

Le Système Auditif

→ cours Neurophysiologie

Pauline Neveu, PhD

docteur en biologie

Plan

1-Les ondes sonores

2-Localisation et structure

3-Transduction

4-Voies auditives

5-Troubles auditifs

1-Les ondes sonores

1.1-Définition

Une onde sonore est une onde de pression générée par les vibrations des molécules d'air



Le mot « son » est ambigu; il désigne à la fois:

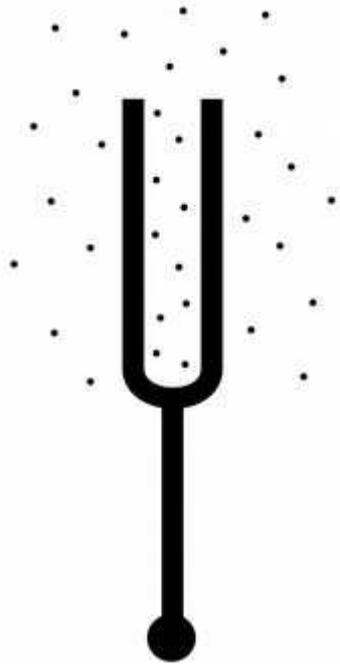
Roger McLassus, CC BY-SA 3.0
<<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons

- un phénomène physique: l'onde de pression (onde sonore)
- un phénomène biologique: la perception auditive

1-Les ondes sonores

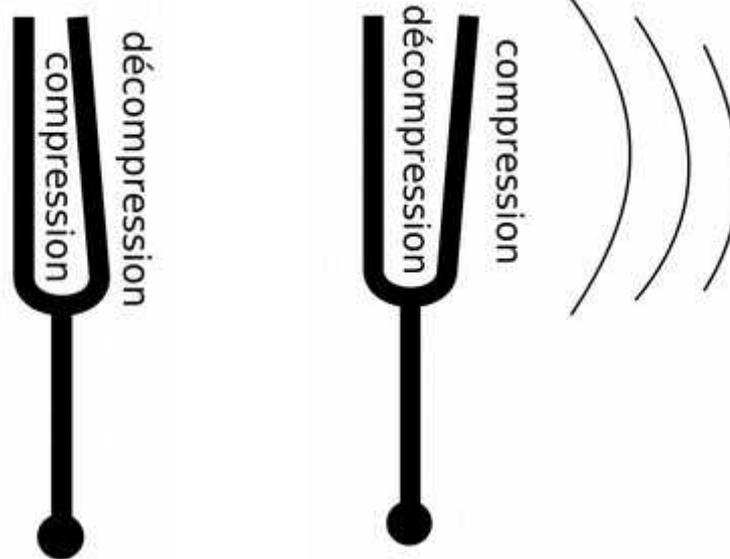
1.1-Définition

Ex: le diapason



immobile, les
particules d'air sont
distribuées de façon
homogène

frappé, sa branche
oscille



Les ondes liées aux changements de
pression des molécules d'air
correspondent aux ondes sonores

1-Les ondes sonores

1.2-Propriétés

Trois caractéristiques:

-la fréquence

-l'amplitude

-la complexité

1-Les ondes sonores

1.2-Propriétés

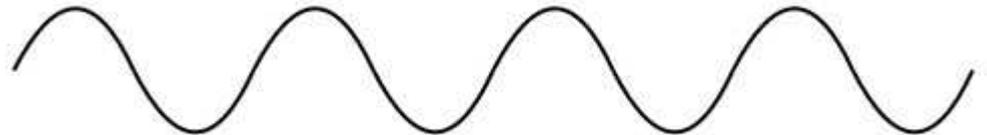
1.2.1-La fréquence

→ nombre de cycles de l'onde par seconde

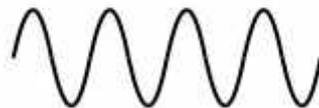
→ s'exprime en Hertz

→ la fréquence correspond à la perception de hauteur tonale, ainsi, une onde sonore:

-de basse fréquence est perçue comme un son grave



-de haute fréquence est perçue comme un son aigu

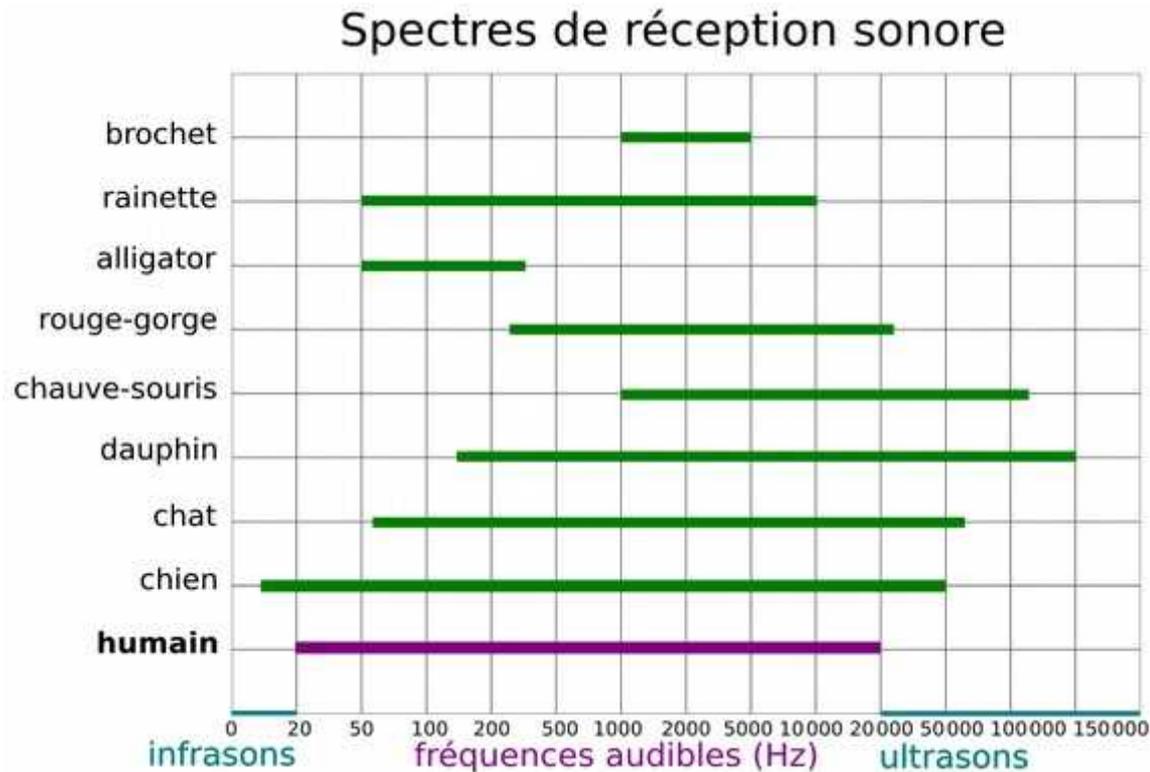


1-Les ondes sonores

1.2-Propriétés

1.2.1-La fréquence

Les humains perçoivent les sons compris entre 20 Hz et 20 000 Hz



1-Les ondes sonores

1.2-Propriétés

1.2.2-L'amplitude

→ amplitude d'oscillation des particules d'air par rapport à leur position de repos

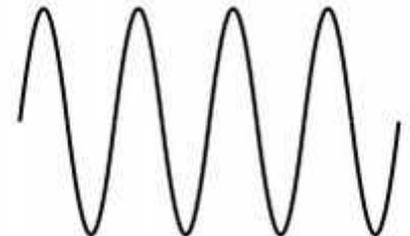
→ reflète la quantité d'énergie de l'onde

→ l'amplitude correspond à la perception de l'intensité sonore (volume), habituellement mesurée en décibels (dB) , ainsi, une onde sonore:

-de faible amplitude est perçue comme un son faible



-de forte amplitude est perçue comme un son fort



1-Les ondes sonores

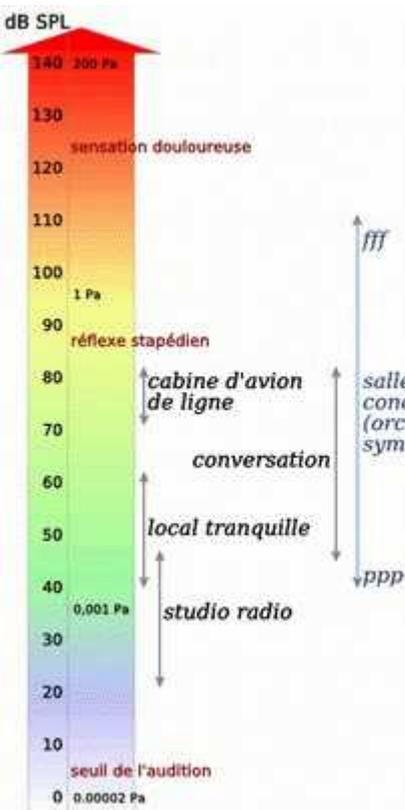
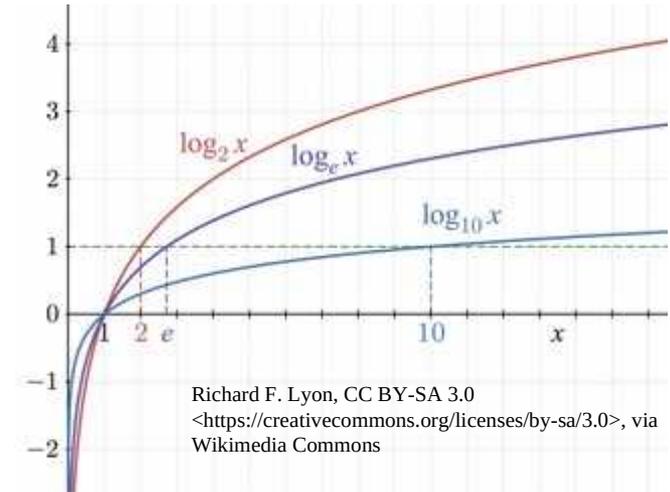
1.2-Propriétés

1.2.2-L'amplitude

Attention, les décibels sont logarithmiques!

$$\text{nombre dB} = 20 \log(P_x / P_{\text{seuil}})$$

→ prise en compte de la perception de l'oreille humaine (Pression seuil = $0.0002 \cdot 10^{-5} \text{N/cm}^2$)



120 dB(A) = sensation douloureuse

80 dB(A) = seuil de nocivité (pour exposition 8h/j)

50 dB(A) = niveau habituel de conversation

0 dB(A) = intensité la plus faible que l'humain peut percevoir

Pour en savoir plus sur le bruit :

<https://www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html>

Murmure :

$0.002 \cdot 10^{-5} \text{N/cm}^2$

20dB

Avion :

$200 \cdot 10^{-5} \text{N/cm}^2$

120dB

Rapport pression:

100 000

Rapport dB :

6

1-Les ondes sonores

1.2-Propriétés

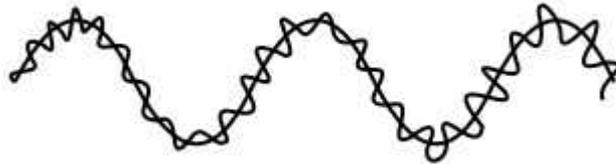
1.2.3-La complexité

Un son peut être:

-pur: composé d'une seule fréquence



-complexe: composé de plusieurs fréquences



La complexité correspond à la perception de timbre

1-Les ondes sonores

1.3-La perception du son

La tâche du système auditif consiste à convertir les changements de pression de l'air associés aux ondes sonores en activité nerveuse

Cette activité nerveuse est véhiculée jusqu'au cerveau qui la convertit en sons

Sans cerveau, il n'y a pas de son...



Roger McLassus, CC BY-SA 3.0
<<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons

2-Localisation et structure

2.1-L'oreille

L'oreille comprend trois parties:

-l'oreille externe:

-pavillon (accroît l'efficacité de certains sons; rôle localisation sonore et thermorégulation)

-conduit auditif (25mm de long pour 8mm de diamètre)

séparées

par le →

tympan -l'oreille moyenne (caisse tympanique): trois osselets:

-marteau

(transmettent les vibrations, en les amplifiant)

-enclume

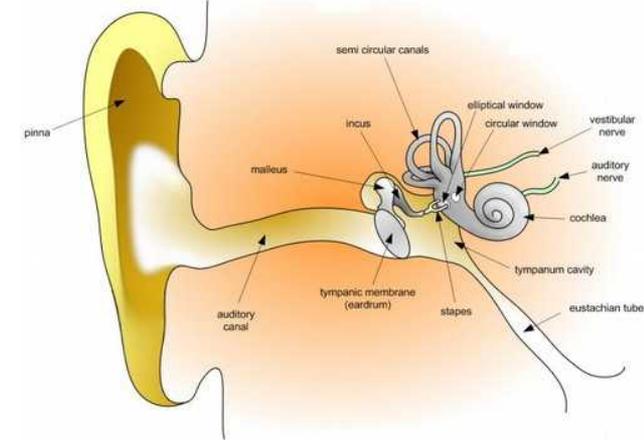
(des muscles peuvent moduler leur position et diminuer la transmission des vibrations)

-étrier

-l'oreille interne ou labyrinthe:

-la cochlée ou limaçon, c'est l'oreille auditive

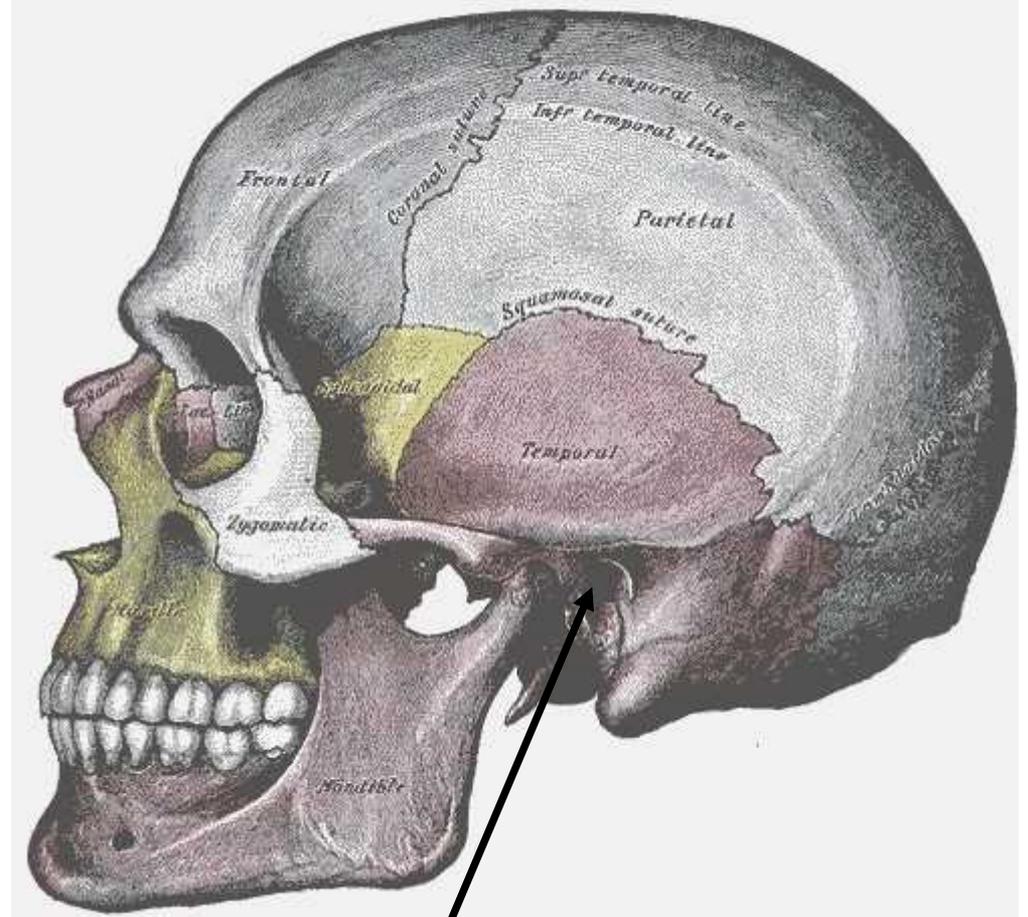
-le système vestibulaire, c'est l'oreille de l'équilibre



2-Localisation et structure

2.1-L'oreille

L'oreille interne est située au niveau de la tête, au sein de l'os temporal



Henry Vandyke Carter, Public domain, via Wikimedia Commons

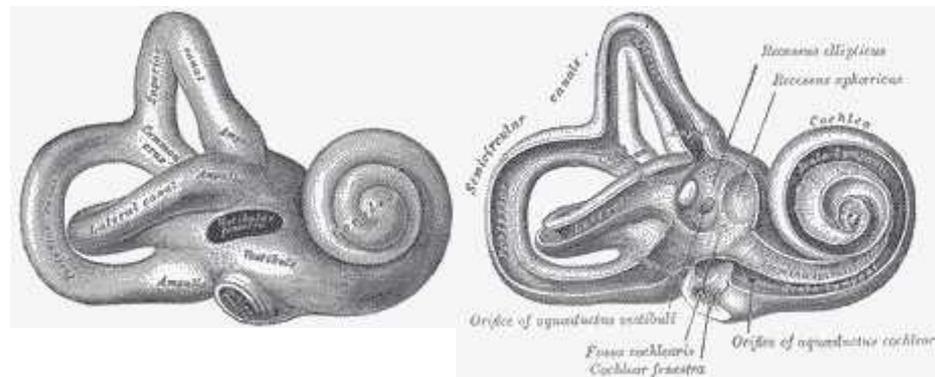
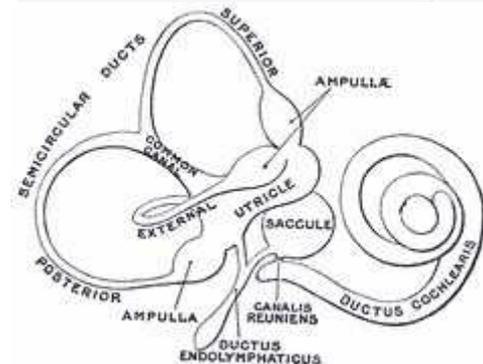
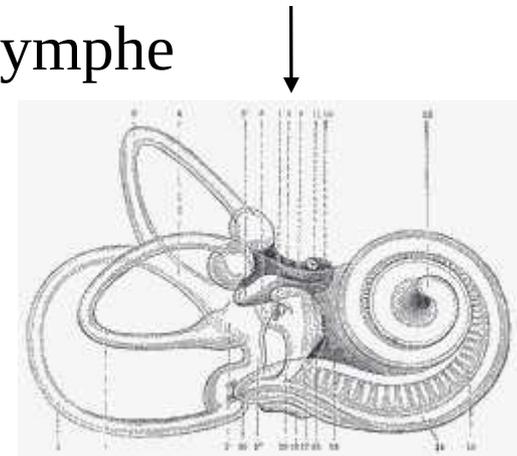
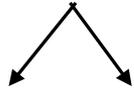
2-Localisation et structure

2.1-L'oreille

L'oreille interne, ou labyrinthe, contient:

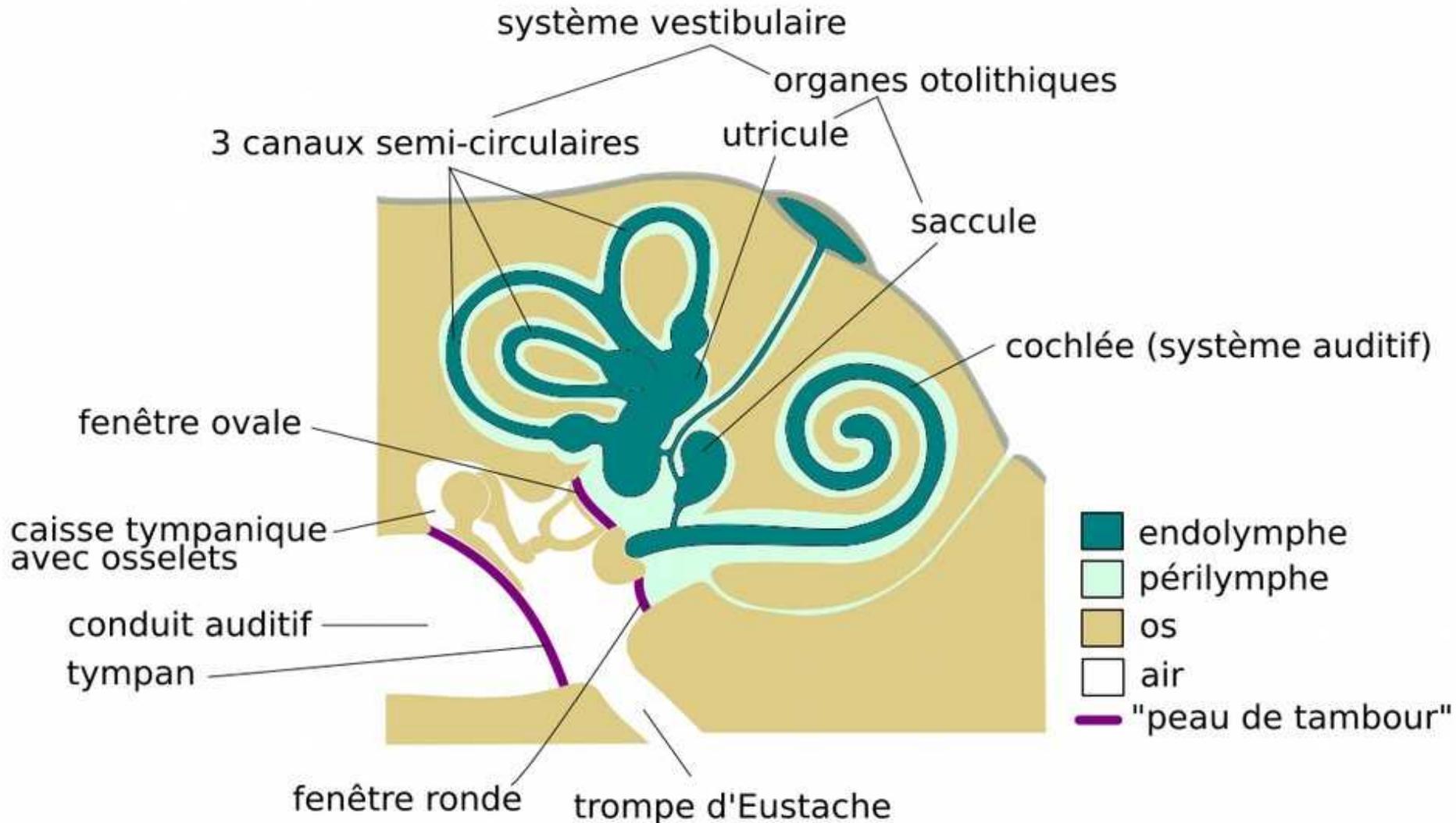
- une coque osseuse (boîte): le labyrinthe osseux : contenant :
 - .liquide : périlymphe
 - .une structure souple : le labyrinthe membraneux
 - creuse : remplie d'un liquide : endolymphe

labyrinthe osseux



2-Localisation et structure

2.2-La cochlée



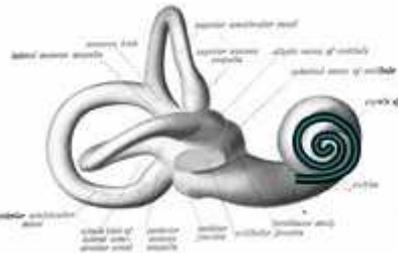
→ la cochlée a la taille d'un petit pois (5mm haut, 7mm long, 2mm large) 15

2-Localisation et structure

2.2-La cochlée

La cochlée est une sorte de tube creux enroulé

→ on comprend mieux sa structure si on l'imagine déroulée



Trois canaux (remplis de liquides) :

- canal vestibulaire
- canal tympanique
- canal cochléaire entre les deux précédents:

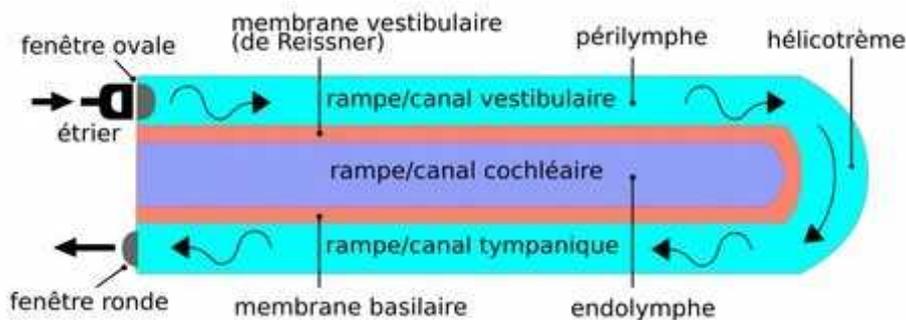
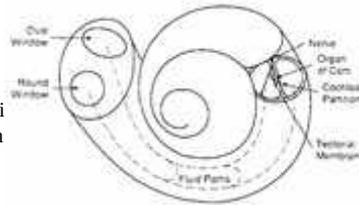
en communication par l'hélicotrème (liquide → périlymphe)

-clos (rempli d'endolymphe)

-contient l'organe de l'audition, organe de Corti ou spiral

d'après Dr. Johannes Sobotta, Public domain, via Wikimedia Commons

Dicklyon at English Wikipedia, Public domain via Wikimedia Common



Deux trous recouverts d'une membrane:

- fenêtre ovale où s'appuie l'étrier
- fenêtre ronde

d'après Possible2006, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons

2-Localisation et structure

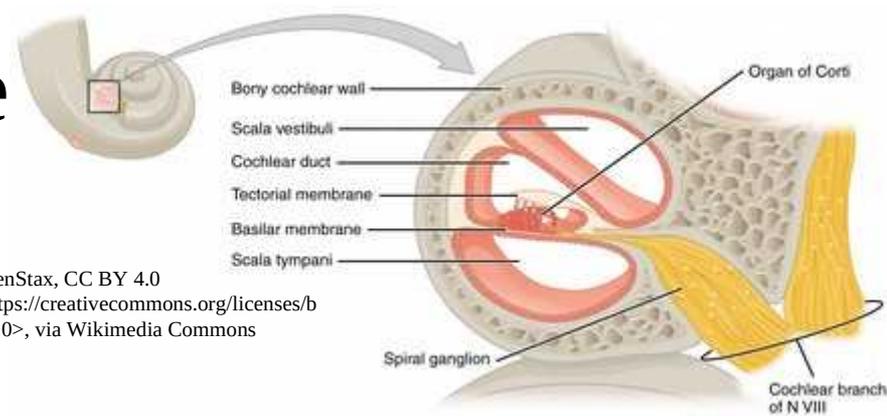
2.2-La cochlée

Trois canaux:

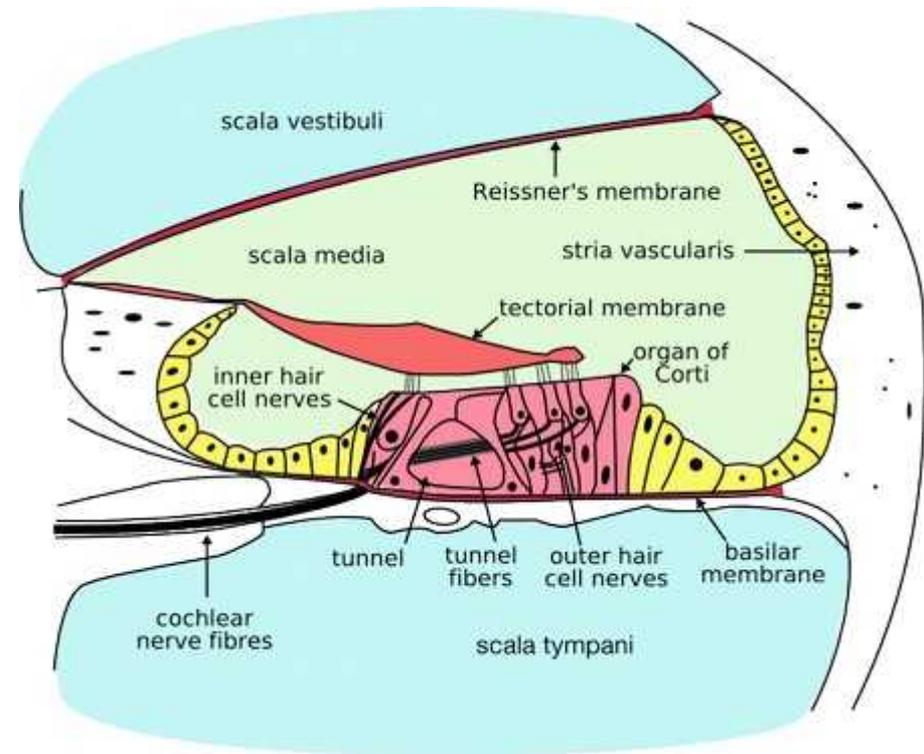
- canal vestibulaire ← membrane vestibulaire
- canal cochléaire ← membrane basilaire
- canal tympanique

Organe de l'audition ou de Corti comprend :

- membrane basilaire
- membrane tectoriale
- cellules sensorielles ciliées (organe de corti 'sens strict')



OpenStax, CC BY 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons



Henry Vandyke Carter, Public domain,
via Wikimedia Commons

The original uploader was Oarih at English Wikipedia., CC BY-SA 3.0
<<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons

2-Localisation et structure

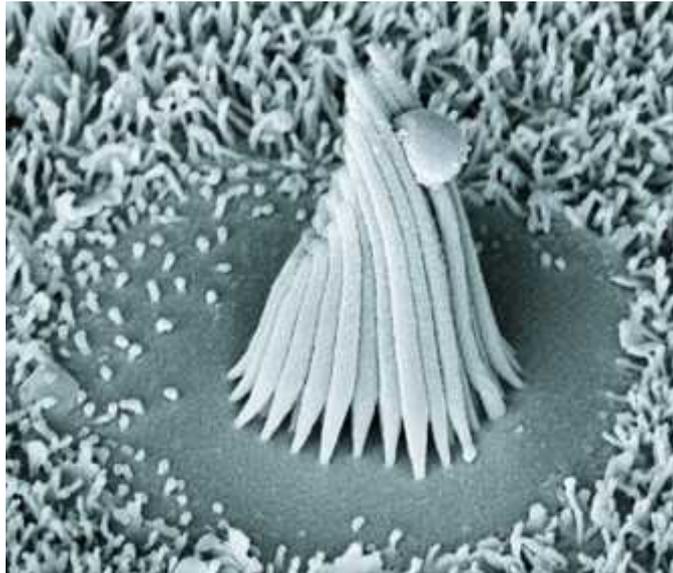
2.3-Les récepteurs des ondes sonores

→ cellules ciliées

Deux types de cils:

-un unique kinocil de grande taille (*véritable cil*)

-une multitude de stéréocils rangés par ordre de taille (*ne sont pas de véritables cils*)



A. James Hudspeth, M.D., Ph.D., CC BY-SA 3.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons

2-Localisation et structure

2.3-Les récepteurs des ondes sonores

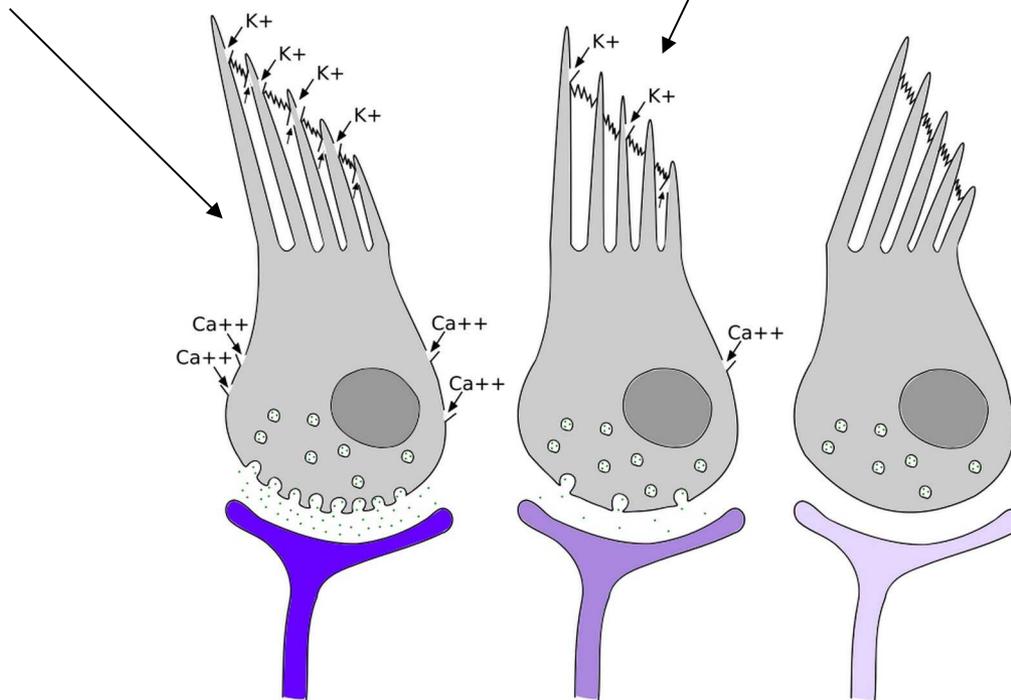
Fonctionnement des cellules ciliées:

-cils non inclinés : activité spontanée: fréquence de décharge de repos

-lorsque les cils s'inclinent, l'activité se modifie:

.inclinaison à l'opposé du kinocil : diminution fréquence de décharge

.inclinaison vers le kinocil : augmentation fréquence de décharge



2-Localisation et structure

2.3-Les récepteurs des ondes sonores

Deux types de cellules ciliées:

-3500 cellules ciliées internes

→ une rangée

→ cils libres

→ une fibre sensorielle contacte une cellule et une cellule reçoit plusieurs fibres

→ récepteurs auditifs

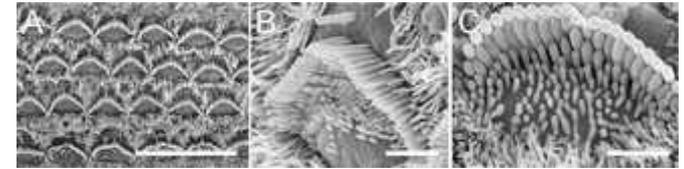
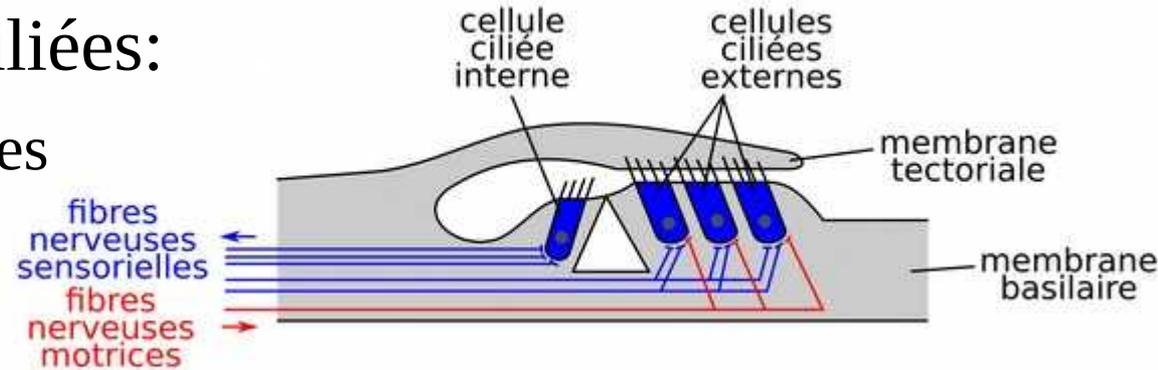
-12000 cellules ciliées externes

→ trois rangées

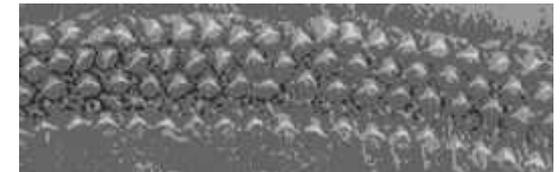
→ cils enchâssés dans la membrane tectoriale

→ une fibre sensorielle contacte plusieurs cellules

→ modulent la réception auditive



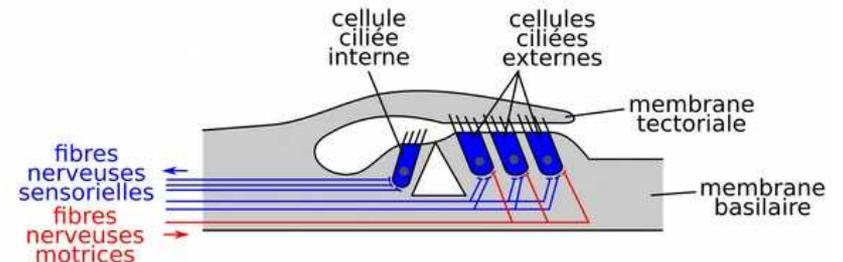
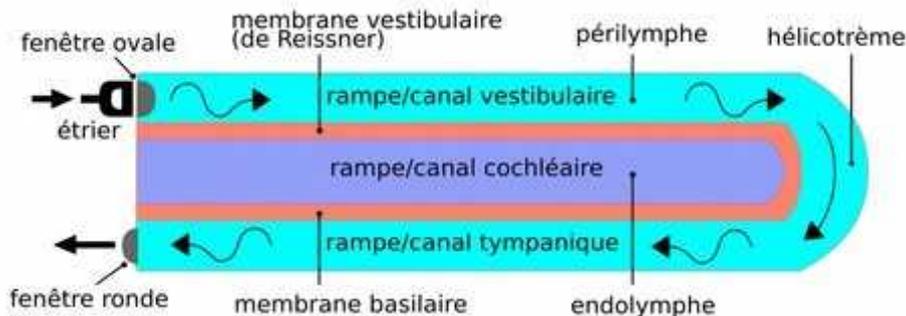
Ronna Hertzano, Ella Shalit, Agnieszka K. Rzadzinska, Amiel A. Dror, Lin Song, Uri Ron, Joshua T. Tan, Alina Starovolsky Shitrit, Helmut Fuchs, Tama Hasson, Nir Ben-Tal, H. Lee Sweeney, Martin Hrabe de Angelis, Karen P. Steel, Karen B. Avraham, CC BY 2.5
<<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/>>, via Wikimedia Commons



Amy E. Kiernan, Jingxia Xu, Thomas Gridley, CC BY 2.5
<<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/>>, via Wikimedia Commons

3-Transduction

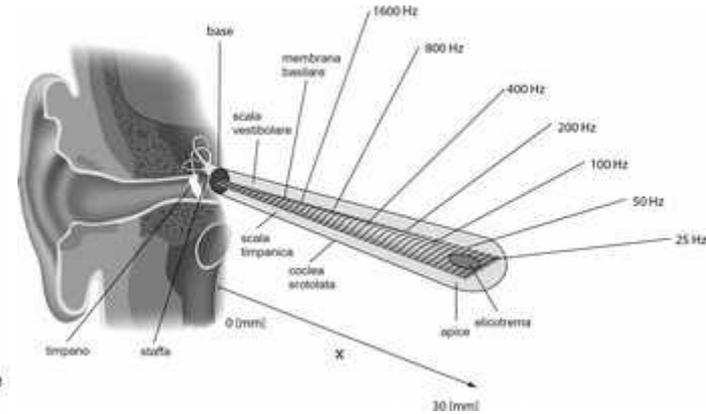
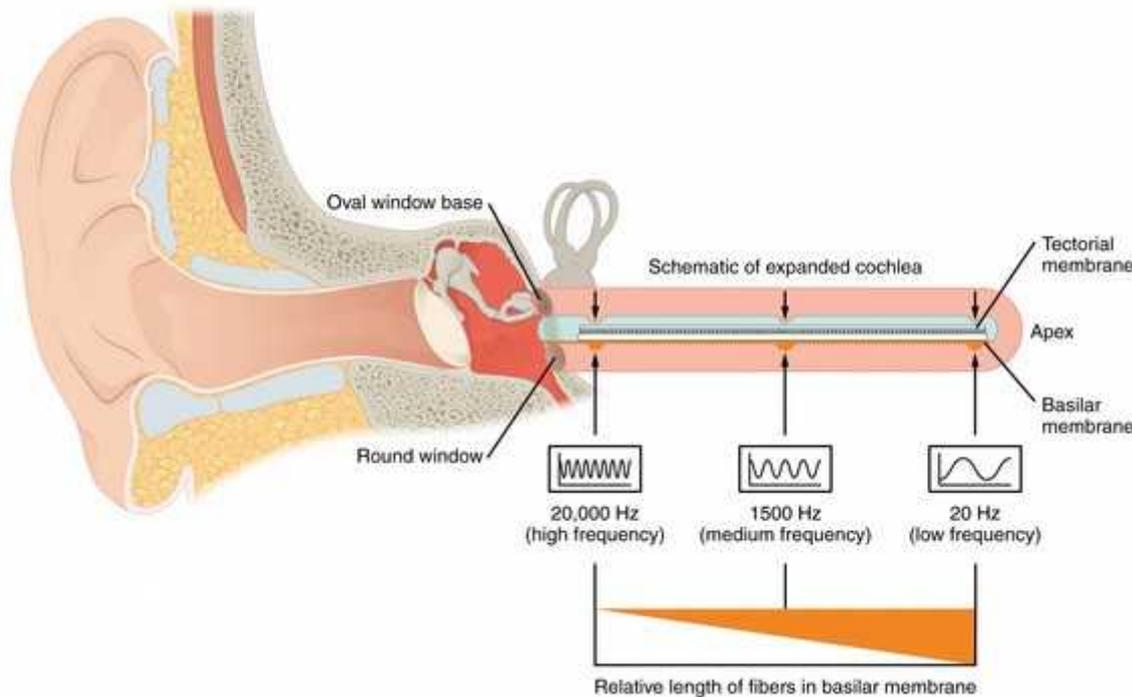
- les ondes sonores sont captées par le pavillon et concentrées dans le conduit auditif
- mise en vibration du tympan qui entraîne la mise en mouvement des osselets
- les osselets amplifient l'onde et l'étrier frappe la fenêtre ovale
- la fenêtre ovale appuie sur la périlymphe (liquide) de la cochlée qui est incompressible
- la périlymphe est poussée dans le canal vestibulaire, l'hélicotrème et le canal tympanique
- les mouvements de la périlymphe entraînent des déformations de la membrane basilaire et des mouvements de la membrane tectoriale et de l'endolymphe
- les cils des cellules ciliées bougent, un message nerveux se forme avec modulation par cellules ciliées externes



3-Transduction

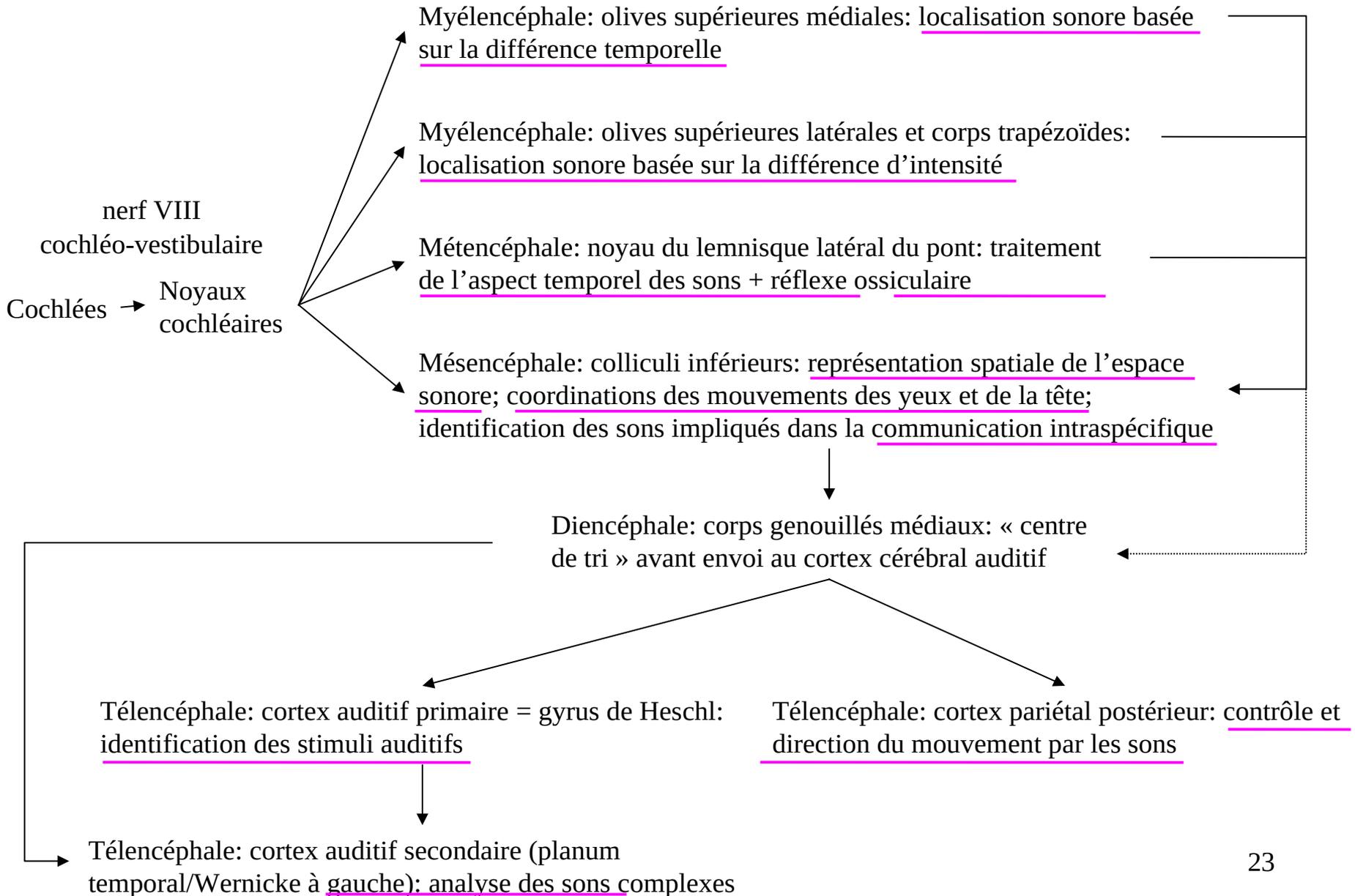
Selon la fréquence de l'onde sonore, une partie de la membrane basilaire se déforme davantage :

- base étroite et rigide → déformation avec hautes fréquences (sons aigus)
- apex large et souple → déformation avec basses fréquences (son graves)

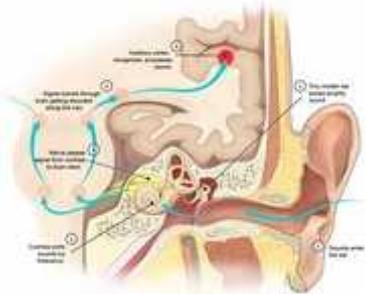


Kern A, Heid C, Steeb W-H, Stoop N, Stoop R, CC BY 2.5 <<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/>>, via Wikimedia Commons

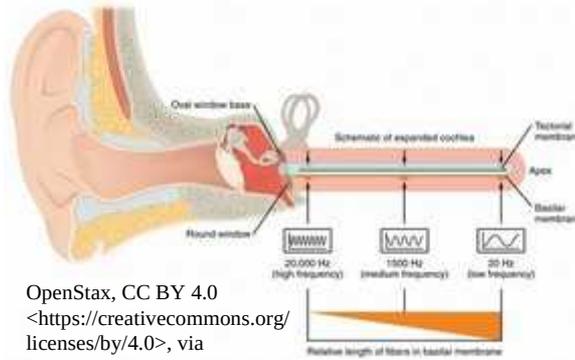
4-Voies auditives



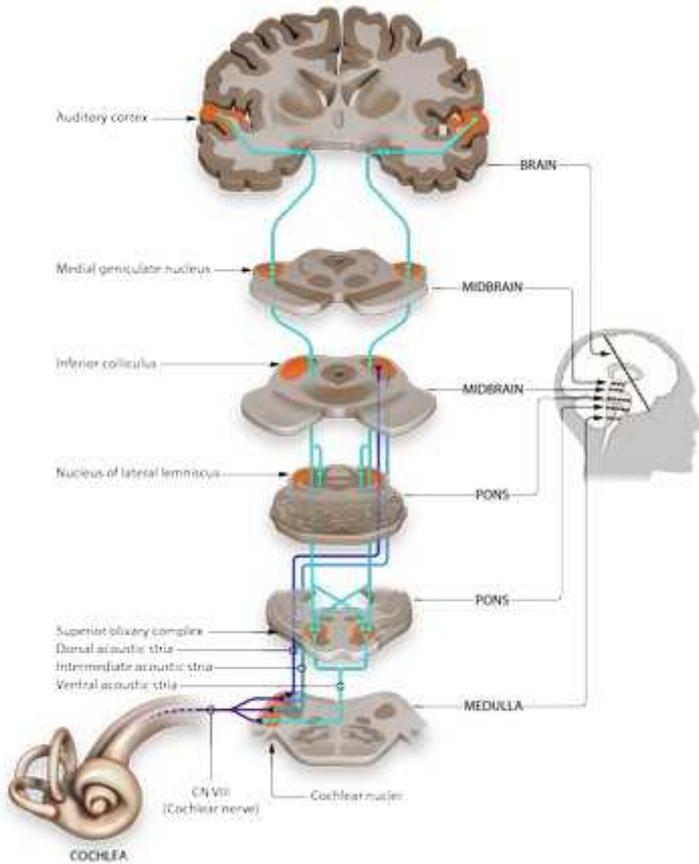
4-Voies auditives



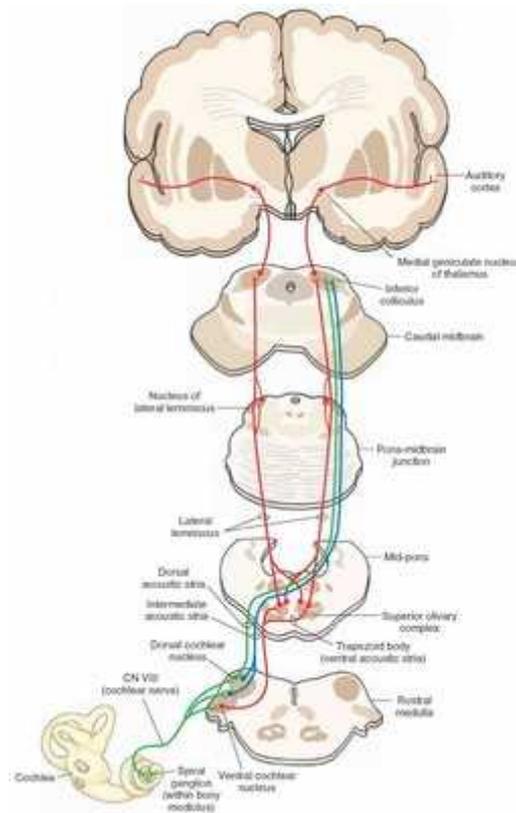
Zina Deretsky, National Science Foundation, Public domain, via Wikimedia Commons



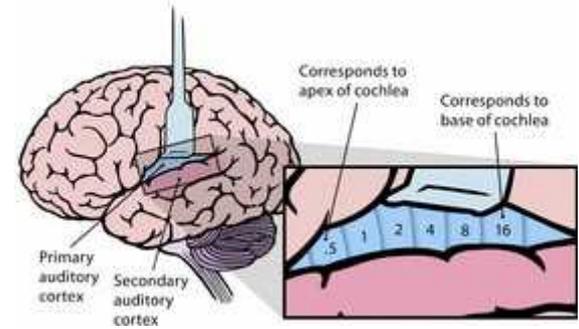
OpenStax, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons



Jonathan E. Peelle, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons



What-when-who, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons



10.1371_journal.pbio.0030137.g001-L.jpg: Chittka L, Brockmann, CC BY 2.5 <<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/>>, via Wikimedia Commons

notion de tonotopie ou cochléotopie

5-Troubles auditifs

Plusieurs types de troubles de l'audition:

-surdité de transmission :

→ oreille externe : ex : bouchon cérumen ; otite externe

→ oreille moyenne : ex : arthrose osselets ; otites moyennes

-surdité de perception :

.surdité neuro-sensorielle :

→ ex : perte de cellules ciliées au niveau de la cochlée

→ ex : section nerf auditif

.surdité centrale :

→ ex : lésion voies et centres auditifs de l'encéphale

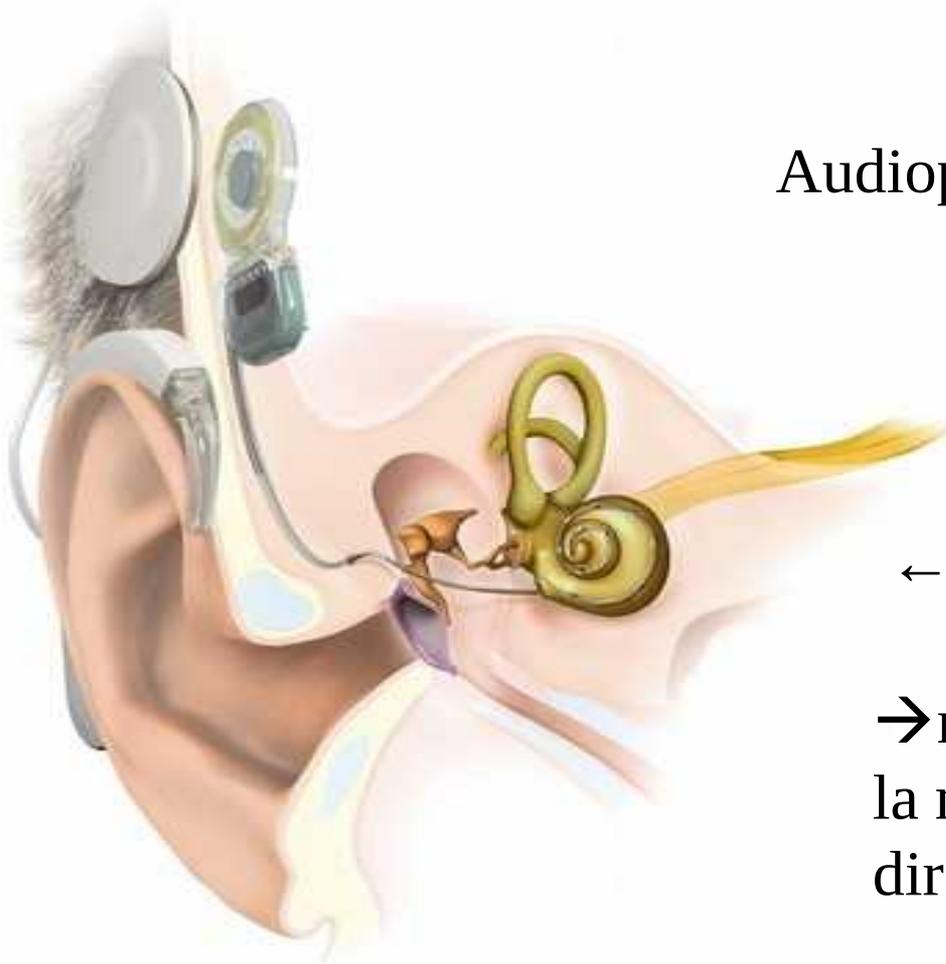
5-Troubles auditifs

Cornets acoustiques →

See page for author, CC BY 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons



See page for author, CC BY 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons



Audioprothèses →



ikesters, CC BY-SA 2.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>>, via Wikimedia Commons

← Implant cochléaire

→ repère les zones en vibration de la membrane basilaire et stimule directement les fibres nerveuses

5-Troubles auditifs

Détection précoce de la surdité:

→ étude des oto-émissions acoustiques ou OEA (sons produits par les mouvements des cellules ciliées externes ; dites spontanées en l'absence de stimulation sonore ; dites provoquées en présence de stimulations sonores)

Remarque émission et réception sonore chez différentes espèces :

