

# Cours d'acoustique (du Bâtiment) - Perception -

**François-Xavier Bécot**

fxb@matelys.com

Année scolaire 2013/2014

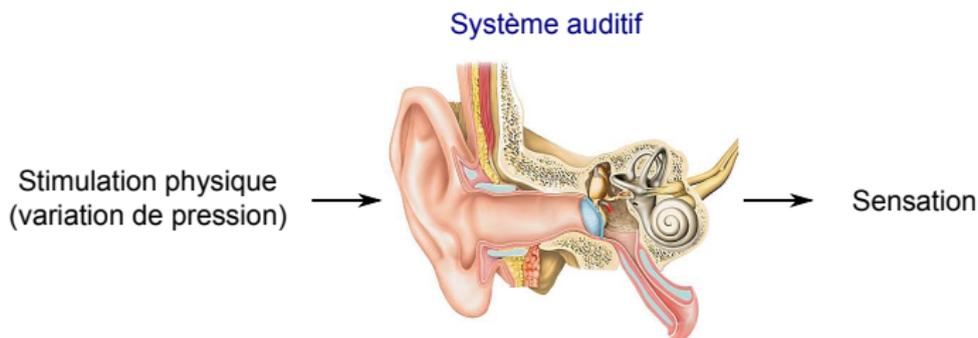
Ce cours est principalement basé sur les supports des autres intervenants  
(L. Jaouen, F. Chevillotte, X. Olny, O. Chiello, M. Lavandier)

Moving Acoustics (Univ. Chalmers), Paul Falstad (Applets Java)  
Brandon Pletsch (Video)

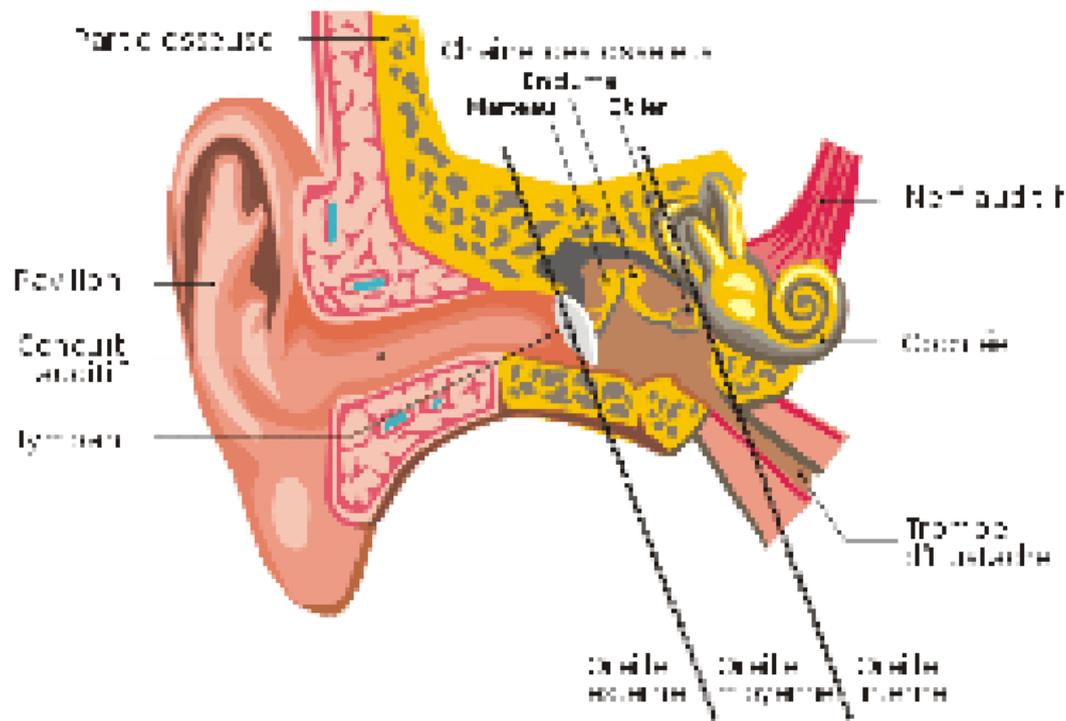
# De la psycho-physique à la psycho-acoustique

**Psycho-physique** : étude des relations entre des grandeurs physiques ou des stimulations et les réponses sensorielles ou sensations qu'elles induisent.

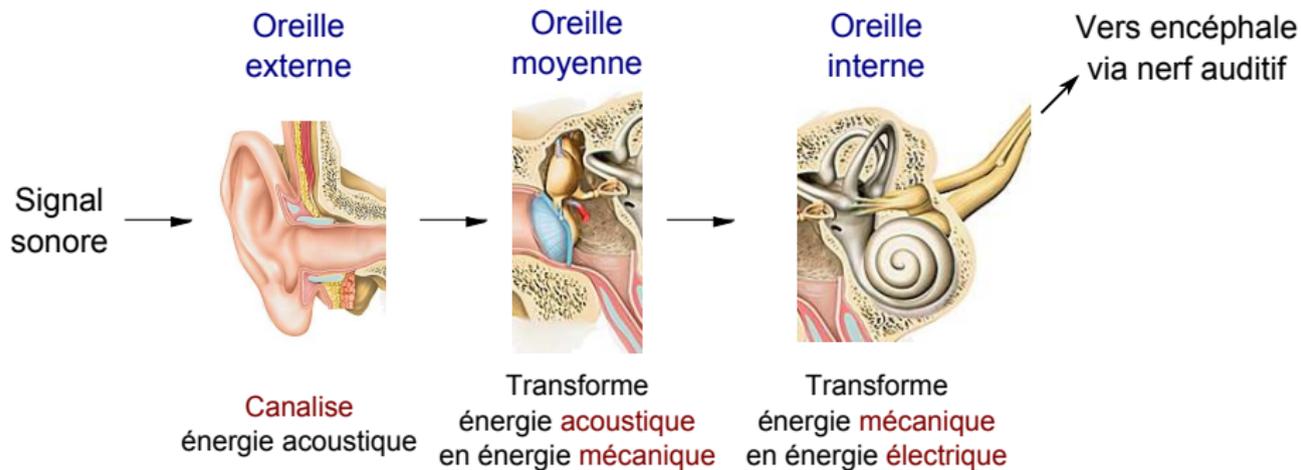
**Application en acoustique :**



# L'oreille



# Les oreilles → vidéo Brandon Pletsch

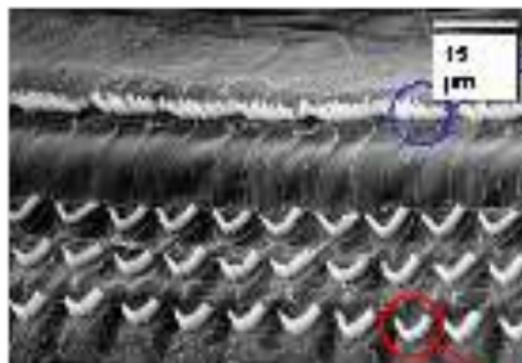


# Détail de la cochlée

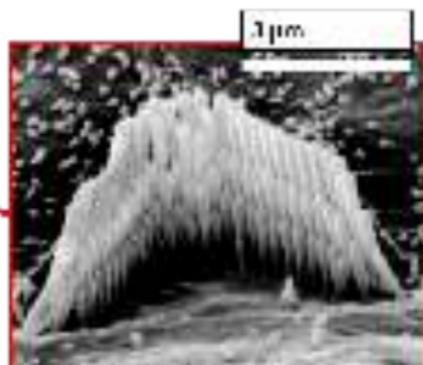
Distribution de la sensibilité fréquentielle le long de la membrane basilaire d'une cochlée humaine : **tonotonie**



# Capteurs : cellules ciliées



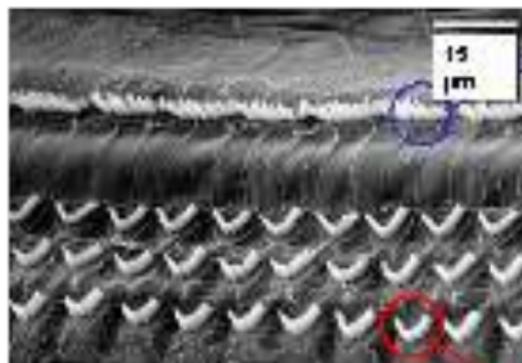
stéréocils d'une CCE  
(~ 20 000)  
À 60 ans, 50% en moins



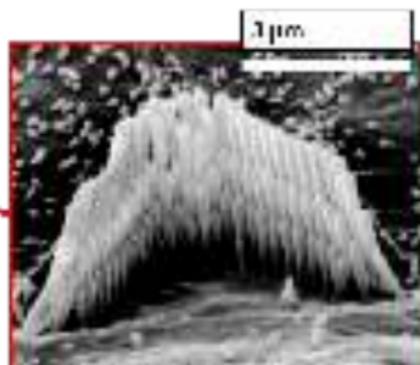
stéréocils d'une CCI  
(~ 3 500)  
À 60 ans 25% en moins

Presbycousie = perte naturelle / Hypoacusie = perte suite à un trouble

# Capteurs : cellules ciliées



stéréocils d'une CCE  
(~ 20 000)  
À 60 ans, 50% en moins

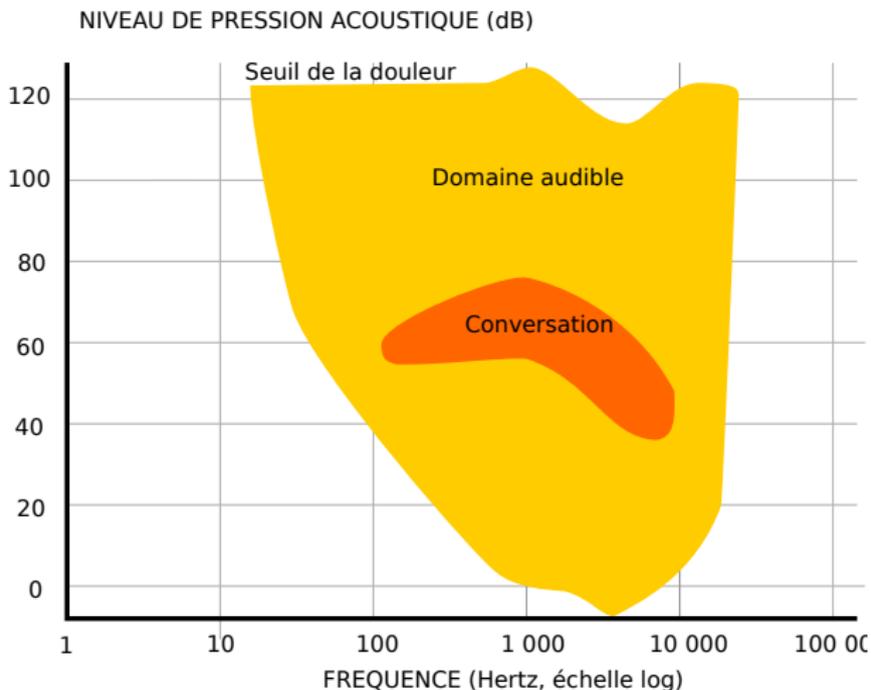


stéréocils d'une CCI  
(~ 3 500)  
À 60 ans 25% en moins

Presbycousie = perte naturelle / Hypoacousie = perte suite à un trouble

# Domaine audible

## L'oreille agit comme un filtre



# La psycho-physique pour l'acoustique : le dB

- **Loi de Weber-Fechner**

« La sensation croît comme le logarithme de l'excitation et dépend de la fréquence »

⇒ échelle logarithmique, grandeur (sans dim.) ⇒ **le décibel**

*loi vérifiée pour diverses modalités sensorielles*

# La psycho-physique pour l'acoustique : la perception

- **Loi de Stevens**

« La sensation de force sonore croît en puissance avec l'excitation et dépend de la fréquence »

⇒ **Normalisation de la force sonore (sonie)**

échelle plus pertinente que le décibel pour caractériser le bruit perçu

# La psycho-physique pour l'acoustique : Octave

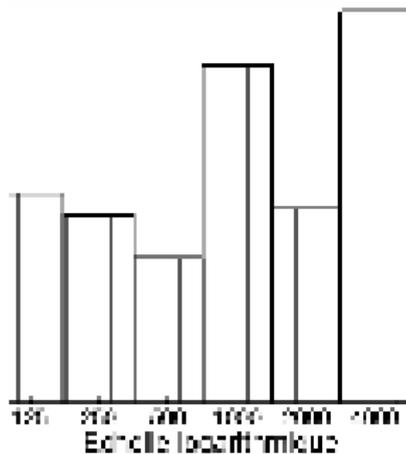
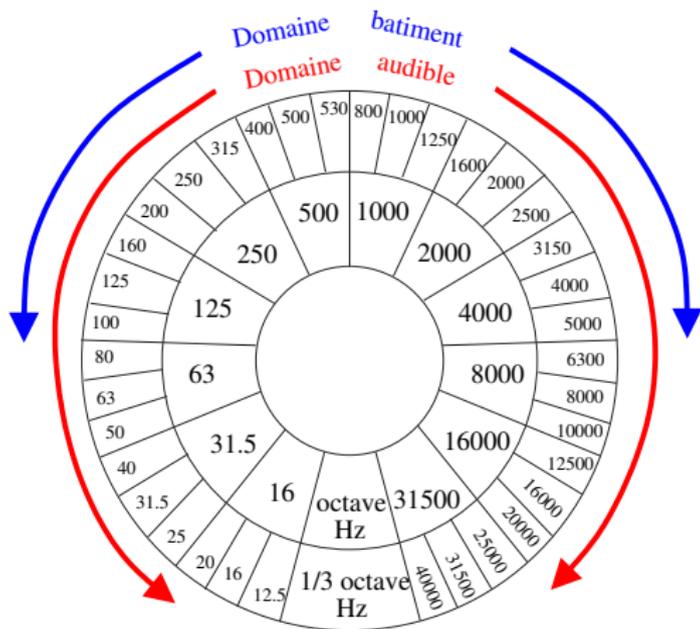
- **Loi de Weber** (1846) (seuil différentiel de sensibilité)  
« Etant donné une stimulation d'intensité donnée, quelle est la variation la plus faible de cette stimulation que l'on puisse détecter ? »

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{centrale}}} \simeq 0.003 \quad \text{pour} \quad f \in [600, 4\text{kHz}]$$

⇒ **Analyse en bandes de fréquences** (octave, tiers d'octave)

# Représentation en bandes de fréquences

La sensibilité à une variation relative de fréquence (loi de Weber) explique l'utilisation de l'**analyse en bandes de fréquences**.



# Le décibel

La sensibilité à une variation de niveau (loi de Weber-Fechner) explique l'utilisation du **décibel**.

$$L_p = 10 \log_{10} \left( \frac{p_{\text{eff}}^2}{p_{\text{ref}}^2} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{p_{\text{eff}}}{p_{\text{ref}}} \right) \text{ [dB]}$$

$$p_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

$p$ (Pa)	$L_p$ (dB)	Illustration
$2 \times 10^{-5}$	0	Minimum perceptible à 1000 Hz
$2 \times 10^{-4}$	20	Bruit de fond en salle anéchoïque
$2 \times 10^{-3}$	40	Bruit de fond en zone urbaine de nuit
$2 \times 10^{-2}$	60	Discussion
0.2	80	Niveau de bruit d'un vieil aspirateur
20	120	Seuil de douleur
2000	180	Eclatement des alvéoles pulmonaires

# Illustration des décibels et des bandes d'octave

MovingAcoustics»Student»Decibel

MovingAcoustics»Student»Octave Bands

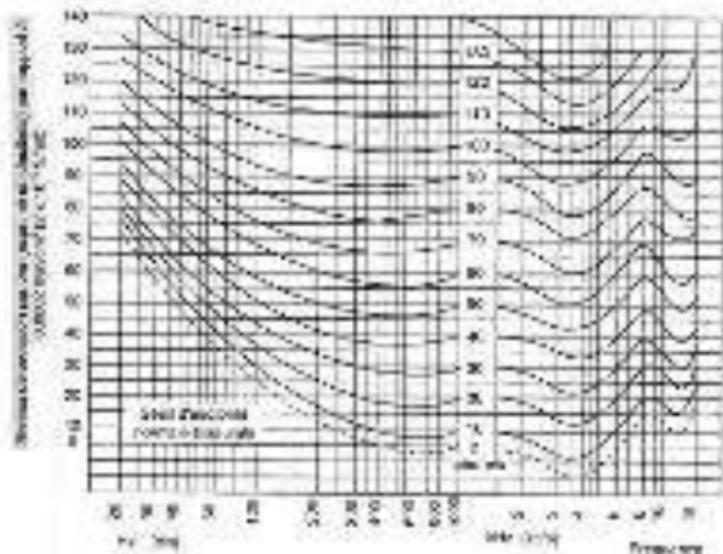
# Sonie

La variation de sensation en fonction de l'excitation et de sa fréquence (loi de Stevens) explique l'utilisation de la **sonie**.

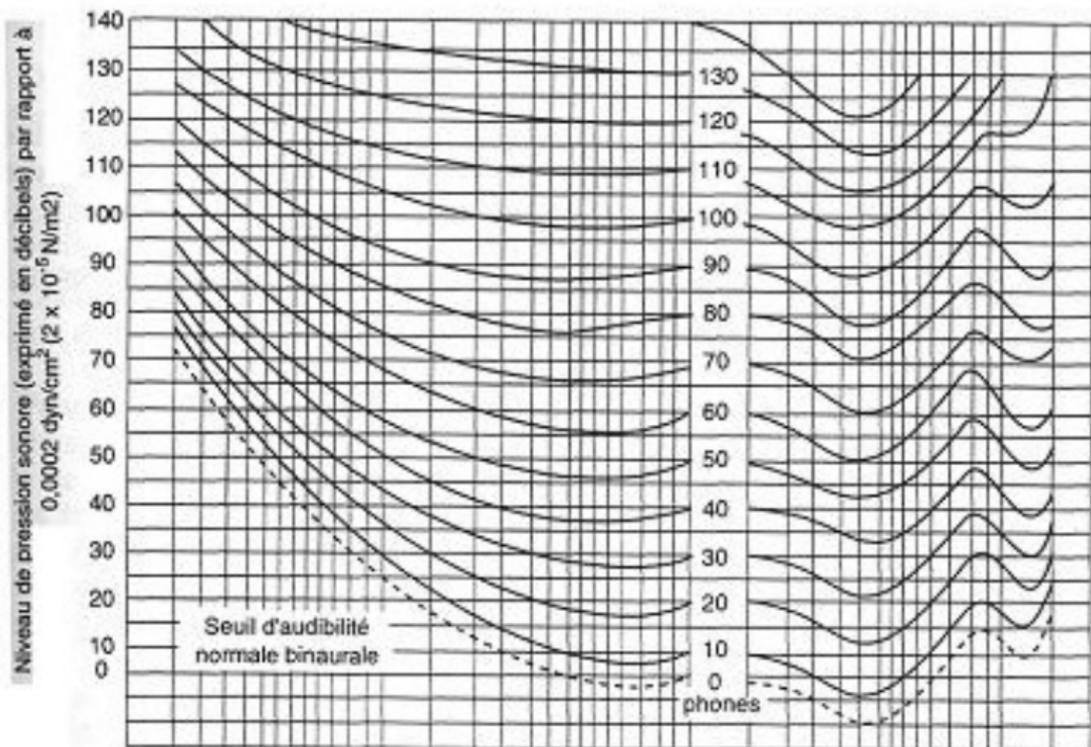
Unités : **1 phone** = 1 dB à 1000 Hz

**1 sone** = 40 dB à 1000 Hz (40 phones)

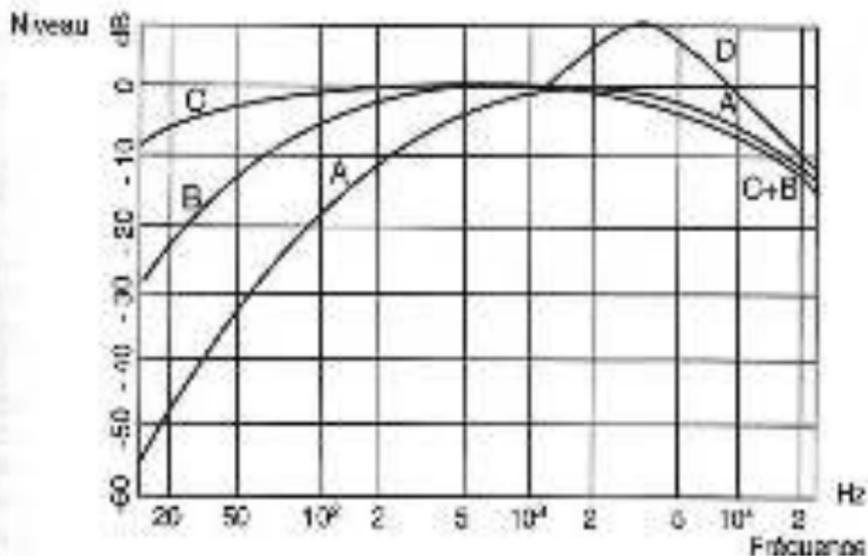
**Courbes d'égalité sensation (iso-sonie) :**



# Sonie



# Filtres de pondération

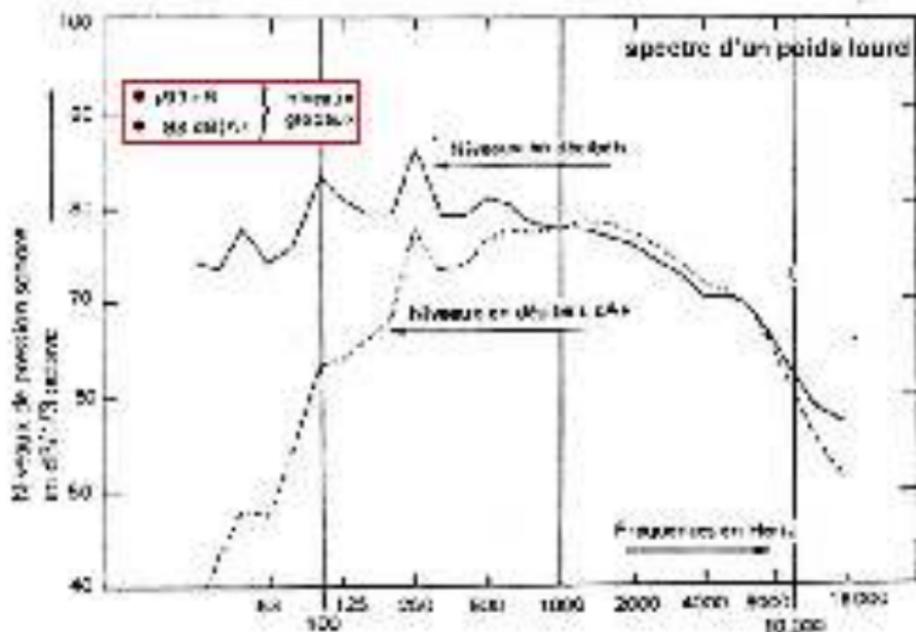


# Pondération A (1/3 octave)

Fréquence	Pondération A	Fréquence	Pondération A	Fréquence	Pondération A
Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
10	-20,2	110	-11,4	3700	+1,3
12,5	-21,7	125	-10,5	4150	+1,2
16	-23,7	150	-9,6	4700	+1,0
20	-25,5	175	-8,6	5300	+0,5
25	-27,7	200	-7,6	6000	-0,1
31,5	-30,2	250	-6,2	6700	-1,1
40	-33,6	315	-4,9	7500	-2,5
50	-37,2	400	-3,8	8500	-4,3
63	-41,2	500	-3	9700	-6,6
80	-45,5	630	-2,1	11000	-9,7
100	-50,1	800	-1,2		
125	-55,1	1000	-0,3		

$$L_{p_{global}} = 10 \log_{10} \left( \sum_i 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} \right) [\text{dB}] \quad \text{et} \quad L_{p_{pond}} = 10 \log_{10} \left( \sum_i 10^{\frac{L_{p_i} + \alpha_i}{10}} \right) [\text{dBA}]$$

# Pondération A



# Influence de la pondération A : **bruit large bande**

f	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pondération A	-20	-10	-3,5	-3,2	0	1,2	1	1,1
Niveau de base	60	62	61	57	65	68	75	80
Niveau pondéré	34	49	59,4	61,8	65	69,2	76	81,1

Niveau global **non pondéré** = ???

Niveau global **pondéré A** = ???

## Influence de la pondération A : **bruit large bande**

f	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Courbe de pondération A	-20	-10	-3,5	-3,2	0	1,2	1	1,1
Niveau de bruit	60	62	61	65	65	68	75	80
Niveau pondéré	34	49	59,4	61,8	65	69,2	76	81,1

Niveau global **non pondéré** = 82 dB

Niveau global **pondéré A** = 83 dB(A)

# Influence de la pondération A : **bruit BF**

f	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pondération A	-20	-10	-3,5	-3,2	0	1,2	1	1,1
Niveau de base	60	100	61	57	65	68	75	80
Niveau pondéré	34	54	59,4	61,8	65	69,2	76	81,1

Niveau global **non pondéré** = ???

Niveau global **pondéré A** = ???

# Influence de la pondération A : **bruit BF**

f	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pondération A	-20	-10	-3,5	-3,2	0	1,2	1	1,1
Niveau de base	60	100	61	57	65	68	75	80
Niveau pondéré	36	86	59,4	61,8	65	69,2	76	81,1

Niveau global **non pondéré** = 100

Niveau global **pondéré A** = 86

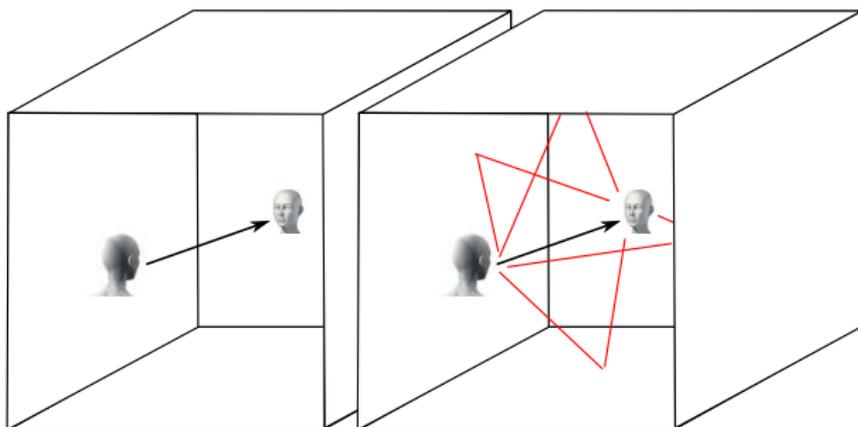
# Intelligibilité, masquage

Les bruits parasites, la réverbération peuvent **masquer** un son  
Cet effet est d'ailleurs utilisé pour les systèmes de masquage en open-space

## Prédictions :

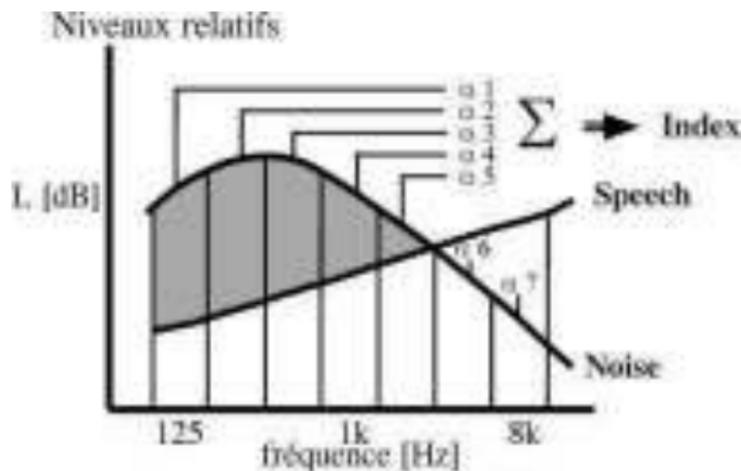
Articulation Index (AI)  $\Rightarrow$  Speech Intelligibility Index (SII)

Dans les salles : Speech Transmission Index (STI)  $\Rightarrow$  RASTI (RApid STI)



$\Rightarrow$  important pour le confort mais aussi la sécurité et l'accessibilité

# Calcul du STI



STI	< 0.3	0.3 - 0.45	0.45 - 0.6	0.6-0.75	> 0.75
STI	< 0.3	0.3 - 0.45	0.45 - 0.6	0.6-0.75	> 0.75

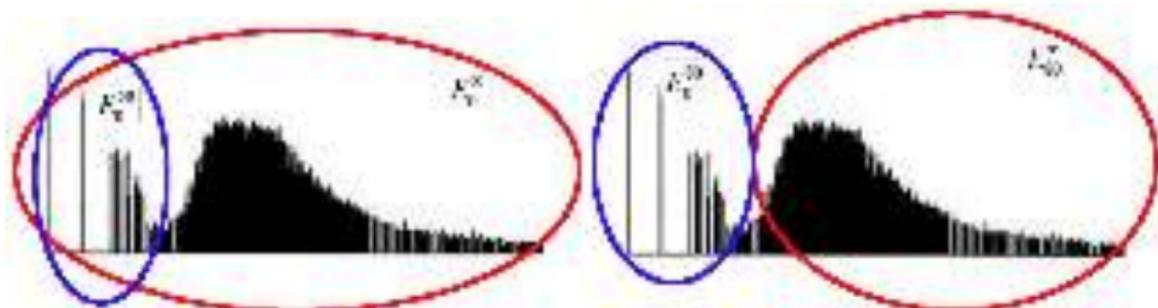
OK pour des niveaux de bruit de fond faibles et spectre  $\pm$  plat

# Autres indicateurs de qualité acoustique

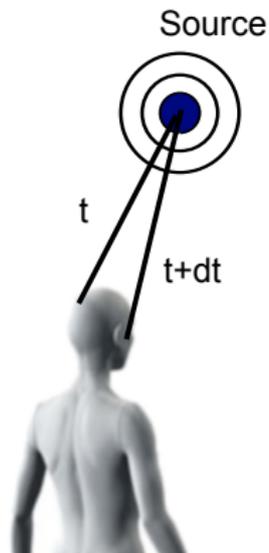
Energie précoce  $D_{50}$ , Clarté 80 ms  $C_{80}$ , entre autres ...

$$D_{50} = 100 \times \frac{E_0^{50}}{E_0^{\infty}} [\%]$$

$$C_{80} = 10 \log_{10} \left( \frac{E_0^{80}}{E_{80}^{\infty}} \right) [dB]$$

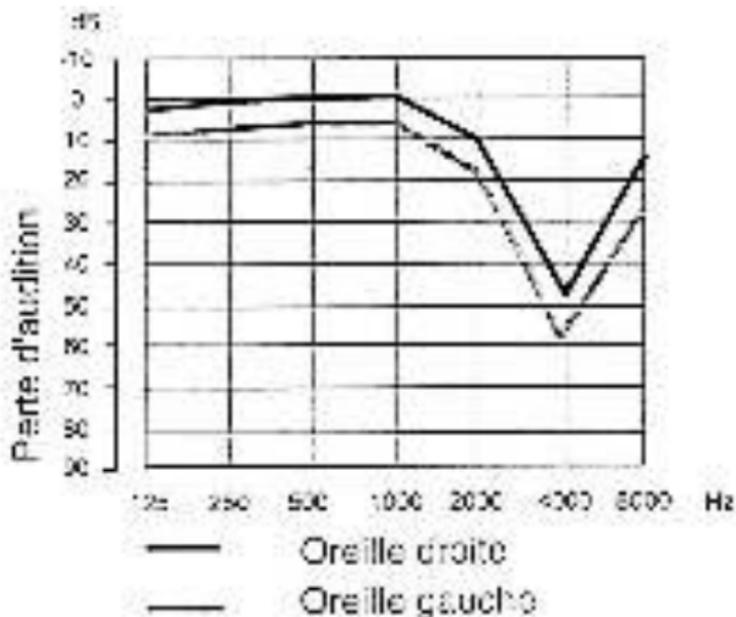


# Binaural, localisation



Le fait d'avoir deux capteurs de pression (oreille) nous permet de localiser une source

# Exemple d'audiogramme



Pour un même niveau sonore, quel est le plus nocif : un son pur ou un bruit large bande ?