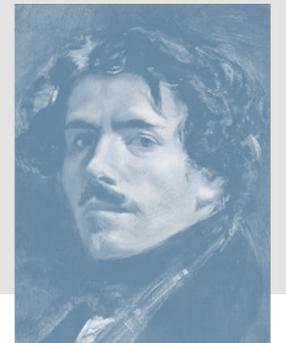


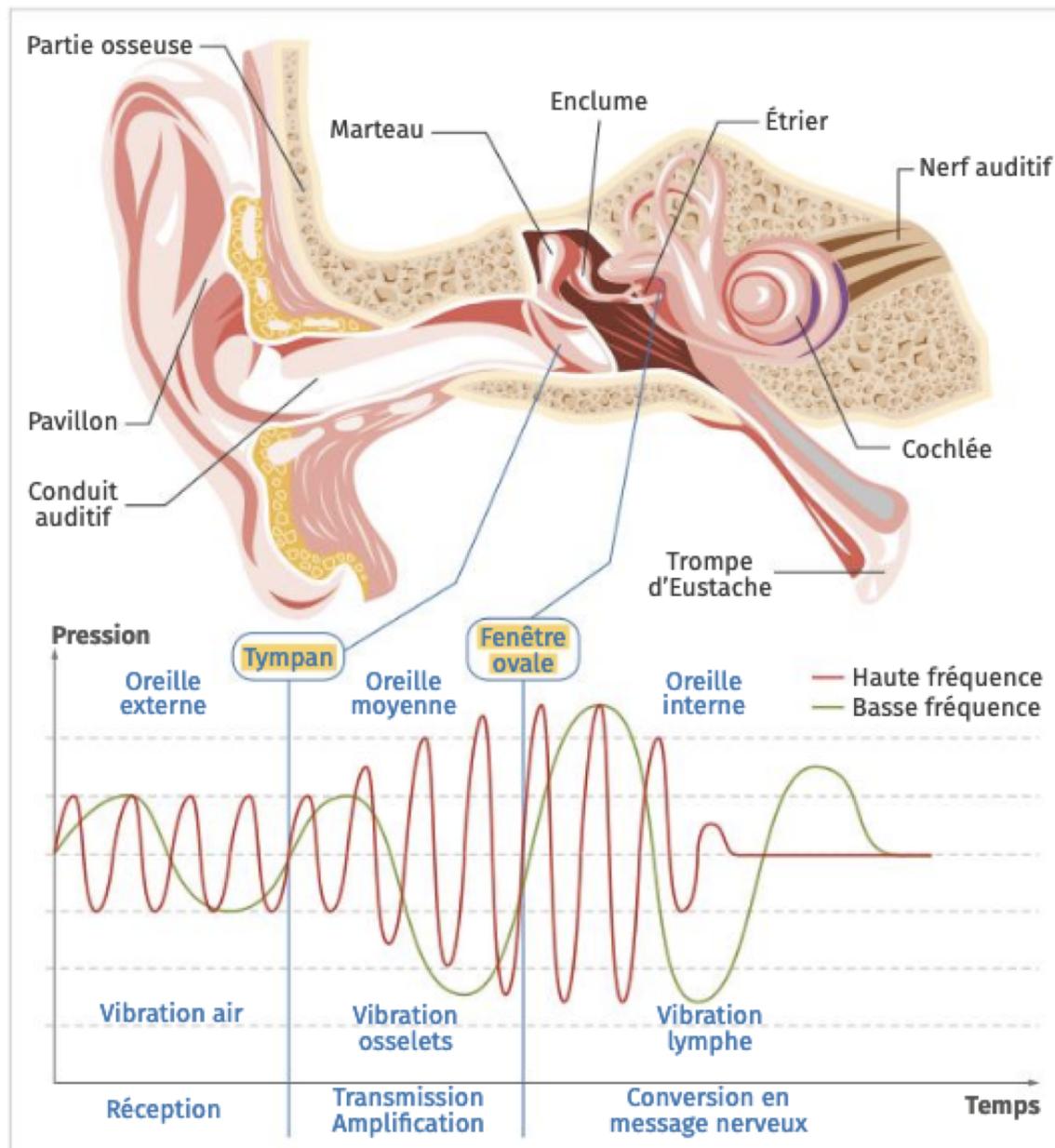
Thème 4-3 Entendre la musique

cours



Anatomie fonctionnelle d'une oreille humaine: 3 parties

- oreille externe = réception
- oreille moyenne = amplification, transmission
- oreille interne = conversion en message nerveux électrique



▮ Variations de pression dans les différentes parties de l'oreille lors de la réception d'un son haute fréquence (en rouge) et basse fréquence (en vert).

Oreille externe
et tympan:
membrane de
vibration
transmettant le
signal
mécanique aux
osselets de
l'oreille moyenne

Doc. 2 Tympan humain, au fond du 
conduit auditif



▶ À travers la membrane translucide du tympan, on peut observer le marteau, le premier des trois osselets de l'oreille moyenne.



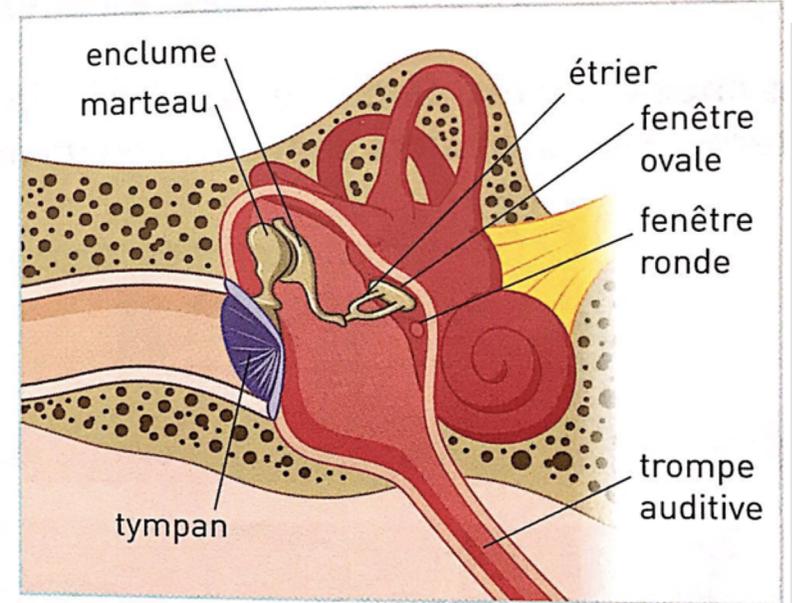
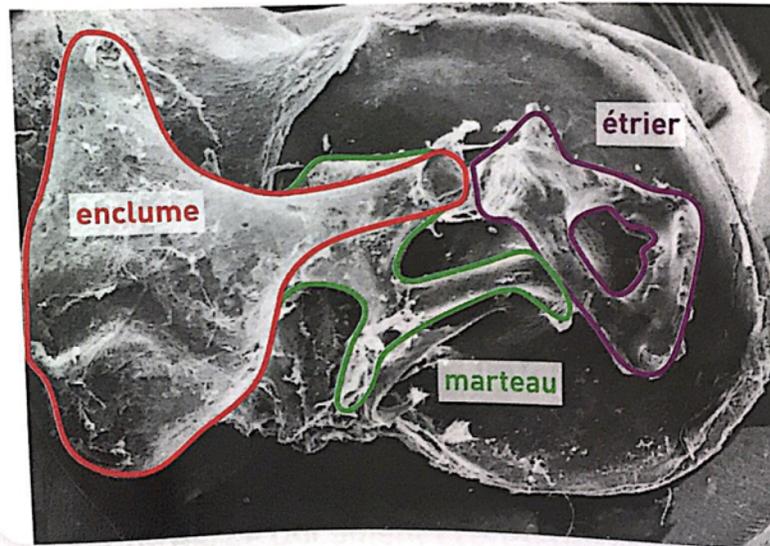
<http://www.docteuraidan.fr/pathologies-ori/oreille/otites-sereuses>

Oreille moyenne et ses 3 osselets: marteau, enclume et étrier

L'oreille moyenne (a) est une cavité de l'os temporal. Elle est remplie d'air et limitée par le tympan d'une part, par une paroi osseuse percée de deux orifices : les fenêtres ovale et ronde d'autre part. Cette cavité contient les trois plus petits os du corps humain : le marteau, l'enclume et l'étrier (b). Le marteau est en contact avec le tympan (c).

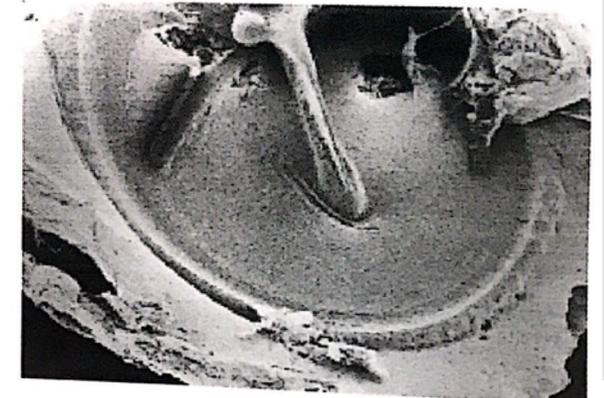
La trompe auditive communique avec l'arrière du nez (donc avec l'air extérieur) ce qui permet d'équilibrer la pression de l'air entre l'oreille moyenne et l'oreille externe. Cet équilibre est nécessaire au bon fonctionnement du tympan.

b Les trois osselets de l'oreille interne (vus au MEB). ▼



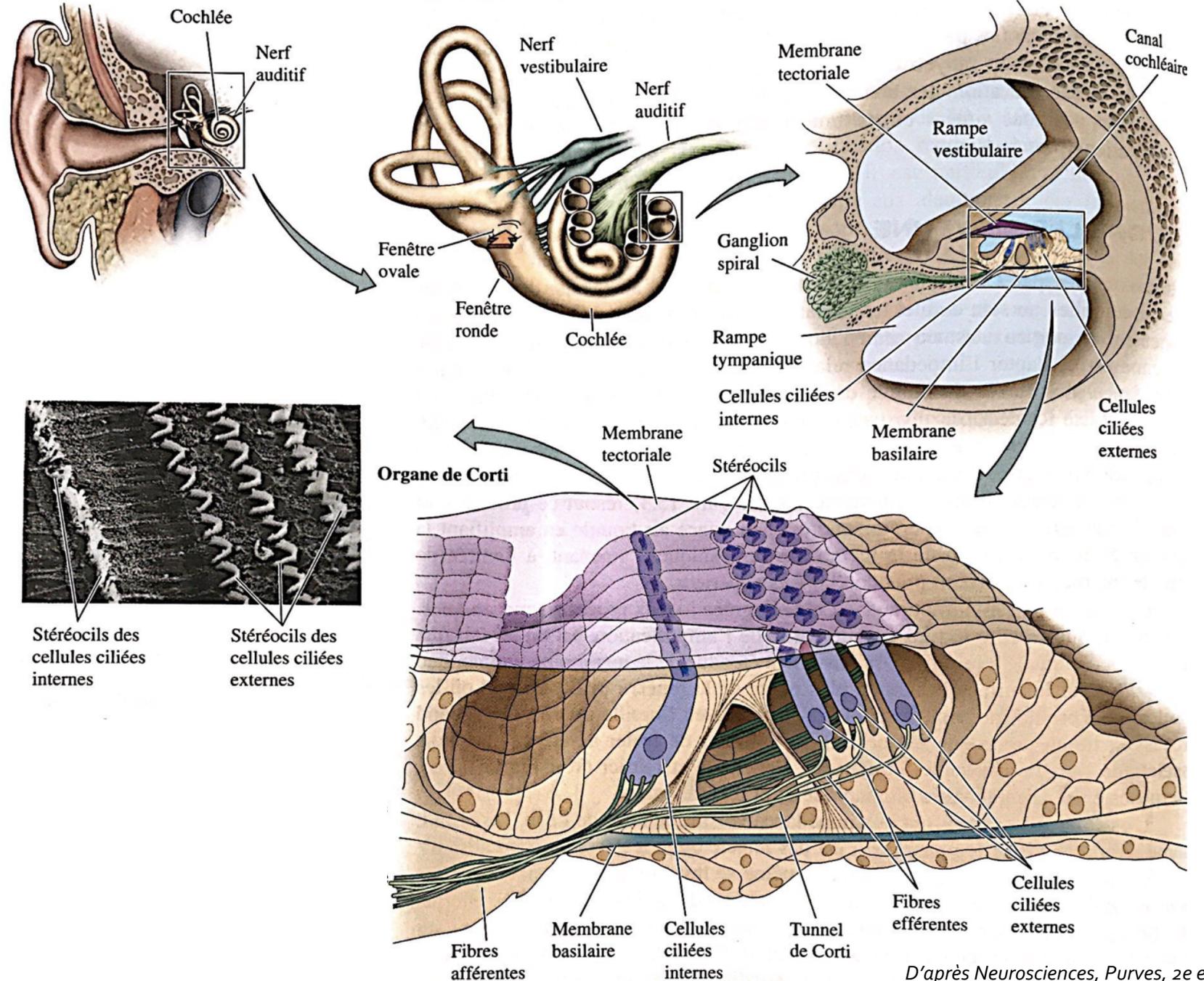
a Organisation de l'oreille moyenne.

c Le tympan, vu de l'intérieur de la cavité de l'oreille moyenne, au contact avec le marteau (MEB). ►



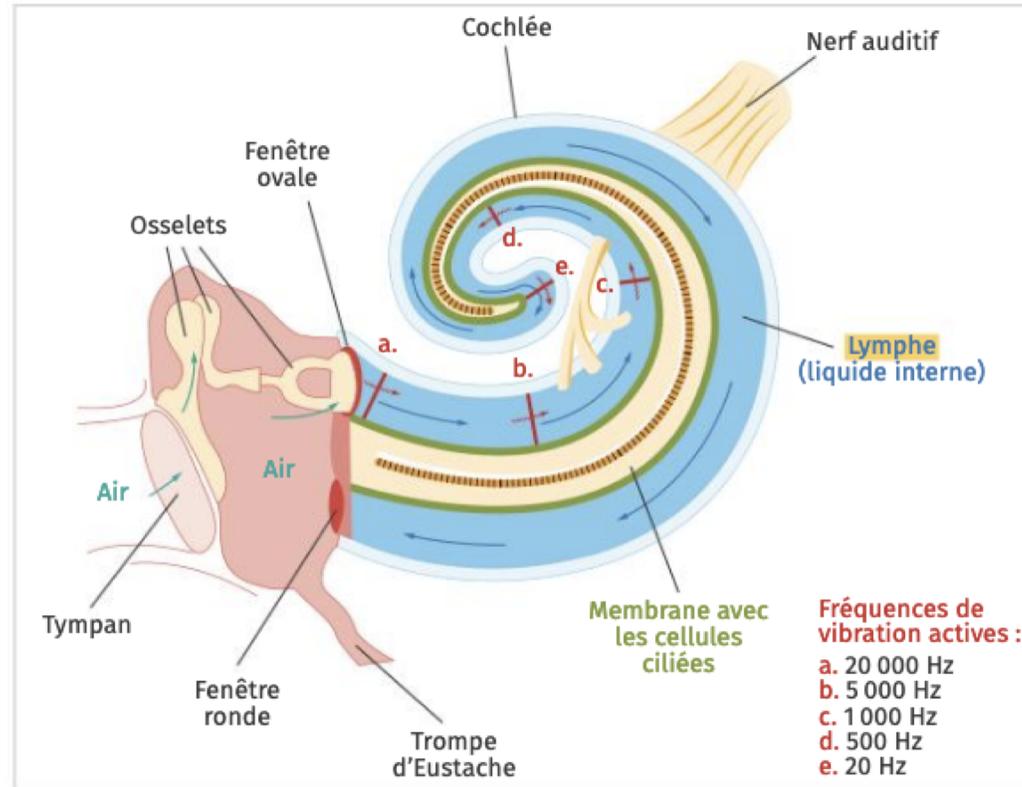
Oreille interne: le fonctionnement de la cochlée

Figure 13.4 La cochlée, vue de face (en haut à gauche) et en section transversale (schémas suivants). L'étrier transfère la force de la membrane du tympan à la fenêtré ovale. La section transversale montre le canal cochléaire entre les rampes vestibulaire et tympanique. L'agrandissement de l'organe de Corti montre que les cellules ciliées sont situées entre la membrane basilaire et la membrane tectoriale redue transparente sur ce dessin et enlevée sur la photographie en microscopie à balayage présentée à côté. Les cellules ciliées doivent leur nom à leur touffe de stéréocils ; les cellules ciliées internes sont innervées par les fibres afférentes du nerf VIII, tandis que les cellules ciliées externes reçoivent surtout des commandes efférentes. (Microphotographie de Kessel et Kardon, 1979.)



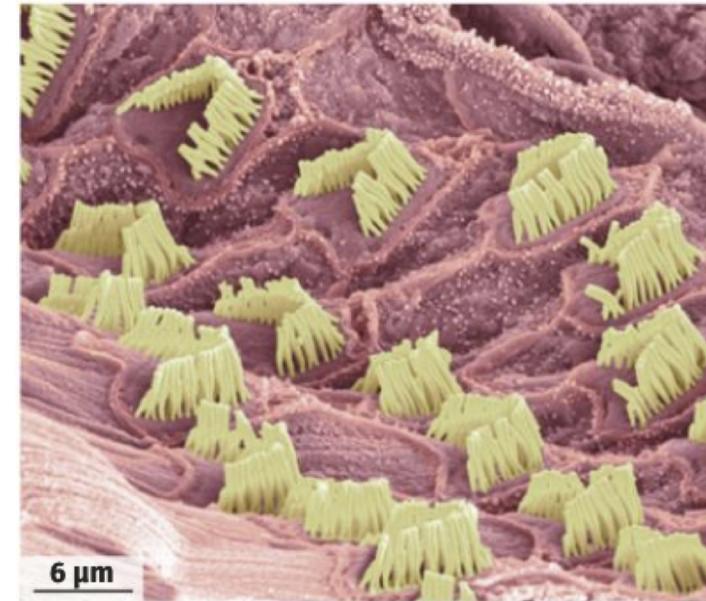
Fonctionnement de la cochlée: propagation de l'onde mécanique dans un liquide et transmission à la membrane en contact avec les cellules ciliées

Doc. 4 Fonctionnement de la cochlée



► Les vibrations de la lymphe (flèches bleues) se propagent dans les cavités et elles activent les cellules ciliées à différents niveaux de la cochlée, en fonction de leur fréquence (en rouge).

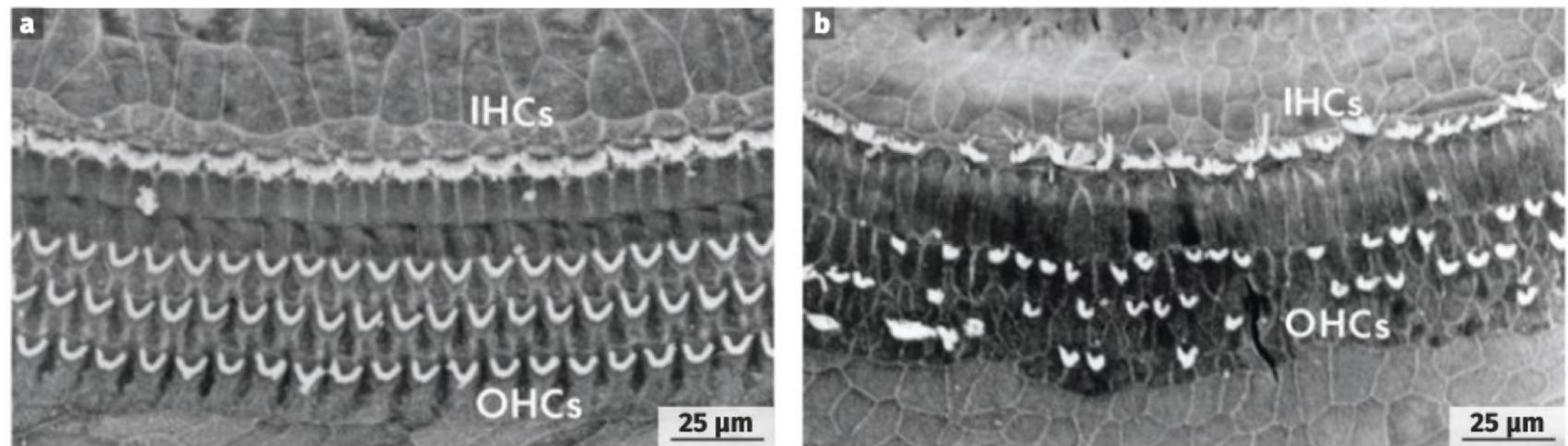
Doc. 5 Photographie des cils vibratiles des cellules ciliées (MEB)



► Ce sont ces cellules de la cochlée qui convertissent les vibrations parcourant la lymphe en message nerveux électrique transmis au cerveau.

Les cils des cellules ciliées du canal cochléaire sont fragiles.

Doc. 6 Photographies de la membrane sensorielle de la cochlée avant et après un traumatisme sonore (MEB)



► IHCs et OHCs : cellules ciliées internes et externes. **a** membrane normale, avec les cils intacts. **b** membrane avec de nombreux cils endommagés. Chaque individu possède à la naissance environ 1 500 cellules ciliées. Lorsqu'elles sont détruites, elles ne se renouvellent pas et sont à l'origine de troubles auditifs, comme la surdité.

Déplacement des cils des cellules ciliées de la cochlée au contact de la membrane tectoriale

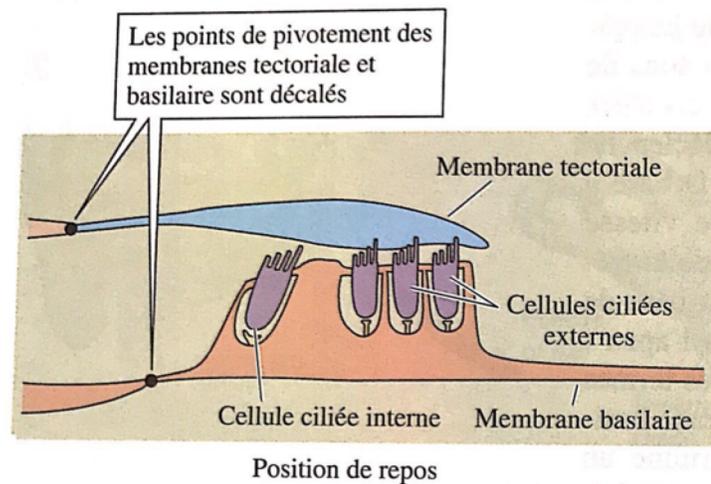
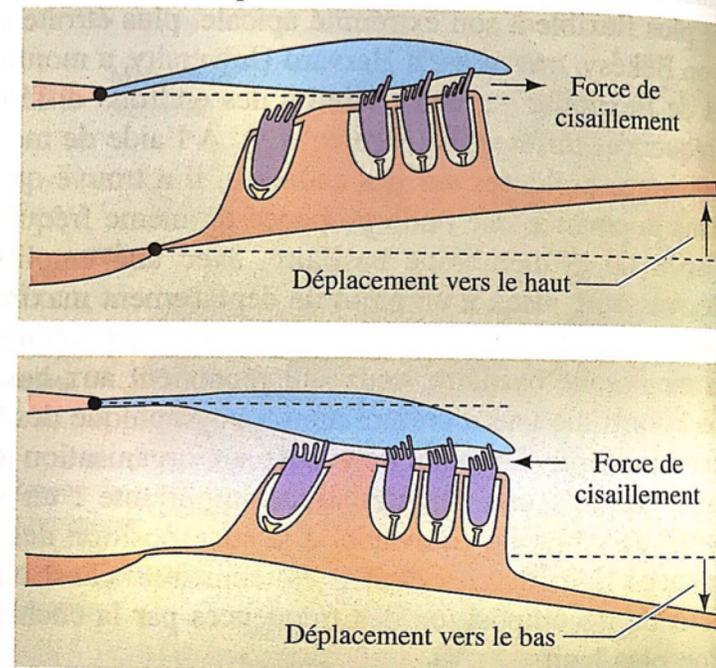


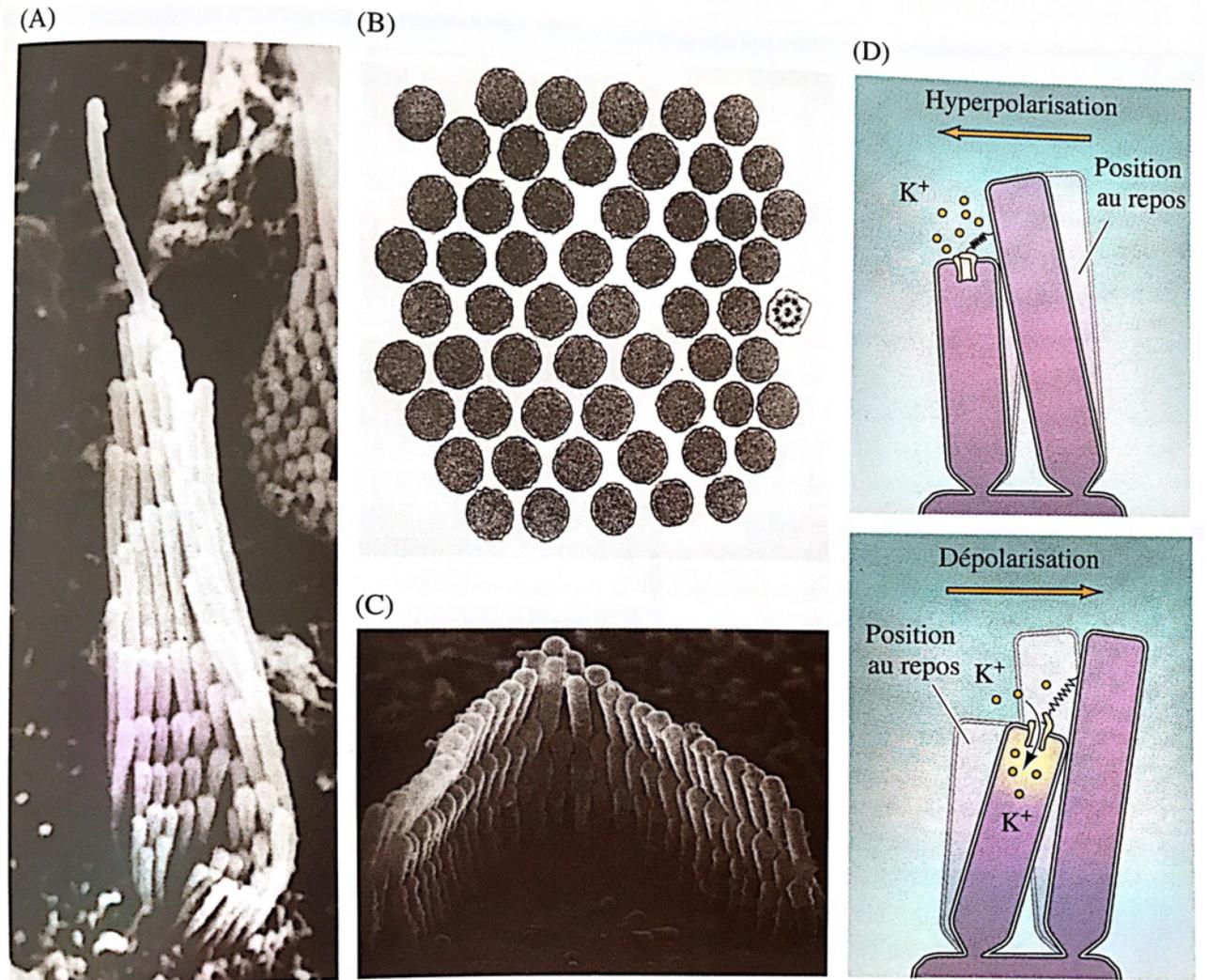
Figure 13.6 Le mouvement de la membrane basilaire crée une force de cisaillement qui fléchit les stéréocils des cellules ciliées. Le point de pivotement de la membrane basilaire est décalé par rapport à celui de la membrane tectoriale de sorte que, lorsque la membrane basilaire est en mouvement, la membrane tectoriale se déplace en travers des sommets des cellules ciliées dont elle courbe les stéréocils.

Vibration induite par un son



Les mouvements des cils des cellules cochléaires induisent un flux d'ions à l'origine d'un message nerveux électrique

Figure 13.7 Structure et fonction de la touffe de cils. Les touffes de cils vestibulaires représentées ici ressemblent à celles des cellules ciliées de la cochlée, à l'exception de la présence du kinocil qui, dans la cochlée des mammifères, disparaît peu de temps après la naissance. (A) Touffe de cils d'une cellule ciliée vestibulaire de hamster. Ce cliché montre la longueur croissante des cils jusqu'au kinocil (flèche). (B) Section transversale d'une touffe de cils montrant la disposition en 9+2 des microtubules du kinocil (à droite) qui contraste avec la structure plus simple du filament d'actine des stéréocils. (C) Microphotographie en microscopie à balayage d'une touffe de cellules ciliées externes de la cochlée de cobaye, vue dans le plan de symétrie en miroir. Noter les tailles croissantes des stéréocils et l'absence de kinocil. (D) Schéma de stéréocils et de liens apicaux. Quand ils sont étirés par des mouvements en direction du kinocil, les liens apicaux provoquent l'ouverture des canaux qui créent un courant dépolarisant. Lorsqu'ils sont comprimés, ils entraînent l'hyperpolarisation de la cellule ciliée. (A d'après Lindeman, 1973 ; B d'après Hudspeth, 1983 ; C d'après Pickles, 1984 ; D d'après Pickles *et al.*, 1984.)



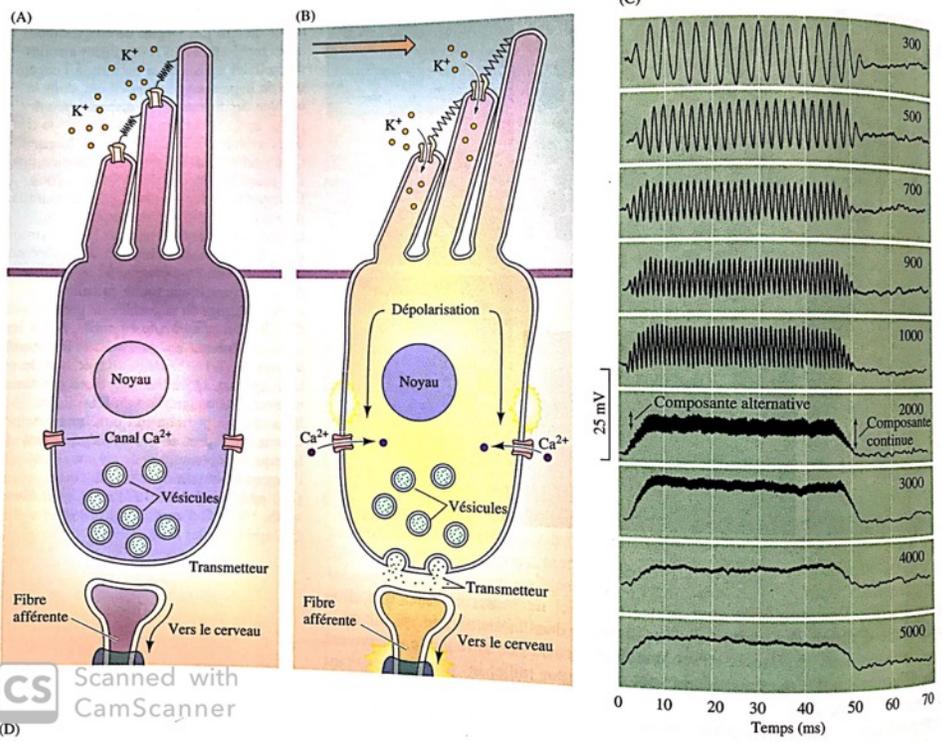
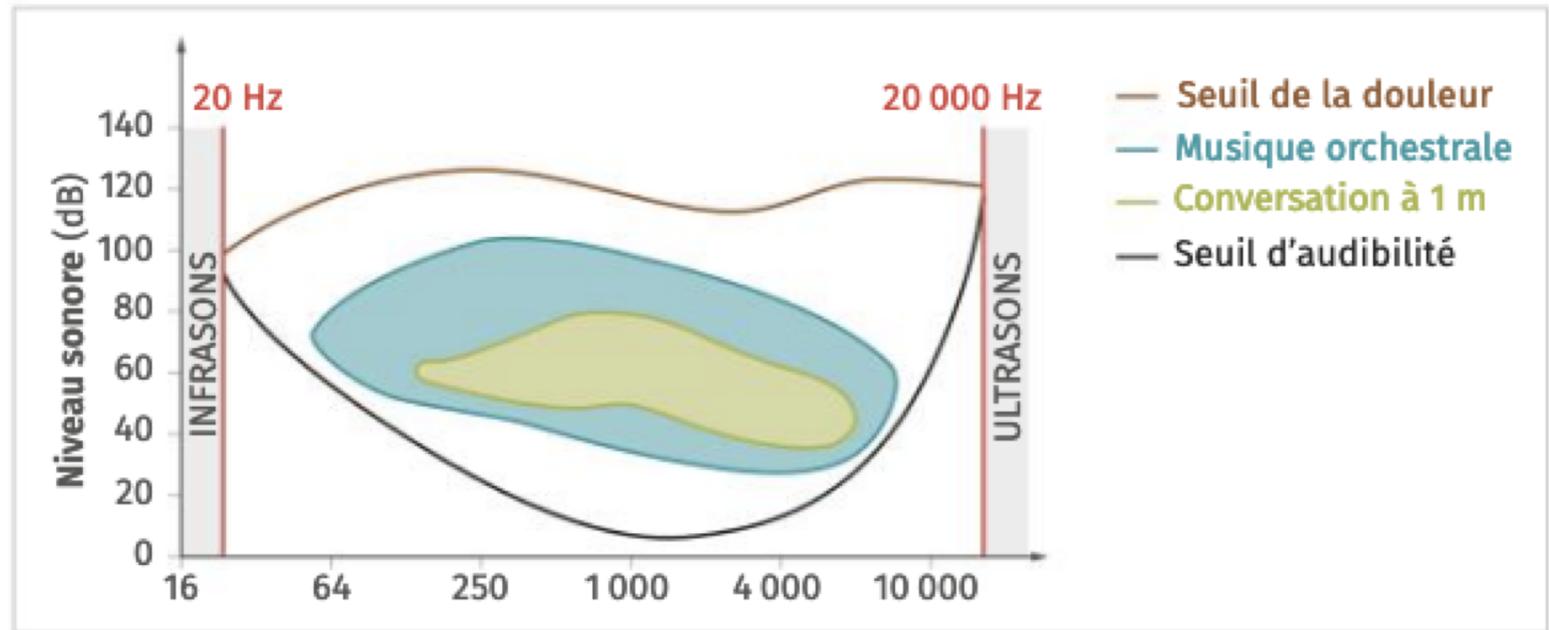


Figure 13.8 Transduction mécano-électrique opérée par les cellules ciliées. (A, B) Quand la touffe de cils s'incurve vers le stéréocil le plus long, les canaux sélectifs pour les cations s'ouvrent près de l'extrémité des stéréocils et laissent les ions K^+ entrer dans la cellule ciliée selon leur gradient électrochimique (voir le texte pour l'explication de cette situation particulière). La dépolarisation des cellules ciliées qui s'ensuit provoque l'ouverture des canaux Ca^{2+} activés par le voltage au niveau du soma de la cellule ; ceci déclenche l'entrée de calcium et la libération de neurotransmetteur en direction des terminaisons nerveuses du nerf auditif. (C) Potentiels de récepteur produits par une cellule ciliée de la cochlée en réponse à des sons purs (leur fréquence est indiquée en Hz, à droite des tracés). Noter qu'aux basses fréquences (< 3 kHz), le potentiel de la cellule ciliée suit fidèlement l'allure des sinusoides stimulantes ; aux fréquences plus élevées la réponse comporte une composante continue. (D) Les stéréocils des cellules ciliées font saillie dans l'endolymphe, qui présente une concentration élevée de K^+ et une différence de potentiel de $+80$ mV par rapport à la périlymphe. (A, B d'après Lewis et Hudspeth, 1983 ; C d'après Palmer et Russell, 1986.)

Transduction du message mécanique en message électrique par les cellules ciliées

Le champ
auditif humain
couvre les
fréquences
sonores en 20
et 20 000 Hertz

Doc. 3 Le champ auditif humain



► Ce schéma montre l'ensemble des sons audibles en fonction de leur niveau sonore et de leur fréquence.

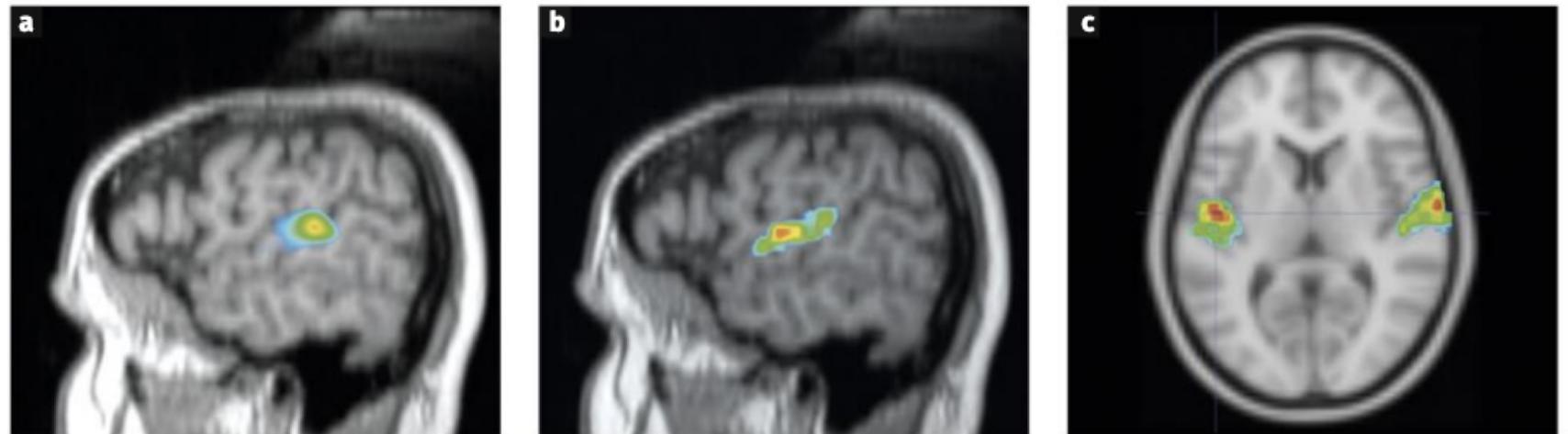
Étude du fonctionnement cérébral par IRMf: Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle

Doc. 2 Les grandes régions du cerveau



► En rose le lobe frontal ; en jaune le lobe pariétal ; en violet le lobe occipital, en vert le lobe temporal, en bleu le cervelet.

Doc. 3 Localisation de l'aire auditive



► IRMf montrant les zones du cerveau activées chez : **a** un individu entendant deux syllabes énoncées ; **b** et **c** un individu écoutant de la musique. Images issues du logiciel ÉduAnat2. **a** et **b** Coupes sagittales. **c** Coupe frontale.

D'après lelivrescolaire, ed 2019, p232

Audition et aires
cérébrales: le
message
nerveux
électrique émis
par les cellules
ciliées
cochléaires est
intégré par les
neurones du
cortex cérébral
temporal

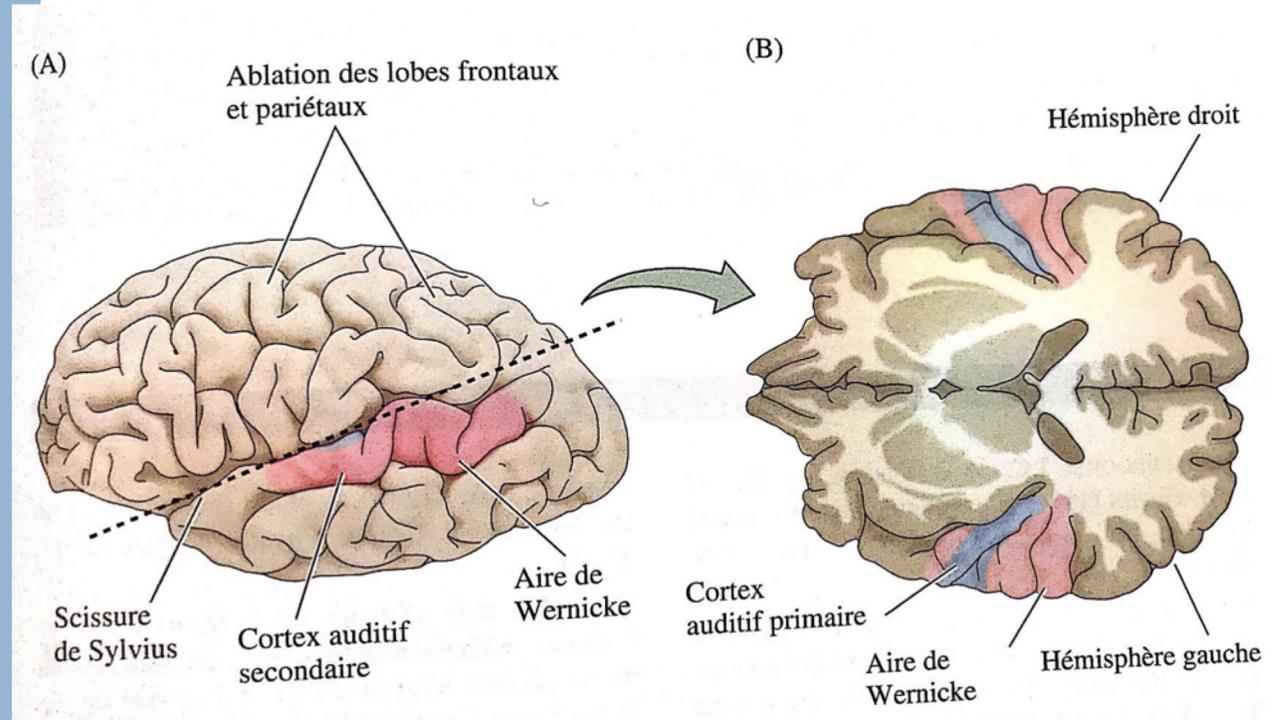
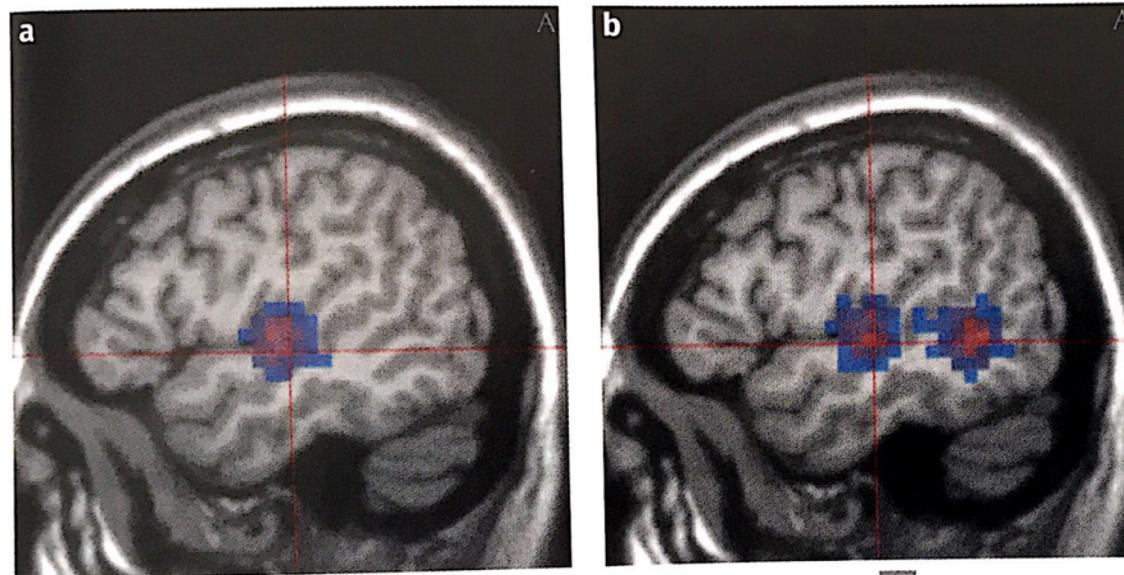


Figure 13.15 Aires du cortex auditif de l'homme impliquées dans le traitement des sons de la parole. (A) Représentation schématique de l'aspect latéral de l'hémisphère gauche montrant l'emplacement de ces aires dans le cerveau intact. (B) Coupe oblique, dans le plan indiqué en A par la ligne pointillée, montrant les aires corticales de la face supérieure du lobe temporal. Noter que l'aire de Wernicke, qui joue un rôle important dans la compréhension du langage, est située juste en arrière du cortex auditif primaire.

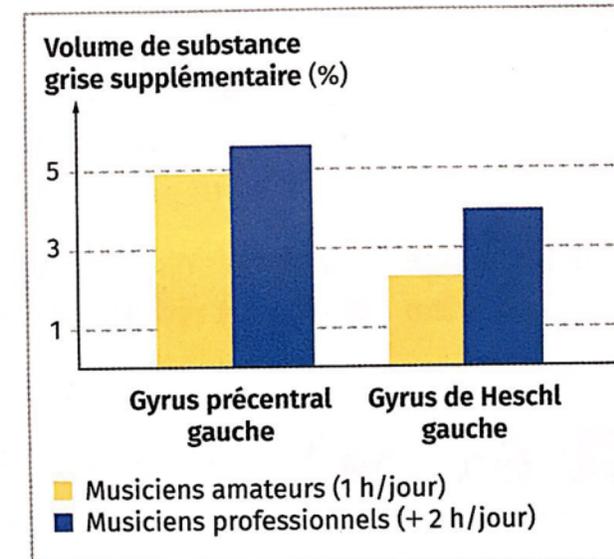
La plasticité cérébrale: cortex temporal de musiciens amateurs vs professionnels

Doc. 4 Musique et langage



► IRMf chez : **a** un individu écoutant de la musique sans paroles ; **b** un individu écoutant une chanson avec des paroles. Coupes sagittales, obtenues sur IRMf virtuelle.

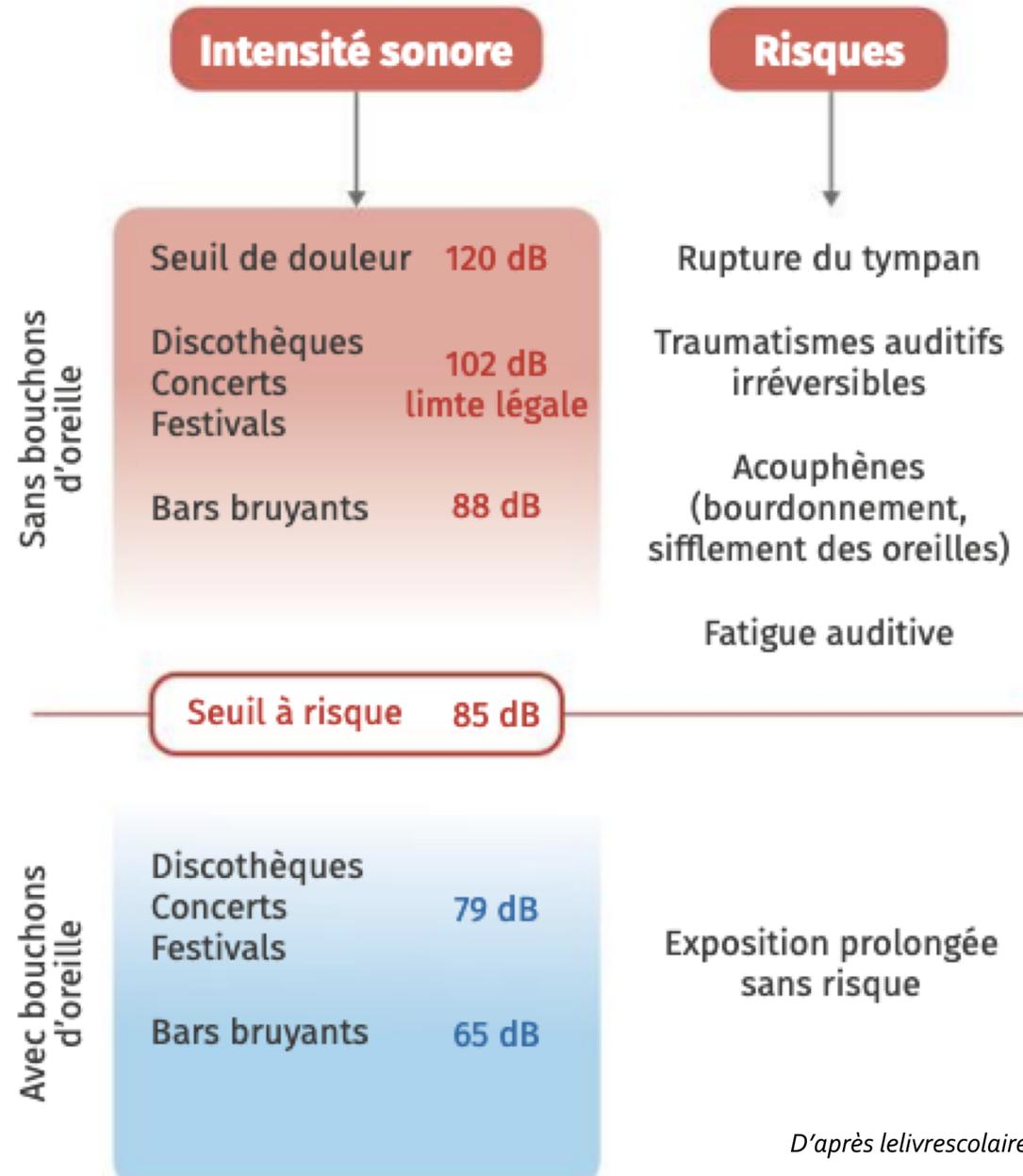
Doc. 5 Le cerveau des musiciens



► Variations du volume de substance grise de deux régions du cortex cérébral liées à l'audition chez les musiciens. La variation est obtenue par rapport au volume moyen de la même région mesuré chez des non-musiciens.

Les risques des troubles auditifs

Doc. 4 Les risques de troubles auditifs



L'implant cochléaire

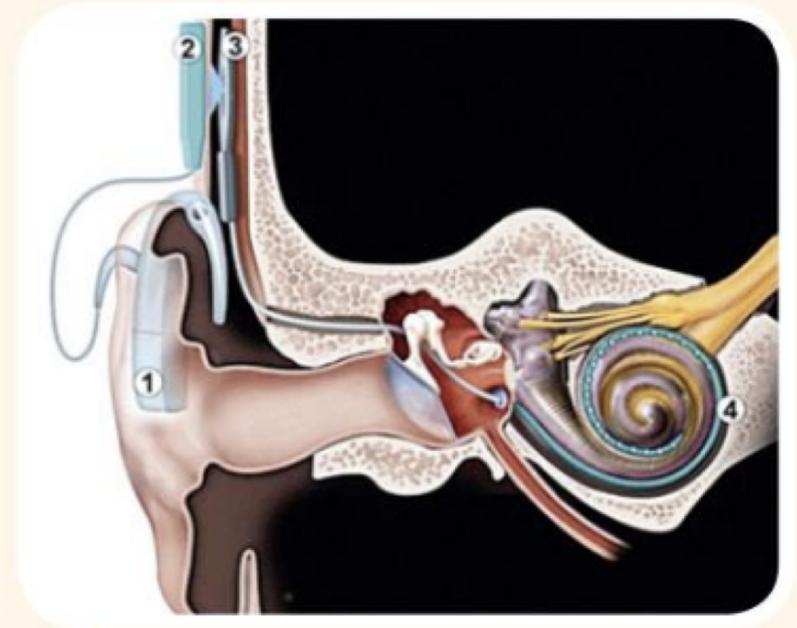
L'implant cochléaire, une technologie médicale en pleine évolution

||||||| L'implant cochléaire est un dispositif auditif implanté chirurgicalement, qui transforme les sons captés en signaux électriques délivrés directement au nerf auditif. Il s'adresse à des personnes présentant des surdités sévères à profondes, en leur offrant la possibilité d'entendre après une rééducation orthophonique. Mais du fait des limites de cette technologie, les meilleurs implants actuels ne permettent de distinguer qu'une vingtaine de fréquences sonores, au lieu des 3 500 fréquences perceptibles par l'oreille.

Une nouvelle piste est à l'étude actuellement : il s'agit de modifier génétiquement les neurones auditifs, afin de les rendre sensibles à la lumière. Cela permettrait de remplacer le signal électrique des électrodes par un signal lumineux transmis par des fibres optiques pouvant activer les neurones de la cochlée de manière beaucoup plus précise.

Numérique 

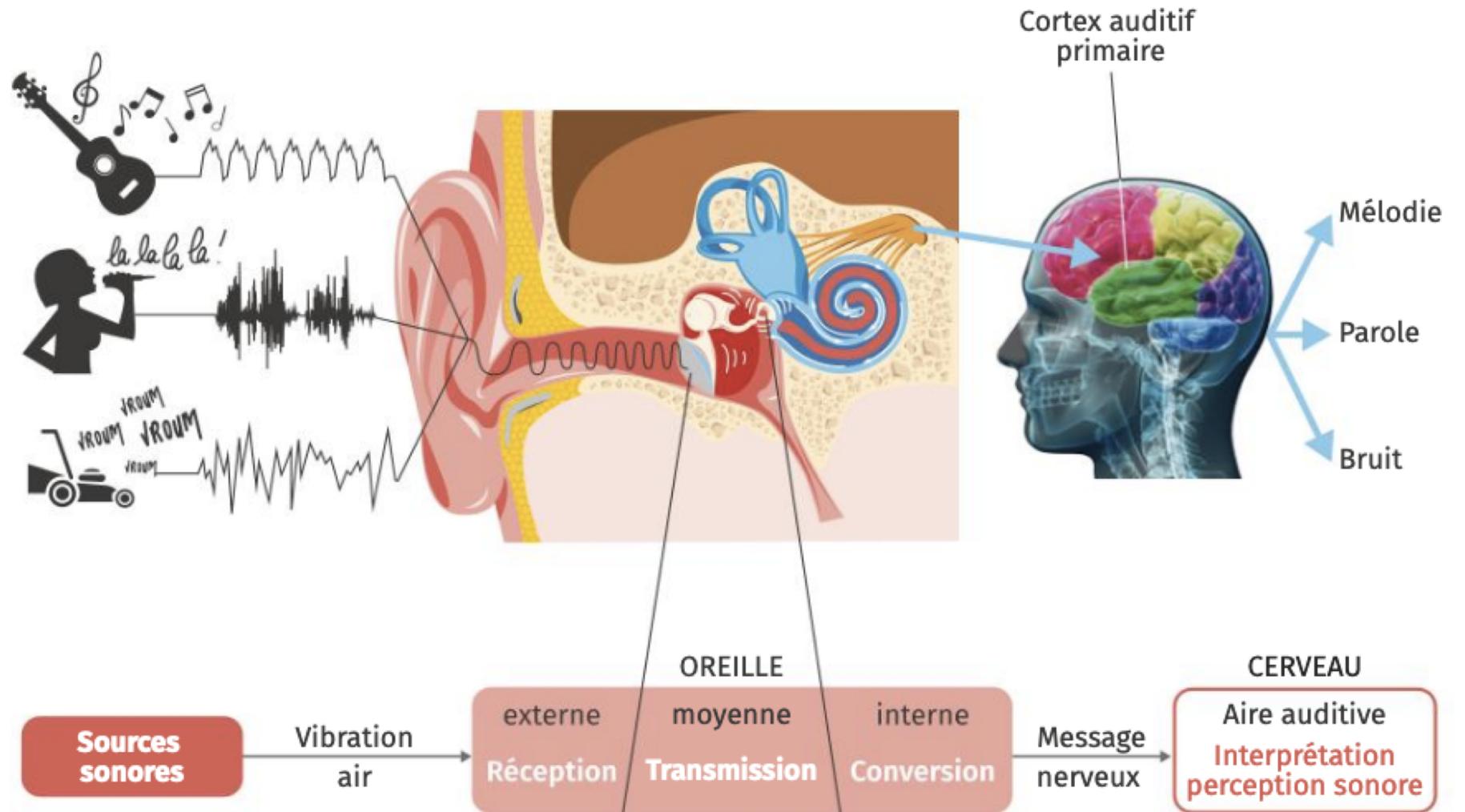
Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour visionner une vidéo présentant le fonctionnement de l'implant cochléaire. [LLS.fr/ES1P242](https://lls.fr/ES1P242)



- Schéma d'un implant cochléaire.**
1 : partie externe captant les sons et les transformant en signaux électriques. 2 et 3 : système de transmission du signal électrique vers la partie interne de l'oreille. 4 : électrodes émettant des impulsions électriques stimulant le nerf auditif.

BILAN

Des sons à la perception auditive



4.4 - Entendre la musique

L'air qui vibre n'est musique que parce que notre oreille l'entend et que notre cerveau la perçoit comme telle. Mais l'excès de sons, même s'il est musical, est une forme de perturbation de l'environnement.

I. Organisation de l'oreille

L'oreille externe canalise les sons du milieu extérieur vers le tympan. Cette membrane vibrante transmet ces vibrations jusqu'à l'oreille interne par l'intermédiaire de l'oreille moyenne.



Traces écrites

II. Le champ auditif humain: intensité et fréquence

L'être humain peut percevoir des sons de niveaux d'intensité approximativement compris entre 0 et 120 dB.

Les sons audibles par les humains ont des fréquences comprises entre 20 et 20 000 Hz.

III. La conversion d'un stimulus mécanique en message nerveux électrique par les cellules ciliées de l'oreille interne

Dans l'oreille interne, des structures cellulaires (cils vibratiles) entrent en résonance avec les vibrations reçues et les traduisent en un message nerveux qui se dirige vers le cerveau.

Les cils vibratiles sont fragiles et facilement endommagés par des sons trop intenses. Les dégâts sont alors irréversibles et peuvent causer une surdité.



Traces écrites

IV. La perception auditive est gérée par l'aire temporale du cortex cérébral

Des aires cérébrales spécialisées reçoivent les messages nerveux auditifs. Certaines permettent, après apprentissage, l'interprétation de l'univers sonore (parole, voix, musique, etc.).

Ainsi, des pathologies auditives peuvent trouver leur origine au niveau tympanique (perforation), cochléaire (destruction des cils des cellules ciliées) ou encore cérébral (lésion dans le cortex temporal).