

BASES BIOPHYSIQUES DE L'AUDITION ET DES EXPLORATIONS FONCTIONNELLES AUDITIVES (aspects physiques et physiologiques)

Cours de DFGSM2

UE Système neuro-sensoriel

Faculté de médecine de Montpellier-Nîmes

denis.mariano-goulart@umontpellier.fr

Allez sur
wooclap.com



Entrez le
code
d'événement
dans le
bandeau
supérieur

Code d'événement

ACOUSTIQUE




Envoyez
@ACOUSTIQUE
au
06 44 60 96 62



Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question



 Copier le lien de participation

Allez sur wooclap.com et utilisez le code **ACOUSTIQUE**



A votre avis, qu'est-ce qu'un son ?



1

des molécules qui transmettent leur vibration de proche en proche dans un milieu matériel

0%

0



2

une onde de pression qui se propage de proche en proche dans un milieu matériel

0%

0



Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question

3

un champ électromagnétique qui se propage y compris dans du vide

0%

0

4

une particule (phonon) qui peut se propager dans un réseau cristallin

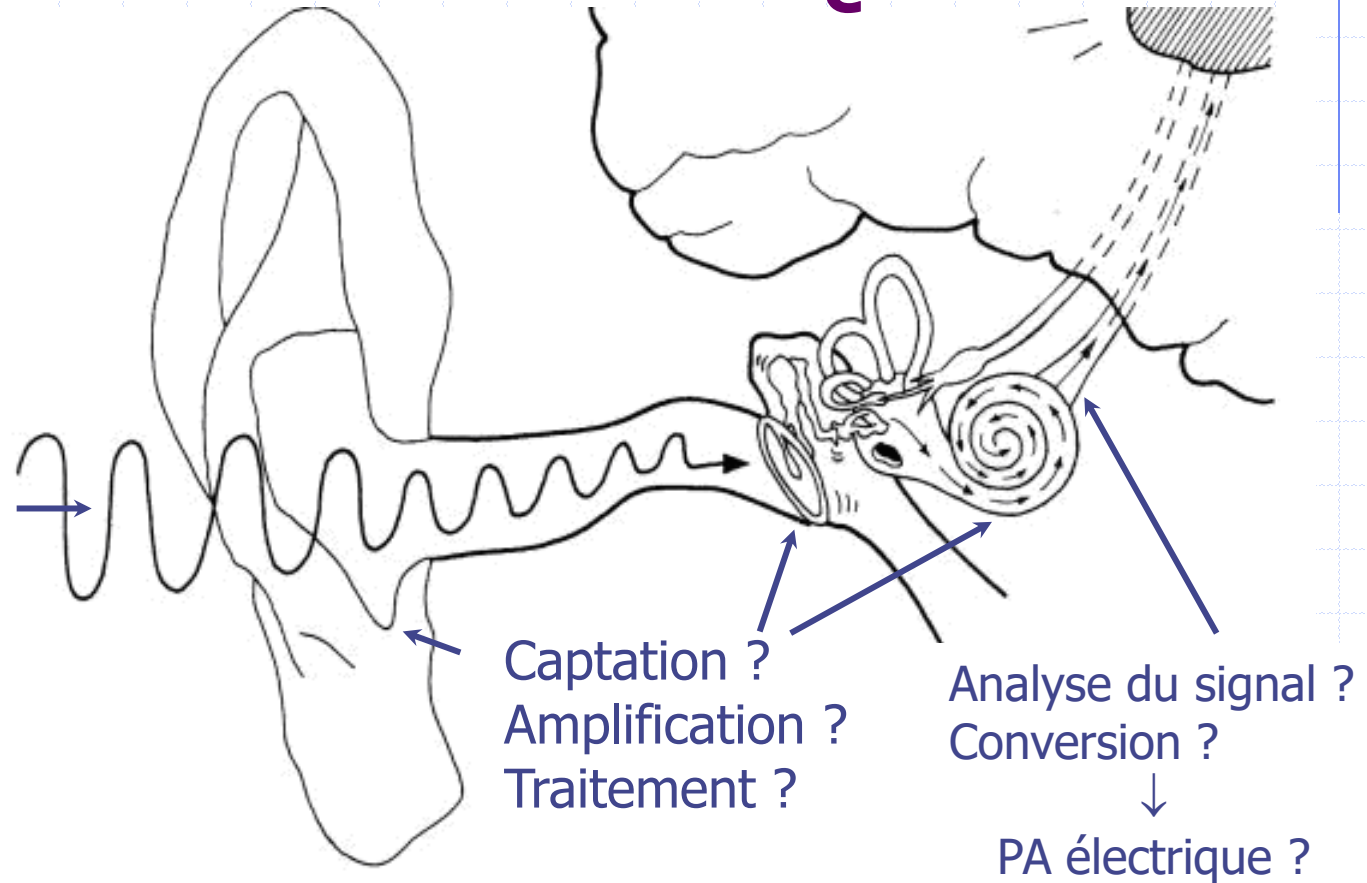
0%

0

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

ACOUSTIQUE

Qu'est-ce qu'un son ?
Intense, aigu ?
Propagation ?



BIOPHYSIQUE DE L'AUDITION

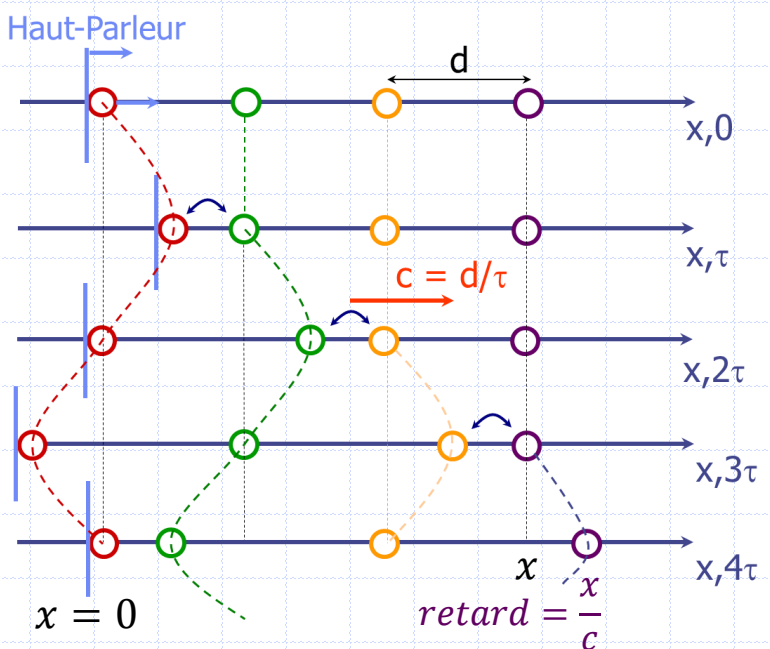
Prérequis : cours sur les ondes de PASS ou rappels de ce cours donnés en DFGSM2.

Suite du cursus : neurophysiologie de l'audition, exploration fonctionnelle de l'audition, ORL et neurologie.

Rappels de PASS

DEFINITION D'UN SON

SON ^{def} **Onde progressive scalaire de vibration** d'atomes ou molécules à la célérité c dans un milieu matériel



$$g(t, x = 0) = A \sin[\omega \cdot t]$$

$$g(t, x) = x + A \sin \left[\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right) \right]$$

$$= x + E(t, x)$$

$$g(t, x) = g(t + T, x)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

période

pulsation propre

fréquence

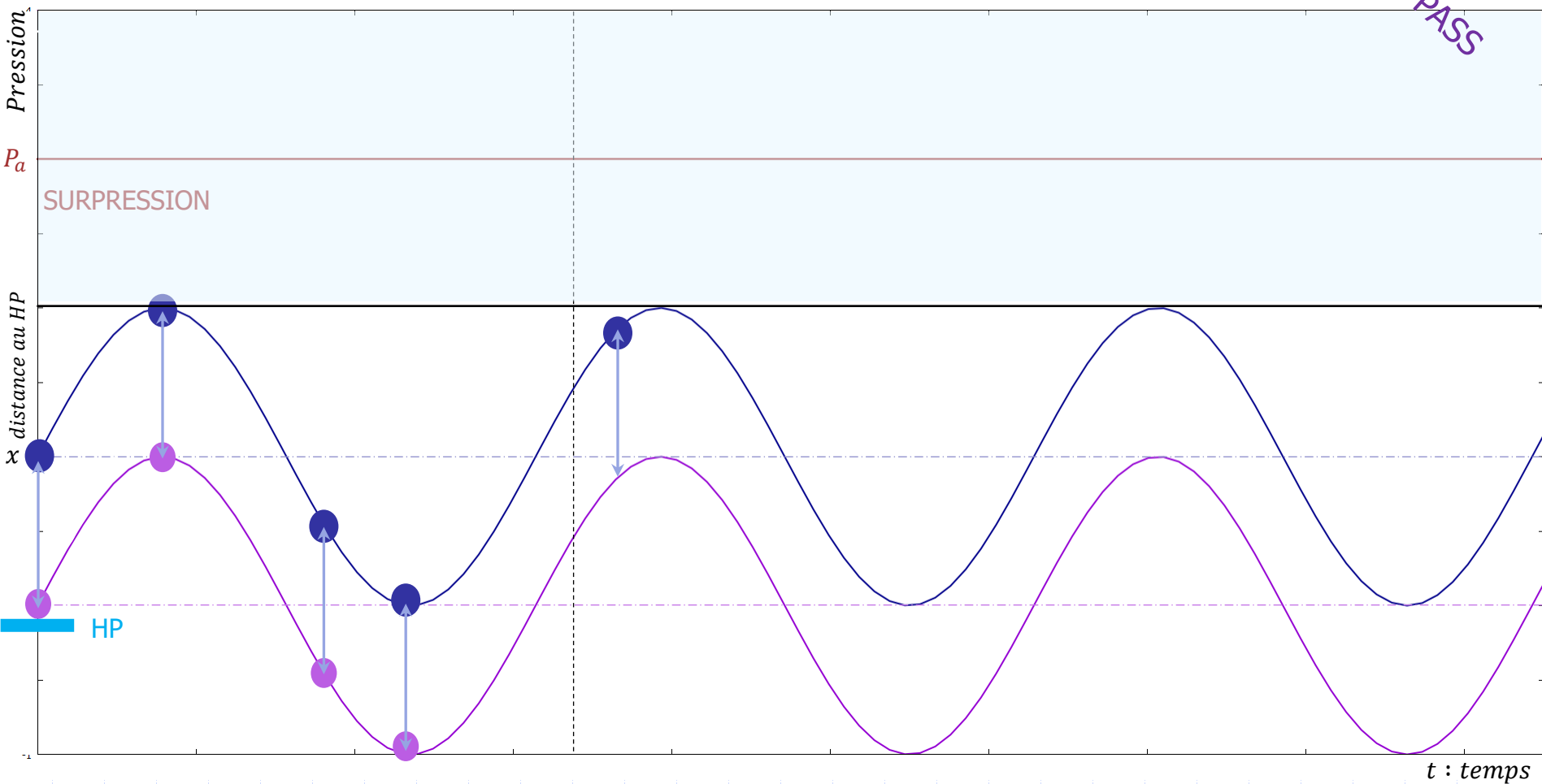
$$g(t, x) = g(t, x + \lambda)$$

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} = \frac{2\pi c}{\omega}$$

longueur d'onde

SON = ONDE DE PRESSION

Rappels de PASS

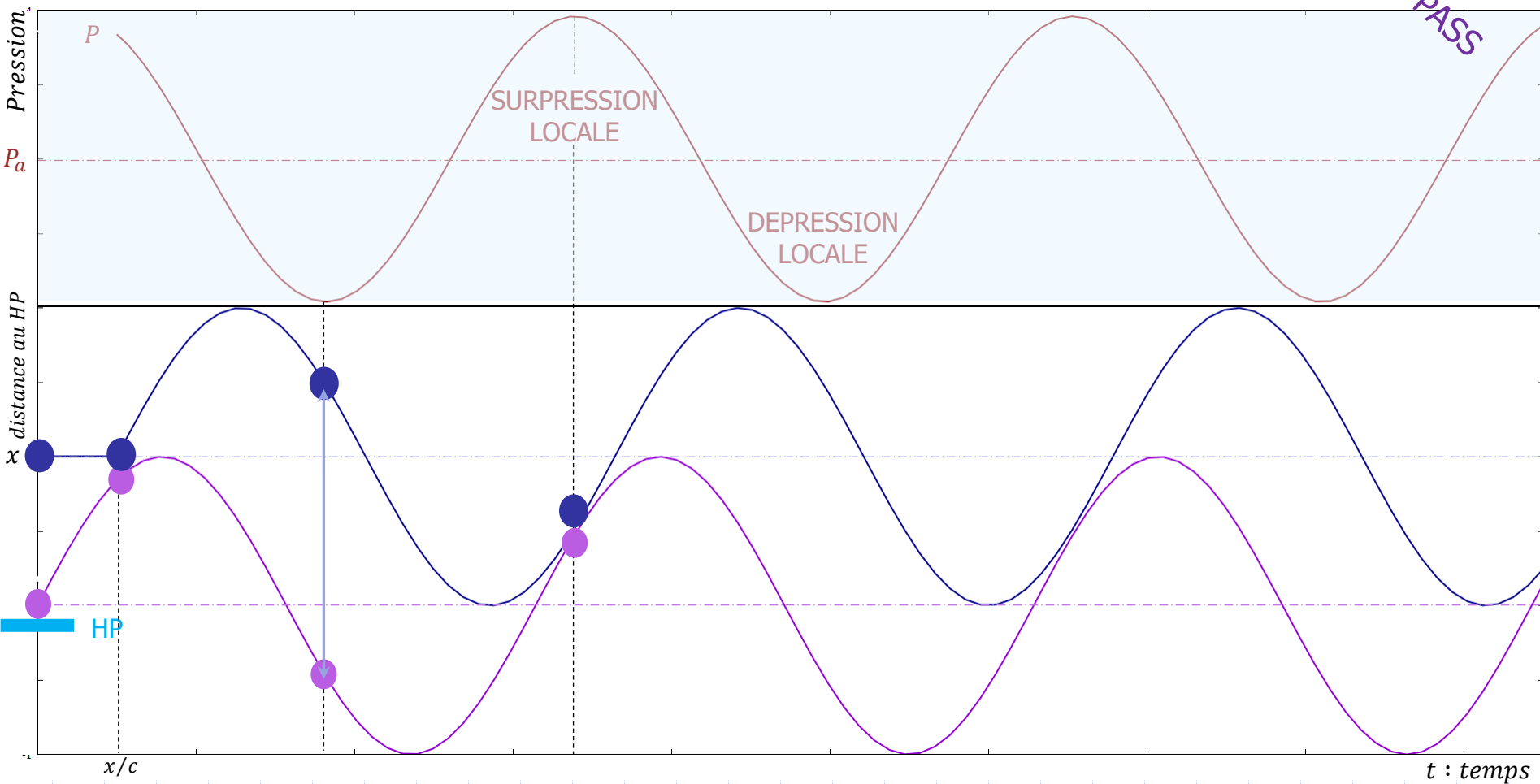


$$c \gg x \Rightarrow g(t, x) = x + A \sin \left[\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right) \right] \approx x + A \sin[\omega \cdot t] = x + g(t, 0)$$

mais cette hypothèse est fautive car $c_{\text{air}} \approx 343 \text{ m/s} \approx x$: les déphasages (retards) ne sont pas négligeables

SON = ONDE DE PRESSION

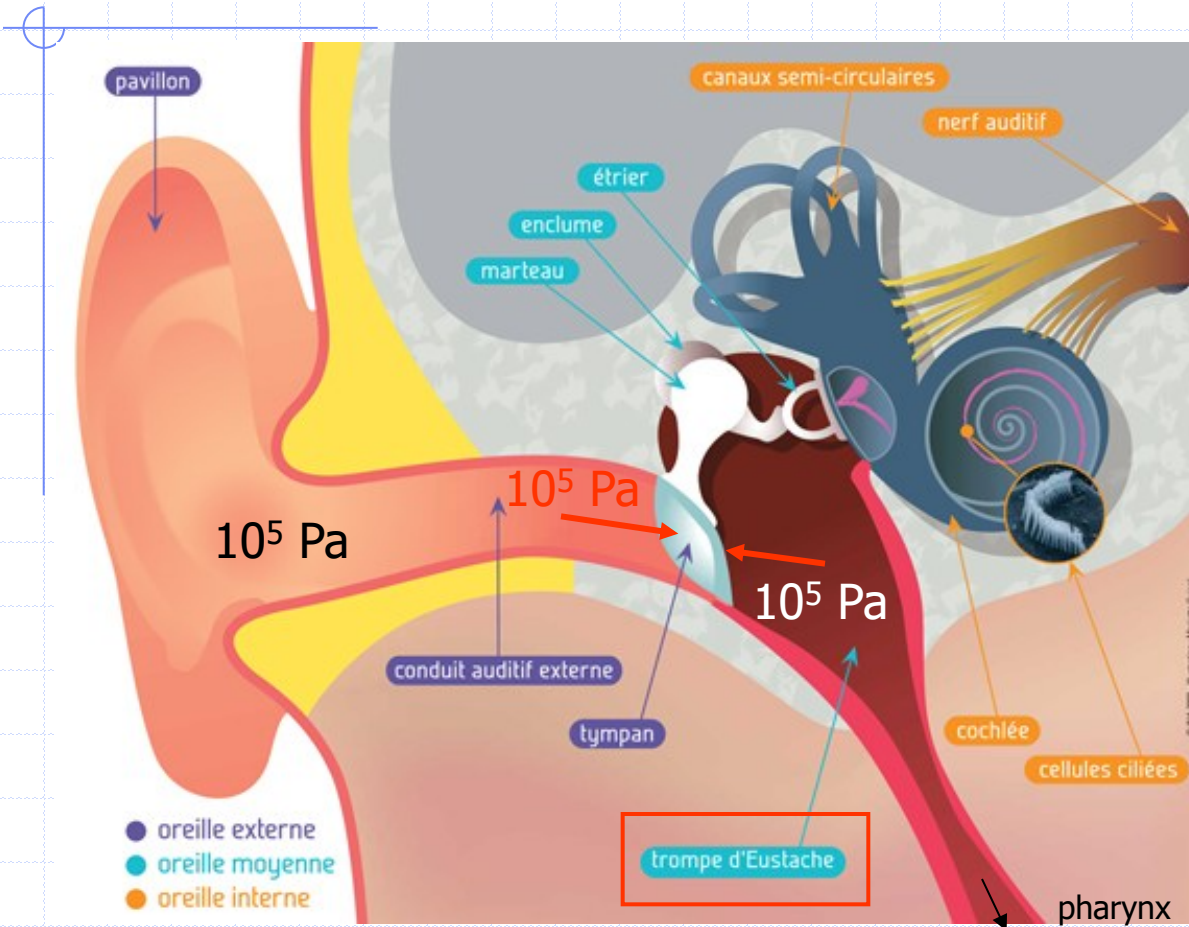
Rappels de PASS



$c \approx x \Rightarrow g(t, x) = x + A \sin \left[\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right) \right]$: déphasage des ondes au voisinage de x
 \Rightarrow Apparition d'une onde de surpression $\stackrel{\text{def}}{=} \text{Pression acoustique } P \ll P_a$

Ordres de grandeur : $P_a = 10^5 Pa$ $P \in [20 \mu Pa, 20 Pa]$ dans l'air ; $P < kPa$ dans l'eau

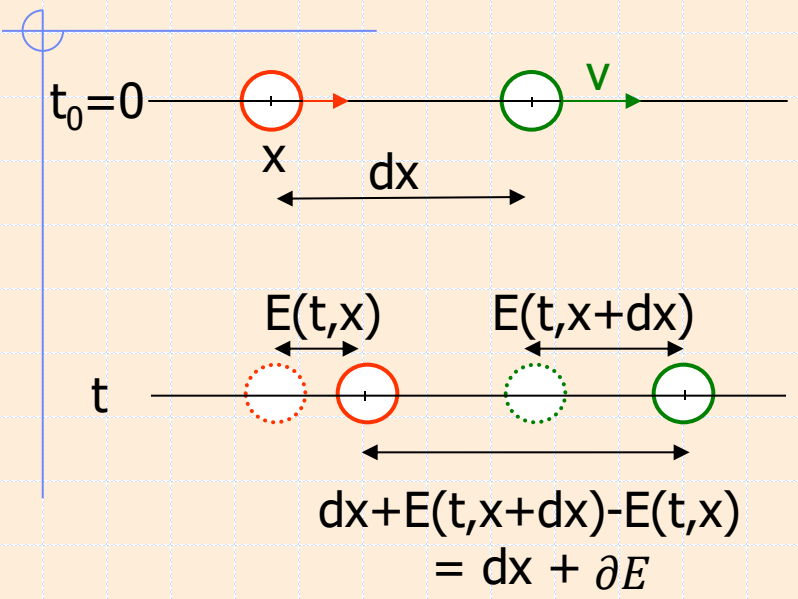
ONDE DE PRESSION : Conséquence



Différence de pression de part et d'autre du tympan \Rightarrow hypoacousie & douleur

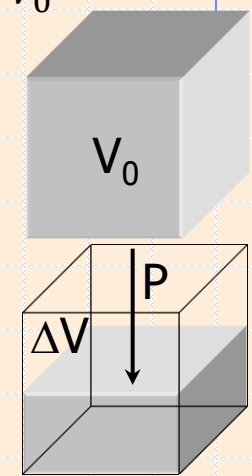
Pour les curieux... donc pour tous j'espère !

ONDE DE PRESSION: Modélisation



Compressibilité $\chi \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{P} \frac{\Delta V}{V_0}$

en Pa⁻¹, exprimant la diminution relative de distance (ou de volume) par Pascal de surpression apporté



$$P = -\frac{1}{\chi} \frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{1}{\chi} \frac{\partial}{\partial x} \left[A \cdot \sin \left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right) \right) \right] = \frac{A \cdot \omega}{\chi \cdot c} \cdot \cos \left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right) \right)$$

$$v = \frac{\partial}{\partial t} \left[A \cdot \sin \left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right) \right) \right] = A \cdot \omega \cdot \cos \left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right) \right) \quad \text{vitesse de vibration}$$

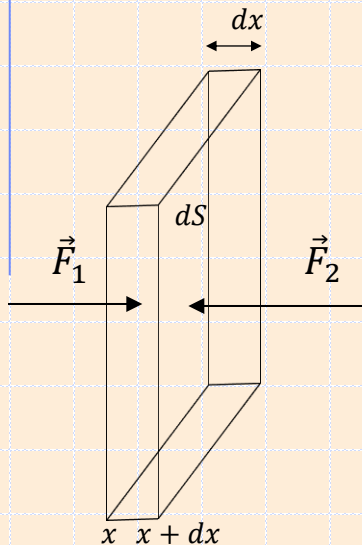
$\Rightarrow P = \frac{1}{\chi \cdot c} \cdot v = Z \cdot v$

L'impédance acoustique Z du milieu (kg.m⁻²s⁻¹) caractérise sa capacité à transmettre un son

Pour les curieux..., etc.

ONDE DE PRESSION: Modélisation

On applique la relation fondamentale de la dynamique à une tranche de milieu de propagation de masse volumique ρ , de surface dS et d'épaisseur dx .



$$m \cdot \frac{dv}{dt} = F_1 - F_2 = [P(x) - P(x + dx)] \cdot dS = -\frac{\partial P}{\partial x} \cdot dx \cdot dS$$

$$P = Z \cdot v = Z \cdot A \cdot \omega \cdot \cos\left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \Rightarrow \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{Z \cdot A \cdot \omega^2}{c} \sin\left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$$

$$\Rightarrow m \cdot \frac{dv}{dt} = -\frac{ZA\omega^2}{c} \sin\left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \cdot dx \cdot dS$$

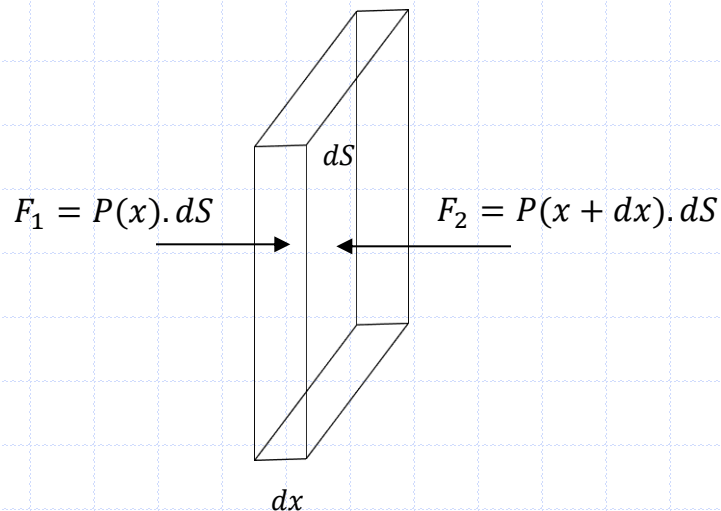
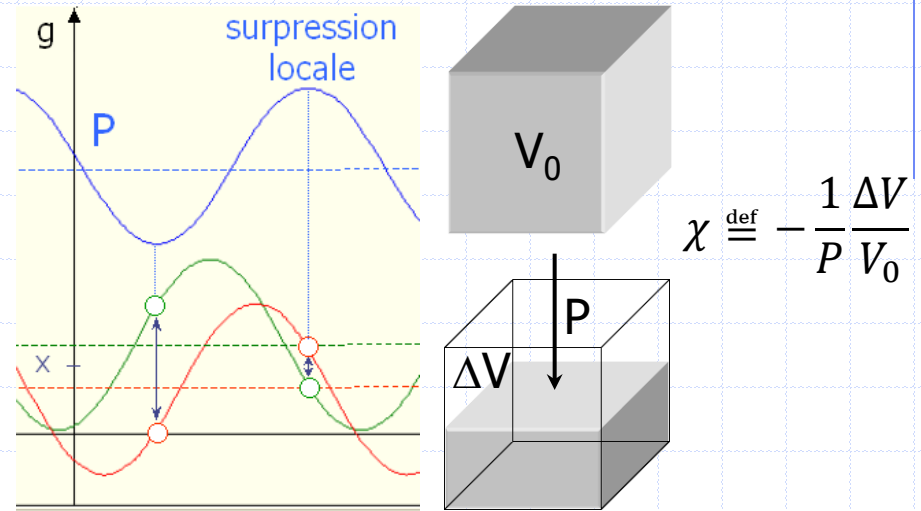
$$\text{mais } v = A \cdot \omega \cdot \cos\left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \Rightarrow \frac{\partial v}{\partial t} = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin\left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c}\right)\right), \text{ donc}$$

$$m = \rho \cdot dS \cdot dx = \frac{Z}{c} dx \cdot dS \Rightarrow \boxed{Z = \rho \cdot c}$$

ONDE DE PRESSION: Modélisation

En définissant le coefficient de compressibilité χ par la réduction en % d'un volume du milieu soumis à une surpression P , on a montré que :

$$P = \frac{1}{\chi \cdot c} \cdot v \stackrel{\text{DEF}}{=} Z \cdot v$$



En appliquant la relation fondamentale de la dynamique à une tranche de milieu de propagation de masse volumique ρ , on a montré que :

$$Z = \rho \cdot c$$

CELERITE & IMPEDANCE

$$Z = \rho \cdot c = \frac{1}{\chi \cdot c}$$



$$c = \frac{1}{\sqrt{\chi \cdot \rho}}$$



Loi de Laplace
1749-1827

Gaz parfait (air, 20°)

$$\chi \approx 6,53 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$$

$$\Rightarrow c \approx \frac{1}{\sqrt{6,53 \cdot 10^{-6} \cdot 1,3}}$$

$$\Rightarrow c \approx 343 \text{ m/s}$$

Rm : $c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ avec $\gamma = 1,4$

$$\Rightarrow c = 20 \sqrt{273 + \theta_{\text{Celsius}}}$$

Liquide (eau salée, 37°)

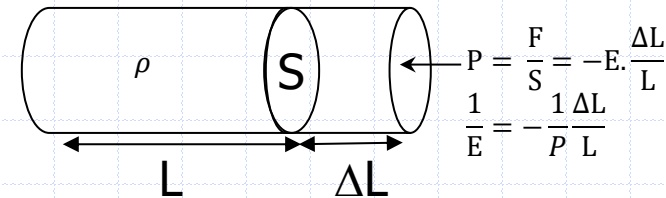
$$\chi \approx 4,18 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$$

$$\Rightarrow c \approx \frac{1}{\sqrt{4,18 \cdot 10^{-10} \cdot 1030}}$$

$$\Rightarrow c \approx 1524 \text{ m/s}$$

Solide (os cortical, 37°)

$$c = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{E} \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \approx \sqrt{\frac{15 \cdot 10^9}{1900}} \approx 2800 \text{ m/s}$$



	ρ (kg.m ⁻³)	c (m.s ⁻¹)	Z (kg.m ⁻² .s ⁻¹)
Air à 20°C	1,3	343	446
Eau de mer à 37°C	1030	1524	1,57 . 10 ⁶
Os humain	1900	2800	5 . 10 ⁶

$$C_{\text{air}} \ll C_{\text{eau}} \ll C_{\text{os}}$$

$$Z_{\text{air}} \ll Z_{\text{eau}} \ll Z_{\text{os}}$$

Allez sur wooclap.com et utilisez le code **ACOUSTIQUE**



Dans un gaz réel plus dense et moins compressible qu'un autre, pour une même pression acoustique et une même fréquence,



1

l'impédance acoustique est plus élevée

0%

0



Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question

2

les molécules vibrent à des vitesses plus faibles

0%

0

3

les molécules vibrent sur des amplitudes plus faibles

0%

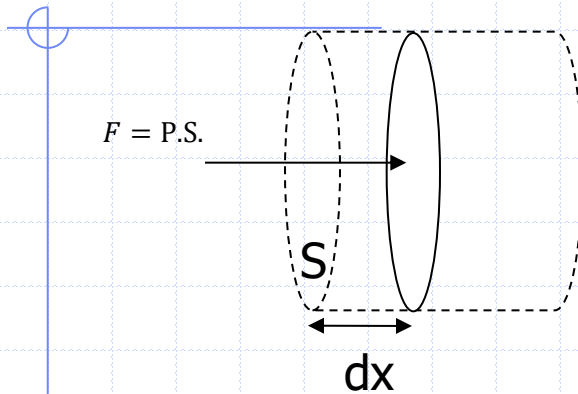
0



POINT D'ETAPE 1: acoustique

- SON = onde progressive de vibration ou de pression car déphasage des mouvement vibratoires
- Onde de pression : $P=Z.v$
- $Z = \rho.c = 1/(\chi.c)$
- $Z_{\text{eau}} \gg Z_{\text{air}}$
- $c_{\text{eau}} \approx 1500 \text{ m/s} \gg c_{\text{air}} \approx 340 \text{ m/s}$

POUISSANCE SURFACIQUE



$$dL \stackrel{DEF}{=} F \cdot dx = P \cdot S \cdot dx$$

$$W \stackrel{DEF}{=} \frac{1}{S} \frac{dL}{dt} = P \cdot \frac{dx}{dt} = P \cdot v = \frac{P^2}{Z} \text{ car } P = Z \cdot v$$

Puissance surfacique W en Watt/m² :

$$W(t) \stackrel{DEF}{=} \frac{1}{S} \frac{dL(t)}{dt} = \frac{P^2(t)}{Z}$$

Pour un son pur :

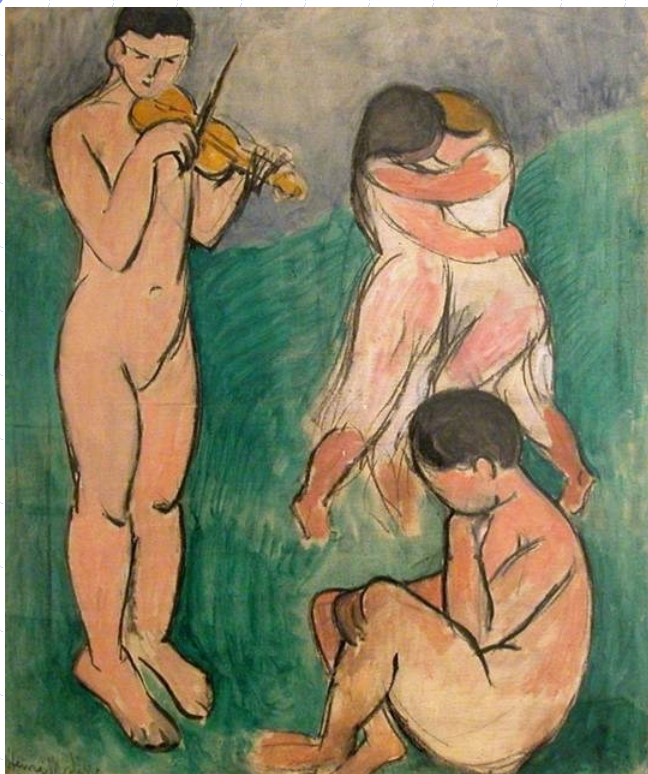
en notant $\langle \rangle$ la moyenne sur T

$$\langle W \rangle = \frac{\langle P^2 \rangle}{Z} = \text{Cste} \cdot Z \cdot A^2 \cdot f^2$$

$$\langle P^2 \rangle = Z^2 \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \left\langle \cos^2 \left[\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right) \right] \right\rangle = Z^2 \cdot A^2 \cdot \omega^2 \frac{\int_0^T \cos^2 \left[\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right) \right] \cdot dt}{T} = \frac{Z^2 \cdot A^2 \cdot \omega^2}{2} = 2 \cdot \pi^2 \cdot Z^2 \cdot A^2 \cdot f^2$$

$P \approx 20 \cdot 10^{-6} - 20 \text{ Pa} \Rightarrow W \approx 10^{-12} - 1 \text{ W/m}^2$ dans l'air

SENSATION D'INTENSITE



Stimulus
physique
(ex: W)

Sensation
ou
Perception
(consciente)

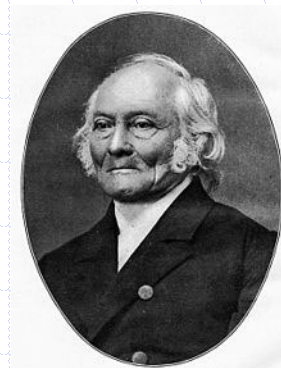
L'intensité ressentie par un sujet sain (i.e. sensation ou perception) n'est pas proportionnelle au stimulus physique d'intensité W .

Ce fait est général pour les 5 sens

On observe (expérimentalement) que la plus petite variation perceptible ΔS d'un stimulus S est telle que :

$$\frac{\Delta S}{S} = k \text{ constante}$$

$$\Delta S = k \cdot S$$



Loi de E.Weber (1795-1878)

LOI de WEBER-FECHNER

Loi de Weber et hypothèse de Fechner :

$$\Delta S = k.S \Rightarrow \Delta P = k' , \text{ donc:}$$

$$\Delta S = k.S \Rightarrow \Delta P = k' = \frac{k' \Delta S}{k S} = K' \cdot \frac{\Delta S}{S}$$

$$\Rightarrow \Delta P = K' \cdot \Delta(\ln S) = K' \cdot \ln(10) \cdot \Delta(\log_{10} S) = K \cdot \Delta(\log_{10} S)$$

$$\Rightarrow P_1 - P_0 = K \cdot (\log_{10} S_1 - \log_{10} S_0)$$



G. Fechner
1801-1887

$$P = K \cdot \log_{10} S$$

Loi de Weber-Fechner

Perception
(ex: intensité sonore)

Stimulus physique
(ex: puissance surfacique)

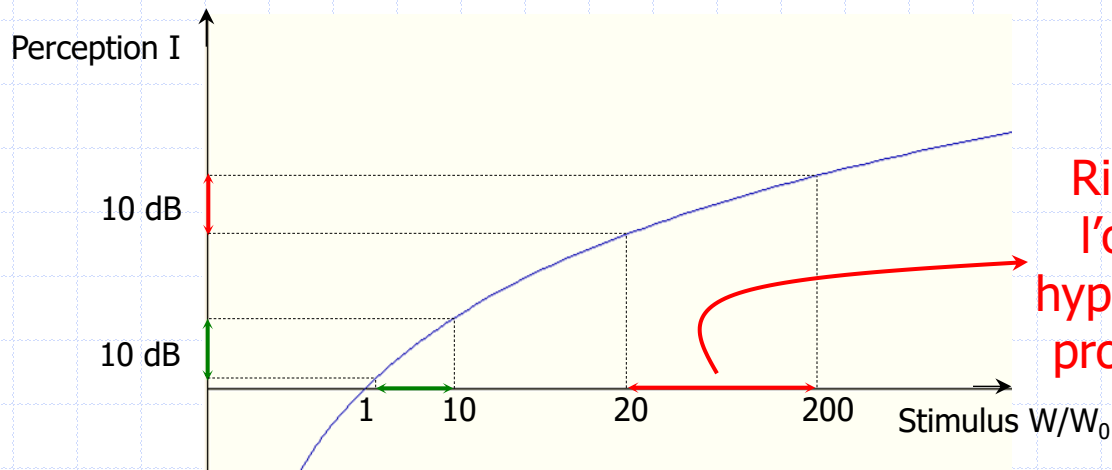
La réponse des organes des sens est logarithmique

INTENSITE SONORE

$$I = K \cdot \log W \Rightarrow I(\text{dB}) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad \text{où } W_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

W_0 = seuil d'audition à 1 kHz. $W = W_0 \Rightarrow I = 0 \text{ dB}$.
 $W/W_0 = 1-10^{12} \Rightarrow I = 0 \text{ dB à } 120 \text{ dB}$

$I_2 - I_1 = 10 \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10}(W_2/W_1) \Rightarrow W_2 = 10 \cdot W_1$
 Le même incrément de **10 dB** décuple W .

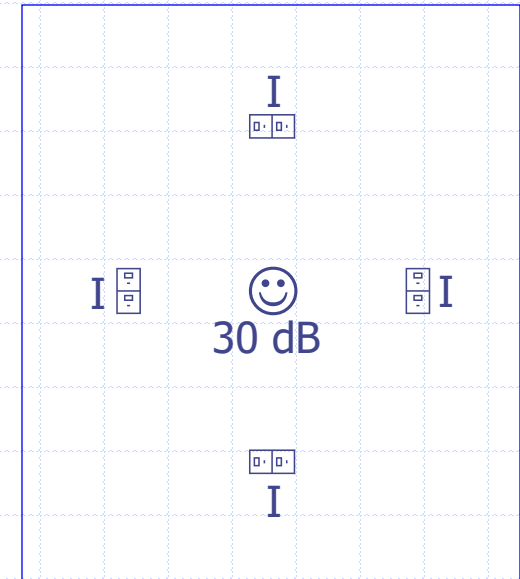


Risque de traumatisme de l'oreille et d'hypoacousie: hypoacousie des adolescents, problème de santé publique

INTENSITE SONORE

Exemple 1, examen 2012-2013 :

4 haut-parleurs à la même distance d'un auditeur émettent chacun un son pur de même intensité I . Lorsque ces quatre haut-parleurs fonctionnent simultanément, un auditeur perçoit 30 dB. Calculez I sachant que $\log_{10} 2 = 0,30$.



$$30 \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot W}{W_0} \right) = 10 \cdot \log_{10}(4) + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

$$30 \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10}(2^2) + I = 2 \cdot 10 \cdot \log_{10}(2) + I = 6 + I$$

$$\Rightarrow I = 24 \text{ dB}$$

Exemple 2, examen 2014-2015: A quelle gain en dB correspond une multiplication par 64 de la pression acoustique d'un son ?

$$I'(\text{dB}) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{(64P)^2 / Z}{W_0} \right) = 10 \cdot \log_{10}(64^2) + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P^2 / Z}{W_0} \right)$$

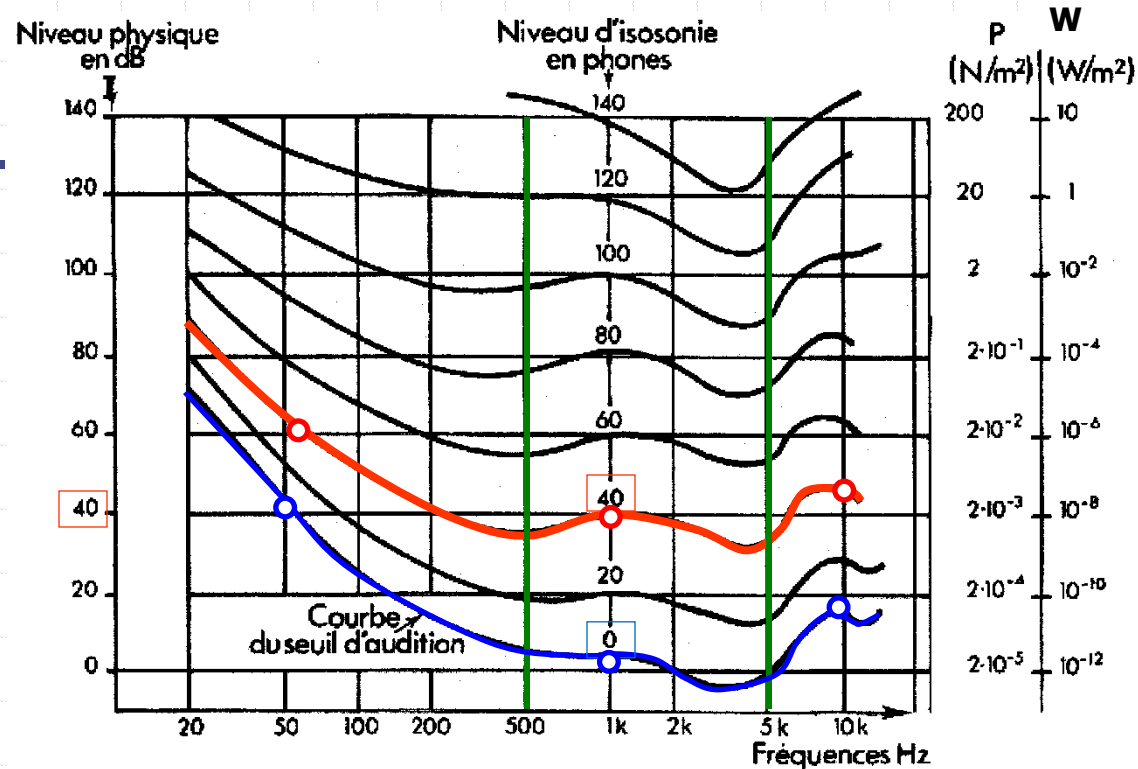
$$\Rightarrow \text{dI} = 10 \cdot \log_{10}(64^2) = 10 \cdot \log_{10}(2^{12}) = 12 \cdot 10 \cdot \log_{10}(2) = 36 \text{ dB}$$

INTENSITE SONORE

$$I = K \cdot \log W \Rightarrow I(\text{dB}) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad \text{où } W_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Mais l'oreille n'est pas sensible de la même façon aux sons de fréquences différentes. I dépend aussi de la fréquence du son :

Sonie de N phones
= Intensité de N dB
à 1000 Hz



Allez sur wooclap.com et utilisez le code **ACOUSTIQUE**



Si on entend un son à une certaine intensité en utilisant les deux enceintes identiques d'une chaîne HIFI, débrancher une de ces deux enceintes fait entendre ...



1

OUI



0%

0

Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question

2

NON

0%

0



HAUTEUR SONORE

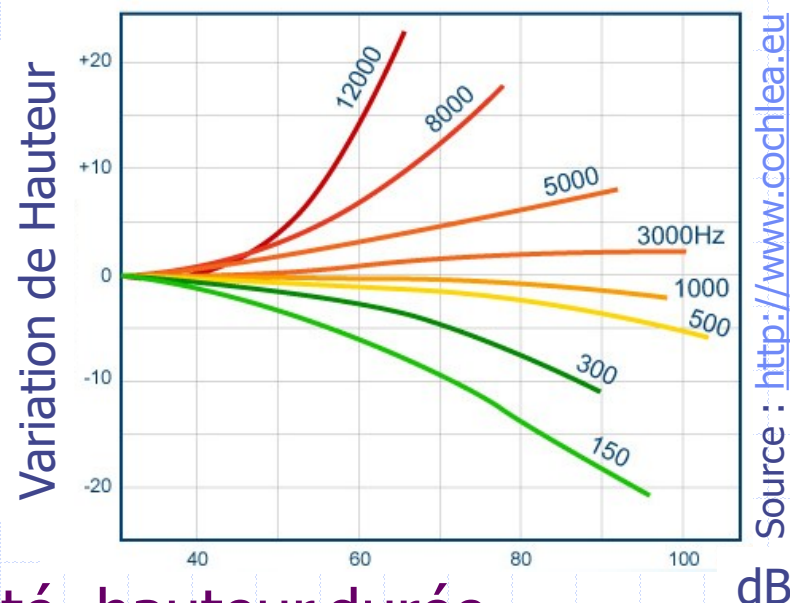
$$H = K \cdot \log f \Rightarrow H(\text{Savart}) = 1000 \cdot \log_{10} f$$

Un sujet normal peut distinguer environ **1500 hauteurs**.

La sensation de hauteur dépend aussi de l'intensité :

- aigus ($f > 3$ kHz) perçus plus hauts (plus aigus) si I augmente
- graves ($f < 1$ kHz) perçus moins hauts (plus graves) si I augmente

Tonie de 1000 mels
=
Hauteur de 1000 Hz
à 40 dB



Timbre = caractéristiques hors intensité, hauteur, durée

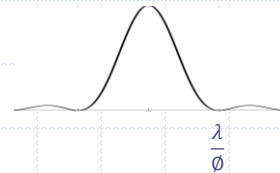
POINT D'ETAPE 2 : quantification

- Stimulus physique $S \neq P$ Perception
 - Stimuli : W pour l'intensité, f pour la hauteur
- La perception dépend de plusieurs stimuli
- Loi de Weber : $\Delta S/S = k$
- Loi de Weber-Fechner : $P = K \cdot \log S$
- Intensité sonore (dB) : $I = 10 \cdot \log_{10}(W/W_0)$
 - dépend aussi de f : sonie N phones = N dB à 1 kHz
- Hauteur sonore (Savart) : $H = 1000 \cdot \log_{10} f$
 - Sensation aigu/grave renforcée si I augmente :
 - tonie N mels = N Hz à 40 dB

INTERACTIONS (cf. US de DFGSM2)

- Propagation : PMA \Rightarrow ligne droite si $Z = \text{cste}$
- Absorption : probabilité \nearrow si fréquence (frottements) \nearrow
 - Donc $\langle W \rangle(x) = \langle W \rangle_0 \cdot e^{-(k \cdot f^n) \cdot x}$, $n \in [1 \text{ (air)}, 2]$

- Diffraction : \downarrow si $\lambda = c/f \ll \emptyset$ car $\sin \theta_{\min} = \lambda / \emptyset$
 - diffraction \downarrow si la fréquence \uparrow (US)

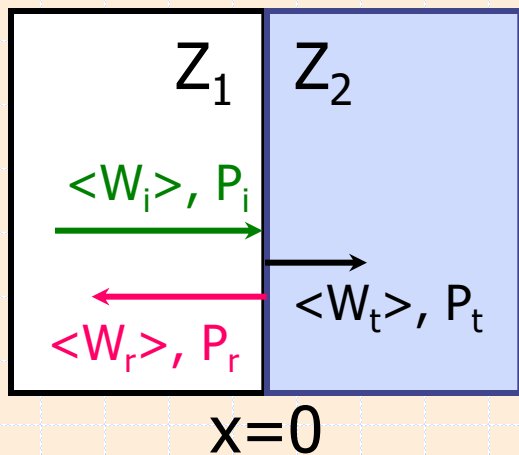


- Réflexion & réfraction : loi de Descartes où $n = \frac{c}{c_n}$

$$\theta_i = \theta_r \quad \text{et} \quad \frac{1}{c_1} \sin \theta_i = \frac{1}{c_2} \sin \theta_t$$

Pour les curieux, etc.

REFLEXION / REFRACTION NORMALE



$$F_i - F_r = F_t \Rightarrow P_i - P_r = P_t$$

$$P_i = Z_1 \cdot A_i \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$P_r = Z_1 \cdot A_r \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$P_t = Z_2 \cdot A_t \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$\Rightarrow Z_1(A_i - A_r) = Z_2 \cdot A_t$$

$$g_i + g_r = g_t \Rightarrow A_i + A_r = A_t$$

Comme pour un son pur, $\langle W \rangle = Cste \cdot Z \cdot A^2$

$$r = \frac{\langle W_r \rangle}{\langle W_i \rangle} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

$$t = 1 - r = \frac{\langle W_t \rangle}{\langle W_i \rangle} = \frac{4 \cdot Z_2 \cdot Z_1}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

$$\Rightarrow A_i - A_r = \frac{Z_2}{Z_1} A_t$$

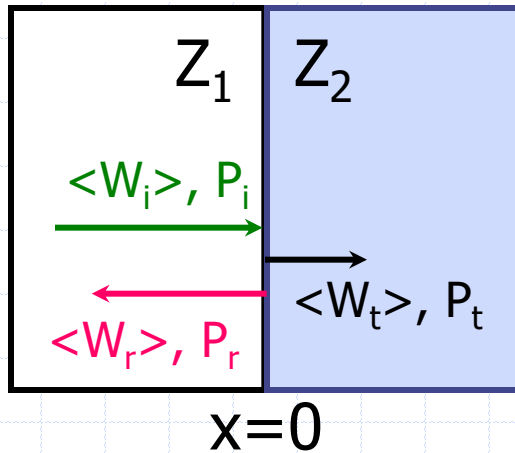
$$= \frac{Z_2}{Z_1} (A_i + A_r)$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_2}{Z_1} \left(1 + \frac{A_r}{A_i} \right)$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{A_r}{A_i} \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{A_r}{A_i} = \frac{1 - \frac{Z_2}{Z_1}}{1 + \frac{Z_2}{Z_1}} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

REFLEXION / REFRACTION NORMALE

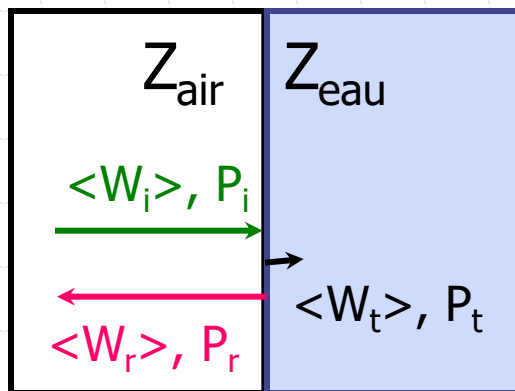


En écrivant la continuité des vitesses et des pressions en $x=0$, on montre que :

$$r = \frac{\langle W_r \rangle}{\langle W_i \rangle} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

$$t = 1 - r = \frac{\langle W_t \rangle}{\langle W_i \rangle} = \frac{4 \cdot Z_2 \cdot Z_1}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

CONSEQUENCE



$$r_{air/eau} = \frac{(1,57 \cdot 10^6 - 446)^2}{(1,57 \cdot 10^6 + 446)^2} \approx 99,9\%$$

$$t_{air/eau} = 1 - r \approx 0,1\%$$

Un son n'est pratiquement pas transmis à une interface air/eau


Allez sur wooclap.com et utilisez le code **ACOUSTIQUE**



Vous naviguez en méditerranée, une baleine bleue croise votre route et tombe amoureuse de la quille de votre voilier.



1

vous serez prévenu en entendant les chants  un mammifère marin qui s'approche

0%

0 



Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question

2

vous risquez une surprise de taille

0%

0 

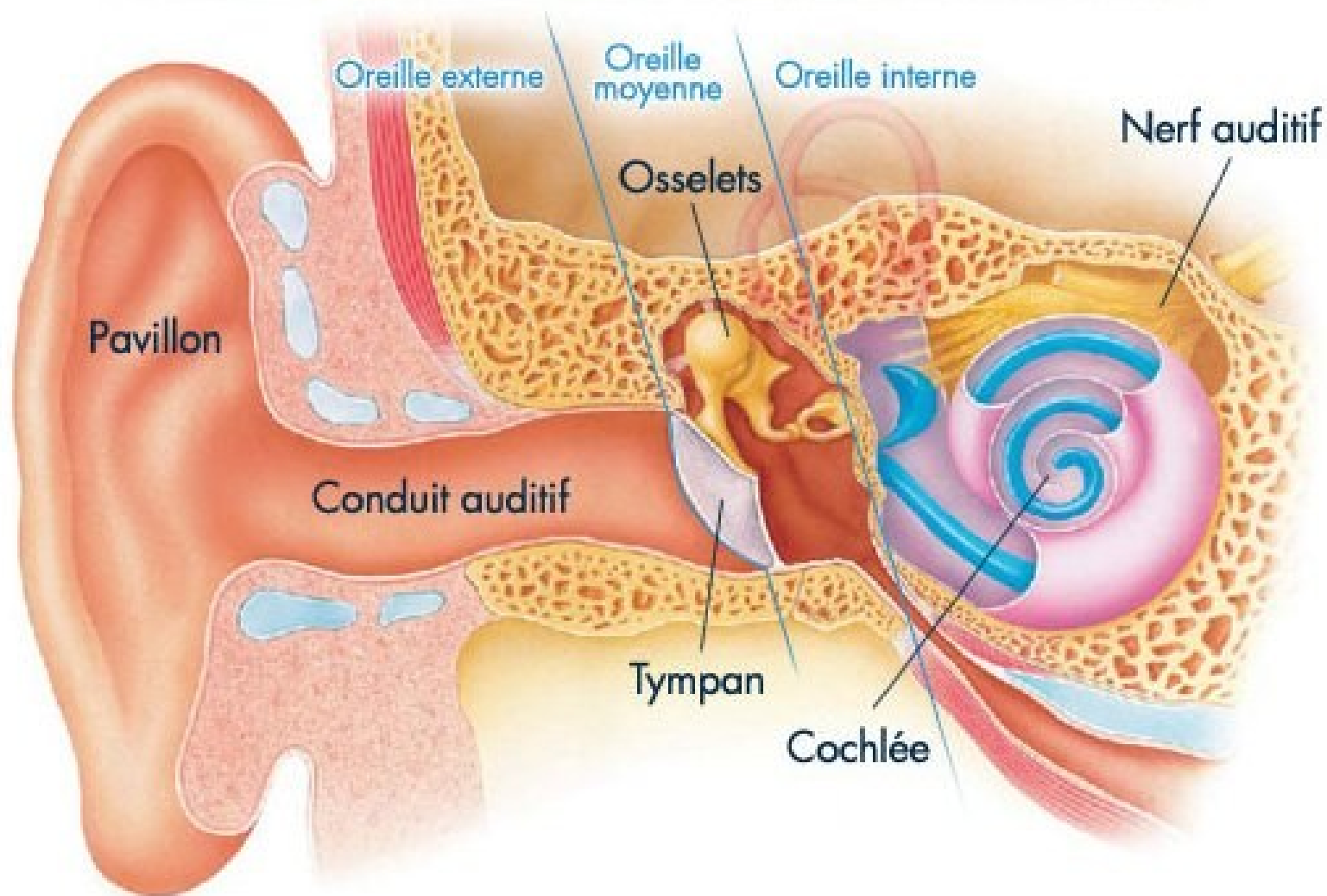


POINT D'ETAPE 3 : interactions

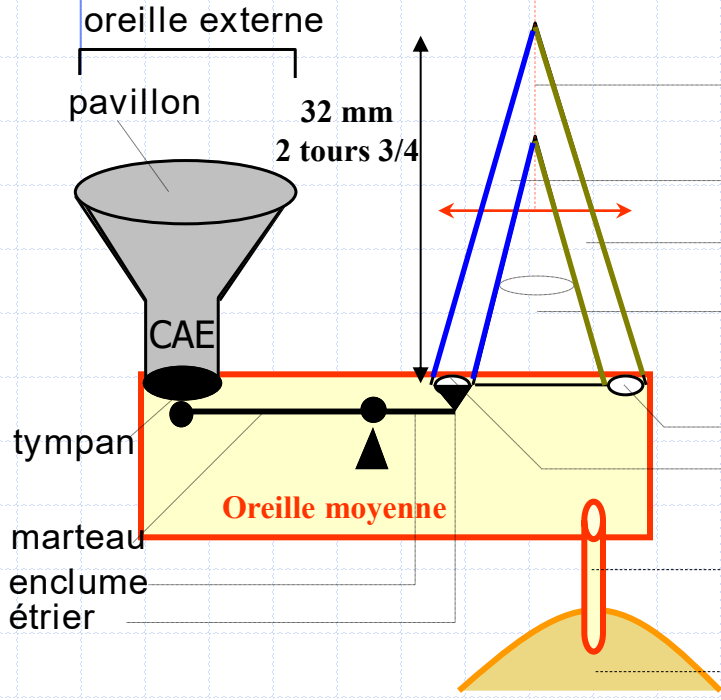
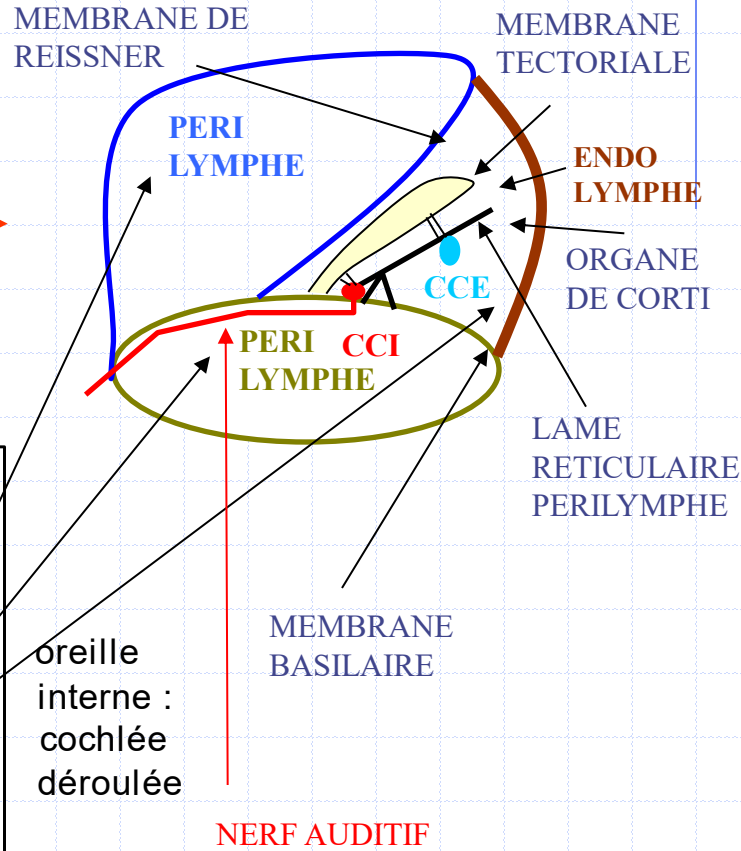
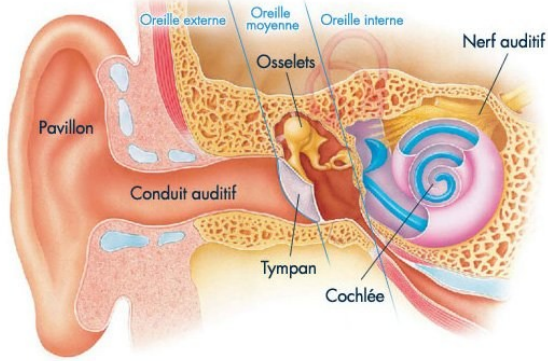
- Absorption qui augmente avec la fréquence
- Diffraction qui baisse avec la fréquence
- Réflexion quasi complète d'un son à une interface entre de l'air et de l'eau

$$r = \frac{\langle W_r \rangle}{\langle W_i \rangle} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} = 1 - t$$

ANATOMIE FONCTIONNELLE



ANATOMIE FONCTIONNELLE



- oreille externe
- 32 mm
- 2 tours 3/4
- hélicotréma
- rampe vestibulaire (périmlymphe)
- rampe tympanique
- oreille interne : cochlée déroulée
- canal cochléaire (endolymphe)
- fenêtre ronde
- fenêtre ovale
- trompe d'Eustache
- pharynx

NERF AUDITIF

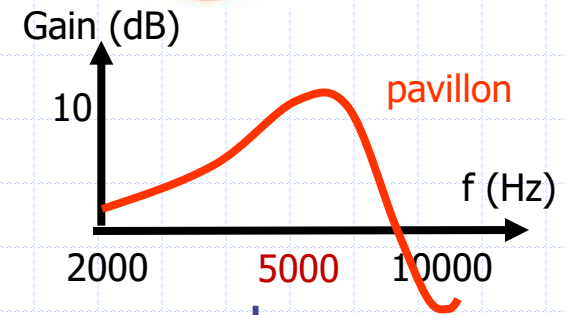
OREILLE EXTERNE

Elle transforme l'onde en amplitude et phase, en fonction de ses fréquences, ainsi que les surfaces d'ondes, de manière à guider le son vers le tympan.



- **Pavillon**

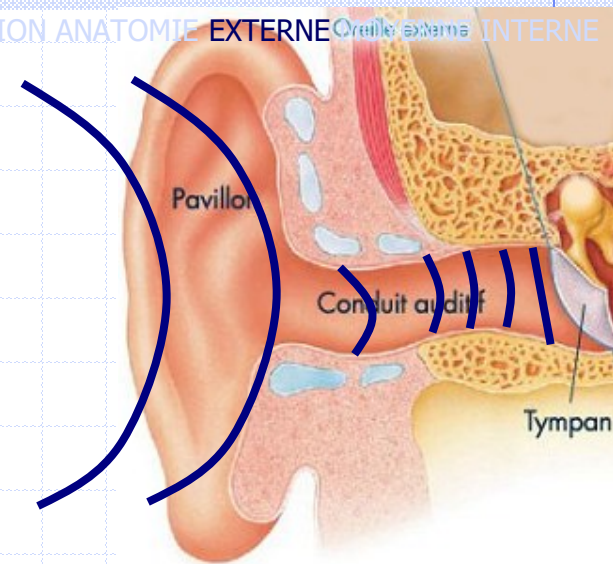
- Recueil des ondes sonores
- Amplification variable avec la fréquence du son
- Localisation de la source sonore
 - Avant/arrière et Haut/Bas : analyse de la diffraction par les reliefs cartilagineux du pavillon.



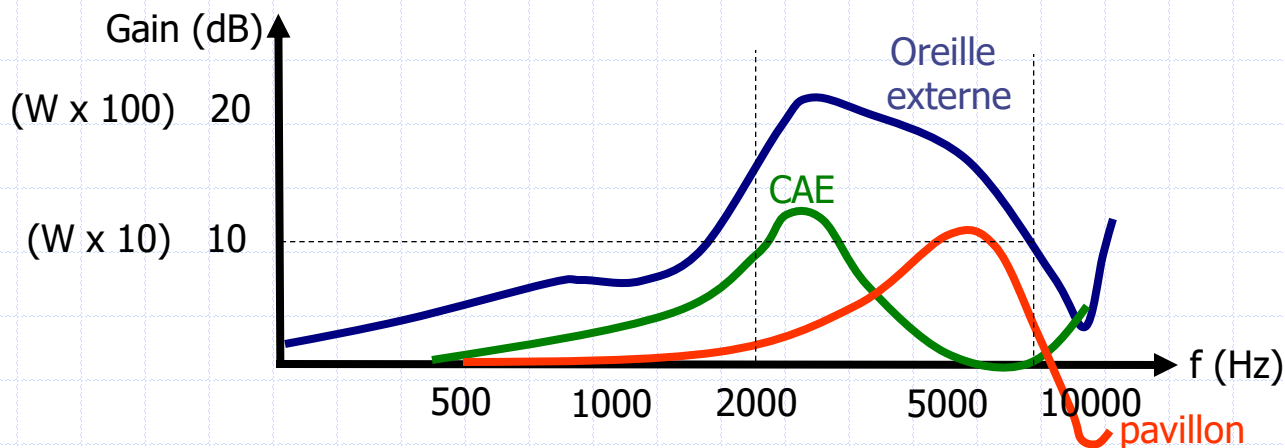
Rm:

- Localisation D/G : par la différence d'intensité (si $f > 1500$ Hz) ou de phase entre les 2 oreilles.
- Éloignement de la source : analyse du spectre (diffraction des graves) et de l'écho.

OREILLE EXTERNE

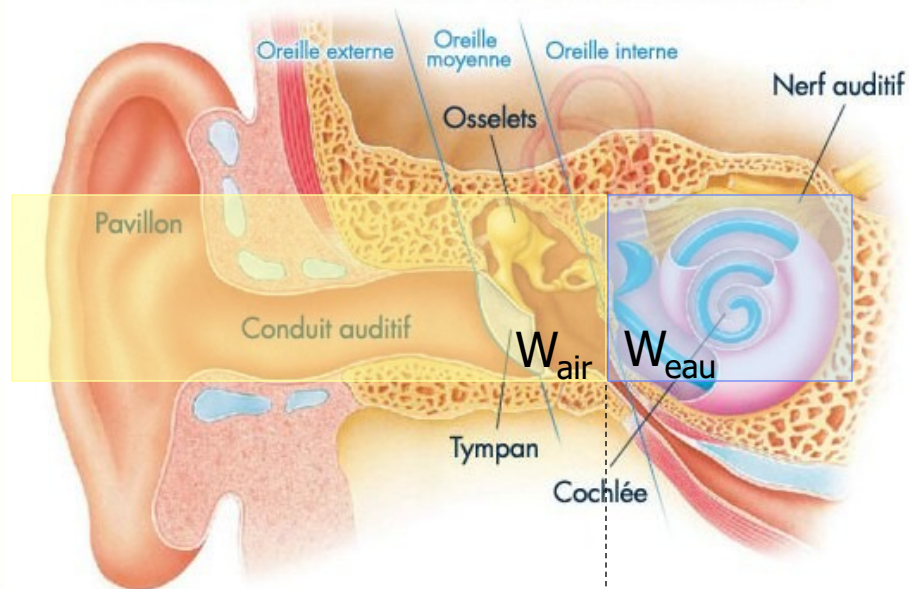


- Pavillon :
 - Recueil, amplification, localisation
- Conduit auditif externe
 - Ondes sphériques → planes sur le tympan
 - Amplification si $f \approx 2-3$ kHz



Oreille externe :
amplification
autour de
2-7 kHz.

OREILLE MOYENNE



$$W_{air} = P_{air} \cdot v_{air}$$

$$W_{eau} = P_{eau} \cdot v_{eau}$$

A-t-on ? :

$$W_{air} = W_{eau}$$

	AIR	EAU
$Z=P/v$	↓ ↓	↑ ↑
Pressions	↓	↑
v vibration	↑	↓

Adaptation d'impédance:

**l'oreille moyenne doit
↑ les pressions et ↓ les
vitesses (sinon 99.9% de
réflexion)**

OREILLE MOYENNE

$$(TM). F_T = (OM). F_O$$

$$\Rightarrow (TM). P_T . S_T = (OM). P_O . S_O$$

$$\frac{P_O}{P_T} = \frac{TM}{OM} \cdot \frac{S_T}{S_O} = [2; 6] \frac{60}{3} \approx [40; 120]$$

Levier + surfaces \Rightarrow Ampli : P x [40;120]

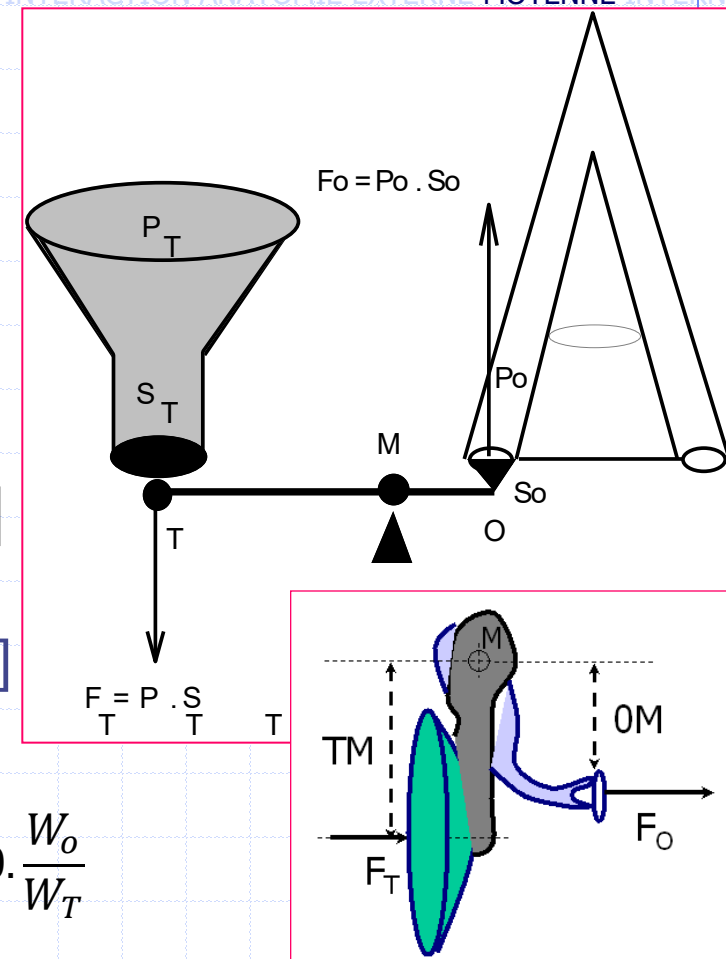
$$P^2 = Z \cdot W \Rightarrow \left(\frac{P_O}{P_T}\right)^2 = \frac{Z_O}{Z_T} \cdot \frac{W_O}{W_T} = \frac{1,57 \cdot 10^6}{446} \cdot \frac{W_O}{W_T} = 3520 \cdot \frac{W_O}{W_T}$$

Pour n'avoir aucune perte : $W_O = W_T \Rightarrow P_O = \sqrt{3520} \cdot P_T = 59 \cdot P_T$

ce qui correspond à une amplification de $10 \cdot \log_{10} 59^2 = 35 \text{ dB}$ pour avoir $W_O = W_T$

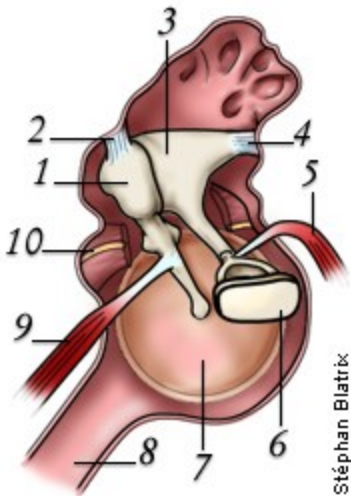
Expérimentalement, sans osselets, écart des seuils os/air : 33 dB

Le modèle estime une amplification de $\frac{10 \cdot \log_{10} [40; 120]^2}{10 \cdot \log_{10} 80^2} = [32; 41] \text{ dB} = 38 \text{ dB}$



OREILLE MOYENNE

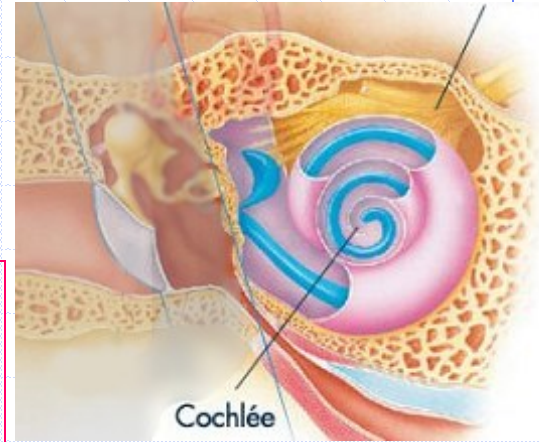
- Adaptation d'impédance + 35 dB
 - + 30-35 dB en \uparrow P et \downarrow v
 - Principalement 2 actions : levier, surfaces \pm cône du tympan ?
- Rôles des muscles de l'oreille moyenne :



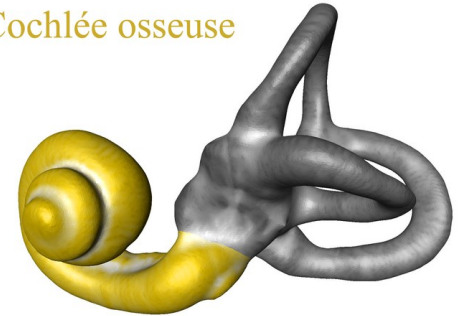
- muscle tenseur du tympan (marteau; trijumeau V^m_3)
 - \searrow audition des BF (20-200 Hz)
- muscle de l'étrier = stapedius (innervation : facial VII)
 - Protection limitée de l'oreille interne (réflexe stapédien)
 - -10 dB si I > 80 dB, $f < 2$ kHz; pendant 3 min; délai 30 ms
 - Filtrage (accommodation) : \downarrow transmission si $f < 2$ kHz

- Conséquence : Paralysie faciale \Rightarrow hyperacousie

OREILLE INTERNE

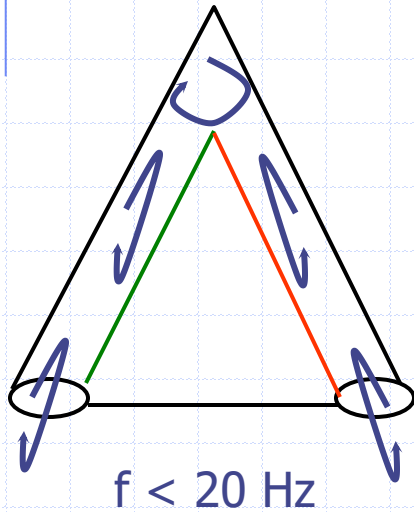


Cochlée osseuse

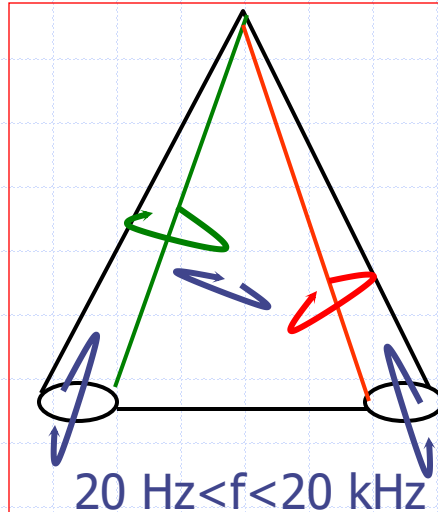


Rôle : convertir une onde mécanique en onde électrique et adresser les PA sur les nerfs adéquats.

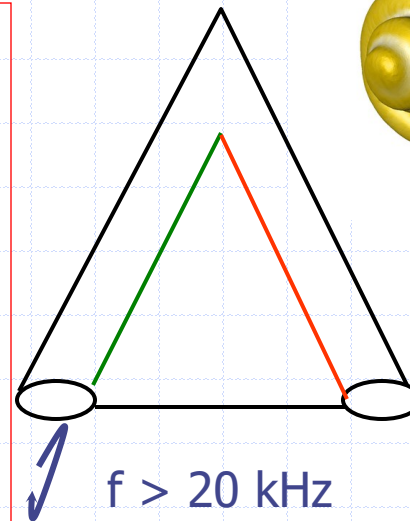
- Mouvements des fluides et des fenêtres



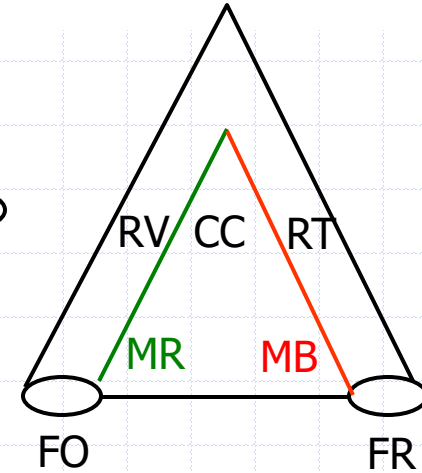
membranes immobiles
son inaudible



membranes déformées

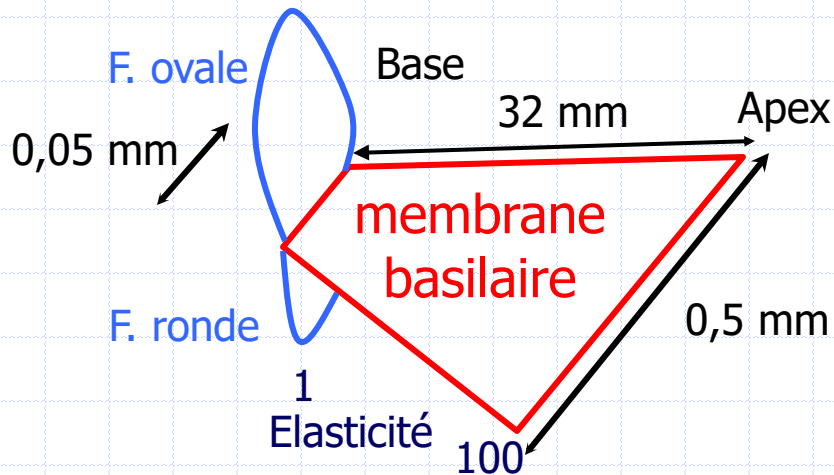


son non transmis

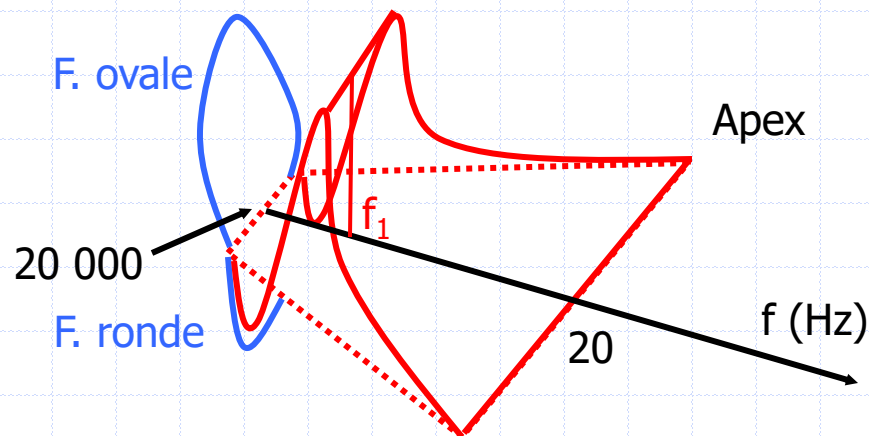


OREILLE INTERNE

- Mouvements de la membrane basilaire



L'onde de vibration subit un **amortissement critique** après un maximum de déformation de la membrane basilaire.



La position de ce **maximum** est d'autant plus proche de l'**apex** que la fréquence du son est **basse**.

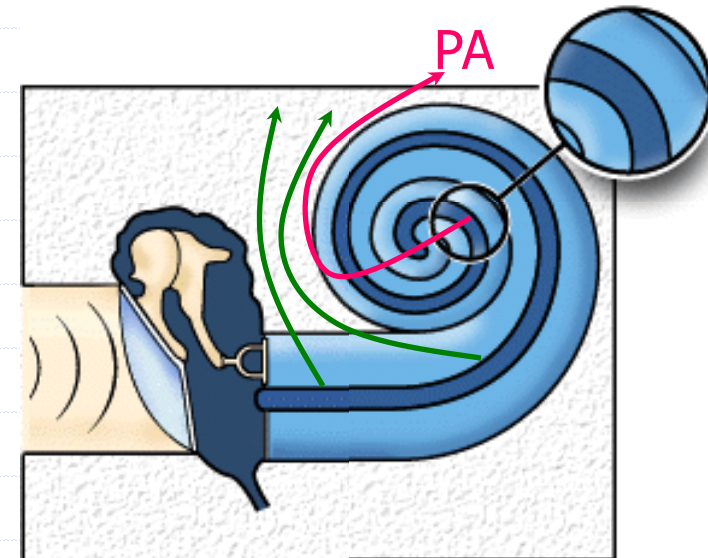
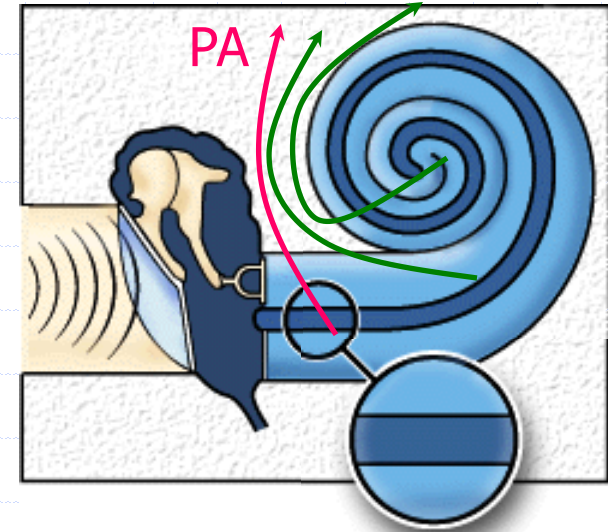
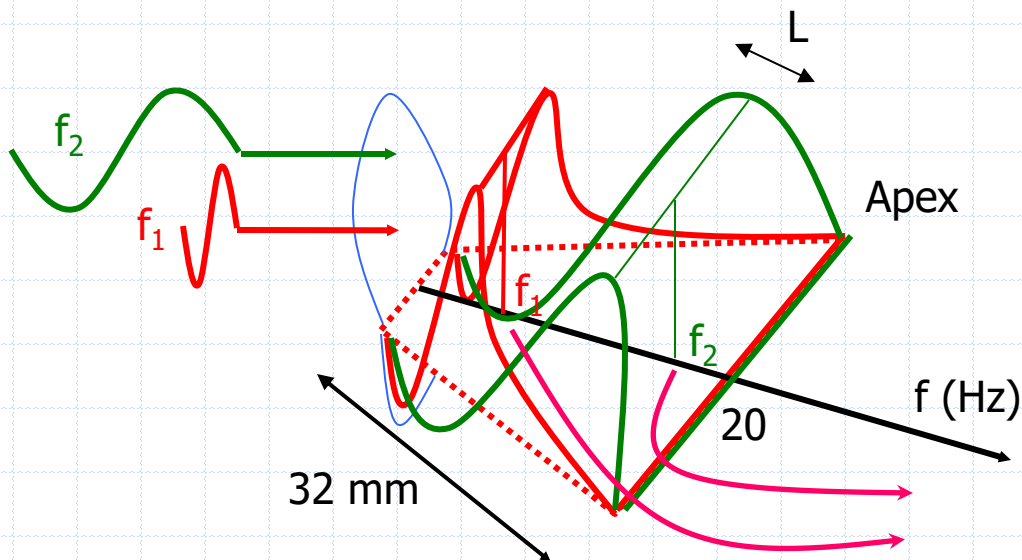
OREILLE INTERNE

- Mouvements de la membrane basilaire

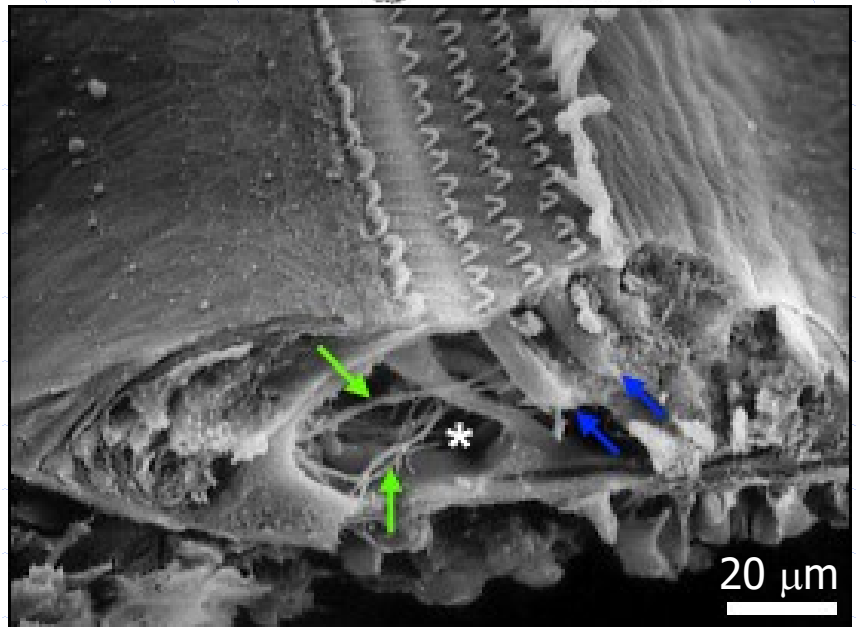
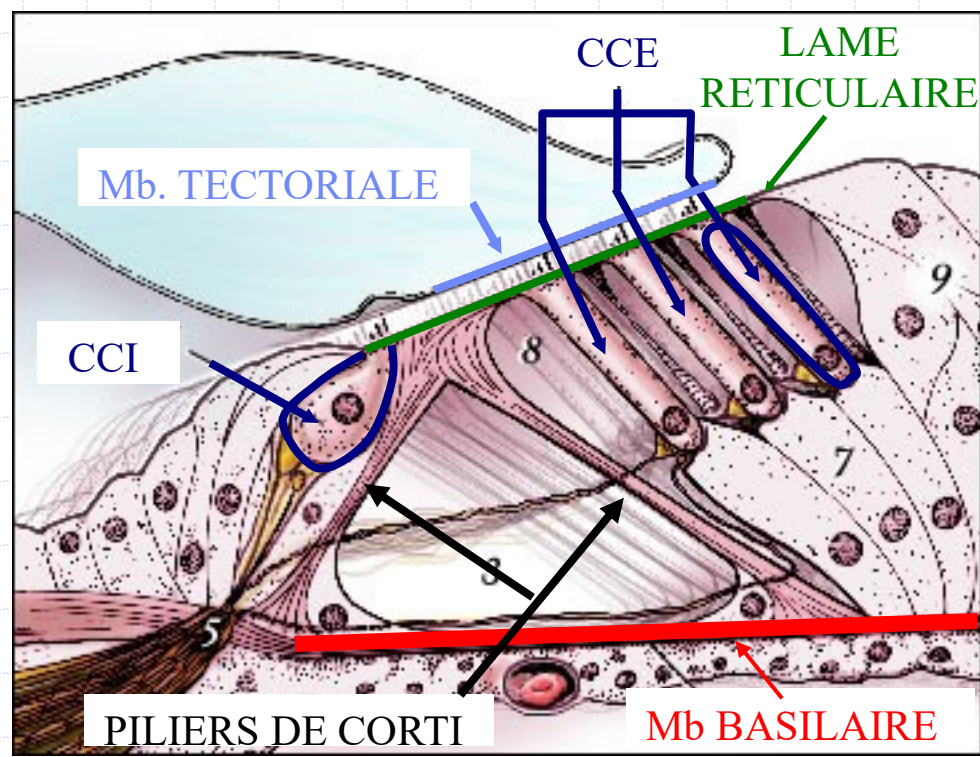
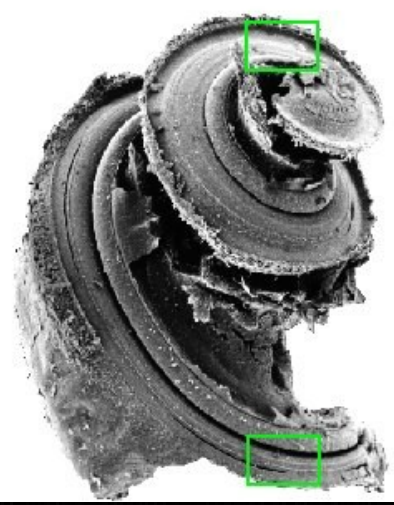
Difficulté :

1500 hauteurs discernables,
donc $L \approx 32/1500 = 0,02 \text{ mm}$

$L \approx 20 \text{ }\mu\text{m}$, incompatible avec la
structure de la membrane basilaire



OREILLE INTERNE



OREILLE INTERNE

Source : <http://www.cochlea.eu>

Abaissement Mb. basilaire



Glissement L. réticulaire
sous la Mb. tectoriale



Cisaillement des cils



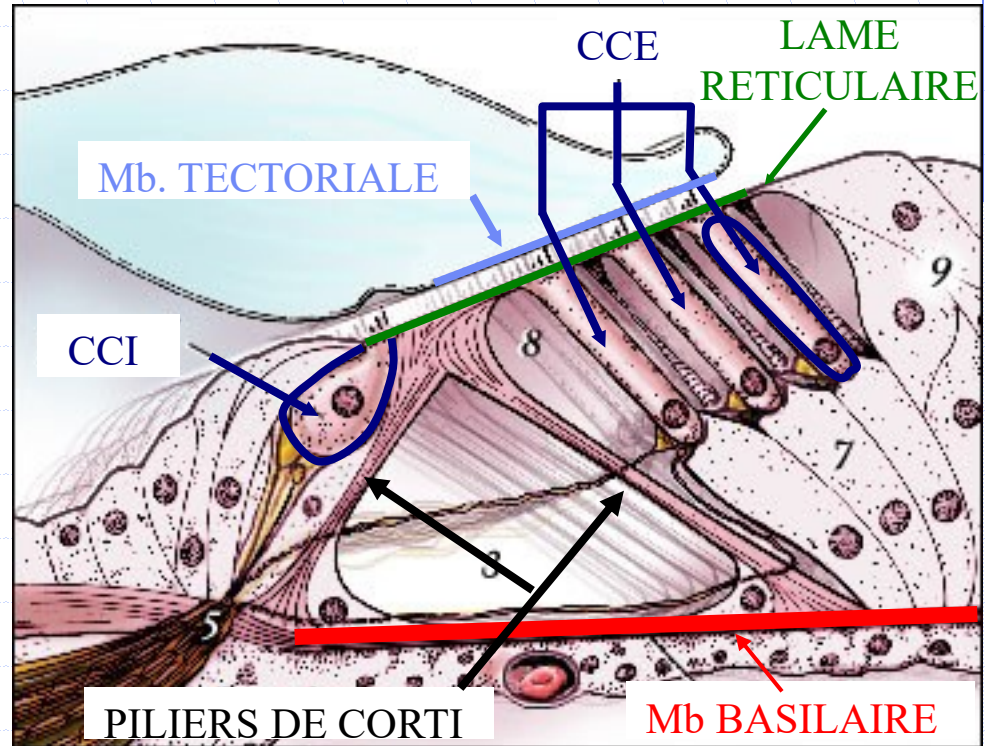
Inhibition des CCE
adjacentes au maximum



Dépolarisation CCE au
niveau du maximum



Amplification à f de la
vibration



Ampli. des vibrations

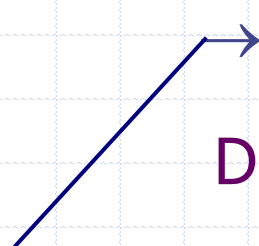


Dépolarisation des CCI



Potentiel d'action

→ 3 relais du TC → Thalamus → Cortex



POINT D'ETAPE 4 : Audition

- O. externe : Recueil
 - amplification, Onde plane, localisation
- O. moyenne : Passage air → eau
 - Adaptation d'impédance ($P\uparrow$; $v\downarrow$): levier, S_T/S_o , courbe S_T
 - Protection, accommodation (\downarrow BF)
- O. interne : Transduction et analyse
 - Analyse en fréquence par la Membrane Basilaire
 - Transduction au niveau des cellules ciliées internes

BIBLIOGRAPHIE

- Acoustique :
 - Physique pour les sciences de la vie. Tome 3. Les ondes. A. Bouyssy, M. Davier et B. Gatty. Belin. Dia Université.

- Biophysique sensorielle :
 - Physique et biophysique (PCEM), tome 3, biophysique sensorielle. M. Burgeat, Y. Grall et D. Loth. Masson. 1973.

- Audition :
 - <http://www.cochlea.eu>

VOYAGE AU CENTRE DE L'AUDITION

Recherche

SON

- Son : généralités
- Représentation du son
- Psychoacoustique

OREILLE
COCHLÉE
CELLULES CILIÉES
GANGLION SPIRAL
CERVEAU AUDITIF
DÉVELOPPEMENT ET PLASTICITÉ
EXPLORATION FONCTIONNELLE
PATHOLOGIE
RÉHABILITATION
VOIES DE RECHERCHE

SON

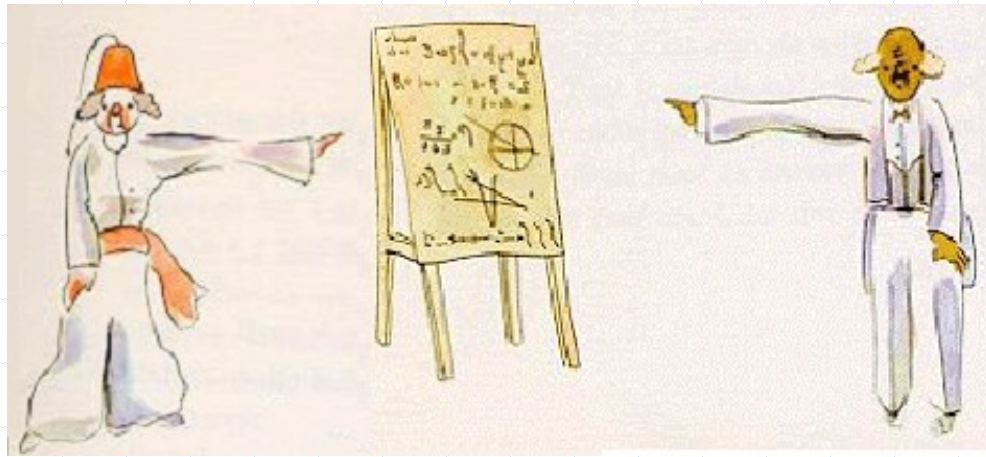
Conception : *Antoine Lorenzi Benjamin Chaix*
Avec la participation de : *Joël Ducourneau*

Facebook Twitter Google+

Le son est une onde produite par une vibration mécanique du support, ou milieu, pouvant être solide, liquide ou gazeux.
Par anthropomorphisme, on peut définir le son comme représentant la partie audible du spectre des vibrations acoustiques, de même que la lumière se définit comme la partie visible du spectre des vibrations électromagnétiques.

QU'EST-CE QU'UN SON ?

Une onde sonore est la propagation de proche en proche d'une perturbation caractérisée par une vibration des molécules du milieu autour de leurs positions d'équilibre (ou état de repos). En effet, suite à une perturbation, créée à l'origine par une source mécanique, les molécules subissent de faibles variations de pression (pression acoustique) ; elles s'entrechoquent entre elles pour transmettre la déformation (perturbation) subissant ainsi de micro-déplacements. Ces molécules reviennent à leur position initiale une fois la perturbation passée ; c'est une propagation d'énergie dans un milieu matériel sans transport de matière.



Merci pour votre attention...