphériques avec augmentation de la tension artérielle et de la fréquence des pulsations.

- Augmentation de la sécrétion d'acide gastrique et de la motilité gastro-intestinale avec **augmentation du risque de gastrite et d'ulcères gastroduodénaux.**

- **Diminution du sens de la profondeur visuelle** (avec augmentation du risque d'accidents) et détérioration de la vision nocturne.

- **Altérations possibles du cycle menstruel** par action sur l'équilibre et sur la régulation neuro-hormonale ; modifications possibles de l'hémodynamisme utéroplacentaire (facilite le détachement du placenta); risque de naissance avec poids inférieur à la normale.

### RECONNAISSANCE DES DOMMAGES

**La surdité professionnelle résultant de l'exposition au bruit est certainement la maladie la plus fréquemment indemnisée par l'INAIL (Institut national d'assurance contre les accidents du travail).**

L'exposition continue au bruit au-delà d'une certaine intensité provoque, dans l'organisme humain, des dommages tant physiques que psychiques - dommages qui peuvent être :

- **provisoires**, c'est-à-dire de durée limitée dans le temps;  
- **irréversibles**, c'est-à-dire qu'ils ne disparaissent plus et restent pour toujours.

Si la fatigue résultant du bruit n'est pas complètement récupérée, une surdité de type permanent s'installe. Dans ce cas, le sujet ne se rend compte du dommage subi que lorsqu'il rencontre des difficultés dans la conversation. La surdité est généralement reconnue physiquement comme telle, au moyen d'une évaluation de relèvement du seuil de l'audition dans le champ des fréquences de la langue parlée.

**Selon la recommandation ISO R 1999, un sujet est considéré comme sourd si la moyenne arithmétique du seuil d'audition pour les deux oreilles et pour les sons purs d'une fréquence de 500, 1000 et 2000 Hz est relevée de plus de 25 dB par rapport à la moyenne correspondante relativement à des personnes saines du même âge.**

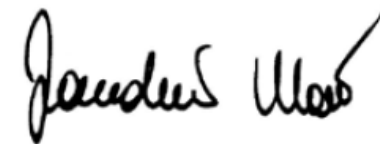
En réalité, dans le cas de bruits continus sur bande large, la perte de l'ouïe apparaît comme un "trou" autour de la fréquence des 4000 Hz. Il conviendrait donc de concentrer notre attention sur cette fréquence en prenant les mesures appropriées pour empêcher que des dommages affectant une zone limitée de la cochlée ne s'étendent aux régions voisines jusqu'à compromettre la perception de la voix. De plus, une éventuelle surdité dans les fréquences sortant du champ de la langue parlée permet effectivement au sujet de percevoir la voix humaine, mais la perception n'est en pas moins considérablement troublée, comme on peut s'en rendre compte en écoutant des enregistrements effectués en coupant les hautes fréquences.

Pesaro li 12/10/2007

*Expert-conseil en acoustique*

**M° MARCO FACONDINI**

[expert-conseil en acoustique]

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Facondini Marco', written in a cursive style.

## SCREENBALL

### ARTDESIGN

24, rue Louis Blanc  
75010 Paris (France)

**Tel :** 01 47 86 29 51

**Fax :** 01 70 44 82 14

[info@artdesign-mobilier.com](mailto:info@artdesign-mobilier.com)

<http://www.artdesign-mobilier.com>