

## Acoustique environnementale et industrielle

LICENCE PROFESSIONNELLE  
« INGENIERIE ET MAINTENANCE DES INSTALLATIONS »

LICENCE PROFESSIONNELLE  
« MAINTENANCE APPLIQUEE AU TRAITEMENT DES POLLUTIONS »

J. Bresson - Professeur

1

## Sommaire

<b>I - ACOUSTIQUE ENVIRONNEMENTALE ET INDUSTRIELLE</b> - Pourquoi réduire le bruit en milieu professionnel ? - Quand intégrer l'acoustique dans un projet industriel ? - Comment faire ?	<b>III - ACOUSTIQUE DES SALLES</b> - Acoustique géométrique Réponse impulsionnelle Echo franc Réverbération directionnelle Problèmes et solutions - Acoustique ondulatoire Fréquence de résonance d'une enceinte Modes propres Réponse fréquentielle Problèmes et solutions - Acoustique statistique Intensité et pression réverbérées Niveaux direct et réverbéré Temps de réverbération Théories de Sabine et d'Eyring Coefficient d'absorption de divers matériaux de parois Absorption par panneau acoustique, par résonateur Qualité subjective d'une salle Conception d'un auditorium - Les salles couplées Définition Indice d'affaiblissement Coefficient et indice d'affaiblissement d'une paroi Parois juxtaposées et parois superposées - Formulaire
<b>II - ACOUSTIQUE PHYSIQUE</b> - Propagation d'une onde plane progressive - Equation d'ondes - Célérité et impédance acoustique - Ondes sphériques - Ondes longitudinales et transversales - Notions énergétiques - Niveaux acoustiques - Références acoustique aérienne - Addition, soustraction de niveaux sonores - Réflexion, réfraction à l'interface de 2 milieux - Atténuation (pression et intensité) - Directivité des sources sonores - Formulaire	<b>IV - SYNTHÈSE DES DONNÉES RÉGLEMENTAIRES</b>  <b>ET EFFETS SUR L'HOMME</b>  <b>V - EXERCICES</b>

2

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

## Acoustique environnementale et industrielle

### Pourquoi réduire le bruit en milieu professionnel ?

- ❖ Le monde de plus en plus industrialisé est devenu un générateur de **nuisances** et de **pollutions** multiples.
- ❖ Le **bruit** est ressenti comme une **nuisance majeure** par l'individu (citoyen, travailleur ou consommateur) car il peut entraîner divers **troubles** tant **physiologiques** que **physiques**.
- ❖ La **santé au travail** et la **protection de l'environnement sonore** sont des **enjeux** : prendre en compte (cadre de travail amélioré) donc gain de productivité et cadre réglementaire et normatif à respecter

ZER Zone à émergence réglementée

3

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

## Acoustique environnementale et industrielle

### Quand intégrer l'acoustique dans un projet industriel ?

- ❖ La **conception d'un projet** est le moment opportun pour intégrer la dimension acoustique. Son intégration lors d'un projet (action préventive) :
  - est plus économique,
  - autorise plus de possibilités.
- ❖ Alors que la **mise en place d'action de réduction de bruit** dans une entreprise (action curative) implique :
  - plus de contraintes,
  - des pertes d'exploitation,
  - une image négative.

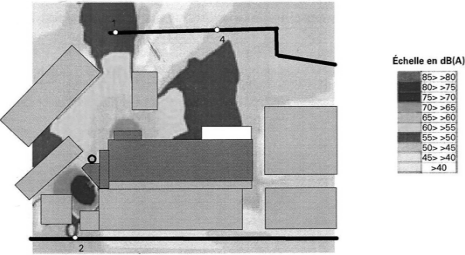
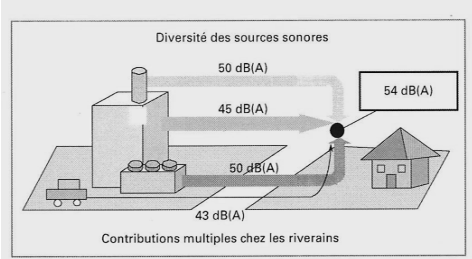
4

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

## Acoustique environnementale et industrielle

**Comment faire ?**

- ❖ Se **soucier**, lors de l'achat d'un nouvel équipement ou d'une nouvelle installation de son **impact sonore sur l'environnement**, le bruit étant transmis par voie **aérienne** ou **solidienne**,
- ❖ Possibilités de simuler le fonctionnement (**cartographie sonore**) à l'intérieur des bâtiments et à l'extérieur vis à vis du voisinage,
- ❖ **Optimiser l'organisation des installations** de façon à ; réduire l'émission sonore des sources de bruit, assourdir les locaux, isoler les salles, les bâtiments entre eux ....
- ❖ **Sensibiliser** les différents acteurs (chef d'entreprise, travailleurs et voisinage) sur les risques acoustiques.



5

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

## Acoustique physique

6

## Introduction

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Définition de l'acoustique**
  - L'acoustique est la science qui traite les vibrations élastiques des milieux matériels. Ces vibrations mettent en jeu nécessairement des forces de rappels élastiques qui tendent à ramener les particules matérielles à leur position d'équilibre.
  
- **Division de l'acoustique**
  - Dans tout problème d'acoustique 3 parties importantes sont abordées :
    - La production des sons (émission),
    - La transmission des sons (propagation),
    - La détection des sons (réception).
  
- **Remarques**
  - Il faut un milieu pour que les vibrations se propagent :
    - L'air, on parlera alors d'**acoustique aérienne**
    - L'eau peut transmettre les vibrations, on parle d'**acoustique sous-marine**
    - Le terre transmet les vibrations , il s'agit alors de **sismologie**,
    - Les matériaux solides peuvent également transmettre les vibrations,
    - Dans le vide seules les ondes électromagnétiques (ondes radio, la lumière) peuvent se propager.

7

## Gamme fréquentielle

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

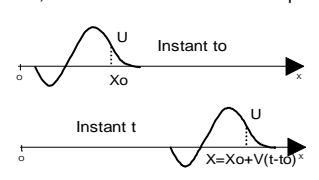
The diagram illustrates the frequency spectrum of sound. The top part shows a logarithmic scale from 10 Hz to 10<sup>8</sup> Hz, with boxes indicating different frequency bands. The bottom part shows a linear scale from 20 Hz to 20 kHz, with specific sound ranges marked: piano (red), note "la" 440Hz (blue), voix (blue), bande passante du téléphone (green), and harmoniques (dotted blue).

8

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### Propagation d'une onde plane progressive

- La rupture locale des conditions d'équilibre d'un milieu crée en général une perturbation qui se propage : **c'est une onde progressive.**
  - Pour un observateur placé en  $x_0$ , le phénomène se manifeste par le niveau  $u$  de l'ébranlement à l'instant  $t_0$ .
  - Si l'ébranlement n'est pas atténué au cours de sa propagation, et se déplace à la vitesse  $V$ .
  - Alors, le niveau  $u$  sera le même au point  $x$  et à l'instant  $t$  tels que :



avec  $V$  vitesse de l'ébranlement

- Ainsi, toute fonction  $u(x,t)$  qui décrit le phénomène ne dépend que du groupement  $(t-x/V)$ 

← Onde progressant dans le sens positif : onde progressive
- Dans le cas où un obstacle renvoie une partie de l'onde dans le sens négatif, on a alors :
 

← Onde progressant dans le sens négatif : onde régressive

Les fonctions  $F_1$  et  $F_2$  sont arbitraires et déterminées par les conditions aux limites. 9

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### Cas d'un mouvement sinusoïdal

- Ainsi dans le cas d'une membrane plane animée d'un mouvement sinusoïdal  $u_M(t) = A \cos \omega t$ 
  - à une distance  $x$ , l'ébranlement s'écrit : 
    - $U$  désigne le déplacement du plan d'air, mais il pourrait représenter la variation de pression ou de densité.
    - Sachant que :  où  $f$  est la fréquence et  $T$  la période de la vibration
  - On peut écrire : 
    - Où  correspond à la **longueur d'onde** c-à-d à la distance parcourue par l'ébranlement au bout du temps  $T$  (période) et représente la distance qui sépare deux états identiques du fluide (deux maxima par exemple).
  - On peut écrire l'expression précédente sous une autre forme : 

↑ Déphasage dû à la source      ↑ Déphasage dû à la propagation
  - Où  appelé **nombre d'onde**.

Temps	Espace
Période $T$	Longueur d'onde $\lambda$
Pulsation $\omega$ $\omega = \frac{2\pi}{T}$	Nombre d'onde $k$ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

10

### Equation d'ondes (dans un fluide)

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

■ **Cas d'une onde plane**

- Le déplacement d'une membrane plane crée une onde plane qui progresse de proche en proche dans le fluide (air) par une succession de compressions et de détentes.
- L'évolution dans le **temps** et dans l'**espace** du **déplacement** du fluide est donnée par l'équation aux dérivées partielles suivante :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = V^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

Équation d'ondes
Célérité de l'onde

où  $\rho$  : masse volumique  
 $\chi$  : coefficient de compressibilité

- Le déplacement solution de l'équation s'écrit :

$$u(x, t) = F_1\left(t - \frac{x}{V}\right) + F_2\left(t + \frac{x}{V}\right)$$

- La vitesse vibratoire :

$$v(x, t) = VF_1'\left(t - \frac{x}{V}\right) - VF_2'\left(t + \frac{x}{V}\right)$$

- La pression vibratoire :

$$p(x, t) = \rho V^2 \left[ F_1'\left(t - \frac{x}{V}\right) - F_2'\left(t + \frac{x}{V}\right) \right]$$

■ **Onde divergente unique** : Dans un milieu libre infini :  $F_2 = 0$

alors :  il y a proportionnalité entre la pression et la vitesse vibratoire

impédance acoustique ou caractéristique

### Célérité et impédance acoustique pour différents fluides

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

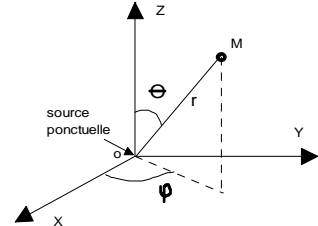
Fluides	Masse volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Célérité VL (m/s)	Impédance acoustique Z (kg/m <sup>2</sup> s)
Air	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
Hydrogène	0,09	1280	115
Azote	1,251	334	420
Eau pure (25°C)	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
Eau de mer (20°C)	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
Eau (valeur moyenne)	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
Alcool éthylique	0,789. 10 <sup>3</sup>	1170	0,92.10 <sup>6</sup>

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
 Dépt. Génie Industriel et Maintenance

## Equation d'ondes (dans un fluide)

■ **Cas des ondes sphériques**

- la propagation des ondes planes peut être considérée comme un cas limite d'une propagation sphérique à très grande distance du centre de l'ébranlement, au voisinage de la source par contre les grandeurs (u,v,et p) dépendent des coordonnées spatiales du point considéré et du temps.
- En posant que v dérive d'un potentiel  $v = -\frac{\partial \phi}{\partial r}$  où  $\phi$  est le potentiel des vitesses et que :
 
$$\Delta \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left( \cos \theta \frac{\partial \phi}{\partial \theta} + \sin \theta \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \phi^2}$$
 Laplacien polaire
- L'équation d'ondes se transforme en :
 
$$\frac{\partial^2 (r\phi)}{\partial t^2} = V^2 \frac{\partial^2 (r\phi)}{\partial r^2}$$
- Avec pour solution :
 
$$\phi(r, t) = \frac{1}{r} \left[ F_1 \left( t - \frac{r}{V} \right) + F_2 \left( t + \frac{r}{V} \right) \right]$$
- Où apparaît  qui exprime le fait qu'il y a une décroissance des grandeurs caractéristiques de l'onde quand la distance r à la source augmente



13

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
 Dépt. Génie Industriel et Maintenance

## Equation d'ondes (dans un fluide)

■ **Cas d'une onde harmonique sphérique divergente**

- Considérons une onde harmonique divergente ( $F_2=0$ ) produite par une petite sphère pulsante :
 
$$\phi(r, t) = \frac{A}{r} F_1 \left( t - \frac{r}{V} \right) = \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr)}$$
- où A et  $\phi$  dépendent des conditions initiales
- La vitesse et la pression acoustique sont :
 
$$v(r, t) = -\frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{A}{r^2} e^{j(\omega t - kr)} + jk \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr)}$$

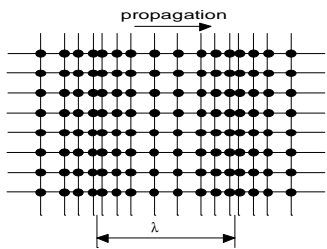
$$p(r, t) = \rho_0 \frac{\partial \phi}{\partial t} = j\rho_0 \omega \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr)}$$
- Que l'on écrit aussi sous forme adimensionnée
 
 où  $p_1$  est la pression à la distance  $r_1 = 1m$
- Remarques :
  - La présence de 2 termes dans l'expression de la vitesse fait apparaître :
    - Champ proche** (r petit) : vitesse et pression sont en quadrature
    - Champ lointain** (r grand) : vitesse et pression sont en phase et on se retrouve dans le cas d'ondes planes (on retrouve bien  $p=Zv$ ).

14

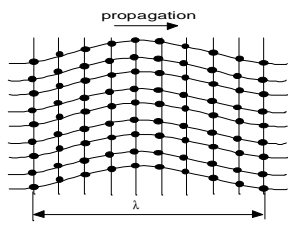
## Propagation des ondes élastiques dans les solides

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Bien qu'il existe une grande variété d'ondes élastiques (ondes de Rayleigh, de Lamb, de Love, de Stoneley ...), ces dernières ne sont constituées que par **deux types d'ondes** fondamentales :
  - **Les ondes longitudinales ou ondes de compression** caractérisées par un déplacement des particules parallèle à la direction de propagation. Il y a variation de volume
  - **Les ondes transversales ou ondes de cisaillement** où le déplacement des particules s'effectue perpendiculairement à la direction de propagation sans dilatation de volume.



ondes longitudinales



ondes transversales

15

## Propagation des ondes élastiques dans les solides

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- **Equations d'ondes**

$$\left[ \frac{\partial^2 \bar{u}_L}{\partial t^2} - V_L^2 \Delta \bar{u}_L \right] + \left[ \frac{\partial^2 \bar{u}_T}{\partial t^2} - V_T^2 \Delta \bar{u}_T \right] = 0$$
- **Célérité longitudinale**
- **Célérité transversale**

où :  $\lambda$  et  $\mu$  sont les constantes de Lamé  
 $\mu$  appelé aussi module de cisaillement ou de rigidité  
 $\rho$  masse volumique

16



Vitesse longitudinale et transversale pour différents matériaux			
Matériaux	Masse volumique $\rho$ ( $10^3\text{kg/m}^3$ )	Vitesse longitudinale VL (m/s)	Vitesse transversale VT (m/s)
Acier	7,8	5900	3230
Aluminium	2,7	6320	3080
Araldite	1,2	2500	1070
Béton	2	4500	-----
Caoutchouc (mou)	0,9	1500	-----
Cuivre	8,9	4700	2260
Eau	1	1483	0
Fonte(grise)	7,2	4600	-----
Glycérine	1,3	1920	0
Huile	0,8	1500	0
Laiton	8,5	3830	2050
Magnésium	1,7	5800	3080
Muscle	1	1600	-----
Os	1,9	4000	1970
Plexiglas	1,2	2730	1430
Plomb	11,4	2160	700
Uranium	18,7	3370	2020
Verre	2,5	5660	3420
Zirconium	6,4	4650	2300

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

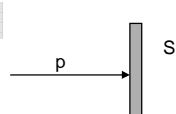
17

### Notions énergétiques

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Energie** transportée par une onde plane sinusoïdale  $u = u_M \sin \omega t$

$$W_{\text{Joule}} = \rho V \frac{v_M^2}{2}$$


- Puissance acoustique**  si  $t=1\text{s}$  alors  $P_{\text{Watt}} = W$

*La puissance est une caractéristique de la source, elle ne dépend pas de la distance.*
- Intensité acoustique** du train d'ondes par unité de temps ( $t=1\text{s}$ )

$$I_{W/m^2} = \frac{P}{S} = \frac{W}{S} = \rho V \frac{v_M^2}{2}$$

soit

et aussi puisque  $p=Zv$  :  ou encore
- Unités**

$1 \text{at} = 10^5 \text{Pa}$   
 $1 \text{bary} = 0,1 \text{Pa}$   
 $1 \text{Pa} = 10^{-5} \text{kg/cm}^2 = 1 \text{N/m}^2$   
 $1 \text{at} = 1 \text{bar} = 1 \text{kg/cm}^2 = 10^5 \text{Pa} = 10^6 \text{baryes}$

18

## Niveaux acoustiques - Références

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Quelques ordres de grandeur de puissance acoustique :
  - une montre : inférieure au microwatt
  - voix humaine ou poste de radio : milliwatt
  - un groupe musical : quelques watts
  - avion à réaction : quelques dizaines de kilowatts
  - fusée de type Saturne : plusieurs dizaines de mégawatts
- L'oreille humaine perçoit des sons très faibles (tic-tac, bruissement de feuilles ...) aux sons les plus forts (turboréacteur, explosion ..) dans un rapport pouvant atteindre  $10^{15}$ , d'où la nécessité d'utiliser une échelle logarithmique.

■ Pression, intensité et puissance de références

Seuil d'audibilité (à 1kHz)  pression efficace

Ce qui correspond à une vitesse vibratoire de :  $v = \frac{p}{\rho v} = 7.10^{-6} \text{ cm/s}$  et à une amplitude vibratoire de :  $|u| = \frac{v}{\omega} = \frac{1}{16} 10^{-8} \text{ cm}$   
soit 16 fois plus petit que le diamètre de la molécule d'hydrogène

en intensité       en puissance

■ Niveau acoustique en décibel :  Ex. 2 19

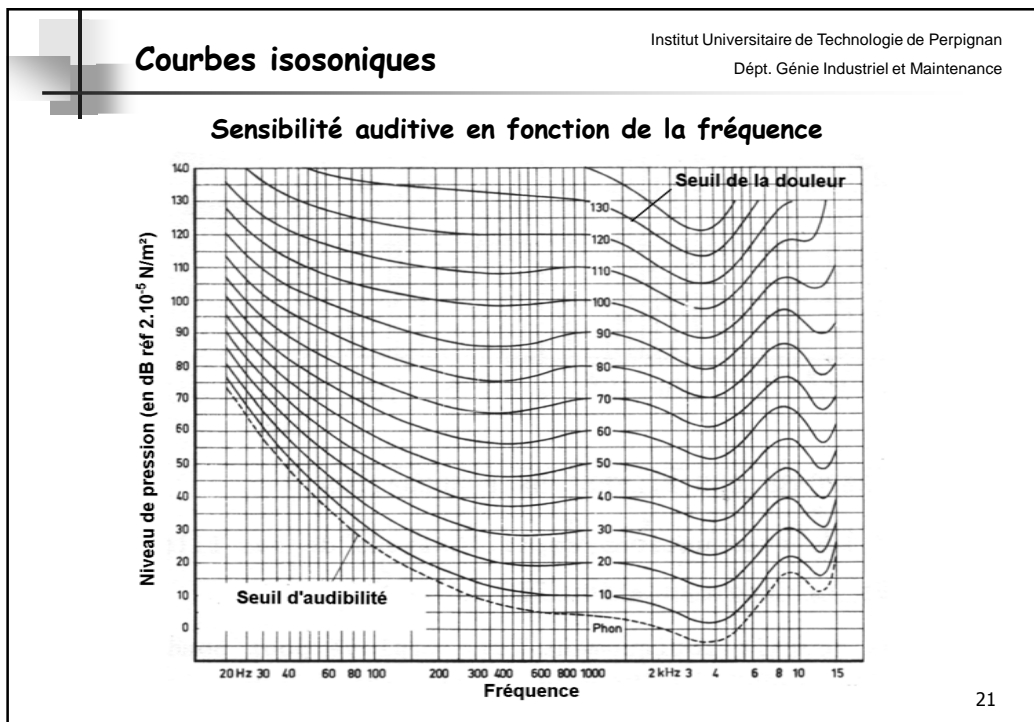
## Niveaux acoustiques

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

**Brüel & Kjaer France**

12-30, Rue des Maulniers, 75 012 PARIS - Tél. : 345-26-61 345-26-14 - Télex : BERA 220412  
Nouv. Tél. : (01) 8717-00 - Fax : (01) 8717-04 - Brno : (02) 242-14 - Brno : (02) 242-14 - Brno : (02) 242-14

20



Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### Addition de plusieurs sources sonores

- **Addition de n sources de même niveau**
  - n sources non corrélées de même intensité acoustique  $I_1$  produisent une intensité totale :
  - Le niveau acoustique total en dB :  où  $L_1$  est le niveau d'une source
- **Exemples :**
  - $n=10$

*En multipliant le nombre de sources sonores par 10, le niveau total a aug. de 10dB, il est donc 2 fois plus fort*

  - $n=2$

*Si on double le nombre de sources sonores, le niveau n'augmente que de 3dB*

**Ex. 3**

22

### Addition de 2 ou plusieurs niveaux de pressions acoustiques

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- **Cas de sources non corrélées**
  - $p_{\text{e}}^2 = \sum_{i=1}^n p_{i\text{e}}^2$  ce qui donne en dB
  - Ou encore en supposant que  $N_2 > N_1$ 

$$\Delta N = N_{T(\text{dB})} - N_2 = 10 \log \left( 1 + 10^{\frac{(N_2 - N_1)}{10}} \right)$$
  - Valeur qu'il convient d'ajouter au niveau le plus élevé pour obtenir le niveau résultant  $N_T$  (fig. ci-dessous).

**Addition de niveaux acoustiques**

- Exemple : addition de 3 niveaux  
 $N_1 = 80\text{dB}, N_2 = 86\text{dB}, N_3 = 84\text{dB}$

- Remarque : Le cas de la soustraction relève d'une opération inverse

Ex. 4

23

### Source contre une paroi

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- **cas d'une source omnidirectionnelle**
- **Source placée contre une paroi** 

Avec  $Q=2$  (facteur d'encastrement)  $10 \log 2 = 3\text{dB}$   
le niveau acoustique est renforcé de 3dB
- **Source à l'intersection de 2 parois** 

Avec  $Q=4$  (facteur d'encastrement)  $10 \log 4 = 6\text{dB}$   
le niveau acoustique est renforcé de 6dB
- **Source dans un coin** 

Avec  $Q=8$  (facteur d'encastrement)  $10 \log 8 = 9\text{dB}$   
le niveau acoustique est renforcé de 9dB

24

### Variation du niveau avec la distance

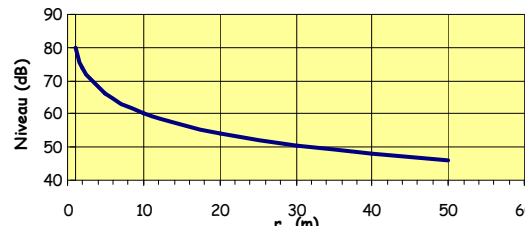
- Divergence géométrique**  et

Donc  soit :

or à 1m  donc

- Doublement de la distance**  $L(2r) =$
- Distance multipliée par 10**  $L(10r) =$

r	L(r)-L(1m)
1	0
2	-6
5	-14
10	-20
20	-26
30	-30
40	-32
50	-34



Ex. 5-6-7

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

25

### Réflexion et réfraction à l'interface de 2 milieux

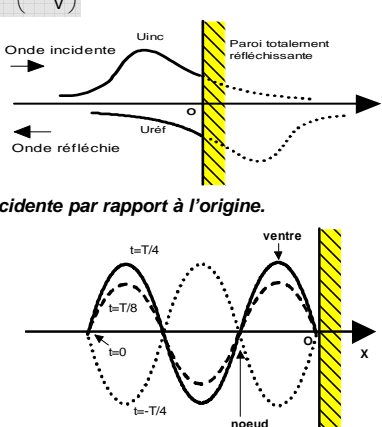
- Incidence normale, onde stationnaire :**
  - Quand l'onde incidente  $u_{inc}(x, t) = F_{inc}\left(t - \frac{x}{V}\right)$  arrive perpendiculairement à la surface de séparation de 2 milieux, l'onde réfléchie se propage en sens inverse :  $u_{réf}(x, t) = F_{réf}\left(t + \frac{x}{V}\right)$
  - A la frontière (parfaitement réfléchissante) la vibration est nulle :
 
$$u_{inc}(0, t) + u_{réf}(0, t) = 0$$
 soit  $F_{réf}(t) = -F_{inc}(t)$   
 donc  $u_{réf}(x, t) = -F_{inc}\left(t + \frac{x}{V}\right)$
  - L'onde réfléchie est à chaque instant symétrique de l'onde incidente par rapport à l'origine.
  - L'onde résultante est alors :  $u(x, t) = F_{inc}\left(t - \frac{x}{V}\right) - F_{inc}\left(t + \frac{x}{V}\right)$
  - En régime sinusoïdal :**

$$u(x, t) = A \left[ \cos \alpha \left( t - \frac{x}{V} \right) - \cos \alpha \left( t + \frac{x}{V} \right) \right]$$

$$u(x, t) = 2A \sin \alpha t \sin \frac{\omega x}{V}$$

La vibration est le produit de 2 fonctions bien distinctes (l'une du temps, l'autre de l'espace). Il n'y a plus propagation mais apparition d'une **onde stationnaire**.

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance



26

### Réflexion et réfraction à l'interface de 2 milieux

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Si la réflexion n'est pas totale, alors  $u(x,t) = A_{inc} \cos \omega \left( t - \frac{x}{V} \right) - A_{réf} \cos \omega \left( t + \frac{x}{V} \right)$

qui est la somme d'une onde progressive et d'une onde stationnaire.
- Taux d'ondes stationnaires** T.O.S. =  $\frac{A_{inc} + A_{réf}}{A_{inc} - A_{réf}} = \frac{1+r}{1-r}$  avec  $r = \frac{A_{réf}}{A_{inc}}$
- Résonateur**

  - Cas où une onde se déplace entre 2 parois parallèles et parfaitement réfléchissantes en  $x=0$  et  $x=-L$
  - Pour que l'onde stationnaire  $u(x,t) = 2A \sin \omega t \sin \frac{\omega x}{V}$

soit nulle aussi en  $x=-L$ , il faut que :

$\frac{\omega L}{V} = n\pi \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$

fréquences propres du résonateur

27

### Coefficients de réflexion et de transmission - incidence normale

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- à la surface, il y a continuité de pression et de vitesse donc :

$p_{inc} + p_{réf} = p_{trans}$   
 $V_{inc} + V_{réf} = V_{trans}$
- Soit :

$r = \frac{p_{réf}}{p_{inc}} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$

coef. de réflexion en pression

$t = \frac{p_{trans}}{p_{inc}} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$

coef. de transmission en pression

  - Ainsi si  $Z_2 > Z_1$  la pression ne change pas de signe à la réflexion alors que la vitesse et l'élongation change de signe.
- Sachant que  $I = \frac{1}{2} \rho M^2 \omega^2 Z$  il vient :

coef. de réflexion en intensité

coef. de transmission en intensité

  - Ces relations montrent que si  $Z_1 = Z_2$  (même milieu), il y a bonne transmission puisque  $T=1$  et  $R=0$

28

**Coefficients de transmission de quelques matériaux**

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

MATÉRIAUX		masse vol. (kg/m3)	célérité (m/s)	T (o/oo)	10logT (dB)
Brique	pleine	1800	2100	0,43	-33,6
Béton	cellulaire	600	1900	1,44	-28
Béton	léger	1300	1800	0,7	-32
Béton	lourd	2300	3300	0,22	-38
Ciment	léger	1400	3300	0,35	-34,5
Ciment	lourd	2200	3750	0,2	-37
Plâtre	plein	1200	2400	0,57	-32,4
Plâtre	alvéolé	650	2100	1,2	-29,2
Polystyrène	léger	500	2000	1,64	-28
Polystyrène	lourd	1000	2350	0,82	-31
Polystyrène	expansé	25	350	171	-8
Marbre		3000	4000	0,14	-39
Verre		2500	5000	0,13	-39
Sable		1500	150	7,26	-21
Caoutchouc	visqueux	1000	300	5,45	-22,6
Caoutchouc	élastique	1000	2000	0,82	-31
Plexiglas		1180	2700	0,52	-33
Chêne	léger	700	1500	1,56	-28
Chêne	dense	1000	3500	0,47	-33
Pin sapin	léger	400	1650	2,48	-26
Pin sapin	dense	550	3200	0,93	-30
Contreplaqué		600	3150	0,87	-30
Aggloméré		650	2800	0,9	-30,5
Liège		240	500	13,6	-19

Sous incidence normale

29

**Coefficients de réflexion et de transmission - incidence oblique**

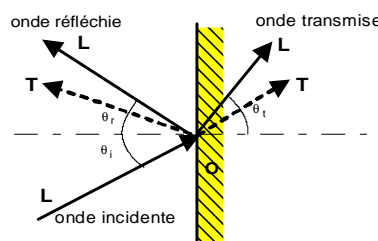
Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Il y a réflexion et réfraction d'ondes longitudinales et transversales si les milieux le permettent.

- Loi de Snell-Descartes  $\frac{V}{\sin\theta} = C^{te}$

- Si  $V_1 < V_2$  alors lorsque l'angle d'incidence augmente, l'onde réfractée (transmise) longitudinale se rapproche de la surface.

Angle critique :  $\sin\theta_c = \frac{V_1}{V_2}$  il ne reste que l'onde transversale dans le milieu 2 (conversion de mode)



- Coefficient de réflexion et de transmission en intensité

$$R = \left[ \frac{Z_1 \cos \theta_2 + Z_2 \cos \theta_1}{Z_1 \cos \theta_2 - Z_2 \cos \theta_1} \right]^2 \quad T = \frac{4Z_1 Z_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2}{(Z_1 \cos \theta_2 - Z_2 \cos \theta_1)^2}$$

30

## Changement de mode

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

31

## Atténuation

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Deux origines :
  - La diffusion : réflexion sur les particules microscopiques ou macroscopiques
  - L'absorption : dégradation thermique, viscosité du milieu, relaxation chimique et absorption par résonance.
- Mise en équation :
 

$$\frac{dl}{l} = -2 \delta dr$$

chang<sup>m</sup> infinit<sup>al</sup> d'intensité →  $\frac{dl}{l}$  ← déplacement infinit<sup>al</sup>  
 ↑  
 coeff. d'atténuation en pression (np/m)

  - Après intégration il vient :
 

	ondes planes
	ondes sphériques

avec:  $l_1$  intensité acoustique à la distance  $r_{1m} = 1m$

32



### Coefficients d'atténuation en pression et en intensité

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Niveaux sonores : Si :  $I = \frac{I_{r1m}^2}{r^2} e^{-2\delta(r-r_{1m})}$  alors le niveau en décibels s'écrit :



Soit :  $L(\text{dB}) = \text{Niveau source} - \text{Pertes par propagation}$

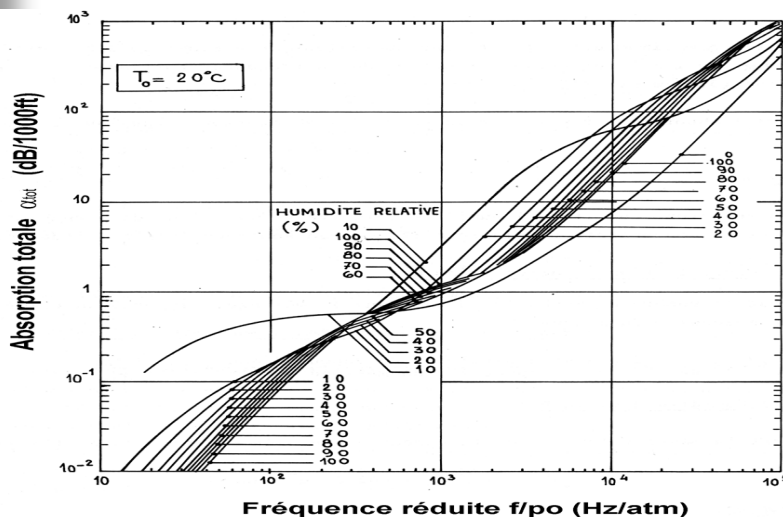
En posant :  $\alpha_{(\text{dB}/\text{m})} = 20\delta \text{Log}e = 8,68\delta_{(\text{np}/\text{m})}$  coeff.d'atténuation en intensité

$1\text{np}/\text{m} = 8,68 \text{ dB}/\text{m}$   $\delta_{(\text{np}/\text{m})}$  coeff. d'atténuation en pression

- Remarque :  
En règle générale l'absorption est faible, sauf aux fréquences ultrasonores où elle varie avec le carré de la fréquence.  
  
De plus elle varie peu avec la température et passe par un maximum en fonction du degré hygrométrique de l'air

### Absorption atmosphérique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

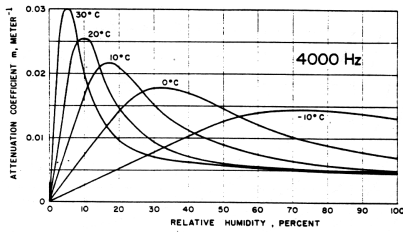


Absorption atmosphérique totale en fonction de la fréquence (d'après Evans, Bass et Sutherland)

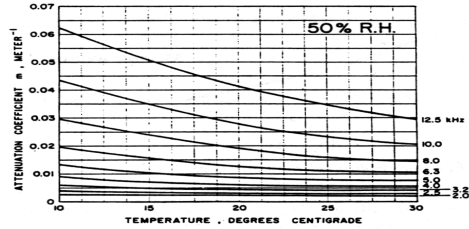
## Absorption atmosphérique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

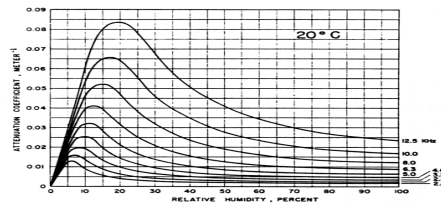
Coefficient d'absorption  $\alpha$  en fonction de la température pour des sons purs de fréquence > 2 kHz (50% d'humidité relative)



Coefficient d'absorption  $\alpha$  en fonction de l'humidité relative pour des sons purs de fréquence > 2kHz (à 20°C).



Coefficient d'absorption  $\alpha$  d'un son de 4000 Hz en fonction de l'humidité relative pour différentes températures.



35

## Directivité

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### ■ Généralités :

- Une caractéristique essentielle d'un transducteur (émetteur ou récepteur) est sa **dimension** vis à vis de la longueur d'onde.
- En général les transducteurs ont des **dimensions petites** devant la longueur d'onde, ont dit qu'ils sont ponctuels ou **omnidirectionnels**
- Dans le cas contraire (groupement de transducteurs) ils deviennent **directifs**.

### ■ Caractéristiques :

#### ■ Dans l'axe du faisceau :

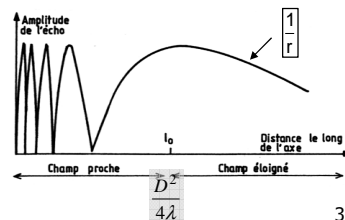
- Dans le cas où M est proche du transducteur, le champ sonore est composé d'**ondes planes** venant de directions diverses interférant entre elles, la pression résultante varie fortement avec la distance OM ;

**zone de Fresnel ou de champ proche**

- A mesure que M s'éloigne, les ondes sont issues de directions sensiblement parallèles et l'amplitude résultante décroît en  $\frac{1}{OM} = \frac{1}{r}$

Le champ acoustique est quasiment **sphérique** :

**Zone de Fraunhofer ou de champ lointain**

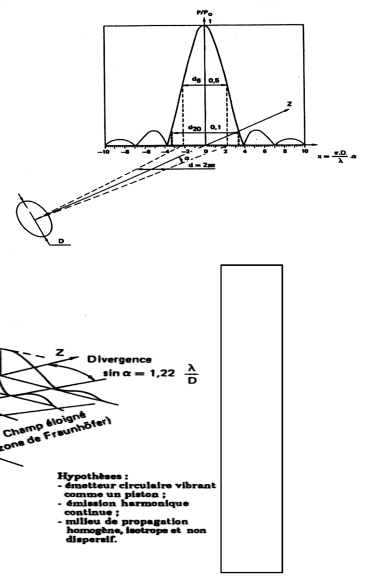


36

### Directivité (suite)

- Dans un plan perpendiculaire au faisceau
  - A cause d'interférences inhérentes à la différence de marche d'ondes provenant de divers points du transducteur, l'amplitude de l'onde résultante présente des fluctuations lorsque l'on s'écarte de l'axe du faisceau
- Champ acoustique d'un transducteur

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance



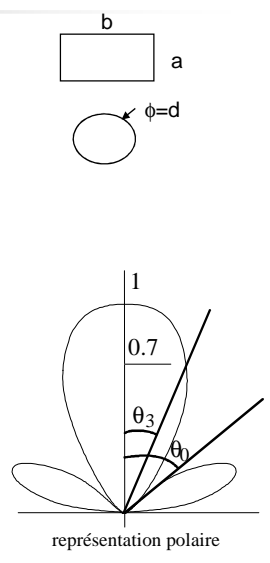
Hypothèses :  
- émetteur circulaire vibre comme un piston ;  
- émission harmonique continue ;  
- milieu de propagation homogène, isotrope et non dispersif.

37

### Diagramme de directivité

- Piston rectangulaire :  $\frac{p(\theta)}{p_{axe}} = \frac{\sin x}{x}$  avec  $x = \frac{\pi(a \sin \theta)}{\lambda}$
- Piston circulaire :  $\frac{p(\theta)}{p_{axe}} = \frac{2J_1(x)}{x}$  avec  $x = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance



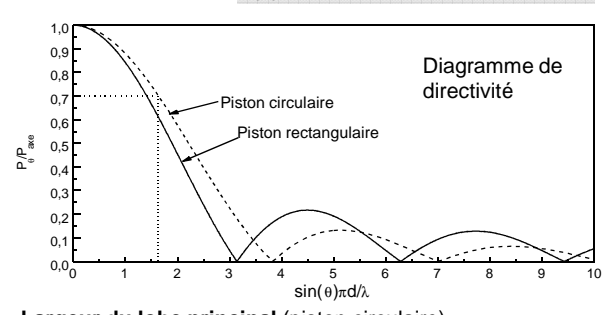


Diagramme de directivité

- Largeur du lobe principal (piston circulaire)

Soit :

38

### Facteur et index de directivité

■ **Facteur de directivité**  $K = \frac{I_{axe}}{I_{moyen}}$

Avec  soit

■ **Index de directivité**  $D_{dB} = 10 \text{ Log} K = 10 \text{ Log} \frac{I_{axe}}{I_{moyen}}$

$D_{dB} = 10 \text{ Log} 4\pi \frac{a}{\lambda} \frac{b}{\lambda}$

$D_{dB} = 20 \text{ Log} \frac{\pi d}{\lambda}$

$I_1$  omnidirectionnel  
 $K_1 = 1 ; D_1 = 0\text{dB}$

$I_2 = K_2 I_1$  directif  
 $K_2 > 1 ; D_2 > 0\text{dB}$

transducteur

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

39

### Diagramme de directivité en fonction de la fréquence

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

Grandeurs caractéristiques d'un piston plan circulaire de 17cm de rayon

- Diagramme de directivité à 200 Hz
- Diagramme de directivité à 5000 Hz
- Réponse en fréquence dans une direction de 30°
- Décroissance du champ proche dans l'axe à 8000 Hz

40

<b>Résumé des formules</b>		Institut Universitaire de Technologie de Perpignan Dépt. Génie Industriel et Maintenance	
Longueur d'onde (m)	$\lambda = VT$	Pression de référence (N/m <sup>2</sup> )	$p_o = 2.10^{-5} \text{ N/m}^2$
Impédance acoustique (kg/m <sup>2</sup> s)	$Z = \rho V$	Intensité de référence (W/m <sup>2</sup> )	$I_o = 10^{-12} \text{ W/m}^2$
Onde plane	$p(x, t) = p_o e^{j(\omega t - kx)}$	Puissance de référence (W)	$P_o = 10^{-12} \text{ W}$
Onde sphérique 1/r terme de divergence	$p(r, t) = \frac{p_1 r_1}{r} e^{j(\omega t - kr)}$	Niveau acoustique (dB)	$L_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P}{P_o} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_o} = 20 \log_{10} \frac{p_{eff}}{p_o}$
Puissance acoustique (Watts)	$P_{Watt} = \frac{W}{t}$	Addition de n sources de même Niveau L <sub>1</sub>	$L_{tot} = L_1 + 10 \log n$
Intensité acoustique (W/m <sup>2</sup> )	$I_{W/m^2} = \frac{P}{S} = \frac{W}{St}$ $I = \frac{1}{2} \frac{p_M^2}{Z} = \frac{p_{eff}^2}{Z}$	Addition de n sources de niveaux différents	$L_{tot(db)} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$

41

<b>Résumé des formules</b>		Institut Universitaire de Technologie de Perpignan Dépt. Génie Industriel et Maintenance	
Intensité dans l'axe à la distance r	$I_{axe} = \frac{QP}{4\pi r^2}$	Loi de Snell-Descartes	$\frac{V}{\sin \theta} = C^{te}$
Facteur de directivité	$Q = \frac{I_{axe}}{I_{moyen}}$	Coefficient de réflexion en intensité (incidence normale)	$R = \frac{I_{réf}}{I_{inc}} = \left[ \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right]^2$
Index de directivité (dB)	$D = 10 \log Q$	Coefficient de transmission en intensité (incidence normale)	$T = \frac{I_{trans}}{I_{inc}} = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} = 1 - R^2 = 1 - R$
Niveau à la distance r (L <sub>w</sub> : niveau de la source)	$L(r) = L_w + D - 11 - 20 \log r$	Niveau à la distance r en présence d'atténuation α (dB/m)	$L(r)_{(dB)} = 10 \log \frac{I_1}{I_o} - 20 \log r - \alpha(r - r_{1m})$ $\underbrace{\hspace{10em}}_{L(1m)} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{H(r)}$
Niveau à la distance r par rapport au niveau à 1m	$L(r) = L(1m) - 20 \log r$	Demi-angle de directivité (piston circulaire)	$\sin \theta_0 = 1, 22 \frac{\lambda}{d} \quad \sin \theta_3 = 0, 5 \frac{\lambda}{d}$
Fréquence propre d'un résonateur	$f_p = n \frac{V}{2L}$		

42

## Acoustique des salles

43

### Acoustiques des salles

#### Trois approches complémentaires

- **Acoustique géométrique :**
  - On considère le trajet des **rayons sonores** (analogie avec l'optique).  
Application aux grandes salles.
  
- **Acoustique ondulatoire :**
  - Résolution de l'**équation de propagation** des ondes en milieu borné à 3 dimensions.
  
- **Acoustique statistique :**
  - On suppose que la pression sonore est uniforme dans l'enceinte (cas d'enceintes de **faibles dimensions**)

44

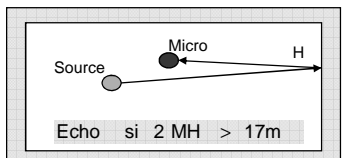
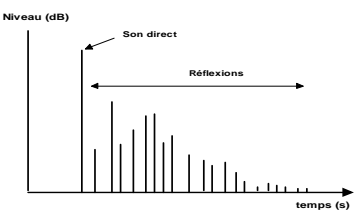
## Acoustique géométrique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### Acoustique basée sur l'étude des rayons sonores individuels directs et réfléchis.

- **Réponse impulsionnelle :**
  - Signal temporel obtenu en un point de la salle après émission d'une impulsion sonore (claquement, coup de revolver ...)
  - Signal constitué du **son direct** et du **son réverbéré** par les parois de la salle.
  - Représente la **signature acoustique** de la salle pour des positions données de l'émetteur et du récepteur
- **Echo franc :**
  - Le son en provenance **directe** de la source ne constitue **qu'une partie du son** reçu par l'auditeur
  - Les sons **réfléchis** sont essentiels à la reconstitution globale du message sonore.
  - Il y a **écho franc**, lorsque le son réfléchi arrive en **retard** sur le son direct de plus de **50ms** ce qui correspond à une **différence de marche d'environ 17m**

*Un écho franc gênant ne risque de se produire que dans des salles de dimensions supérieures à 8,5m*

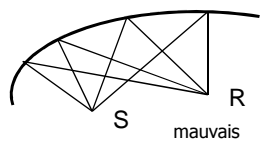
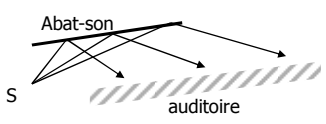
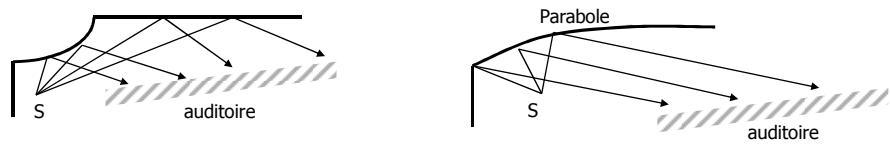



45

## Acoustique géométrique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- **Solutions pour s'affranchir de l'écho :**
  - Placer un absorbant autour du point de réflexion (mauvais car énergie perdue pour l'auditeur)
  - Utiliser une paroi en relief de façon à diffuser l'énergie
  - Choisir une forme de salle qui ne produise pas d'écho
- **Réverbération directionnelle**
  - Sur des surfaces quasi-sphériques ou elliptiques entraîne un effet nuisible de **focalisation**
  - Sur des surfaces convexes, planes ou paraboliques effet bénéfique - **répartition** de l'énergie acoustique

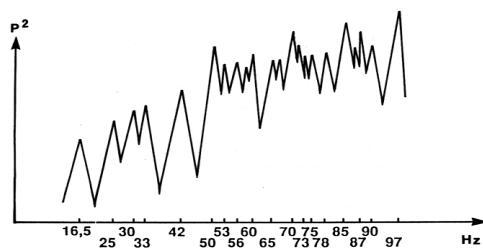
46

## Acoustique ondulatoire

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Dans le cas d'une enceinte fermée, à partir de l'équation d'ondes (cas tridimensionnel), on déduit les différents modes de propagation.
- Comme dans le cas du résonateur à faces parallèles où la fréquence de résonance était donnée par :
- Les fréquences propres d'une enceinte de dimensions X,Y,Z, sont : 
$$f_{lmn} = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{l^2}{X^2} + \frac{m^2}{Y^2} + \frac{n^2}{Z^2}} \quad (l,m,n=0,1,2,\dots)$$
- Ce qui génèrent diverses fréquences de résonance découlant des divers modes propres.

Spectre de raies induit par les modes propres d'une salle de dimensions 10,2x6,8x3,4



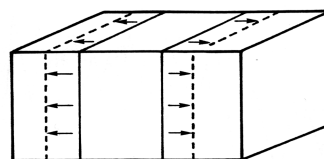
47

## Modes propres d'une enceinte

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

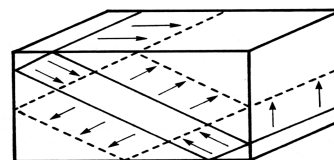
- Modes axiaux

$$(f_{100}, f_{010}, f_{001})$$



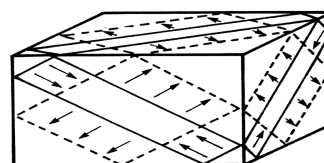
- Modes tangentiels ou combinés

$$(f_{1m0}, f_{10n}, f_{1m0})$$



- Modes obliques

l,m,n différents de 0



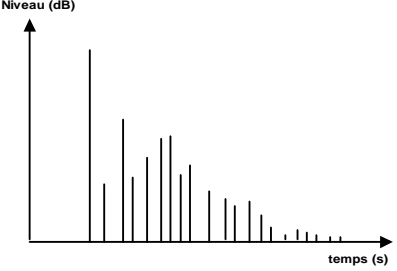
48



## Réponse fréquentielle


Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance


- La réponse fréquentielle illustre la façon dont la salle accentue ou atténue les différentes fréquences émises par la source.
- La **réponse fréquentielle** (spectre en fréquences) peut s'obtenir à partir de la **réponse impulsionnelle** en effectuant une opération mathématique appelée **transformation de Fourier**.



Réponse impulsionnelle

TF





Réponse fréquentielle

49

## Problèmes et solutions

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- **Problèmes :**
  - Ces modes propres induisent un réseau de raies de fréquences (spectre de fréquences) qui, lorsqu'elles sont excitées, pose **problème notamment en basses fréquences**.
  - Cela donne aux sons une « coloration » particulière, **effet de bourdonnement (ou de tonneau)**
- **Solutions :**
  - Eviter les salles cubiques dont les dimensions sont dans un rapport simple,
  - Eviter les formes régulières (cube, cylindre, dôme, sphère,...) et les parois parallèles,
  - Utiliser des parois absorbantes aux B.F.

50

## Acoustique statistique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Généralité :**

L'acoustique ondulatoire est utilisée quand l'enceinte est de forme simple. Dans le cas contraire, on utilise l'acoustique statistique qui suppose que le **son est homogène dans toute la salle**. Ce qui suppose que la salle est de petites dimensions.
- **Intensité réverbérée dans la salle :**

Pour que le niveau acoustique dans la salle reste constant, il faut que :  $E_{\text{émise par la source}} = E_{\text{absorbée par les parois}}$

  - **Energie émise :** sachant que  $P_{\text{Watt}} = \frac{E}{t}$  si  $t=1s$   $E_{\text{émis}} = P_{\text{Watt}}$
  - **Energie absorbée :** sachant que  $\alpha = \frac{\text{Energie absorbée}}{\text{Energie incidente}}$  alors :  $E_{\text{absorbée}} = \alpha E_{\text{incidente}}$
  - **Energie incidente :** L'énergie réverbérée est prédominante dans la salle, on peut donc négliger l'énergie directe et considérer que l'énergie qui frappe les parois est l'énergie réverbérée d'intensité :

$I_r = \frac{E_{\text{incidente}}}{S(t=1s)}$  soit  $E_{\text{incidente}} = S I_r$

**BILAN ENERGETIQUE :**  $E_{\text{abs}} = \alpha E_{\text{inc}} = \alpha S I_r$  donc  $E_{\text{émis}} = E_{\text{abs}} \Rightarrow P = \alpha S I_r$

avec  $A_{m^2} = \alpha S$  absorption de la salle

51

## Acoustique statistique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Pression réverbérée dans la salle :**

Nous avons vu que l'intensité directe s'écrit :

avec  $Z_0 = \rho_0(\text{kg/m}^3) C_{(m/s)} \approx 400 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Nous admettons que pour le **son réverbéré**, la relation entre intensité et pression est différente :

Cela provient du fait, qu'à l'inverse du **champ direct** qui provient d'une **seule direction**, le **champ réverbéré** provient de **toutes les directions** et est donc **moins efficace**.

***Le champ réverbéré est 4 fois moins efficace que le son direct***

52

## Acoustique statistique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Niveau d'intensité** : On a déjà vu que :  $I_r = \frac{P(w)}{A(m^2)}$  et  $L_{Ir} = 10 \log \frac{I_r}{I_0}$

Soit :  $L_{Ir} = 10 \log \frac{P}{AI_0} = 10 \log \frac{P}{I_0} - 10 \log A$  donc :
  
- **Niveau de pression** : On a déjà vu que :  $I_r = \frac{p_r^2}{4Z_0}$  et  $L_{Ir} = 10 \log \frac{I_r}{I_0}$

Soit  $L_{Ir} = 10 \log \frac{I_r}{I_0} = 10 \log \frac{p_r^2 / 4Z_0}{p_0^2 / Z_0} = 10 \log \frac{p_r^2}{4p_0^2} = 20 \log \frac{p_r}{2p_0} = 20 \log \frac{p_r}{p_0} + 20 \log \frac{1}{2}$  donc
  
- **Relation entre niveaux d'intensité, de pression et de puissance acoustique**

Des 2 relations précédentes, il vient :  Ex. 8 →

53

## Acoustique statistique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

	Son direct	-	Son réverbéré
<b>Intensité en fonction de la pression</b>	$I_d = \frac{p_d^2}{Z_0}$		$I_r = \frac{p_r^2}{4Z_0}$
<b>Intensité en fonction de la puissance de la source</b>	$I_d = \frac{KP}{4\pi r^2}$		$I_r = \frac{P}{A}$
<b>Niveau d'intensité</b>	$L_{Id} = L_w + D - 11 - 20 \log r$		$L_{Ir} = L_w - 10 \log A$
<b>Niveau de pression</b>	$L_{pd} = L_w + D - 11 - 20 \log r$		$L_{pr} = L_w - 10 \log A + 6dB$

54

## Acoustique statistique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

■ **Niveau direct et réverbéré dans une salle**

Le niveau total dans une salle où règne à la fois le son direct (source de bruit) et le son réverbéré s'écrit :

$$L_{tot} = 20 \log \frac{p_{tot}}{p_0}$$

avec :  $p_{tot}^2 = p_d^2 + p_r^2$

On obtient après calcul :

Rayon critique :

55

## Acoustique statistique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

■ **Durée de réverbération : C'est le temps  $T_r$  nécessaire pour que l'énergie sonore en un point quelconque de la salle décroisse de 60 dB après suppression de l'excitation.**

*La durée de réverbération dépend de l'absorption du son par les parois et de la fréquence.*

Echelle linéaire du temps                      Echelle linéaire du temps

$\tau$  constante de temps de la salle     $\tau = \frac{4V}{Ac}$   
 $A$  = absorption de la salle ;  $c$  = célérité du son ;  $V$  = volume

$T_{r(60dB)} = 13,8 \tau$

56

## Théorie de Sabine

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Théorie de Sabine (1895)**
  - Suppose que l'énergie réverbérée est uniformément répartie dans la salle ce qui suppose que l'absorption soit relativement faible soit :  **$0 < \alpha < 0,2$**

où : S aire des parois de la salle  
V volume de la salle

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{\sum_i S_i}$$

coefficient moyen d'absorption

avec  $\alpha_i$  coefficient d'absorption du panneau i de surface  $S_i$

- **Limites de la formule de Sabine**
  - $\alpha \rightarrow 0$  :
  - $\alpha \rightarrow 1$  :

57

## Théorie d'Eyring

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Formule d'Eyring (1933)**

La méthode d'Eyring consiste à suivre le parcours d'un rayon sonore à travers la salle, et à calculer l'énergie absorbée lors de chaque réflexion.

On définit la constante de la salle  $\mathfrak{R} = \frac{S\alpha}{1-\alpha}$  qu'il conviendra de substituer à A de la théorie de Sabine

Sabine	Eyring
$I_r = \frac{P}{A}$ $L_{ir} = L_w - 10 \log A$ $L_{pr} = L_w - 10 \log A + 6 \text{ dB}$ $L_{ptot} = L_w + 10 \log \left( \frac{K}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$ $r_{critique} = \sqrt{\frac{AK}{16\pi}}$	$I_r = \frac{P}{\mathfrak{R}}$ $L_{ir} = L_w - 10 \log \mathfrak{R}$ $L_{pr} = L_w - 10 \log \mathfrak{R} + 6 \text{ dB}$ $L_{ptot} = L_w + 10 \log \left( \frac{K}{4\pi r^2} + \frac{4}{\mathfrak{R}} \right)$ $r_{critique} = \sqrt{\frac{\mathfrak{R}K}{16\pi}}$

58

## Comparaison

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

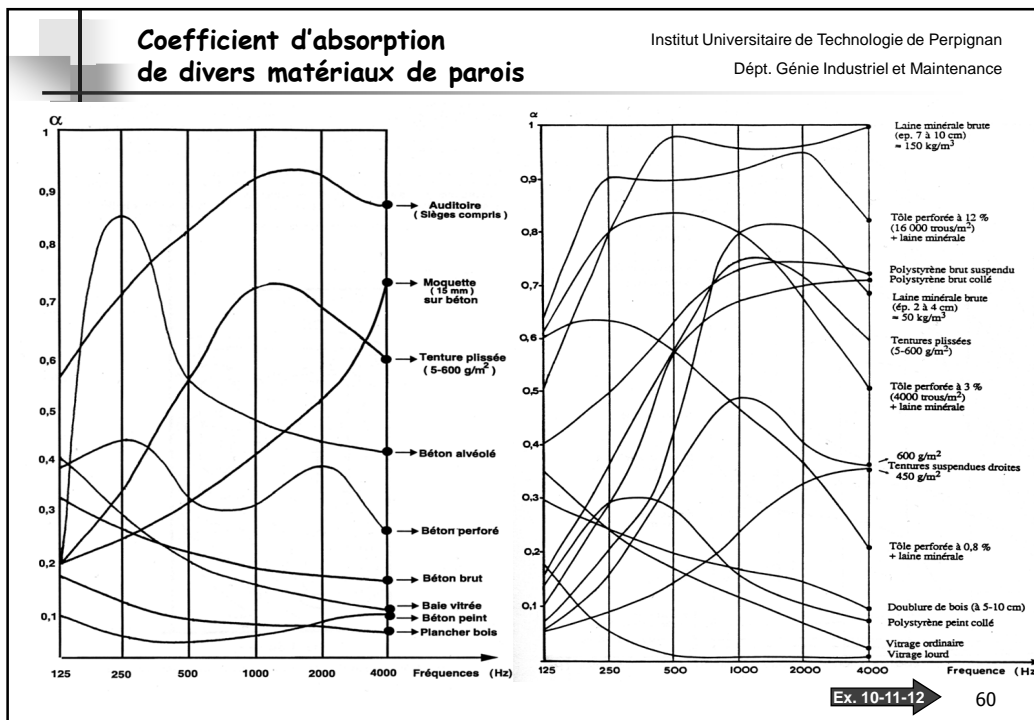
■ **Application :**

Un local de dimensions 10x6x3m comprend :

- Un plancher recouvert de moquette ( $\alpha_s=0,5$ )
- Un plafond en lambris ( $\alpha_p=0,12$ )
- Des murs de plâtre recouverts de papier peint ( $\alpha_M=0,05$ )

	$\alpha_i$	Si	Sabine Si $\alpha_i$	Eyring
Mur	0,05			
Plafond	0,12			
Sol	0,5			
	$\Sigma$			
vol = 180m <sup>3</sup>		$\alpha =$		
		Tr		

59



## Absorption

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- **Coefficient d'absorption :**  $\alpha = \frac{\text{Energie absorbée}}{\text{Energie incidente}}$
- **Absorption par panneau acoustique :**  
Encore appelé « diaphragme » est constitué par un panneau placé à une distance  $d$  d'un mur

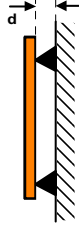
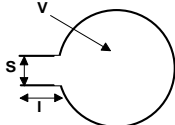
L'absorption est maximale pour la fréquence propre du panneau, soit :  $f_0 = \frac{60}{\sqrt{\rho_s d}}$

Où  $\rho_s$ (kg/m<sup>2</sup>) : masse surfacique du panneau

- **Absorption par résonateur**  
Proche du résonateur, il y a amplification du son mais dans la salle le rôle absorbant prédomine pour la fréquence propre :

$S$  surface du goulot  
 $l$  longueur du goulot  
 $P_0$  pression atmosphérique statique (1,013.10<sup>5</sup> Pa)  
 $V$  volume de la cavité  
 $\rho_0$  masse vol. d'air (1,2kg/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma$  constante thermodynamique (1,4)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\gamma P_0 S}{\rho_0 l V}}$$

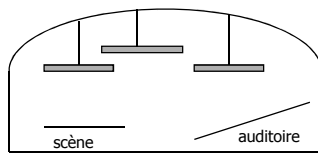
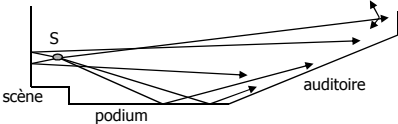
Si le goulot est court par rapport à son diamètre  $d$ , remplacer  $l$  par  $l+0,8d$

61

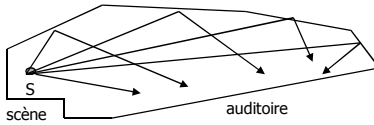
## Conception d'un auditorium

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Supprimer tous les échos gênants
- Favoriser les échos utiles
- Utiliser le moins possible des matériaux absorbants (diminution de l'énergie)
- Les dimensions de la scène <8,5x8,5m de façon à éviter les échos francs
- Les parois de la salle ne seront pas parallèles
- Mise en place d'obstacles (évite la focalisation)
- **Théâtre romain :**
  - Scène de faible profondeur
  - Partie dallée ou podium renforce les sons vers les gradins
  - Mur ceinturant le théâtre est diffusant (niches, colonnes ..)
- **Théâtre moderne :** correspond au théâtre romain renversé

Théâtre romain



Théâtre moderne

62

## Qualité subjective d'une salle

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Le fait qu'une salle soit plus ou moins réverbérante influe sur le plaisir et le confort de l'auditeur.
- Une étude statistique sur plusieurs types de salles reconnues comme « bonnes » fait apparaître la relation suivante :

où :

$k \approx 0,06$	parole (théâtre, salle de conférences)
$k \approx 0,1$	musique (église)
$V (m^3)$	volume de la salle

63

## Les salles couplées

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Définition**  
Il y a couplage acoustique entre deux locaux lorsqu'un local contenant une source (local émetteur : 1) est placé à côté d'un autre local (local récepteur : 2).

- Indice d'affaiblissement brut :**  
L1 et L2 sont les niveaux réverbérés des salles couplées

- Coefficient et indice d'affaiblissement d'une paroi**

64



### Les salles couplées

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

■ **Calcul de l'atténuation :**

On démontre que :

D'où :  $L_2 - L_1 = 10 \log \frac{S_c \tau}{A_2 + S_c \tau}$

Soit :  $L_2 - L_1 = 10 \log \tau + 10 \log \frac{S_c}{A_2 + S_c \tau} = -R - 10 \log \frac{A_2 + S_c \tau}{S_c}$

Et  car  $\tau$  est faible

Ainsi, pour **augmenter l'isolation**, il faut :

- aug. l'indice d'affaiblissement de la paroi R
- aug. l'absorption du local récepteur  $A_2$
- réduire la surface de couplage entre salles  $S_c$

Ex 13 → 65

### Les salles couplées Association de parois

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

■ **Parois juxtaposées**

On démontre que le coefficient de transmission global de plusieurs parois juxtaposées s'écrit :

■ **Parois superposées**

Dans le cas théorique ou il n'y a aucune liaison entre les parois, le coefficient de transmission global est :

Soit en dB :

Ex 14 → 66

<b>Résumé des formules</b>		Institut Universitaire de Technologie de Perpignan Dépt. Génie Industriel et Maintenance	
Fréquences propres d'une salle	$f_{\text{min}} = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{l_2}{X_2} + \frac{m_2}{Y_2} + \frac{n_2}{Z_2}}$	Distance critique (m)	$r_{\text{critique}} = \sqrt{\frac{AK}{16\pi}}$
Intensité réverbérée stationnaire	$I_r = \frac{P}{A}$ $I_r = \frac{p_r^2}{4Z_0}$	Constante de la salle (s) Temps de réverbération à 60 dB (s)	$\tau = \frac{4V}{Ac}$ $Tr_{(60\text{dB})} = 13,8 \tau$
Intensité directe	$I_d = \frac{KP}{4\pi r^2}$ $I_d = \frac{p_d^2}{Z_0}$	Temps de réverbération Sabine (s)	$Tr_{(\text{Sabine})} = \frac{0,16V}{S \bar{\alpha}}$
Absorption de la salle Sabine (m <sup>2</sup> )	$A = \alpha S$	Temps de réverbération Eyring (s)	$Tr_{(\text{Eyring})} = \frac{0,16V}{-S \text{Ln}(1 - \bar{\alpha})}$
Niveau de pression réverbérée	$L_{\text{pr}} = L_w - 10 \log A + 6\text{dB}$	Absorption de la salle Eyring (m <sup>2</sup> )	$\bar{\alpha} = \frac{S\alpha}{1 - \alpha}$
Niveau de pression total	$L_{\text{ptot}} = L_w + 10 \log \left( \frac{K}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$		

67

<b>Résumé des formules</b>		Institut Universitaire de Technologie de Perpignan Dépt. Génie Industriel et Maintenance	
Coefficient d'absorption	$\alpha = \frac{\text{Energie absorbée}}{\text{Energie incidente}}$	Coefficient et indice d'affaiblissement d'une paroi	$\tau = \frac{E_{\text{transmise}}}{E_{\text{incidente}}}$ $R = -10 \log \tau$
Fréquence propre d'un panneau Acoustique (diaphragme)	$f_0 = \frac{60}{\sqrt{\rho_s d}}$	Affaiblissement brut	$D = L_1 - L_2 = R + 10 \log \frac{A_2 + S_c \tau}{S_c}$
Fréquence d'un résonateur	$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\gamma P_0 S}{\rho_0 l V}}$	Parois superposées	$\tau_{\text{tot}} = \frac{\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2 + \dots + \tau_n S_n}{S_{\text{tot}}}$
	$k \approx 0,06$ parole (théâtre, salle de conférences) $k \approx 0,1$ musique (église)		
Tr en fonction du volume	$Tr_{(60\text{dB})} \approx k \cdot V^{1/3}$	Parois juxtaposées	$\tau_{\text{tot}} = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \dots \cdot \tau_n$ $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

68

## Synthèse des données réglementaires et effets sur l'homme

### Synthèse des données réglementaires

#### Niveaux admissibles et de gêne :

(décret n° 95-408 du 18 avril 1994)

**Niveaux admissibles** dans une pièce principale d'habitation :

- 40 dB(A) la nuit
- 60 dB(A) le jour

A ces valeurs admissibles d'émergence s'ajoute un terme correctif de dB(A) fonction de la durée cumulée d'apparition d'un bruit particulier :

*Un travail intellectuel nécessite < 55 dB(A)*

#### Niveau d'émergence

Un **bruit perturbateur** est reconnu **gênant** dans une pièce principale d'habitation lorsqu'il provoque une augmentation de l'intensité sonore de :

- **3 dB(A) la nuit** (22h-7h)
- **5 dB(A) le jour** (7h-22h)

— 30 s < T ≤ 1 min .....	+ 9 dB(A) ;
— 1 min < T ≤ 2 min .....	+ 8 dB(A) ;
— 2 min < T ≤ 5 min .....	+ 7 dB(A) ;
— 5 min < T ≤ 10 min .....	+ 6 dB(A) ;
— 10 min < T ≤ 20 min .....	+ 5 dB(A) ;
— 20 min < T ≤ 45 min .....	+ 4 dB(A) ;
— 45 min < T ≤ 2 h .....	+ 3 dB(A) ;
— 2 h < T ≤ 4 h .....	+ 2 dB(A) ;
— 4 h < T ≤ 8 h .....	+ 1 dB(A) ;
— T > 8 h .....	+ 0 dB(A).

## Synthèse des données réglementaires

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

**Durée limite d'exposition :**

Correspond à la quantité d'énergie sonore reçue pendant une durée journalière d'exposition

**Cas particulier des chocs (durée < 1s) :**

$L_{pc\ lim} = 135 - 10 \log n$

Niveau de pression acoustique de crête (dB)	Nombre limite d'impulsions ou de chocs par jour
135	1
125	10
115	100
105	1 000
95	10 000
90	30 000

Niveau de pression acoustique continu équivalent mesuré [dB(A)]	Durée journalière d'exposition
85	8 h
88	4 h
91	2 h
94	1 h
97	30 min
100	15 min
103	7 min 30 s
106	3 min 45 s
109	1 min 52 s
112	56,25 s
115	28,13 s
118	14,06 s
121	7,03 s
124	3,52 s
127	1,76 s
130	0,88 s

71


## Synthèse des données réglementaires

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

**Information du personnel :**


Environnement sonore concerné	Nature de l'information	Type de signalisation correspondante
$85\text{ dB(A)} \leq L_{EX,d} < 90\text{ dB(A)}$ ou $135\text{ dB} \geq L_{pc} < 140\text{ dB}$	Danger dû au bruit	Signal d'avertissement
$L_{EX,d} \geq 90\text{ dB(A)}$ ou $L_{pc} \geq 140\text{ dB}$	Danger dû au bruit : $L_{EX,d} \geq 90\text{ dB(A)}$ ou $L_{pc} \geq 140\text{ dB}$ Port obligatoire des protecteurs individuels de l'ouïe	Signal d'avertissement  Signal d'obligation
$L_{EX,d} \geq 105\text{ dB(A)}$	Danger dû au bruit : $L_{EX,d} \geq 105\text{ dB(A)}$ Port obligatoire des protecteurs individuels de l'ouïe Accès des lieux réglementés	Signal d'avertissement Signal d'obligation Signal d'interdiction

Signal d'avertissement




Danger dû au bruit

Signal d'obligation



Protection obligatoire de l'ouïe

Signal d'interdiction



Entrée interdite aux personnes non autorisées

72

## Effets auditifs du bruit sur l'homme

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

**Perte d'audition due au bruit :**  
L'acuité auditive varie avec l'âge, le sexe, la fatigue, l'état général et surtout l'exposition au bruit.  
La perte auditive peut être temporaire (TTS) ou définitive (PTS)

80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

16 24 32 40 48 56 64

Âge du sujet

— 92 dB A (N = 833)  
— 86 dB A (N = 5150)  
— 78 dB A (N = 852)  
— Non exposés (Glorig, 1960, N = 2518)

N nombre d'individus concernés

*Perte d'audition selon la durée d'exposition*

*Perte temporaire d'audition (TTS) selon la fréquence*

*Perte d'audition selon le niveau d'exposition*

73

## Effets non auditifs du bruit sur l'homme

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

16 24 32 40 48 56 64

Âge du sujet

— 92 dB A (N = 833)  
— 86 dB A (N = 5150)  
— 78 dB A (N = 852)  
— Non exposés (Glorig, 1960, N = 2518)

N nombre d'individus concernés

**Stress physiologique :**

- Anxiété, appréhension
- Colère, irritation
- Dépression, apathie

**Perturbations physiologiques :**

- L'oreille interne : nausée, perte d'équilibre
- La vision : dilatation de la pupille, réduction du champ de vision ...
- Les fonctions immunitaires

Fin du diaporama

74

## Exercices

75

### Célérité

■ **Ex.1 : Du cinéma à la vidéo**

On enregistre la note « la » sur la piste optique d'une pellicule de cinéma 35mm. Une copie vidéo est réalisée. Or la vitesse de défilement est de 24 images/s pour le cinéma et de 25 images/s pour la vidéo. Lors de la diffusion vidéo et cinéma, la fréquence perçue n'est pas la même.

Calculer la différence de fréquence entre les 2 type de projection. Cette différence est-elle perceptible ?



76

## Niveaux acoustiques

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### ■ Ex.2 : Premiers et derniers rangs

Lors d'un concert en plein air, le public est disposé sur un parterre dont le premier rang est à 5 m et le dernier rang à 45m de la scène.

Calculer la différence de niveau sonore entre le premier et le dernier rang.



77

## Sensation sonore

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### ■ Ex.3 : Doublement de la sensation

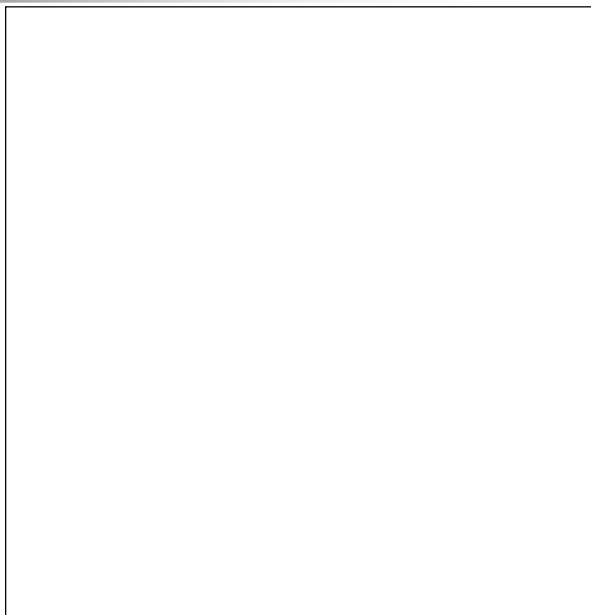
Un groupe est composé de 6 chanteurs qui se produisent sur un podium en plein air. A la distance  $r$  du podium, le niveau perçu est jugé trop faible. Pour l'augmenter, on a le choix entre :

- se rapprocher
- augmenter le nombre de chanteurs.

a) Pour avoir une sensation acoustique 2 fois plus forte (+10dB), à quelle distance faut-il se placer ?

b) A la distance  $r$ , combien faut-il ajouter de chanteurs pour que le niveau apparaisse 2 fois plus fort.

c) Votre choix ?



## Addition sonore

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Ex.4 : Groupe de rock**

Un groupe de rock est composé de 2 guitares électriques de niveau sonore 62 dB chacune et d'une batterie de niveau sonore 67 dB. Le niveau sonore du chanteur est de 55 dB.

En déduire le niveau sonore du groupe entier.

← retour79

## Niveau en fonction de la distance

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Ex.5 : Panne dans le désert**

Vous tombez en panne dans le désert et décidez de klaxonner régulièrement dans l'espoir d'être entendu par d'autres véhicules empruntant la piste.

Vous estimez être à 10 km de la piste, le niveau acoustique produit par le klaxon est de 120 dB à 1m, le bruit de fond est de 30 dB.

Calculer la distance maximum à laquelle le niveau du klaxon reste supérieur au bruit de fond.

← retour80



## Niveau en fonction de la distance

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### Ex. 6 : Organisation d'un cocktail

Vous organisez un cocktail dans une salle de réception. Cette salle jouxte une autre salle dans laquelle se tient une conférence. Le mur mitoyen produit une atténuation de 25 dB. Lorsque 10 personnes sont présentes dans la salle de cocktail, on mesure dans celle-ci un niveau de 63 dB. On suppose que l'intensité du bruit est proportionnelle au nombre d'invités.

a-/ Si on accueille 50 personnes dans la salle de cocktail, que devient le niveau acoustique dans la salle de conférences ?

b-/ Quel nombre maximum d'invités faut-il accepter dans la salle de cocktail pour que le niveau ne dépasse pas 55 dB dans la salle de conférences ?

### Ex.7 : Inauguration d'un terrain de football

Lors de l'inauguration d'un terrain de football, le maire du village souhaite prononcer un discours. On installe donc un podium. A 100m de ce podium se trouve une route que l'on assimilera à une source de niveau de puissance de 90 dB.

On considère que le maire (placé en M) produit un niveau sonore de 75 dB à 1m. Dans tout le problème on négligera la directivité des sources.

A une distance  $r$  du podium, on définit le rapport Signal/Bruit (S/B) en décibels par :

$$S/B(r) = L(\text{voix du maire}) - L(\text{bruit de la route})$$

a-/ Calculer le rapport S/B à 10m du podium

b-/ Jusqu'à quelle distance la condition  $S/B > 20\text{dB}$  est-elle respectée ?

c-/ Même question, dans le cas où le maire utilise un porte-voix qui produit 90 dB à 1m dans son axe.

← retour

81

## Relation pression, intensité, puissance

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### Ex.8 : Traitement d'une cantine

On souhaite transformer un gymnase de dimensions 25x20x10m en cantine pour un centre aéré. Les parois du local possèdent un coefficient d'absorption moyen  $\alpha_1 = 0,02$ . La future cantine contiendra 200 enfants. On suppose que ces enfants occupent une surface au sol de 120m<sup>2</sup> et qu'ils possèdent un coefficient d'absorption  $\alpha_2 = 0,8$ .

Des mesures ont montré que lorsque 200 enfants sont présents, le niveau de pression réverbérée est de 85 dB, ce qui est jugé trop élevé. Or il est prévu de percer 6 baies vitrées de 5m x 5m chacune. Les repas ayant lieu l'été, le directeur prétend que lorsque les fenêtres seront ouvertes le niveau sonore sera considérablement réduit.

1. Calculer le niveau de pression réverbérée lorsque les fenêtres seront ouvertes,
2. Est-il nécessaire d'effectuer un traitement acoustique comme le souhaite les parents d'élèves.

← retour

82

## Rayon critique

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### ■ Ex.9 : Prise de son

Prenons le cas d'une petite salle de dimensions 10x15x10m, et de coefficient d'absorption moyen  $\alpha=0,5$  et d'une salle plus vaste de dimensions 30x20x25m de coefficient d'absorption moyen  $\alpha=0,2$ .

1. Calculer dans chacun des cas le rayon critique.
2. En déduire à quelle distance de la source vaut-il mieux se placer pour effectuer un enregistrement suffisamment précis ?

← retour

83

## Exercices sur $T_R$

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### ■ Ex.10 : Salle d'essais

Une petite chambre de réverbération a pour  $T_R$  : 4s  
Ses dimensions sont : 4x3x2,5m

1. Quelle est l'absorption du local ?
2. On y place un matériau sur 5m<sup>2</sup>. Le  $T_R$  tombe à 1,3s. Calculer le coefficient d'absorption du matériau.
3. Quel sera le nouveau  $T_R$  si toute la pièce est recouverte de ce matériau.

← retour

Ex 11-12 → 84

## Exercices sur $T_R$

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Ex.11 : Auditorium**

Le temps de réverbération d'un auditorium de dimensions 25x16x6m est de 1,8s. Une source de puissance constante y maintient un niveau de pression réverbérée de 72 dB.

  1. Calculer le niveau de puissance de la source.
  2. Quel est le coefficient moyen d'absorption de la salle ?
  3. Sachant, qu'en moyenne, chaque spectateur introduit une absorption de 0,5m<sup>2</sup>, évaluer l'incidence de la présence de 400 personnes occupant environ la moitié de la salle :
    - sur le temps de réverbération.
    - sur le niveau d'intensité de la salle.

← retourEx 12 → 85

## Exercices sur $T_R$

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

---

- **Ex. 12 : Local industriel**

Un local industriel de dimensions 3x6x15m a un  $T_R$  de 2s. A quelques mètres d'un moteur, on mesure un niveau de pression de 76 dB.

  1. Calculer la puissance acoustique du moteur.
  2. Si on traite le local, calculer la valeur du coefficient moyen d'absorption nécessaire pour atténuer le son de 10dB.  
Quel sera le nouveau  $T_R$  du local ?

← retour86

## Exercices sur $T_R$

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### ■ Ex. : Salle d'essais

Une petite chambre de réverbération a pour  $T_R$  : 4s  
Ses dimensions sont : 4x3x2,5m

1. Quelle est l'absorption du local ?
2. On y place un matériau sur 5m<sup>2</sup>. Le  $T_R$  tombe à 1,3s. Calculer le coefficient d'absorption du matériau.
3. Quel sera le nouveau  $T_R$  si toute la pièce est recouverte de ce matériau.

### ■ Ex. : Auditorium

Le temps de réverbération d'un auditorium de dimensions 25x16x6m est de 1,8s. Une source de puissance constante y maintient un niveau de pression réverbérée de 72 dB.

1. Calculer le niveau de puissance de la source.
2. Quel est le coefficient moyen d'absorption de la salle ?
3. Sachant, qu'en moyenne, chaque spectateur introduit une absorption de 0,5m<sup>2</sup>, évaluer l'incidence de la présence de 400 personnes occupant environ la moitié de la salle :
  - sur le temps de réverbération.
  - sur le niveau d'intensité de la salle.

### ■ Ex. : Local industriel

Un local industriel de dimensions 3x6x15m a un  $T_R$  de 2s. A quelques mètres d'un moteur, on mesure un niveau de pression de 76 dB.

1. Calculer la puissance acoustique du moteur.
2. Si on traite le local, calculer la valeur du coefficient moyen d'absorption nécessaire pour atténuer le son de 10dB.  
Quel sera le nouveau  $T_R$  du local ?

87

## Exercices sur les salles couplées

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### ■ Ex. 13 - Salles couplées

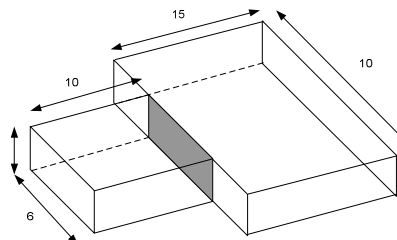
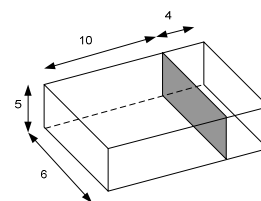
a) Soit une salle émettrice n°1 (10x6x5m) de coeff. d'absorption  $\alpha_1=0,2$ , voisine d'une salle réceptrice n°2 (4x6x5m) de coeff. d'absorption  $\alpha_2=0,15$ . Elles sont séparées par une surface de couplage d'indice d'affaiblissement  $R=35$ dB.

Calculer l'indice d'affaiblissement  $D=L_1-L_2$

b) Soit la même salle n°1joutant une salle n°2 (15x10x5m) de coeff. d'absorption  $\alpha_1=0,15$ . La paroi qui sépare les deux salles étant la même que précédemment.

Calculer l'indice d'affaiblissement  $D=L_1-L_2$

c) Conclusion ?



← retour

88

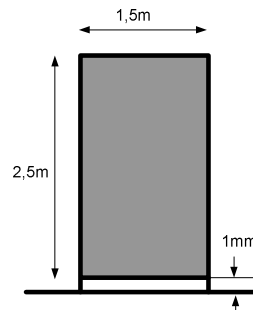
## Exercices sur l'association de parois

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

### ■ Ex. 14 - Porte isolante

Une porte bien isolante, de dimensions 1,5x2,5m possède un indice d'affaiblissement  $R=50\text{dB}$ .  
Dans le cas où le bas de porte laisse apparaître une fente de 1mm, calculer le nouveau indice d'affaiblissement « porte+fente » ?

Conclusion ?



← retour

89

## Bibliographie

Institut Universitaire de Technologie de Perpignan  
Dépt. Génie Industriel et Maintenance

- Notions élémentaires d'acoustique, électroacoustique – Jacques Jouhaneau, (*cours pp634, exercices et problèmes résolus pp574*), Collection Acoustique Appliquée, 2ème édition, 2000.
- Acoustique des salles et sonorisation – Jacques Jouhaneau, (*cours pp 610, exercices et problèmes résolus pp 581*), Collection Acoustique Appliquée, 1997.
- Initiation à l'acoustique – Antonio Fischetti, Sciences BELIN SUP, pp287, 2001.
- Bruit des équipements, Collection des guides de l'AICVF, pp285, 1997.
- Documentation technique – Bruel & Kjaer,, 2001
- Brüel & Kjaer

90