

Licence PAN. 2024

Neurophysiologie sensorielle et motrice (HAV632V)



Florence Perrin

Neurophysiologie de l'audition. Le système vestibulaire.

Integrative Biology of Neuroregeneration

INSERM. MMDN.

Université Montpellier

Web site: <http://www.ibn-lab.com/>

E-mail: florence.perrin@umontpellier.fr



I. Le système auditif

1. Le son: stimulus auditif
2. Oreille externe
3. Oreille moyenne
4. Oreille interne

II. Transduction du signal sonore

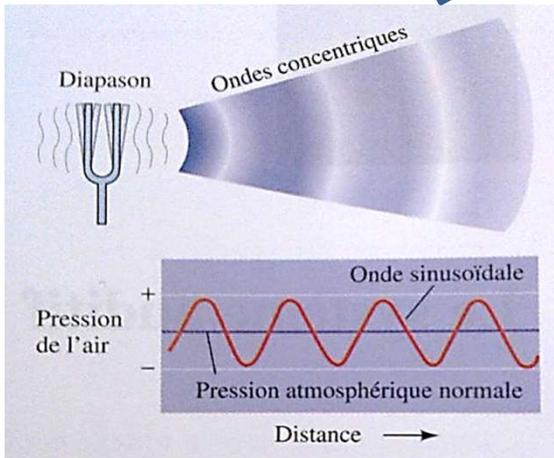
1. Les cellules ciliées
2. La transduction mécano-électrique
3. Amplification du signal

III. Audition : Voies centrales et intégration

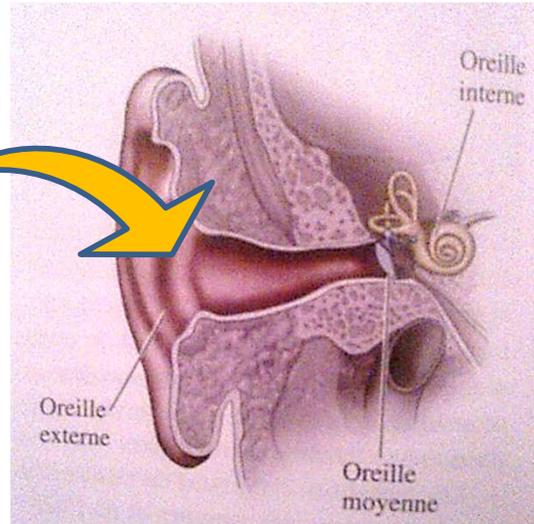
1. Les relais
2. Le cortex auditif primaire et secondaire

III. Le système vestibulaire

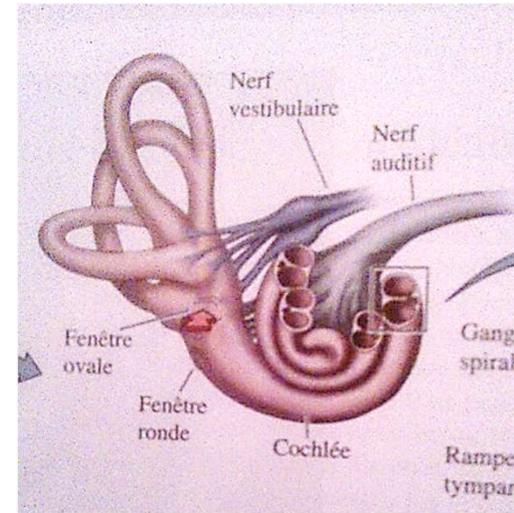
AUDITION



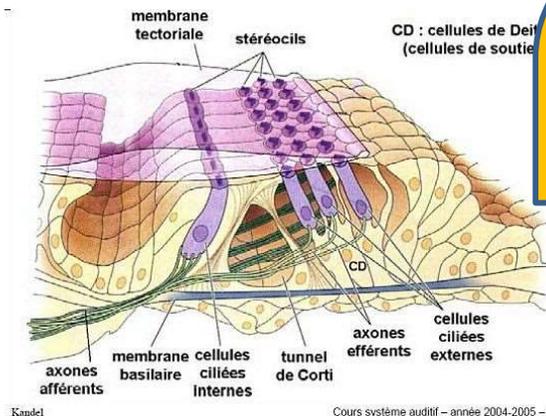
Stimuli



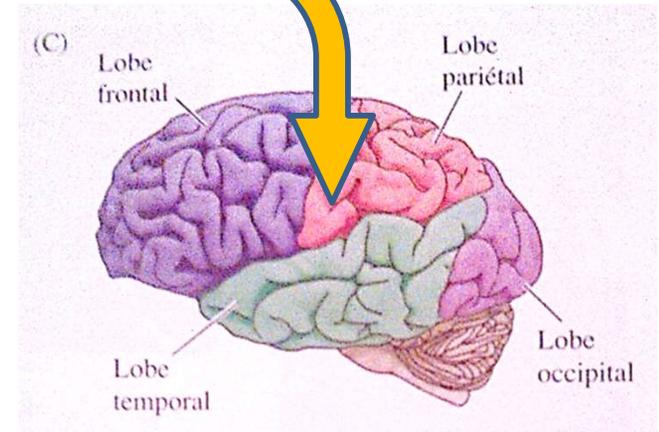
Oreille



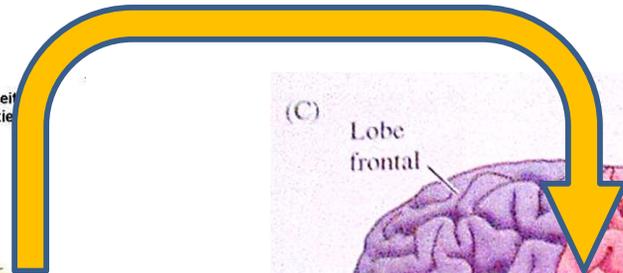
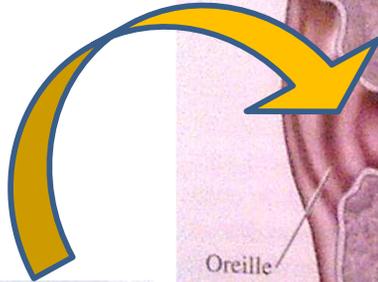
Cochlée



Organe de Corti



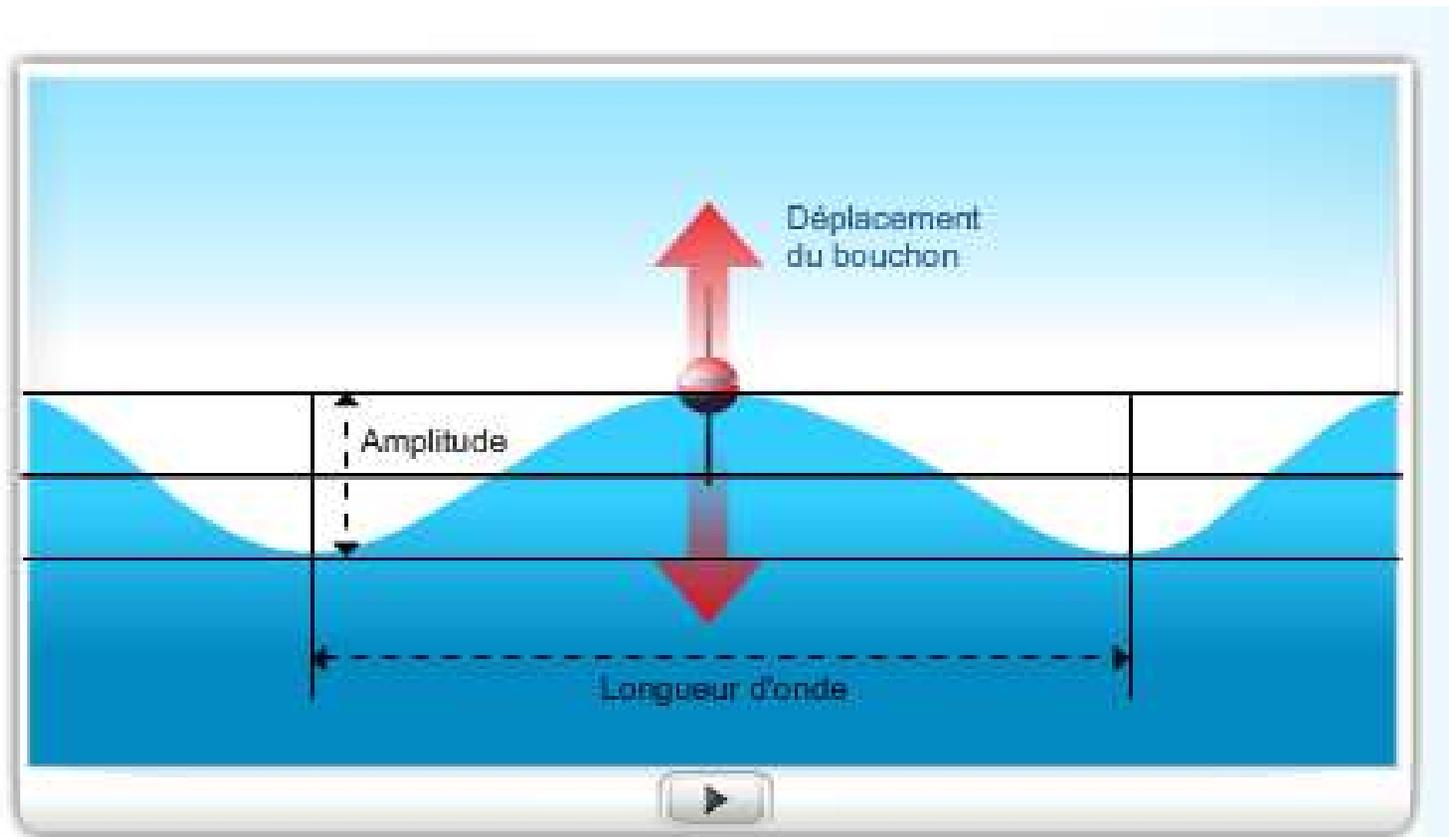
Cortex



DEFINITIONS

Son: vibrations mécaniques du milieu (gazeux, liquide solide).

Partie audible du spectre des vibrations acoustiques.
Ondes de pression (molécules en vibration). Phénomène ondulatoire assimilé à une sinusoïde.



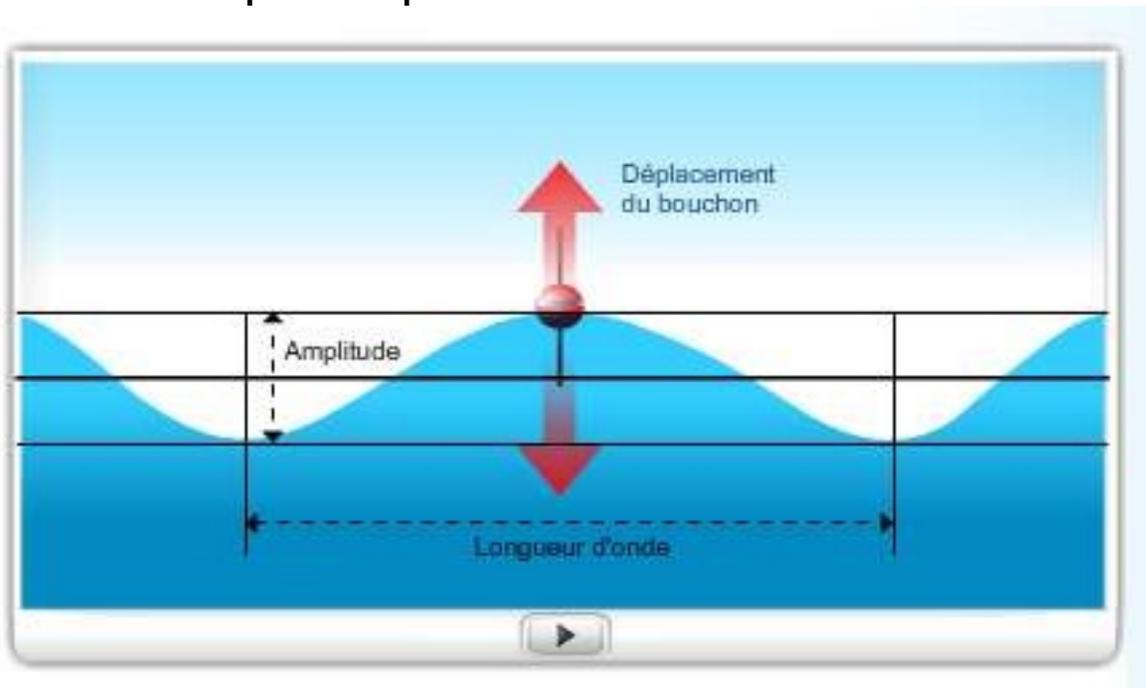
DEFINITIONS

Audition: deux paramètres des vibrations acoustiques :

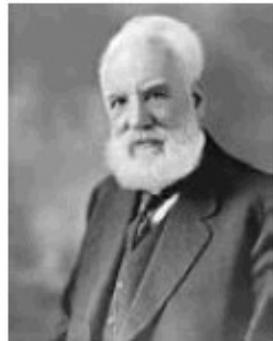
- fréquence (nombre de vibrations par seconde, Hertz = Hz), définit les sons aigus et graves

- intensité (amplitude de la vibration, décibel = dB), définit les sons forts ou faibles.

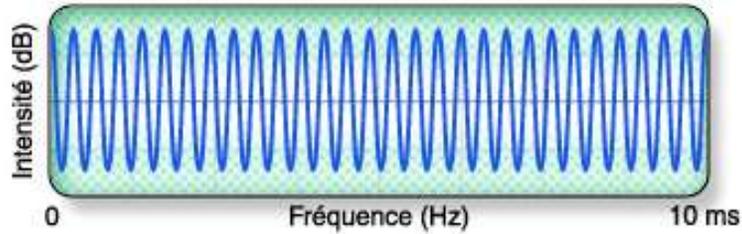
1 db : plus petite différence décelable par l'oreille



Alexandre Graham Bell
(1847 – 1922)



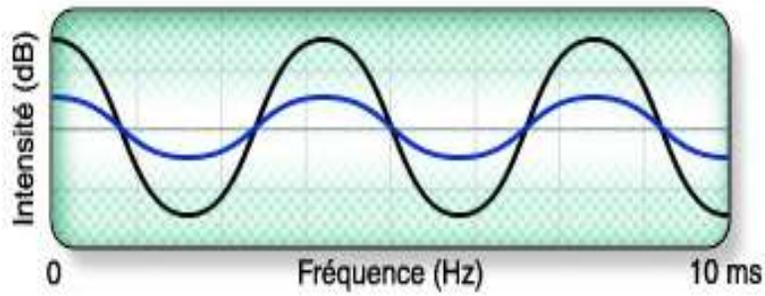
Le son



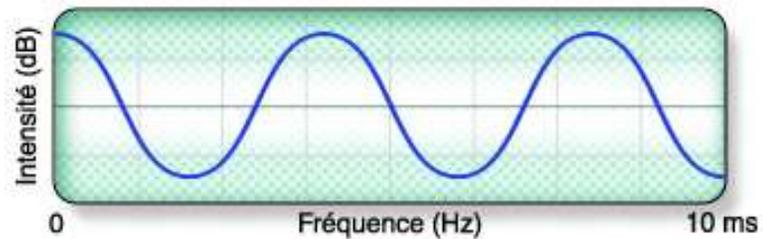
Amplitude

Son aigu 3000 Hz
(fréquence élevée)

Fréquence

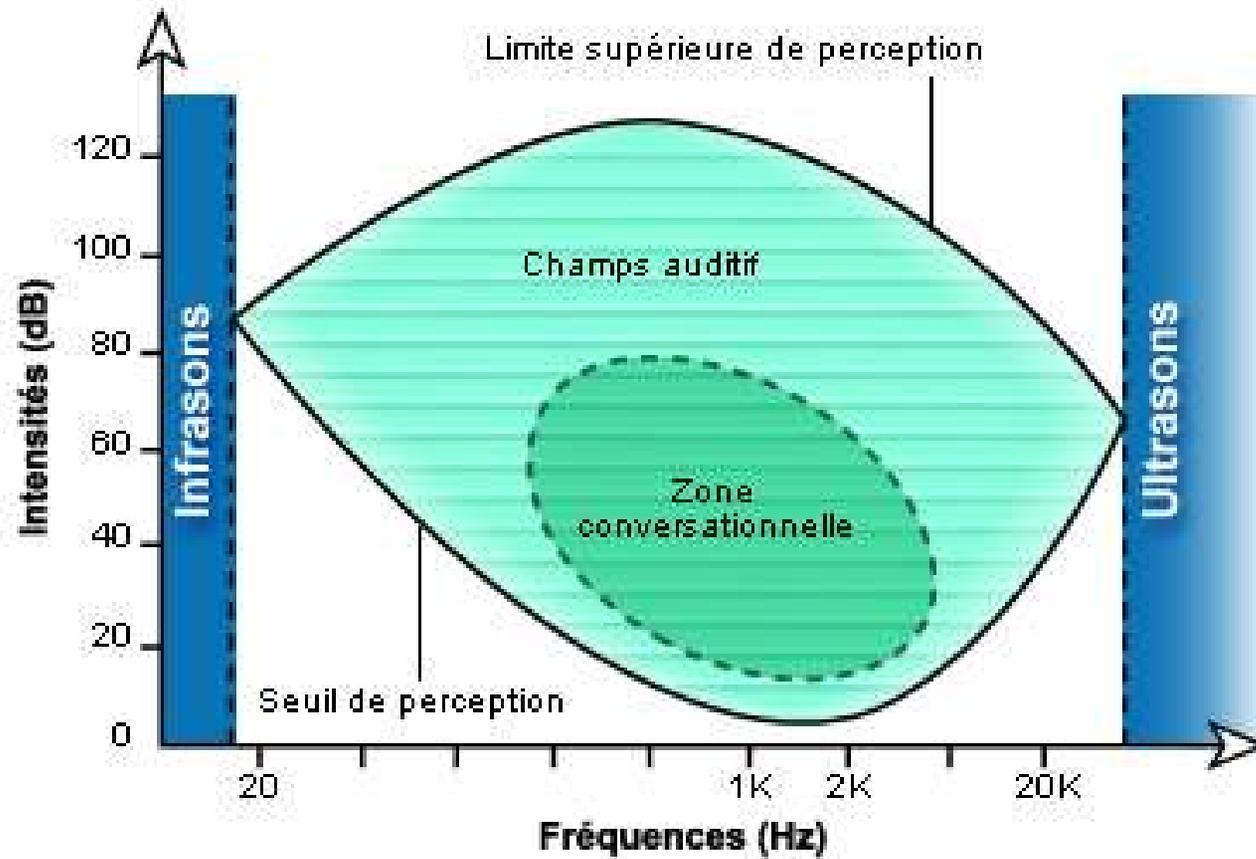


Sons fort et faible



Son grave 300 Hz
(fréquence basse)

Le son



Grave



Aiguë

40 kHz

160 kHz



Son : Influence du milieu

Vitesse de propagation = $f(\text{milieu})$ (m.s^{-1})

Paramètres : compressibilité (aptitude à reprendre la forme originale après déformation) et la masse volumique.

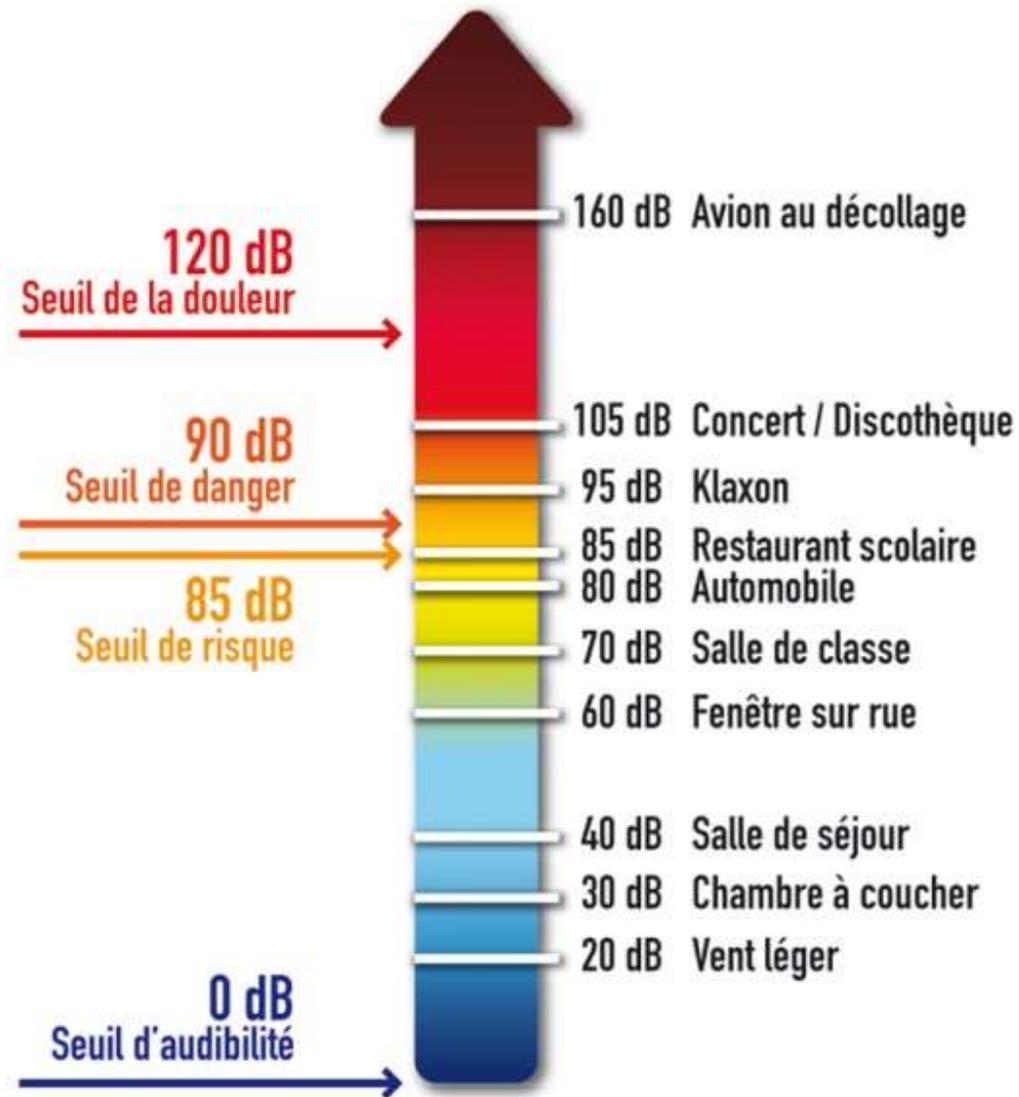
Dans l'air: vitesse = 343m.s^{-1}

Dans d'autres milieux

Dans l'eau: 1500 m.s^{-1} . Dans l'os: 3500 m.s^{-1} . Dans l'acier 6000 m.s^{-1}



Le son



« 20% des jeunes souffriraient aujourd'hui de problèmes préfigurant une surdité précoce ».

I. Le système auditif

1. *Le son: stimulus auditif*

2. Oreille externe

3. Oreille moyenne

4. Oreille interne

II. Transduction du signal sonore

1. Les cellules ciliées

2. La transduction mécano-électrique

3. Amplification du signal

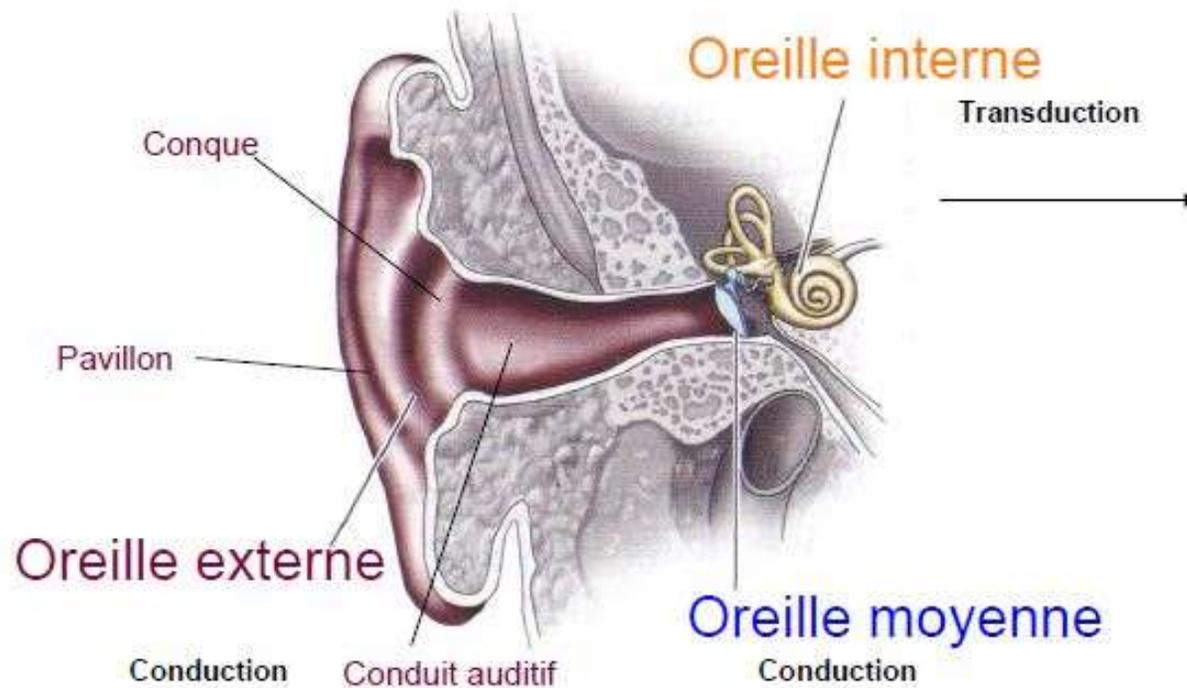
III. Audition : Voies centrales et intégration

1. Les relais

2. Le cortex auditif primaire et secondaire

III. Le système vestibulaire

Oreille externe



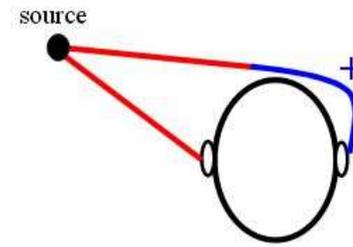
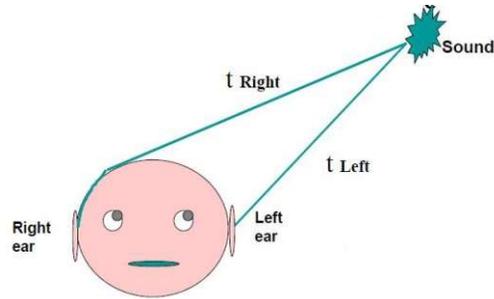
Capture
Conduction
Amplification





Pavillon: recueille les ondes sonores de façon directionnelle. Localisation du son.

Oreilles externes: localisation sonore



Temps interaural: sons n'arrivent pas aux 2 oreilles en même temps. Distance entre les 2 oreilles: 20 cm; Δt séparant l'arrivée du son peut atteindre 0,6 ms.

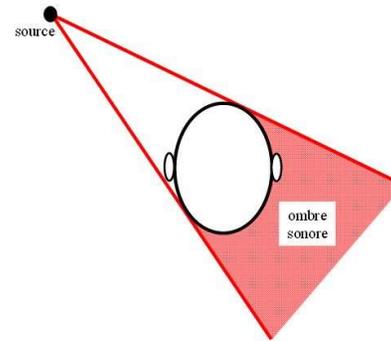
Atténuation du son: surtout pour les fréquences élevées
Déphasage de l'onde entre les 2 oreilles.



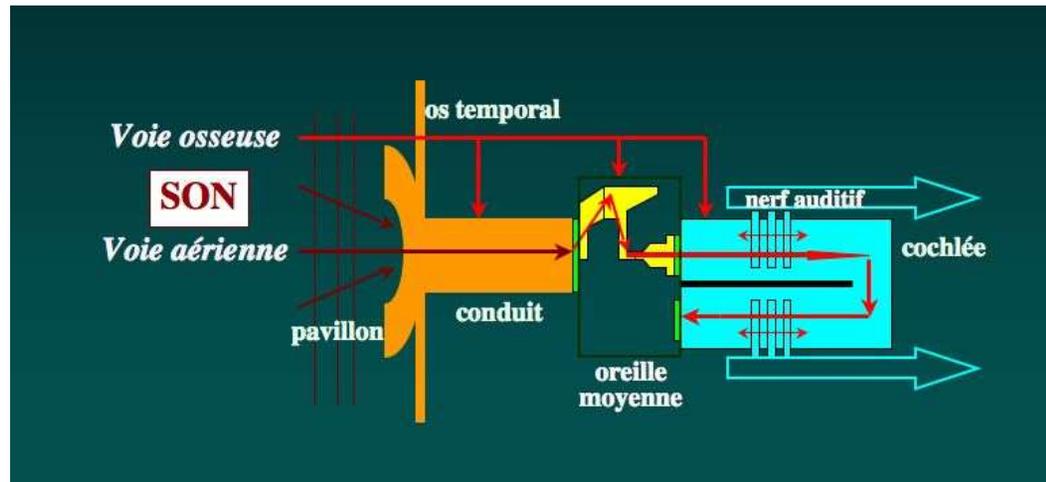
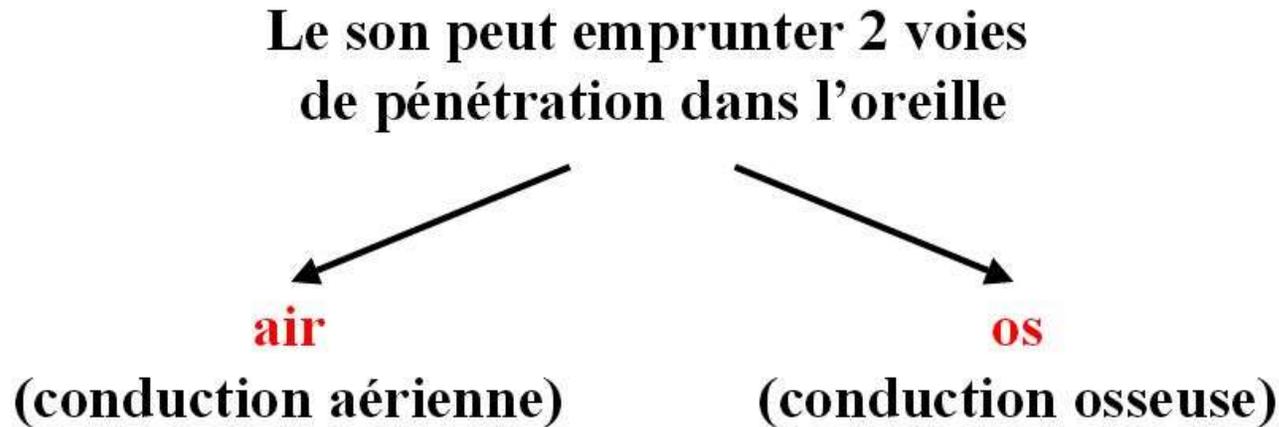
Identification de l'angle que fait la source sonore avec l'axe des oreilles.

Localisation sonore

Animaux ont souvent des oreilles aux pavillons mobiles.
Homme peut incliner la tête dans la direction du son.

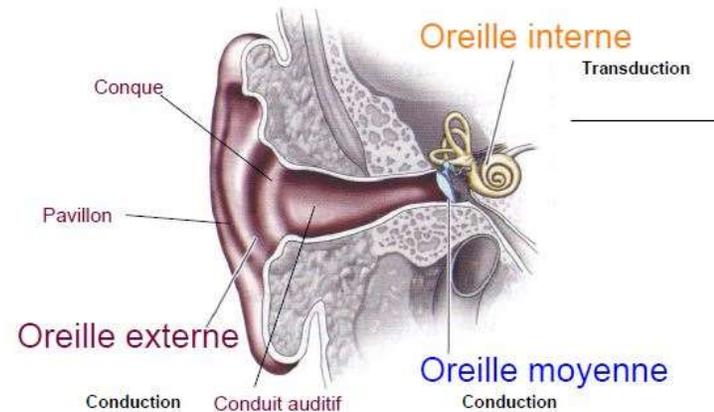


Audition fait aussi intervenir la conduction osseuse :
ostéophonie

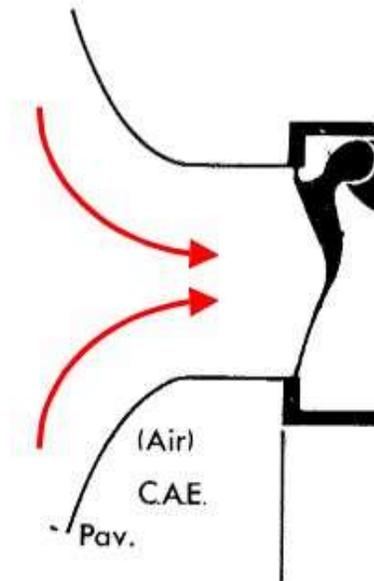


Os du crâne transmettent plus vite et mieux les basses fréquences que l'air (voix enregistrée, casques conduction osseuse, appareils auditifs)....

Oreille externe

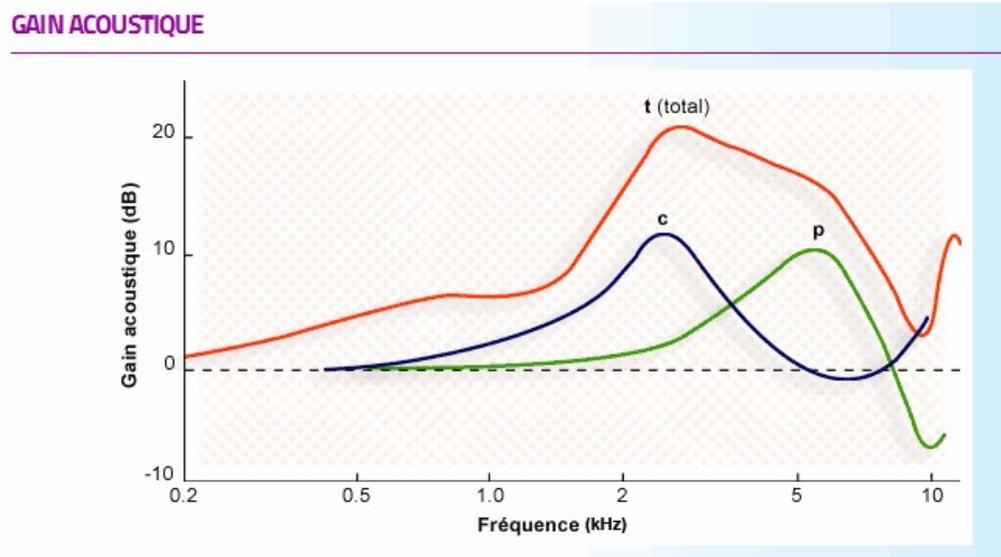


Conduit auditif externe: transforme les ondes sphériques en ondes planes. Transmet les ondes sonores jusqu'au tympan.



Oreille externe

Amplification: varie avec l'incidence des ondes sonores.
Maximale quand émise latéralement dans l'axe du conduit auditif externe.



Conduit
Pavillon

Gain de 10 à 20 dB

I. Le système auditif

1. *Le son: stimulus auditif*

2. *Oreille externe*

3. Oreille moyenne

4. Oreille interne

II. Transduction du signal sonore

1. Les cellules ciliées

2. La transduction mécano-électrique

3. Amplification du signal

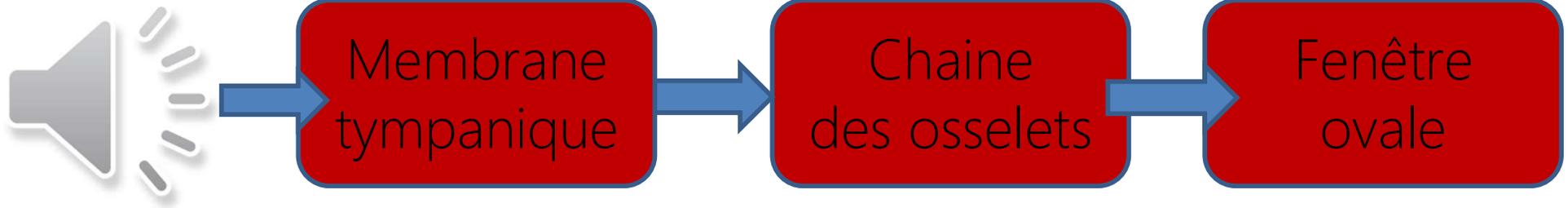
III. Audition : Voies centrales et intégration

1. Les relais

2. Le cortex auditif primaire et secondaire

III. Le système vestibulaire

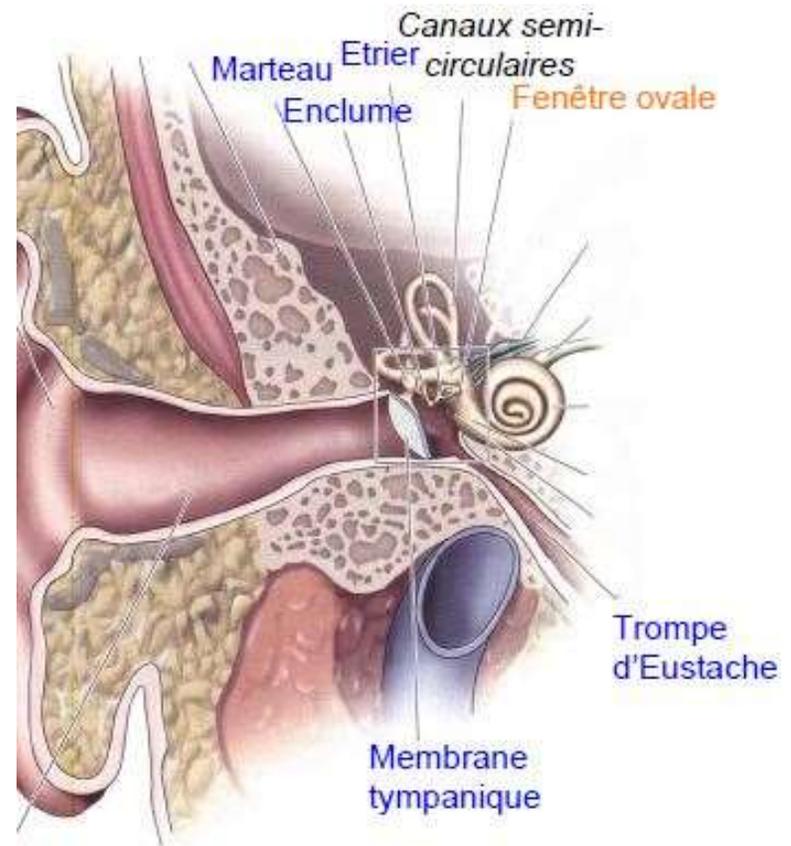
Oreille moyenne



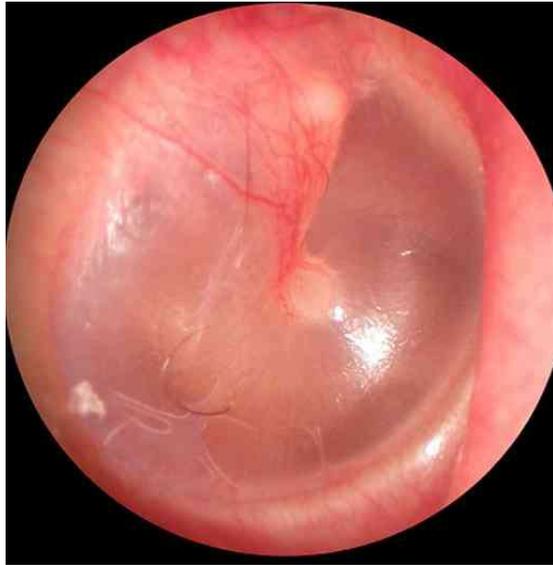
Oreille moyenne

Transfert des pressions acoustiques (ondes sonores) aux fluides et structures de l'oreille interne

Conduction
Adaptateur d'impédance
Protection



Oreille moyenne

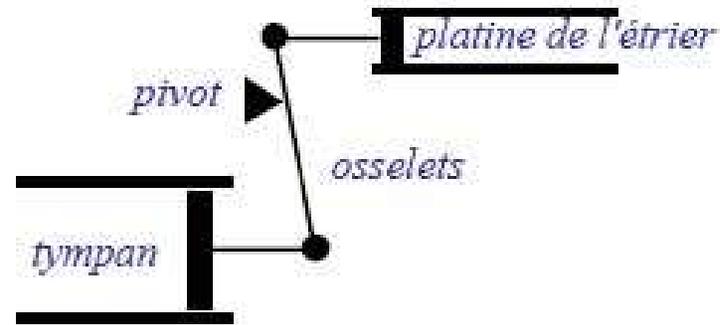
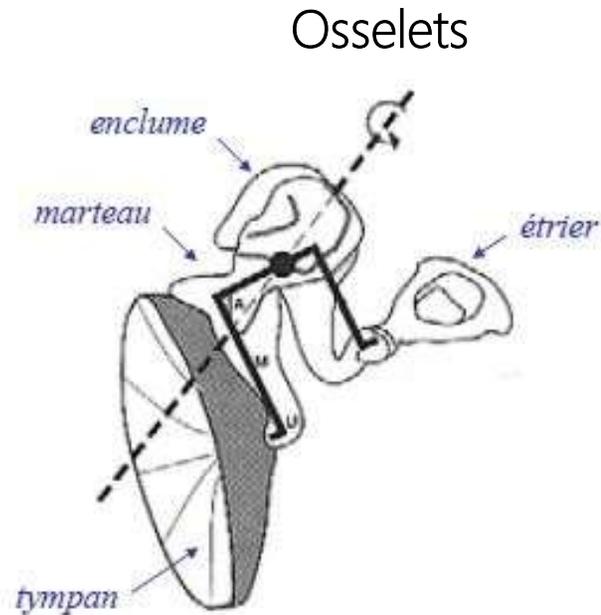


10 mm de diamètre,
0,1 mm d'épaisseur

Membrane tympanique

Tympan vibre sous l'action des ondes sonores. Grand déplacement d'air (compressible).

Oreille moyenne



Adaptation d'impédance

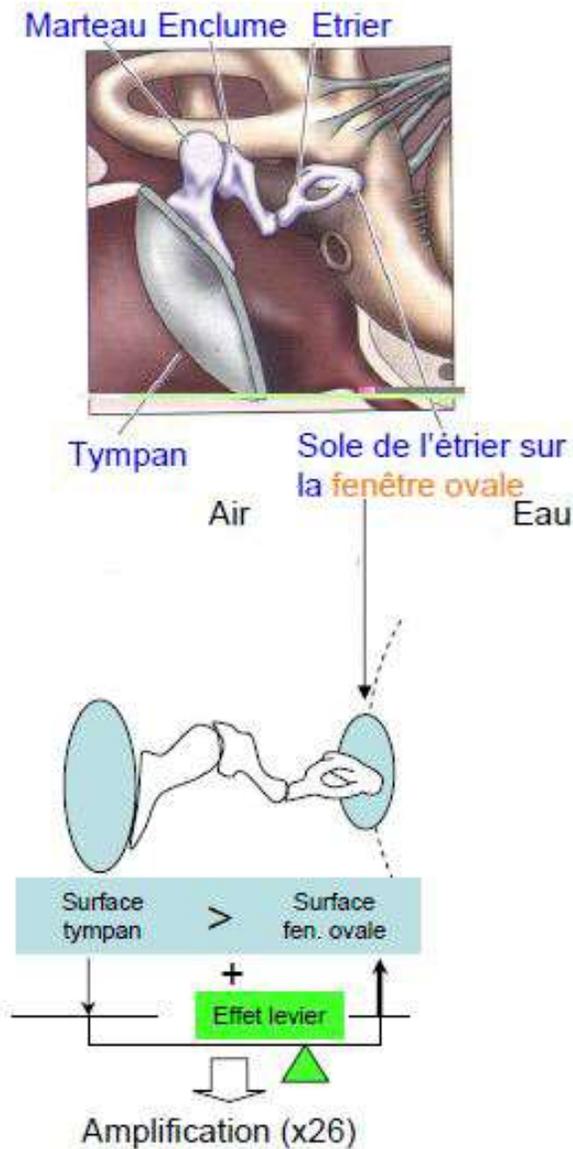
Grand déplacement et faible pression (air compressible), petit déplacement et forte pression (liquide moins compressible)

Conduction

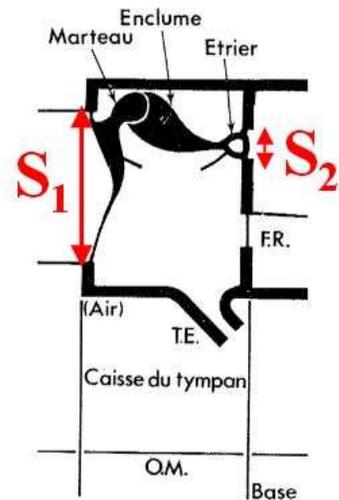
Adaptateur d'impédance

Impédance acoustique d'un milieu : résistance du milieu au passage d'une onde.

Oreille moyenne



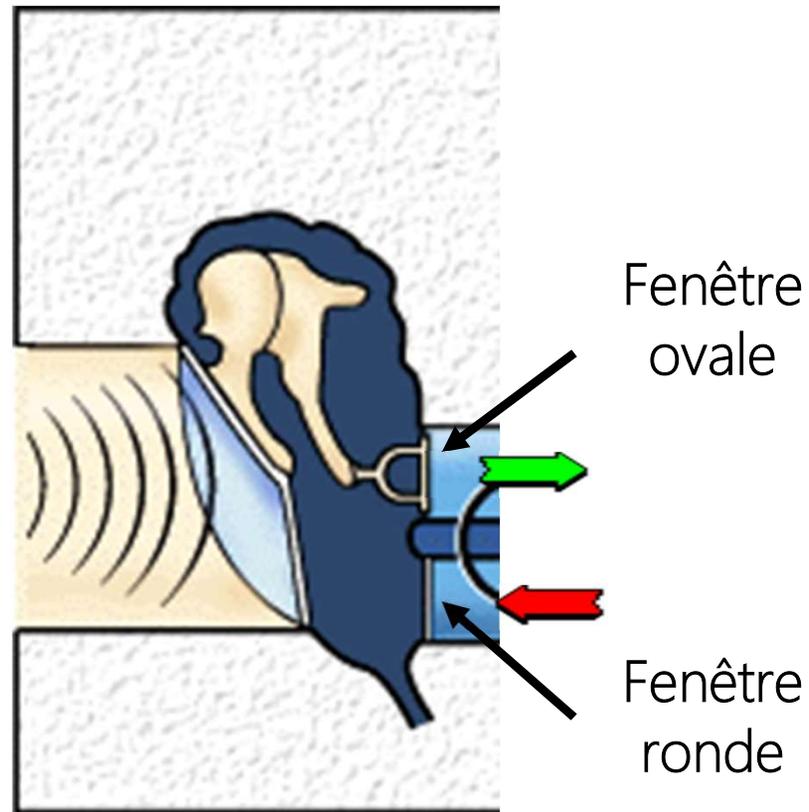
Effet de levier entre le marteau et l'enclume.



Diminution de l'amplitude et augmentation de la pression

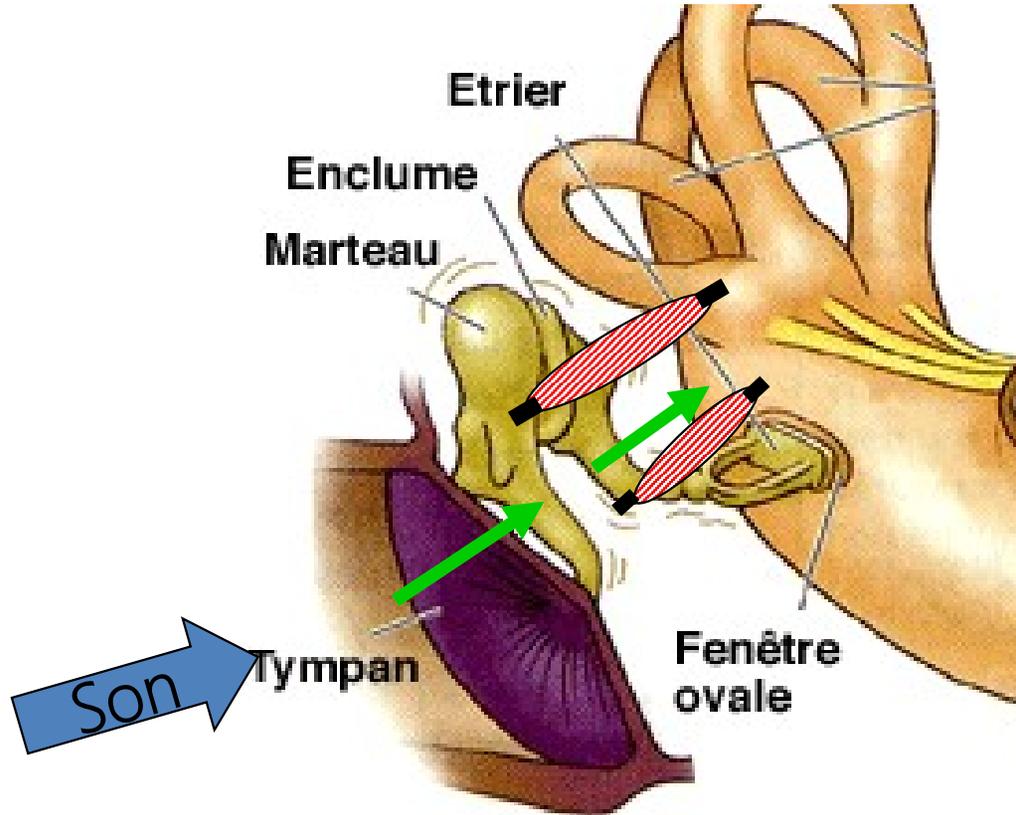
Amplification: transmission des sons d'une grande surface (tympan: 50 mm²) vers une petite surface (fenêtre ovale: 3 mm²).

Oreille moyenne



La chaîne des osselets amplifie les vibrations en les concentrant sur la fenêtré ovale de la cochlée

Oreille moyenne



Sons intenses: > 80 dB.
Réflexe polysynaptique.
Contractions réflexes.
Atténuation acoustique
de 10 dB.

Sons trop forts, les muscles stapédiens de l'OM se contractent pour limiter les mouvements du tympan et des osselets = réflexe d'atténuation protégeant l'oreille interne = réflexe stapédien.

I. Le système auditif

1. Le son: stimulus auditif

2. Oreille externe

3. Oreille moyenne

4. Oreille interne

II. Transduction du signal sonore

1. Les cellules ciliées

2. La transduction mécano-électrique

3. Amplification du signal

III. Audition : Voies centrales et intégration

1. Les relais

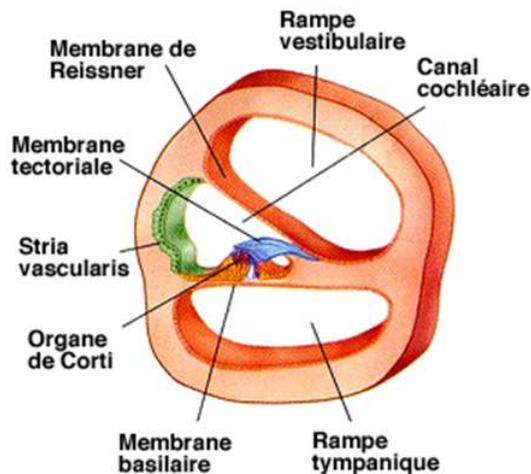
2. Le cortex auditif primaire et secondaire

III. Le système vestibulaire

Cochlée

3 compartiments:

- Rampe vestibulaire
- Compartiment ou canal cochléaire
- Rampe tympanique

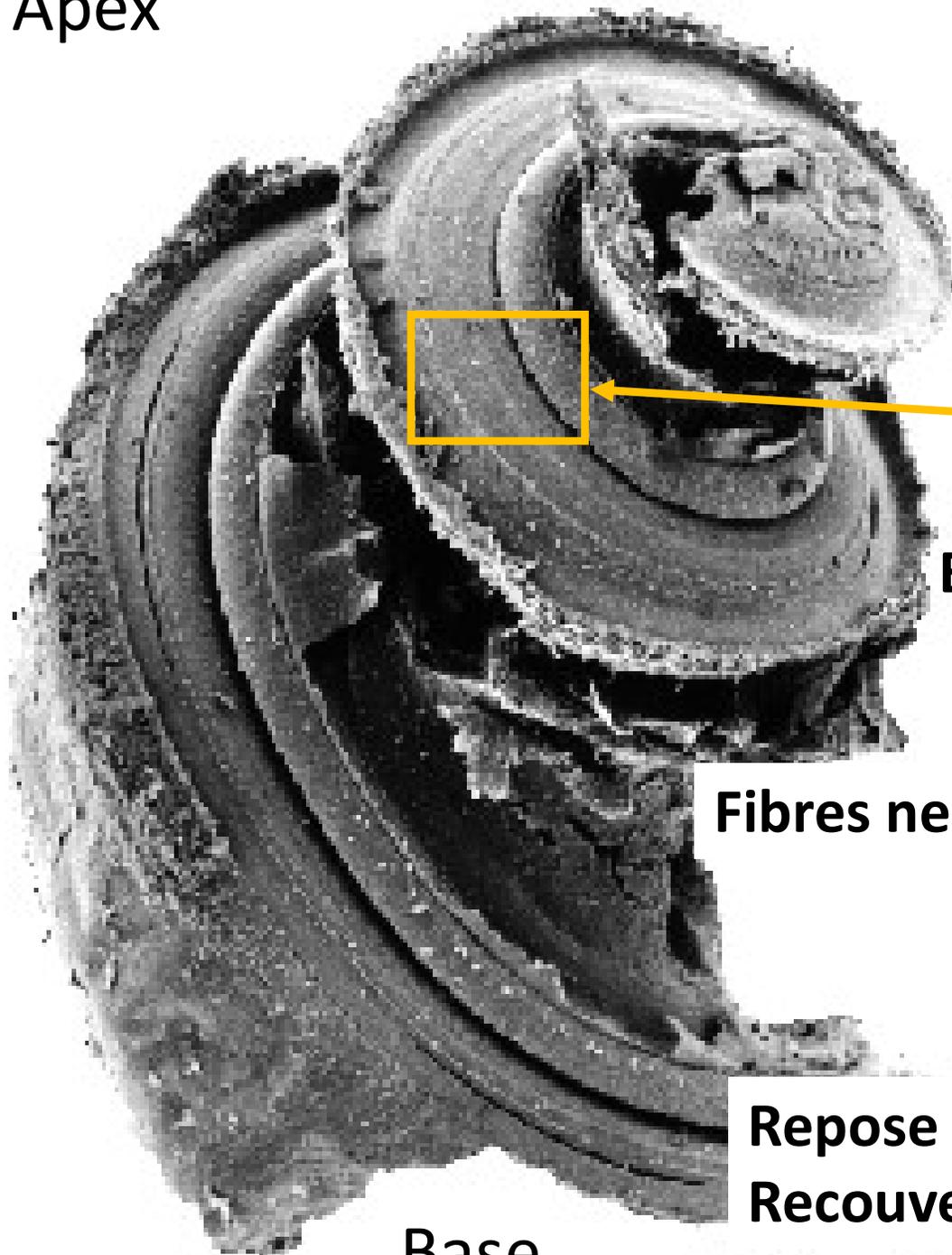


Canal cochléaire : contient l'endolymphe sécrétée par la stria vasculaire

Organe de Corti: recouvert par la membrane tectoriale flottant dans l'endolymphe.

Transformation des ondes sonores en influx nerveux.
Rôle d'analyseur mécanique de fréquence

Apex



Organe de Corti

Epithélium neurosensoriel spiralé

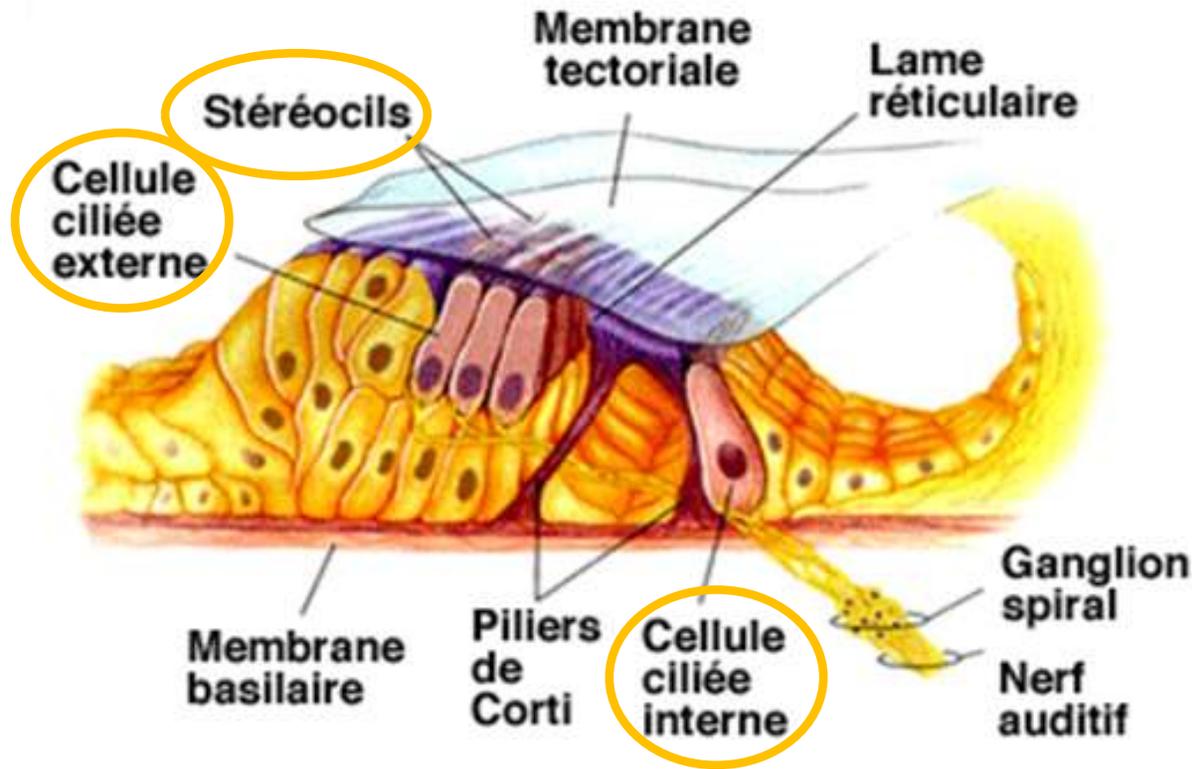
Fibres nerveuses

Cellules sensorielles
Cellules ciliées
Internes et externes

Repose sur la membrane basilaire
Recouvert par la membrane tectoriale

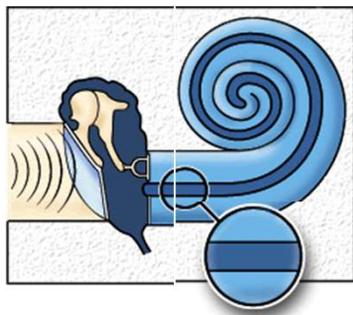
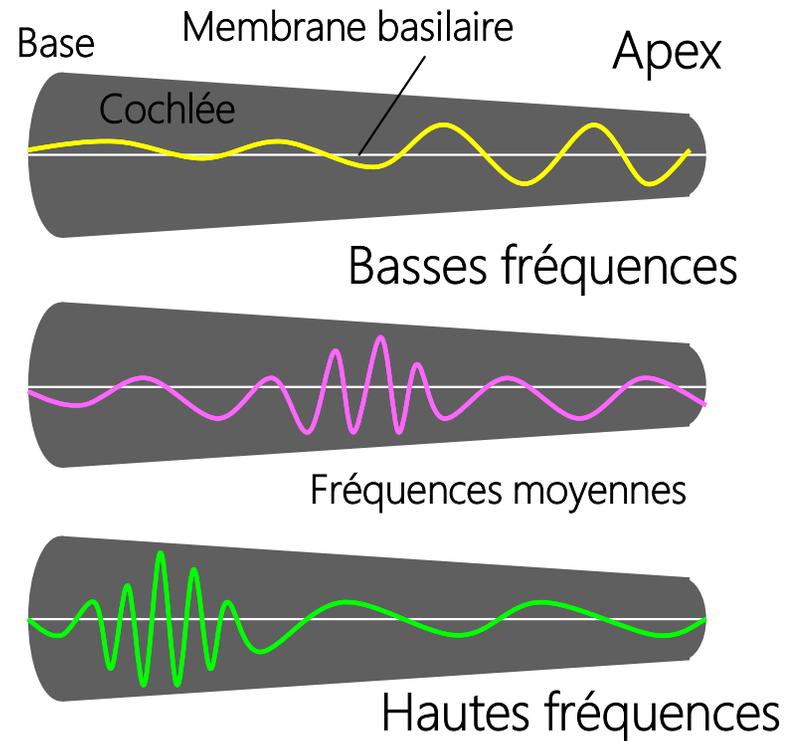
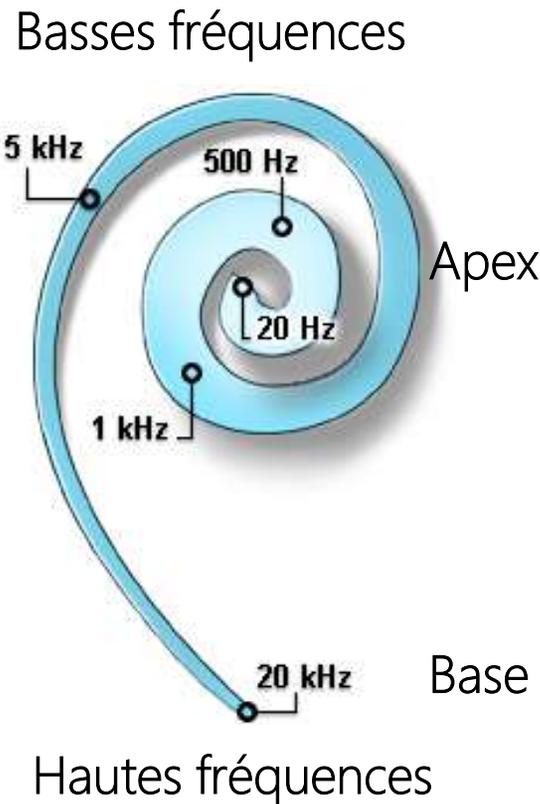
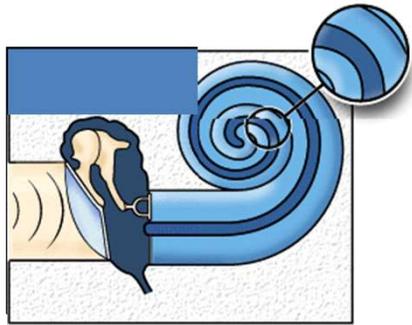
Base

Organe de Corti. Organe neuro-sensoriel de la cochlée



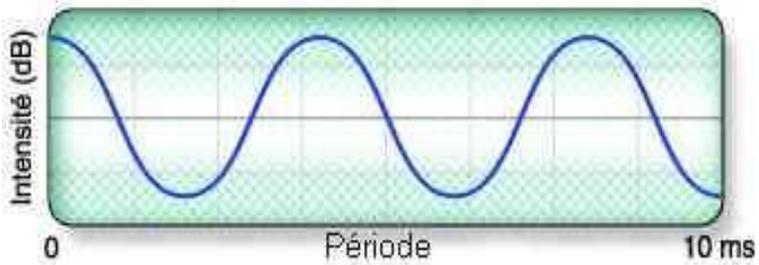
- cellules sensorielles: cellules ciliées, 30 000
- fibres nerveuses
- structures de support.

f(fréquence): vibration à un effet maximal (résonance) sur une portion différente de la membrane basilaire.

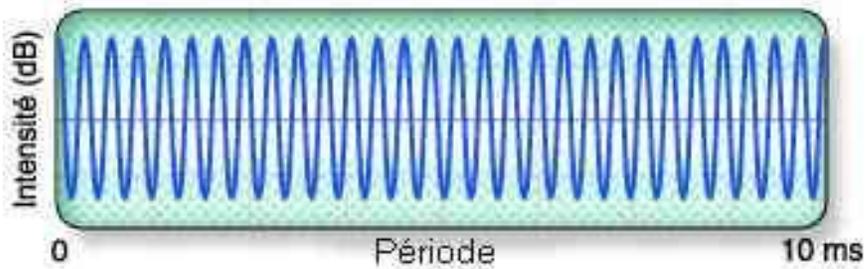


Tonotopie cochléaire

Fréquences graves



Fréquences aiguës



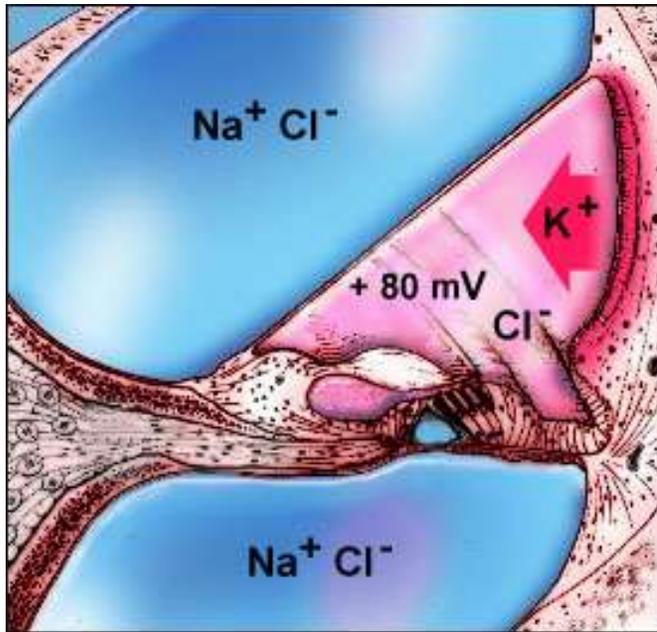
Apex



Base

Fluides cochléaires

Cochlée: 3 tubes emplis de liquides: périlymphe pour les rampes tympanique et vestibulaire, endolymphe pour le canal cochléaire.



Périlymphe (bleu) et endolymphe (rouge) composition ionique différente.

Périlymphe: composition proche des autres liquides extra cellulaires dont le LCR.

Endolymphe: très riche en K^+ . Potentiel endolymphatique de + 80 mV. Seuls les stéréocils de l'O de Corti baignent.

I. Le système auditif

1. Le son: stimulus auditif

2. Oreille externe

3. Oreille moyenne

4. Oreille interne

II. Transduction du signal sonore

1. Les cellules ciliées

2. La transduction mécano-électrique

3. Amplification du signal

III. Audition : Voies centrales et intégration

1. Les relais

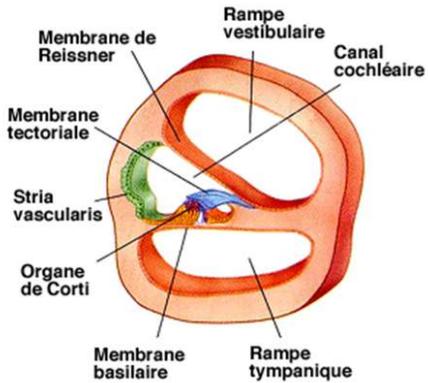
2. Le cortex auditif primaire et secondaire

III. Le système vestibulaire

Organe de Corti

Rampe vestibulaire :
pérlimpe

Canal cochléaire :
Endolympe
150 mM K⁺



Mb de Reissner

Mb tectoriaie

Cils

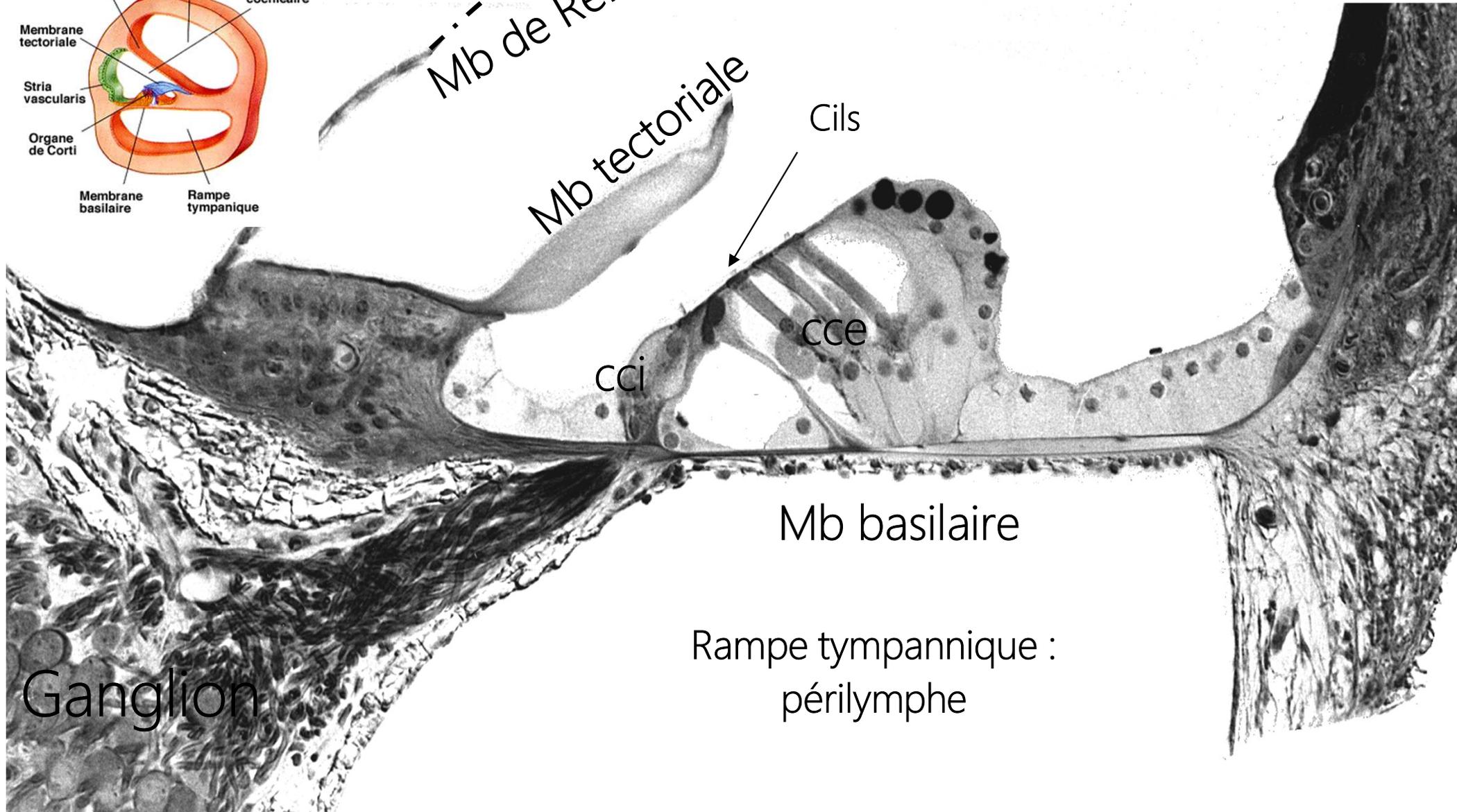
cce

cci

Mb basilaire

Rampe tympannique :
pérlimpe

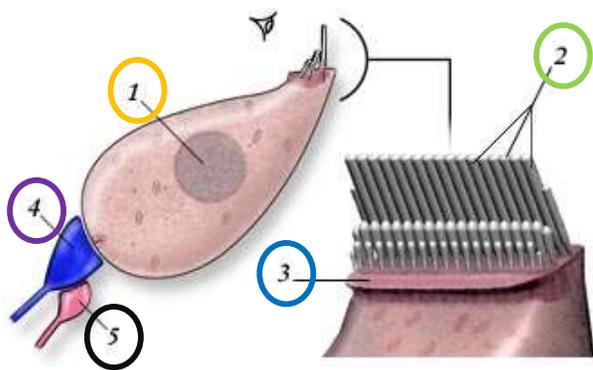
Ganglion



Cellules ciliées et organisation des touffes ciliaires

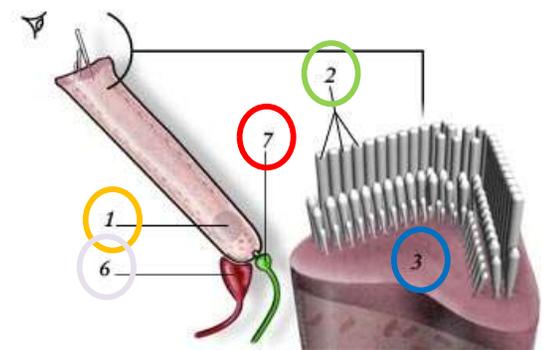
Pôle apical des CC en contact avec l'endolymphe; avec une centaine de stéréocils de tailles différentes.

CCI et CCE diffèrent par la forme de leur corps cellulaire et l'arrangement des stéréocils (en ligne pour la CCI et en W pour la CCE).



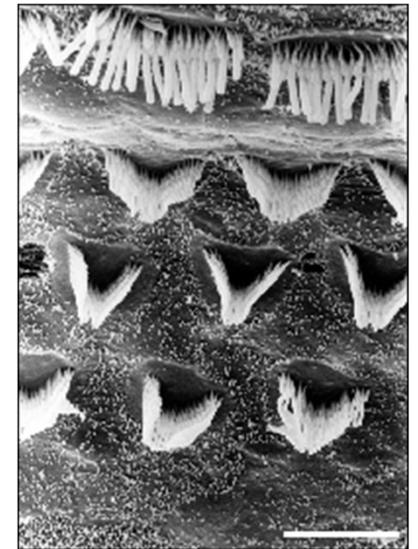
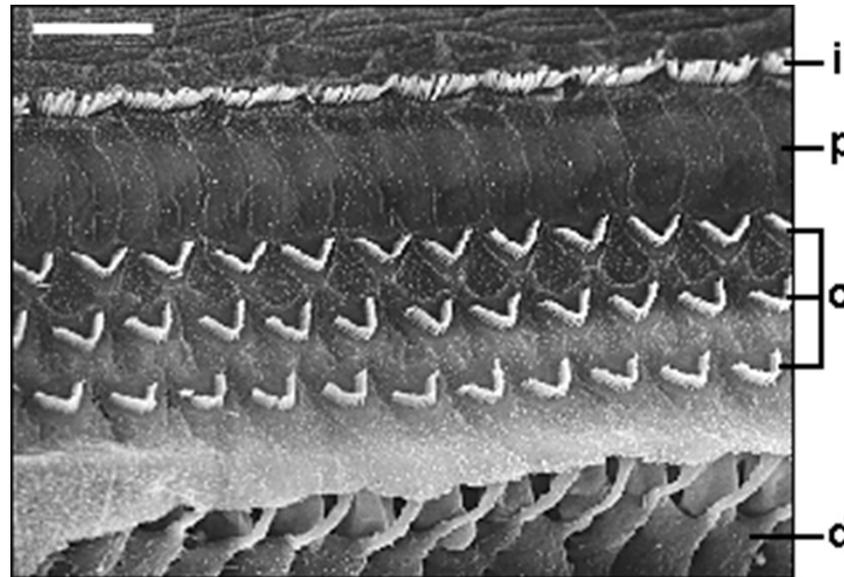
3 000 CCI

1. Noyau
2. Stéréocils
3. Plaque cuticulaire
4. Nerf auditif (neurone I)
5. Efférence latérale
6. Efférence médiane
7. Nerf auditif (neurone II)



9 000 CCE

Cellules ciliées et organisation des touffes ciliaires



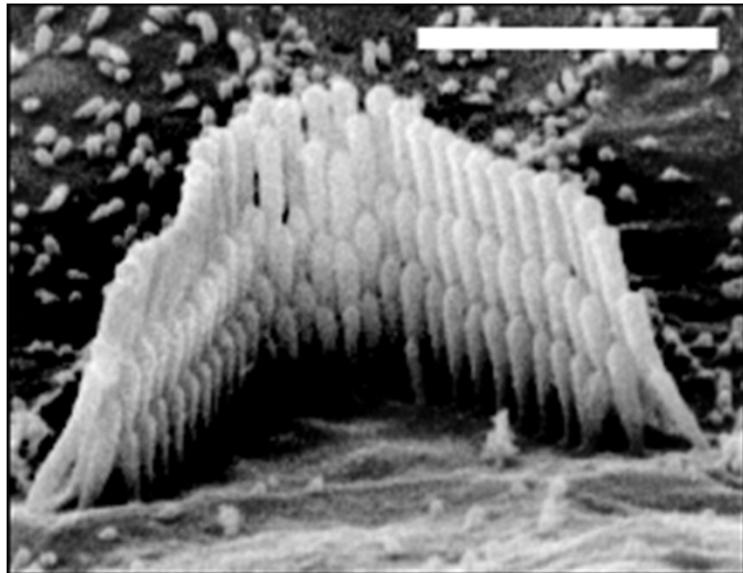
3 fois plus de CCE que de CCI

Stéréocils des cellules ciliées



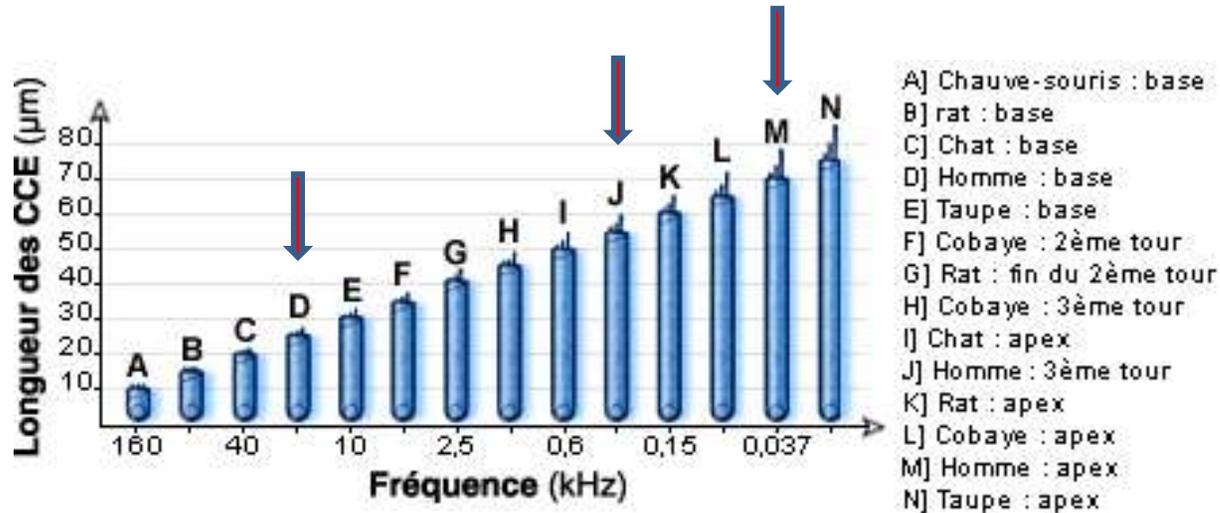
CCI (en ligne)

3 rangées de stéréocils de grande, moyenne et petite taille. Implantés sur la plaque cuticulaire.



CCE (en W)

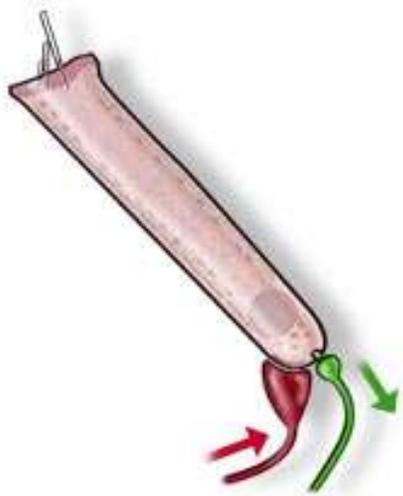
Cellule ciliée externe



- A) Chauve-souris : base
- B) rat : base
- C) Chat : base
- D) Homme : base
- E) Taupe : base
- F) Cobaye : 2ème tour
- G) Rat : fin du 2ème tour
- H) Cobaye : 3ème tour
- I) Chat : apex
- J) Homme : 3ème tour
- K) Rat : apex
- L) Cobaye : apex
- M) Homme : apex
- N) Taupe : apex

Ht fréquence
Aigües
BASE

Basse fréquence
Graves
APEX



La longueur des cils des CCEs augmente de la base à l'apex.