

Thème 4 : Son et musique, porteurs d'information

Classe : Première ES

Durée conseillée : 3 semaines

Nombre d'activités : 2

En rouge : Bilans à faire noter aux élèves

En bleu : Activités pratiques

En vert : Problématique et hypothèses



Chapitre 1 Entendre la musique, l'oreille et l'audition

Introduction :

Les **sons** correspondent à la vibration de l'air, caractérisés d'une part par leur **fréquence** (en **hertz**) mais également par leur **amplitude** (en *Pascal : pression acoustique*). Selon leur puissance, les ondes sonores génèrent des variations de pression qui correspondent à l'**intensité sonore** (en **décibels**). L'ensemble de ces caractéristiques sont captées par l'**oreille** qui est l'organe de l'audition (l'ouïe). Cet organe est capable de transformer les vibrations de l'air en messages nerveux. Les messages nerveux sont ensuite transmis au **cerveau** via les **nerfs auditifs**.

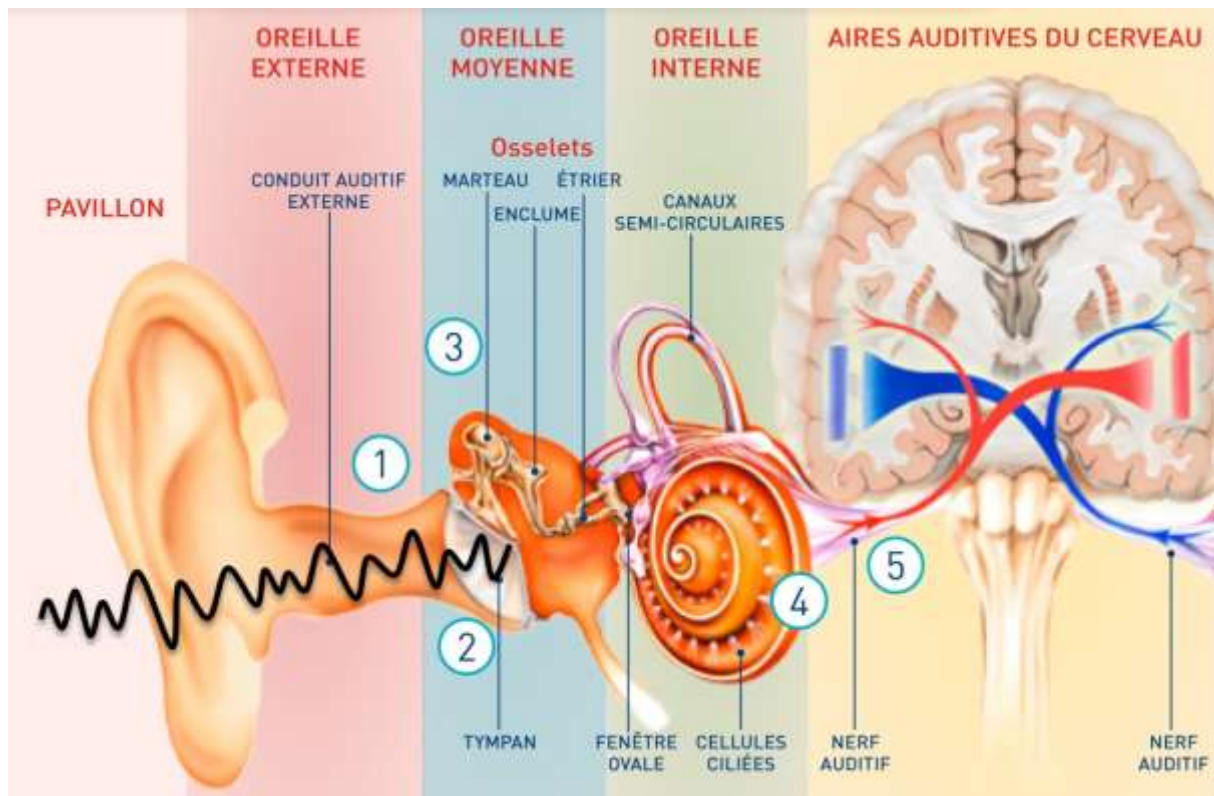


Schéma général des structures responsables de l'audition (source : <https://www.ouie-fine-audition.fr/>)

Problématique : Comment l'oreille transforme-t-elle les vibrations des sons en un message nerveux ?

Plan :

- 1- La structure de l'oreille et son fonctionnement général
- 2- Le fonctionnement de la cochlée et des cellules ciliées
- 3- La réception des signaux auditifs dans le cerveau

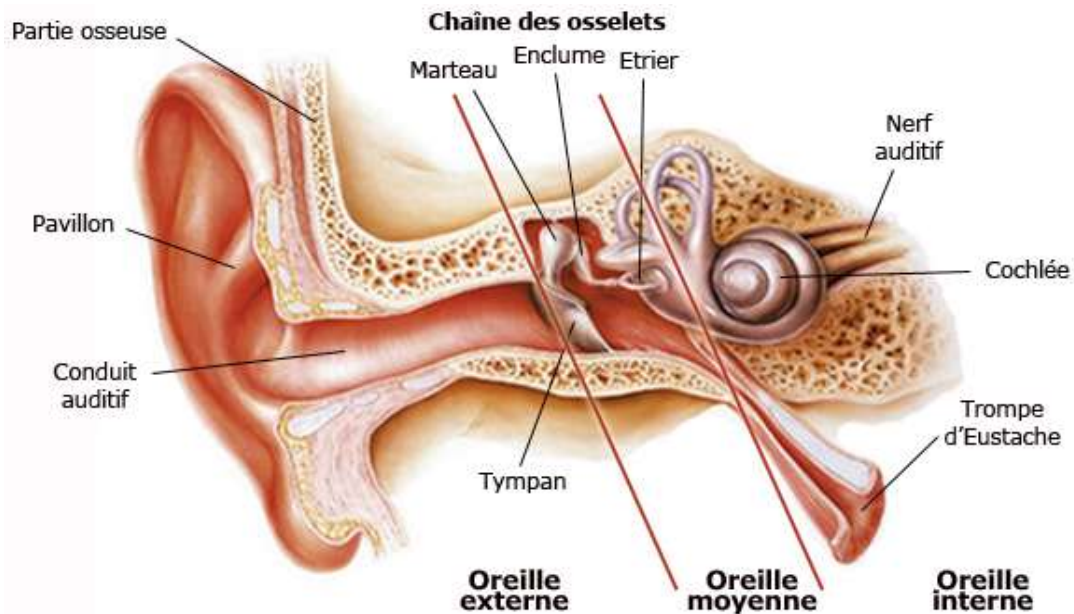
I. Structure et fonctionnement de l'oreille

Activité 1 - L'oreille et l'audition

1- Structure générale de l'oreille (p222)

L'oreille est l'organe permettant l'audition et elle est organisée en 3 parties principales qui ont chacune leur fonction :

- L'oreille externe comprend le pavillon et le conduit auditif
- L'oreille moyenne située entre le tympan et la fenêtre ovale comprend la chaîne des osselets (marteau, enclume et étrier)
- L'oreille interne comprend la cochlée, un organe en spirale qui comprend des cellules ciliées.



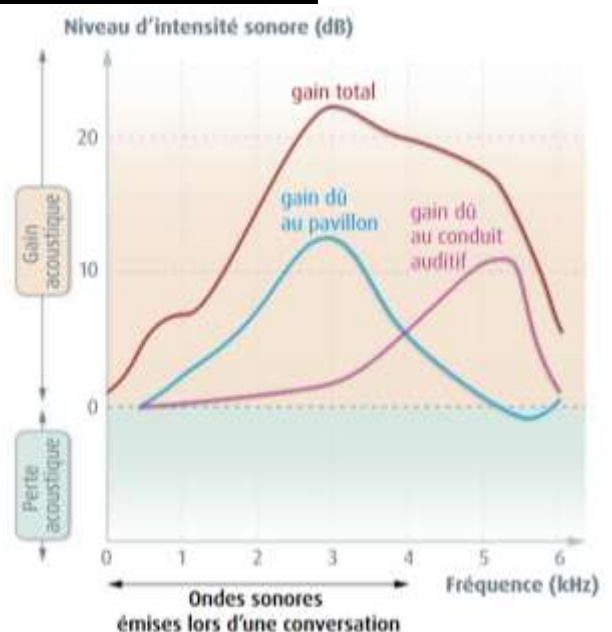
Document 1 : Schéma de la structure de l'oreille

2- L'oreille externe amplifie la réception des sons (p222)

L'oreille externe comprend le pavillon et le conduit auditif. Chacune de ces structures possède des propriétés mécaniques servant à amplifier les sons. Cette amplification est appelée gain acoustique.

C'est le pavillon qui possède les capacités d'amplification les plus perceptibles car l'amplification se fait sur des fréquences autour de 1500 à 4000 Hz, ce qui correspond aux gammes de fréquences d'une conversation.

Le conduit auditif amplifie les ondes sonores de 5000 à 6000 Hz (la note la plus aigüe du piano est de l'ordre de 4100 Hz).

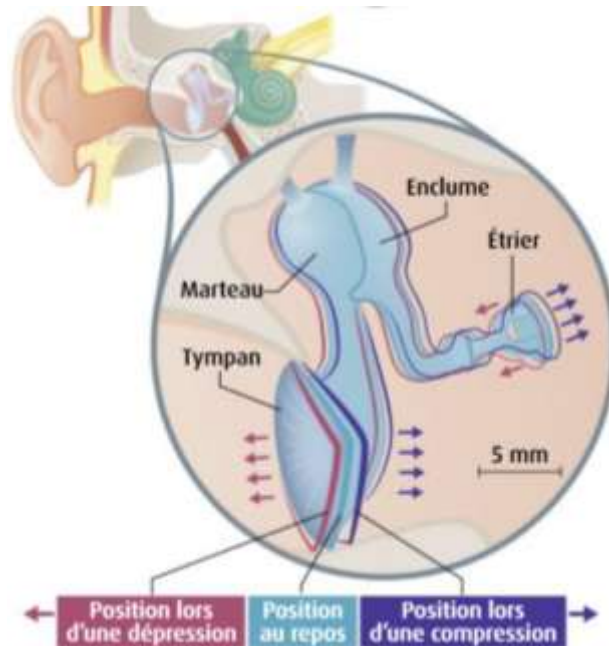


Document 2 : Graphique du gain acoustique de l'oreille externe

3- L'oreille moyenne transmet les vibrations du tympan (p223)

Les ondes sonores qui atteignent le fond du conduit auditif font vibrer le tympan : c'est la membrane qui ferme le fond du conduit auditif. Cette membrane est fragile et elle doit être préservée (risque de perforation). L'oreille interne est donc située en arrière du tympan et correspond à un volume d'air dans lequel sont présents les osselets

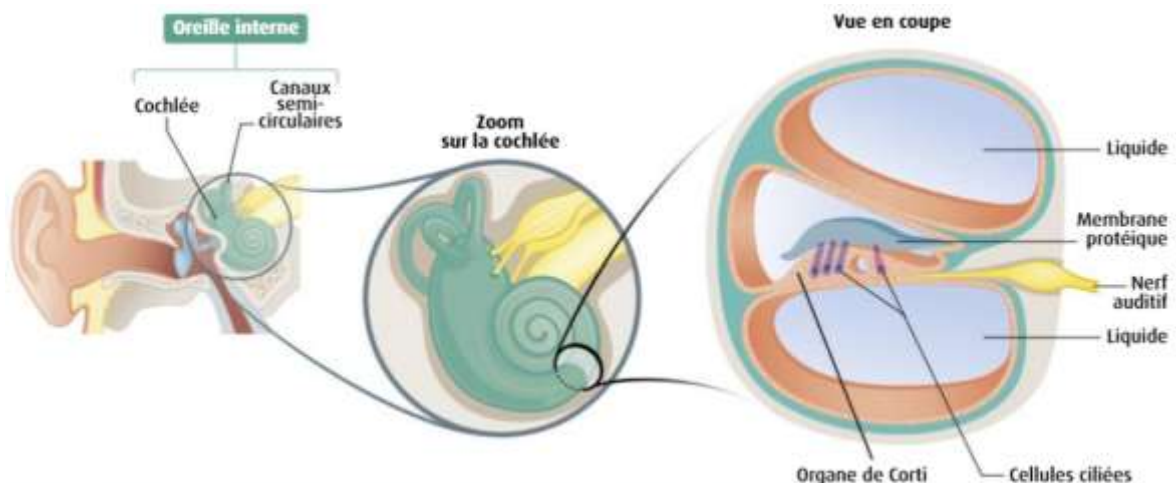
Les vibrations du tympan sont transmises à la chaîne des osselets qui est constituée de 3 structures : le marteau, l'enclume et l'étrier. Lorsque le tympan vibre, il se déplace vers l'intérieur ou l'extérieur. Ceci tire sur le marteau qui tape alors sur l'enclume. Celle-ci répercute alors les vibrations sur l'étrier. Ce dernier présente une forme en Y dont les 2 « bras » appuient sur la fenêtre ovale. C'est une nouvelle membrane qui permet la communication avec l'oreille interne.



Document 3 : Schéma du fonctionnement de l'oreille moyenne

4- L'oreille interne (cochlée) et la formation d'un message (p224)

L'oreille interne comprend la cochlée : c'est un organe en forme de spirale qui contient le liquide cochléaire. Ce liquide est mis en mouvement par les vibrations de la fenêtre ovale, ce qui génère des variations de pression qui provoquent des mouvements des cils des cellules présentes à la surface de la cochlée : ce sont les cellules ciliées. Leur activation induit la formation de message nerveux auditifs.



Document 4 : Schéma de la structure de la cochlée et localisation des cellules ciliées

II. Le fonctionnement des cellules ciliées et le message nerveux

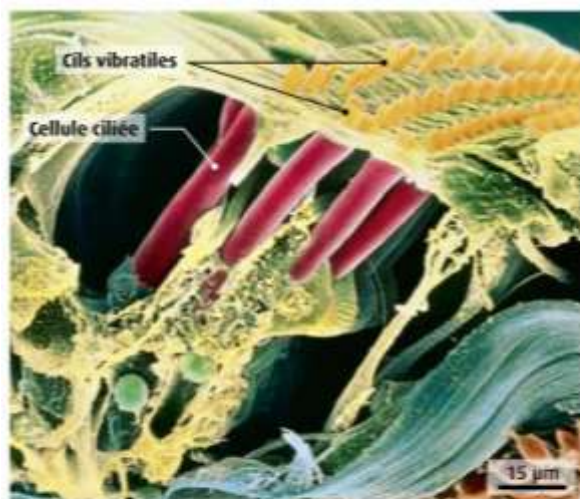
1- Le fonctionnement des cellules ciliées (p224)

Les cellules ciliées sont des cellules nerveuses correspondant aux récepteurs sensoriels de l'ouïe. Ils sont présents à la surface de la cochlée, au niveau de l'organe de Corti (épaississement de la surface de la cochlée). Ces cellules sont en contact étroit avec d'autres cellules nerveuses (neurones) qui forment le nerf auditif.

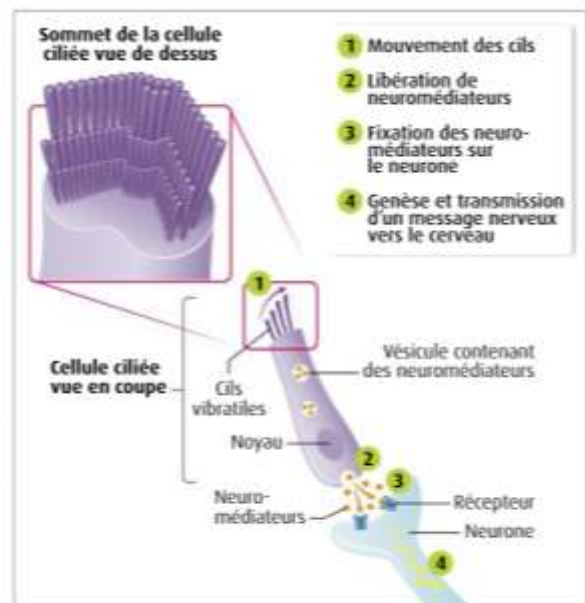
Lorsque les cils vibratiles sont mis en mouvement par les variations de pression, cela active la cellule. Elle va alors libérer des molécules chimiques appelés neurotransmetteurs (ou neuromédiateurs) dans sa partie basale (à l'opposé des cils). Les neurotransmetteurs diffusent alors vers les neurones puis ils se fixent aux récepteurs de ces cellules. La fixation du neurotransmetteur sur le récepteur active le neurone, ce qui produit un message nerveux (voir programme Term SPE SVT).

Remarque 1 : L'humain possède environ 16 000 cellules ciliées, ce qui est très peu en comparaison des 3 millions de photorécepteurs de la rétine.

Remarque 2 : Le neurotransmetteur correspond au glutamate



DOC 1 Organe de Corti vu au MEB. Les cellules ciliées sont surmontées de cils vibratiles sensibles aux variations de pression du liquide contenu dans l'oreille interne. Pour être entendu par l'être humain, un son doit avoir une fréquence comprise entre 20 Hz et 20 kHz.



DOC 3 Fonctionnement des cellules ciliées.

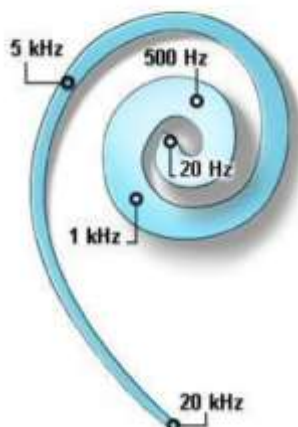
Document 5 : Structure et fonctionnement des cellules ciliées

2- Variabilité des cils et fréquences audibles

L'humain capte théoriquement les sons compris entre 20 (grave) et 20 000 Hz ou 20 kHz (aigu), soit 10 octaves, avec un pouvoir séparateur de l'ordre de 3 Hz. Les sons au-delà de 16 000 Hz correspondent aux ultrasons. Au cours de la vie, les fréquences maximales détectées diminuent progressivement. Par exemple, les ultrasons sont généralement perçus avant l'âge de 18 ans puis ne seront plus perçus après cet âge.

Remarque : Selon les fréquences des sons captés, les variations de pression seront détectées dans différentes zones de la cochlée, ce qui permet au cerveau de discriminer la fréquence des sons (grave/aigu). Les sons les plus aigus sont captés au début de la cochlée.

Distribution des fréquences le long de la membrane basilaire d'une cochlée humaine : tonotopie passive



Quelques fréquences caractéristiques (en kHz) sont indiquées en bleu. Noter le gradient d'élargissement de la membrane basilaire depuis la base (20 kHz) jusqu'à l'apex (20 Hz).

Document 6 : Variabilité de la perception auditive dans la cochlée

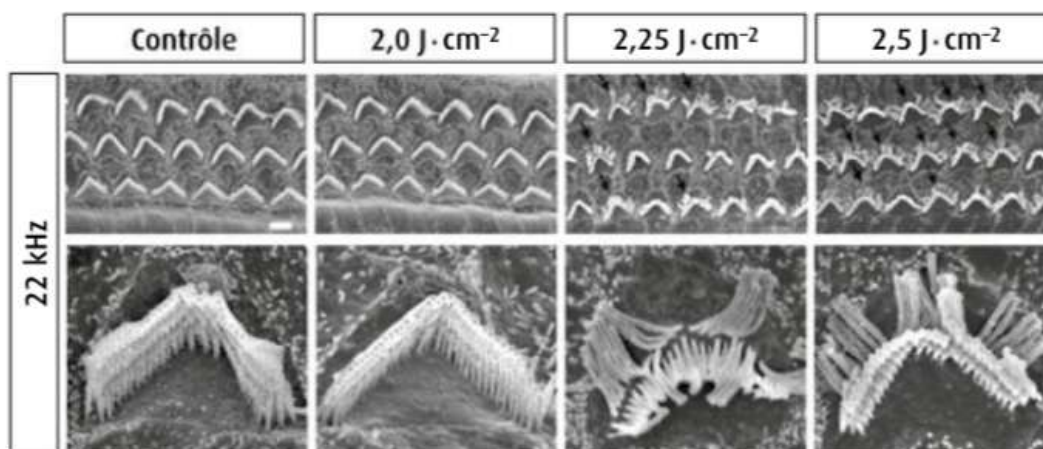
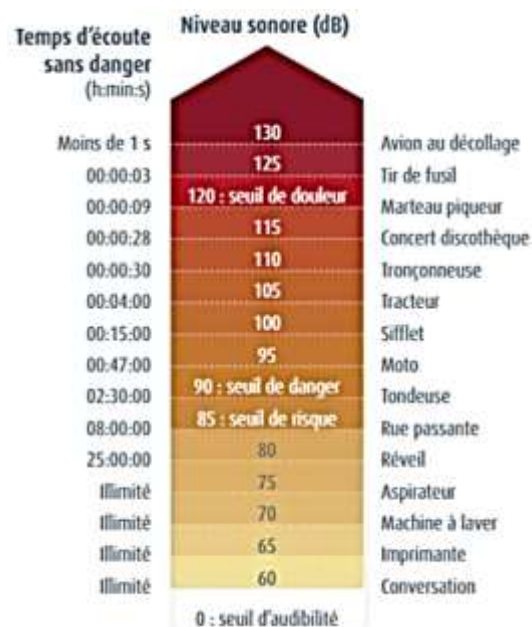
Source : <http://www.cochlea.eu>

3- La fragilité des cellules ciliées (p225)

Les cellules ciliées, en particulier les cils vibratiles, sont fragiles. L'être humain peut percevoir des sons de niveaux d'intensité compris entre 0 et 120 dB (seuil de la douleur). Néanmoins, au-delà de 90 dB (seuil de danger) et selon la durée d'exposition, les sons peuvent dégrader les cellules ciliées et entraîner des dommages irréversibles.

Actuellement, nous ne connaissons pas de technique pour restaurer la formation des cellules ciliées. Il faut donc préserver son audition en limitant l'exposition à des volumes sonores trop intenses (> 90 dB) et en limitant la durée d'exposition à des sons puissants.

Il existe cependant des implants cochléaires qui permettent de résoudre des problèmes de surdité grave. Néanmoins, ce sont des prothèses très coûteuses (> 20 000 euros) et dont peu de personnes bénéficient (1200 /an en France).



Document 7 : Observations microscopiques de cils vibratiles suite à des expositions dangereuses

III. L'audition et les aires auditives

Activité 2 - Le cerveau et les aires auditives

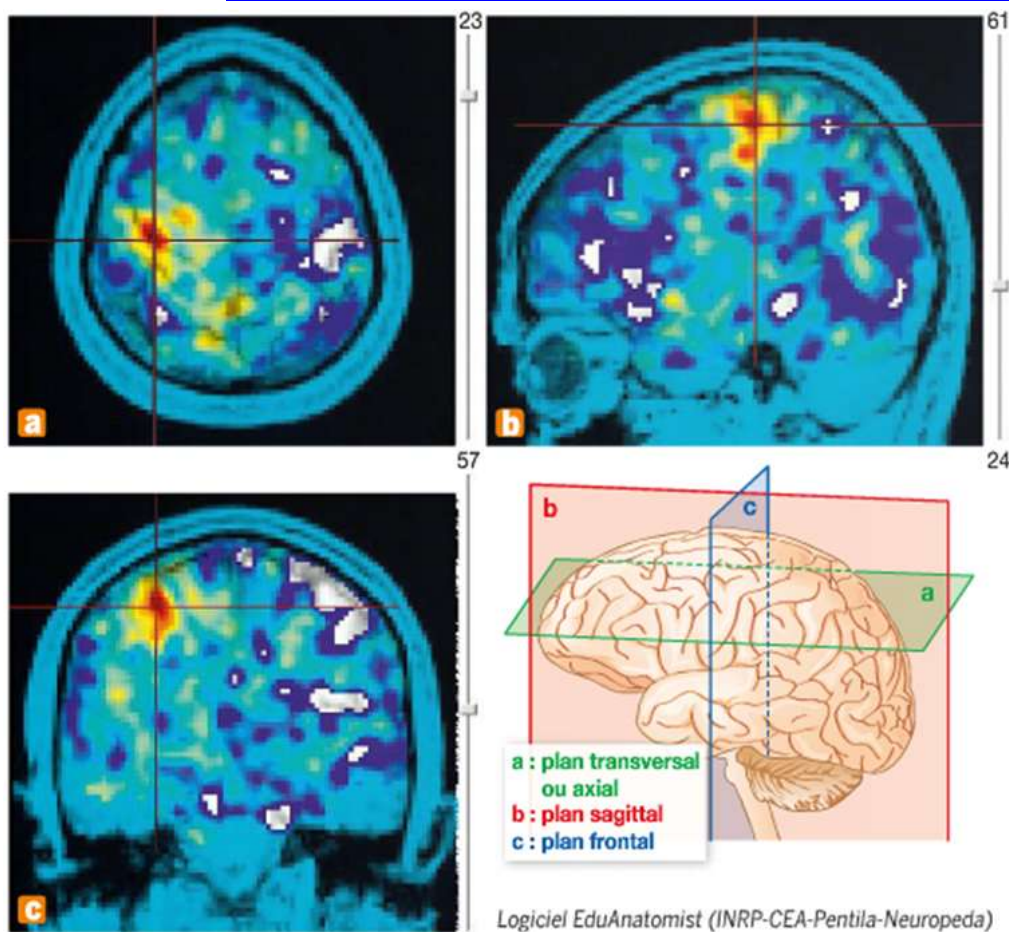
- Connaître la structure globale du cerveau
- Comprendre l'apport des IRM fonctionnelles à la connaissance du cerveau
- Localiser les aires auditives

1- L'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique)

L'IRM est une technique non invasive qui permet de déterminer les structures des organes mais aussi du squelette. Cette technique permet d'étudier les tissus mous (contrairement à la radio qui étudie surtout les tissus durs). Dans ce cas, on réalise une IRM anatomique.

L'IRM peut également être associée au suivi de l'état de l'hémoglobine et notamment du fer qu'elle contient. On parle alors d'IRM fonctionnelle (IRMf) : elle permet de visualiser les zones actives du cerveau. En effet, la présence de l'oxygène modifie les propriétés électromagnétiques du fer ainsi, on peut identifier les zones où le dioxygène est consommé activement. L'intensité du signal peut ensuite être codée (généralement en niveau de couleur : bleu pour une intensité faible, rouge pour une intensité forte).

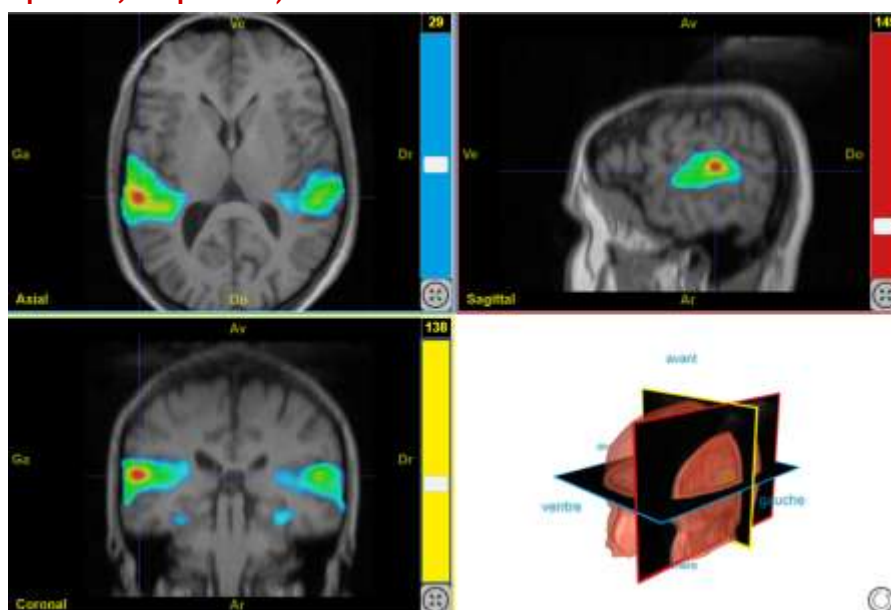
Source intéressante : https://methodes-cogneuro.github.io/irm_fonctionnelle.html



Document 8 : Exemple de cliché d'IRM anatomique et fonctionnelle

2- L'identification des aires auditives

L'étude des clichés d'IRM montre que les aires cérébrales sont généralement organisées de la même manière chez tous les individus humains (sauf pathologie). Ainsi, les aires auditives sont toujours situées au niveau du lobe temporal (vers les tempes). Les aires auditives primaire et secondaire (A1 et A2) permettent de percevoir les sons (fréquence, amplitude).



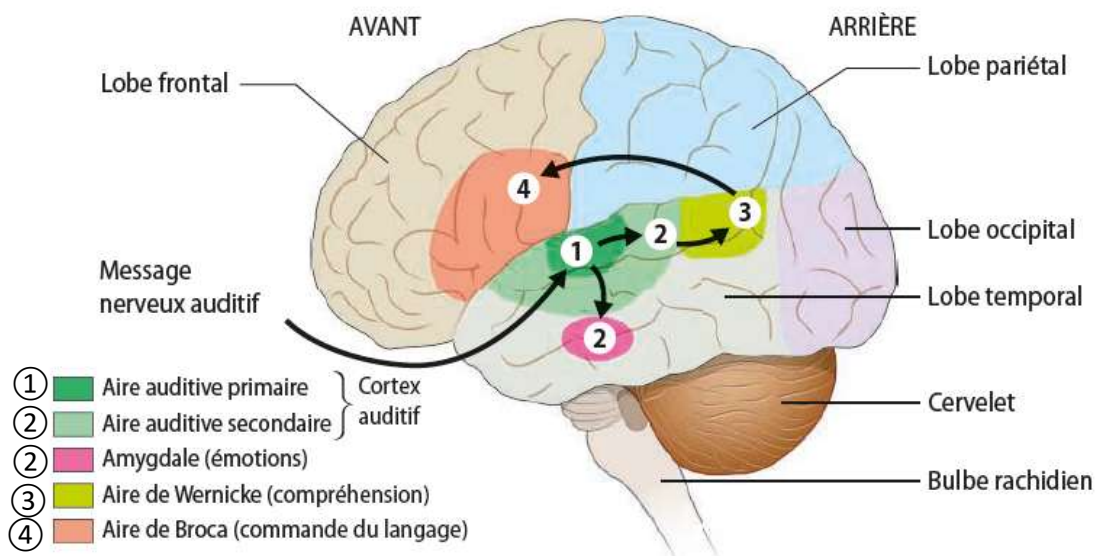
Document 9 : Capture d'écran du logiciel EduAnat2 (online) montrant les aires activées lors de l'écoute d'un son

3- La coopération entre les aires auditives et le reste du cerveau

Les informations auditives obtenues par les aires A1 et A2 sont ensuite transmises à d'autres aires afin d'analyser et répondre aux stimuli auditifs :

- L'aire de Wernicke permet la compréhension des messages
- L'aire de Broca permet la commande du langage pour élaborer une réponse

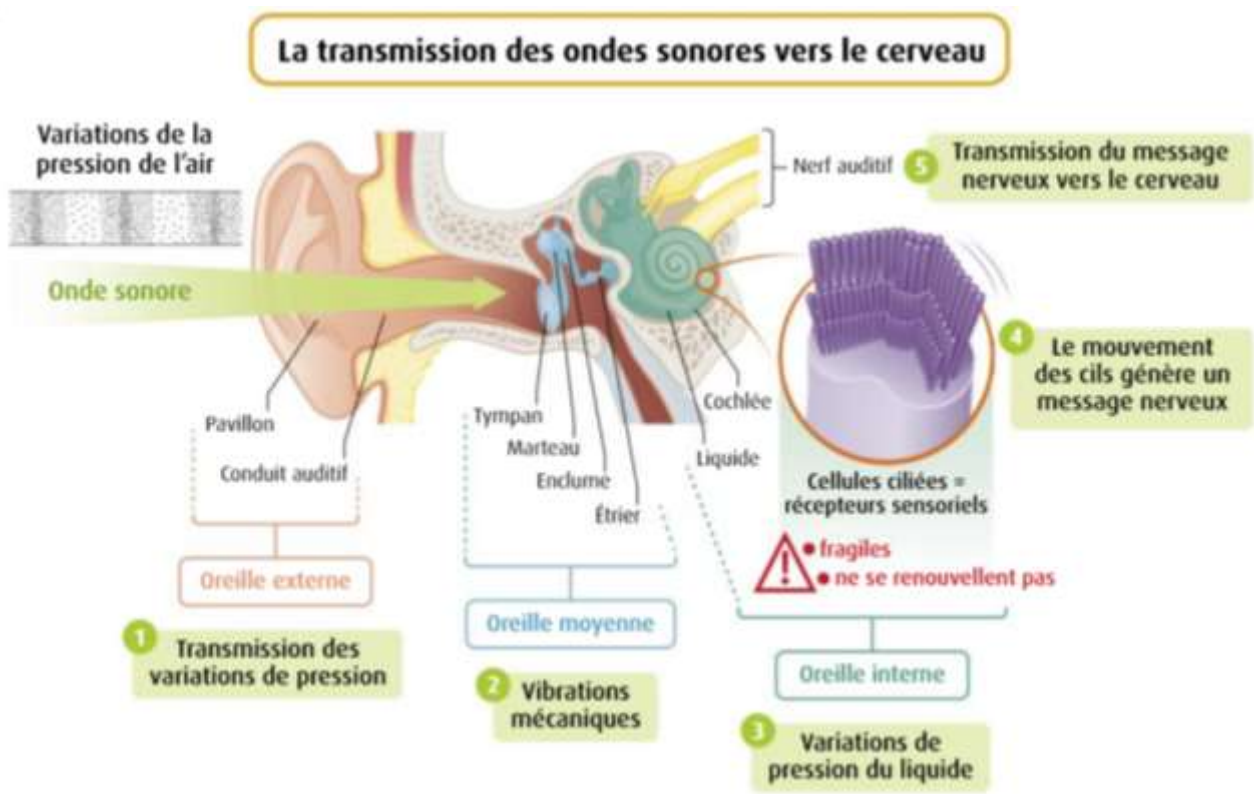
Enfin, la réception des sons contribue très souvent à générer des émotions. Celles-ci sont associées à l'activation d'une autre zone du cerveau : c'est l'amygdale, une structure qui fait partie du système limbique. Cette structure est également mise en jeu durant le stress (voir programme Term SPE SVT).



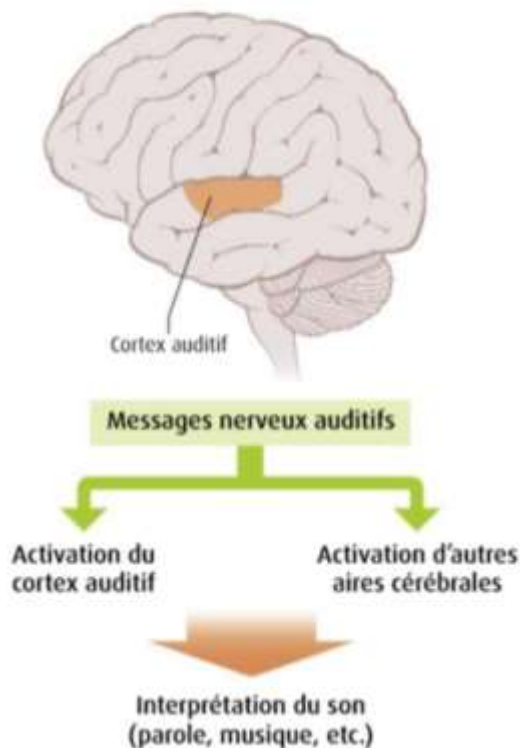
Document 10 : Le fonctionnement des aires cérébrales participant à l'audition

CONCLUSION :

L'audition est permise par l'oreille dont les 3 parties permettent de transmettre les sons (variations de pression/vibrations mécaniques) en message nerveux qui est envoyé via le nerf auditif jusqu'aux aires auditives situées dans le lobe temporal du cerveau. Les cellules ciliées sont fragiles et il faut les préserver.



Le traitement des messages nerveux auditifs par le cerveau



La préservation de l'audition

LES BONS GESTES :



Source intéressante :

<http://www.cochlea.eu/cellules-ciliees/cellules-ciliees-interne-structure/physiologie#:~:text=Les%20cellules%20cili%C3%A9es%20internes%20codent,les%20fibres%20du%20nerf%20auditif.>