



POUR COMMENCER

Testez votre culture scientifique

Identifiez la bonne réponse

1. Le tympan est :

- a. un petit os qui agit comme un piston
- b. un conduit qui transmet les ondes sonores au cerveau
- c. une membrane qui vibre lorsqu'elle reçoit un son

2. Lorsque les récepteurs des ondes sonores de l'être humain sont abîmés :

- a. ils sont remplacés par d'autres types de récepteurs
- b. ils ne se régénèrent pas
- c. ils se régénèrent partiellement

Recherches Internet

Recherchez les signes qui doivent vous alerter après l'écoute d'une musique trop forte, et quelles attitudes à adopter pour protéger votre ouïe.



Cellules sensorielles ciliées de l'oreille interne observées au microscope électronique à balayage (fausses couleurs).
Grossissement : × 60 000.



CHAPITRE

14

ENTENDRE LA MUSIQUE

UNITÉ 1 La transmission
des ondes sonores
dans l'oreille

UNITÉ 2 La réception
des ondes sonores

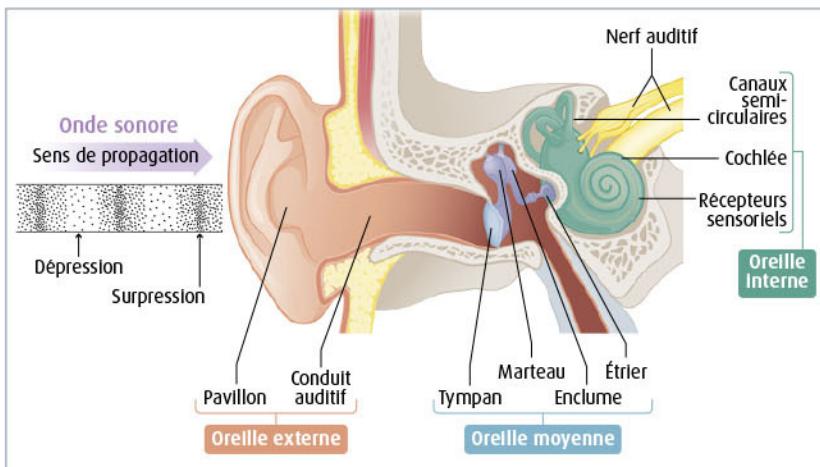
UNITÉ 3 L'interprétation de sons
par le cerveau

La transmission des ondes sonores dans l'oreille

Les sons sont des informations de notre environnement. Pour être perçus par l'être humain, ils doivent parvenir aux récepteurs sensoriels de l'oreille.

Comment les ondes sonores sont-elles transmises aux récepteurs sensoriels ?

Le rôle de l'oreille externe



DOC 1 L'organisation de l'oreille.

Dès le XVI^e siècle, des dissections d'oreilles humaines ont permis d'identifier les différentes structures qui la composent. Mais ce n'est qu'au milieu du XIX^e siècle que l'on localise les récepteurs sensoriels. Grâce à cette découverte, on commence à comprendre le fonctionnement de l'oreille. Marteau, enclume et étrier sont des osselets.

EXPÉRIMENTATION

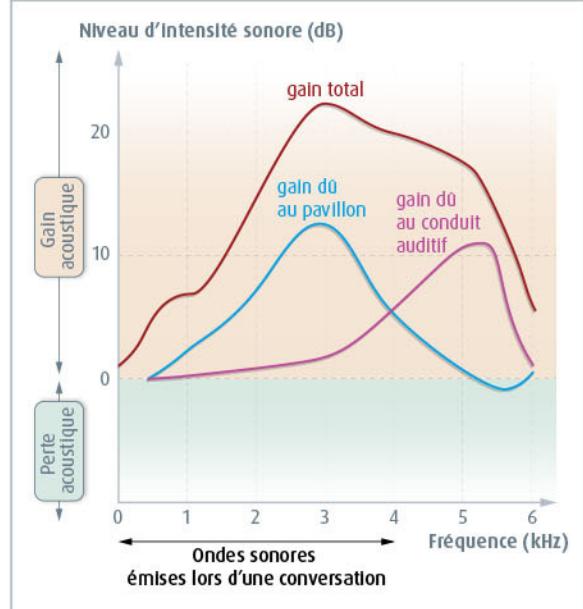
- Téléchargez une application «sonomètre» sur votre téléphone portable.
- Emettez un son de hauteur et d'intensité constantes et enregistrez-le, grâce au sonomètre, avec et sans entonnoir.



Niveau sonore enregistré

Sans entonnoir	48 dB
Avec entonnoir	50 dB

DOC 2 Expérience de modélisation de l'oreille externe.



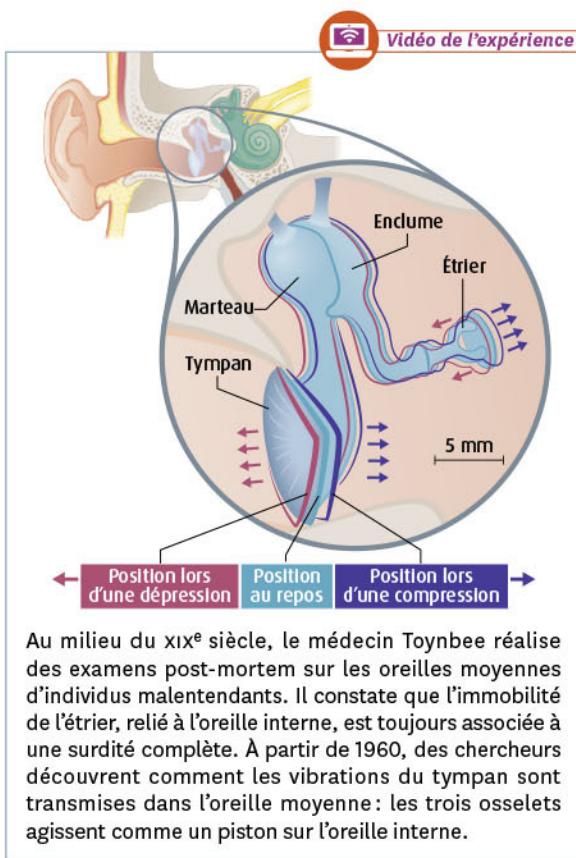
DOC 3 Gain acoustique dans l'oreille en fonction de la fréquence de l'onde sonore. Le gain acoustique est l'amplification de l'intensité sonore. Après avoir traversé l'oreille externe, les ondes sonores atteignent le tympan. Sur ce trajet, l'intensité des ondes est modifiée.

Le rôle des oreilles moyenne et interne

Histoire des sciences

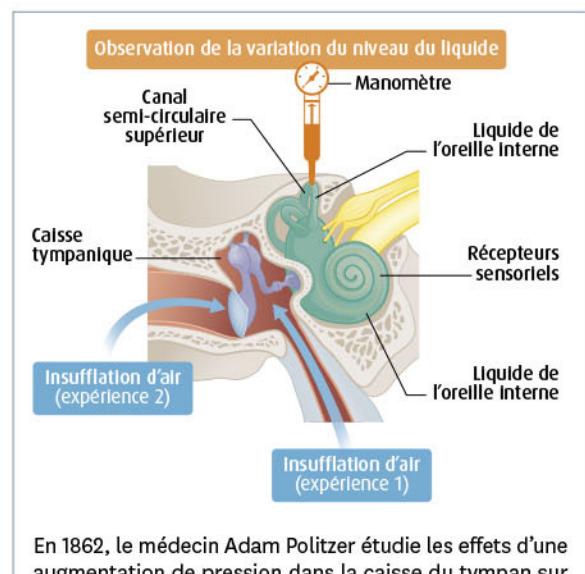
Nombre de personnes	Tympan perforé (75 personnes)						Tympan non perforé
	6	11	23	16	15	4	
Distance maximale de perception du tic-tac	Jamais aucune perception	Au pavillon de l'oreille	À 12,7 cm du pavillon	Entre 15,2 et 30,5 cm	Entre 30,5 et 61 cm	Entre 61 et 244 cm	À 4,5 m du pavillon

DOC 4 Une expérience historique sur le rôle du tympan. Au milieu du XIX^e siècle, le chercheur Clarke éprouve une idée répandue selon laquelle l'ouïe peut rester intacte en cas de perforation du tympan. Pour cela, il note la distance maximale de perception du tic-tac d'une montre chez des personnes au tympan perforé ou non.



Au milieu du XIX^e siècle, le médecin Toynbee réalise des examens post-mortem sur les oreilles moyennes d'individus malentendants. Il constate que l'immobilité de l'étrier, relié à l'oreille interne, est toujours associée à une surdité complète. À partir de 1960, des chercheurs découvrent comment les vibrations du tympan sont transmises dans l'oreille moyenne : les trois osselets agissent comme un piston sur l'oreille interne.

DOC 5 Des observations sur le rôle des osselets.



En 1862, le médecin Adam Politzer étudie les effets d'une augmentation de pression dans la caisse du tympan sur le liquide contenu dans l'oreille interne. Il ouvre le canal semi-circulaire supérieur et fixe, dans l'ouverture, le tube d'un manomètre. L'air de la caisse étant comprimé au moyen d'une insufflation, le liquide du manomètre s'élève d'autant plus que la compression est forte. Les expériences, reconduites en augmentant la pression extérieure sur la membrane du tympan, donnent les mêmes résultats.

DOC 6 Une expérience sur la transmission des ondes vers l'oreille interne.

ACTIVITÉ GUIDÉE

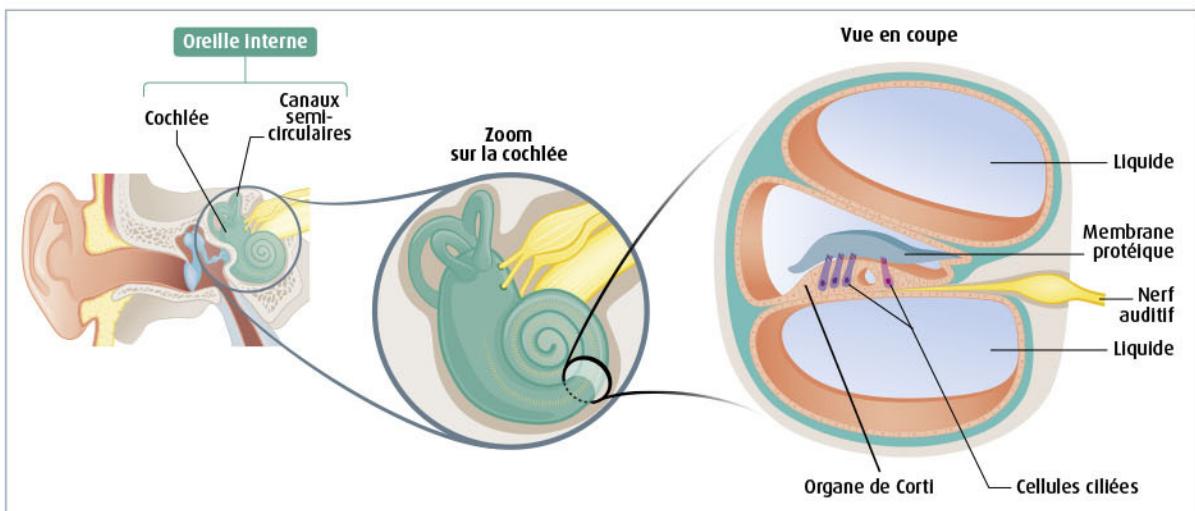
- Indiquez la localisation des récepteurs sensoriels dans l'oreille (doc. 1).
- Indiquez le rôle de l'oreille externe (doc. 1 à 3).
- Expliquez comment la structure de l'oreille moyenne permet la transmission des ondes sonores du tympan à l'oreille interne (doc. 4 et 5).
- Indiquez comment les variations de pression de l'air sont converties dans l'oreille interne (doc. 6).
- Résumez, sous la forme d'un schéma, comment les ondes sonores sont transmises aux récepteurs sensoriels.

La réception des ondes sonores

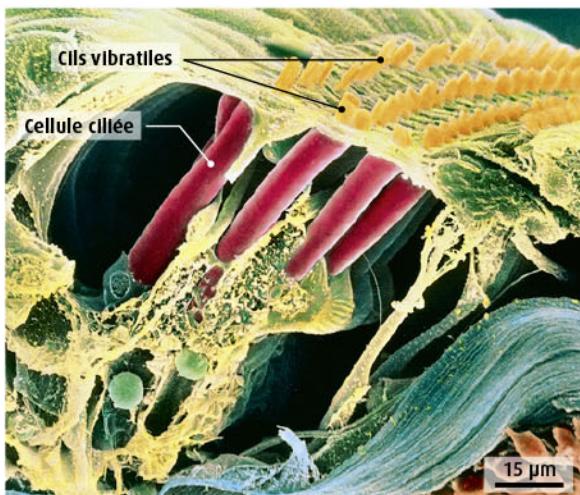
En 2015, l'OMS a déclaré que 1,1 milliard de jeunes dans le monde pourraient courir le risque de pertes auditives en raison de pratiques d'écoute dangereuses.

Comment fonctionne l'oreille interne et comment certaines pratiques d'écoute peuvent-elles l'endommager ?

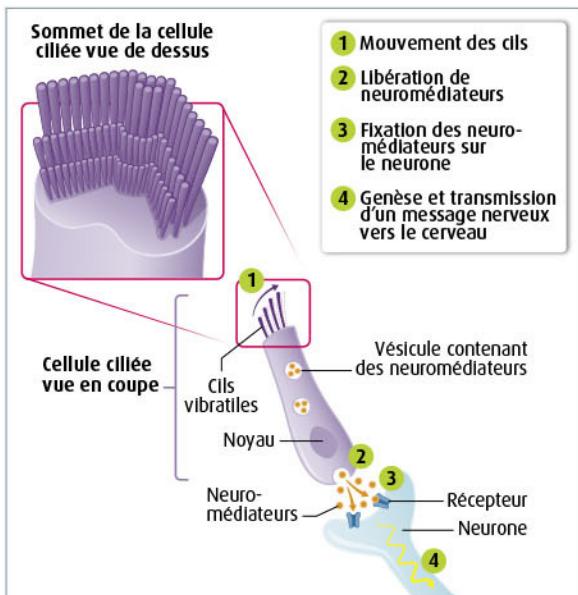
Le rôle des cellules ciliées



DOC 1 Localisation des cellules ciliées. Les cellules ciliées sont les récepteurs sensoriels des ondes sonores. L'être humain en possède environ 16 000, ce qui est très faible au regard des millions de photorécepteurs situés dans les yeux.

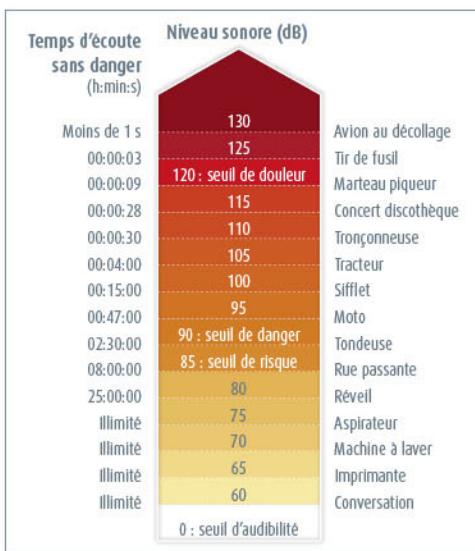


DOC 2 Organes de Corti vu au MEB. Les cellules ciliées sont surmontées de cils vibratiles sensibles aux variations de pression du liquide contenu dans l'oreille interne. Pour être entendu par l'être humain, un son doit avoir une fréquence comprise entre 20 Hz et 20 kHz.

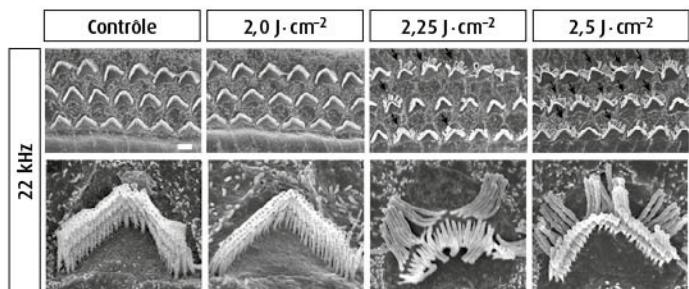


DOC 3 Fonctionnement des cellules ciliées.

La fragilité des cellules ciliées



DOC 4 Niveau sonore et durée maximum admissibles d'exposition quotidienne au bruit selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Pour préserver au mieux les capacités d'audition, l'OMS préconise de ne pas dépasser un niveau d'écoute de 75 dB sur 8 heures.

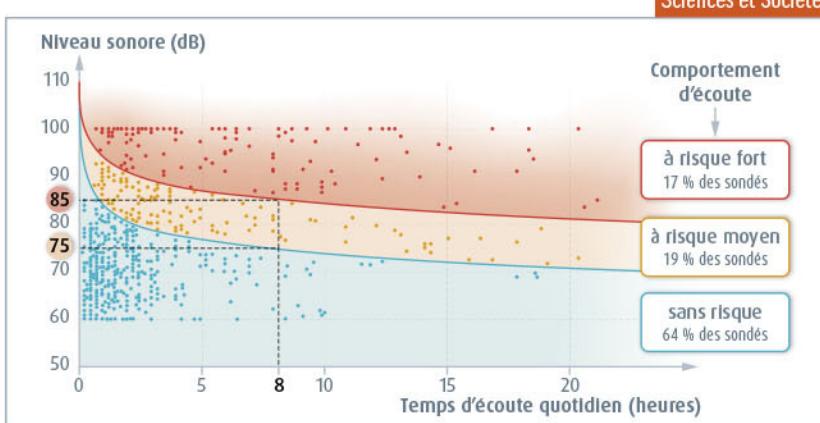
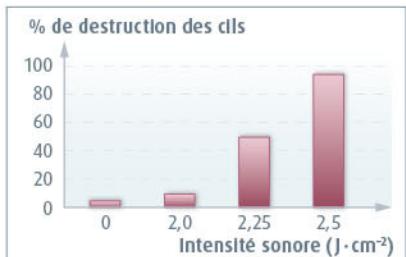


Pratique scientifique

DOC 5 Effet d'ondes sonores de forte intensité sur les cellules ciliées de rats.

Des rats ont été exposés à des bruits semblables à des explosions d'intensité croissante. Leurs cellules

ciliées ont ensuite été observées au microscope. Chez l'être humain, lorsque les cellules ciliées sont endommagées, elles ne peuvent ni être réparées, ni remplacées. Ces dégâts irréversibles peuvent causer une surdité.



DOC 6 Habitudes d'écoute chez les 12-17 ans. Une enquête Bruitparif, réalisée en 2015-2016 sur 1 178 élèves d'Ile-de-France de 12 à 17 ans, a permis de mettre en évidence différents profils d'utilisateurs, et notamment des utilisateurs qui cumulent les pratiques à risque pour l'audition. Chaque point correspond à un individu sondé.

TÂCHE COMPLEXE

Mission

Réalisez une affiche présentant les risques liés à l'écoute de musique amplifiée à un niveau sonore trop élevé.

Besoin d'aide ?



Pistes de réalisation

- Expliquez comment les ondes sonores produisent un message nerveux.
- Expliquez pourquoi les cellules ciliées sont précieuses.
- Montrez que les risques sont fonction du niveau et du temps d'écoute.

L'interprétation de sons par le cerveau

Les ondes sonores sont codées sous forme de message nerveux dans l'oreille interne. Celui-ci est transmis au cerveau par des nerfs.

Comment le cerveau interprète-t-il notre univers sonore ?



A. Souques

Histoire des sciences

En 1930, le neurologue Achille Souques et le psychiatre Henri Baruk relatent le cas d'une pianiste subitement incapable de comprendre le langage. En revanche, elle déchiffre des notes jouées sans difficulté et détecte des erreurs dans des gammes jouées par l'examinatrice. Après sa mort, une autopsie révèle une lésion localisée dans le cortex temporal supérieur gauche.

DOC 1 Étude d'un cas clinique.

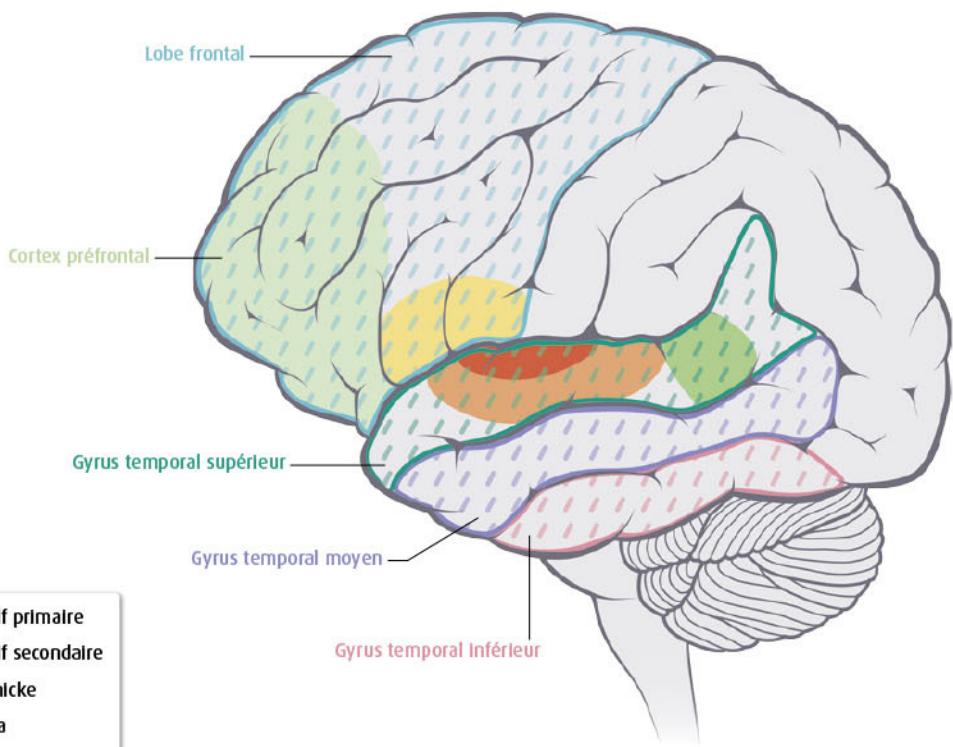
Histoire des sciences

En 1963, les médecins Penfield et Perot constatent que des stimulations électriques du cortex temporal supérieur, réalisées lors de chirurgie du cerveau, génèrent des sensations auditives : bruits, phrases, chants, mélodies. Toutefois, les sensations musicales sont plus fréquemment rapportées lors de stimulations du cortex temporal supérieur droit que gauche.



Penfield assistant à une chirurgie.

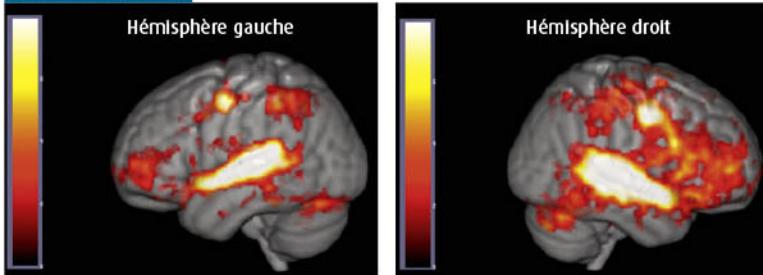
DOC 2 Expériences de stimulation cérébrale.



DOC 3 Aires de l'hémisphère gauche du cerveau.

On retrouve les mêmes aires dans l'hémisphère droit.

Pratique scientifique

**DOC 4** IRMf d'une personne d'audition normale, écoutant une musique classique sans parole.

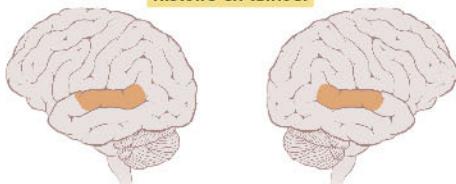
L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) permet de visualiser, de manière indirecte, l'activité cérébrale. Lorsque les zones du cerveau sont stimulées, les propriétés de leur flux sanguin sont modifiées. L'IRMf consiste à enregistrer ces variations pour étudier le cerveau.

Résumé des IRMf obtenues

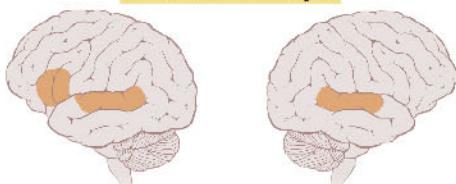
Gauche

Droit

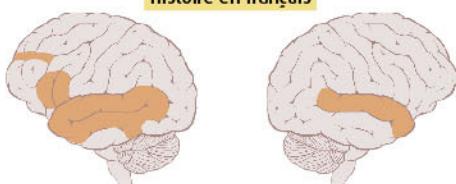
Histoire en tamoul



Liste de mots en français



Histoire en français



Protocole expérimental

	Action des volontaires		
	Écoute d'une histoire en Tamoul	Écoute d'une liste de mots en français	Écoute d'une histoire en français
Composante du langage ciblée			
Perception de sons	X	X	X
Interprétation des mots		X	X
Interprétation de la syntaxe et de la prosodie			X

DOC 5 Expérience sur le traitement du langage.

TÂCHE COMPLEXE

Mission

Répondez à la question de l'unité sous forme d'un texte d'une quinzaine de lignes.

Besoin d'aide ?



Pistes de réalisation

- Identifiez les aires cérébrales communes au traitement du langage et de la musique.
- Montrez que les aires de l'hémisphère droit sont davantage impliquées dans le traitement de la musique et celles de l'hémisphère gauche, dans le traitement du langage.



1. La transmission des ondes sonores dans l'oreille > UNITÉ 1

- ▶ L'oreille humaine peut percevoir des sons d'un niveau sonore compris entre 0 et 120 dB, et d'une fréquence comprise entre 20 et 20 000 Hz. Elle est organisée en trois parties : **oreille externe, moyenne et interne**.
- ▶ L'oreille externe est constituée du pavillon et du conduit auditif. Elle canalise, amplifie et transmet à l'oreille moyenne les ondes sonores.
- ▶ Au niveau de l'oreille moyenne, ces variations de pression entraînent des vibrations du tympan. Celui-ci est relié à une chaîne d'osselets, qui se met en mouvement lorsque le tympan vibre. Ces mouvements sont convertis en variations de pression du liquide contenu dans la cochlée de l'oreille interne. Cela stimule alors les **récepteurs sensoriels de l'ouïe**.

2. La réception des ondes sonores > UNITÉ 2

- ▶ Les récepteurs sensoriels de l'ouïe sont des **cellules ciliées**. Les variations de pression du liquide de l'oreille interne entraînent des mouvements de leurs cils. Ils sécrètent alors des **neuromédiateurs** qui se fixent à la surface des neurones. Cela entraîne la production de messages nerveux en direction du cerveau.
- ▶ Les cils vibratiles sont fragiles et facilement endommagés par des sons trop intenses. Or les cellules ciliées ne se renouvellent pas. Ces dégâts sont donc irréversibles et peuvent causer une surdité.

3. L'interprétation des sons par le cerveau > UNITÉ 3

- ▶ Les messages nerveux issus des récepteurs sensoriels de l'ouïe sont acheminés vers les aires corticales auditives, localisées dans les lobes temporaux droit et gauche du cerveau. Dans ces aires auditives, les messages nerveux sont interprétés en son, musique, langage, etc.
- ▶ Ces messages nerveux stimulent également d'autres **aires cérébrales**.

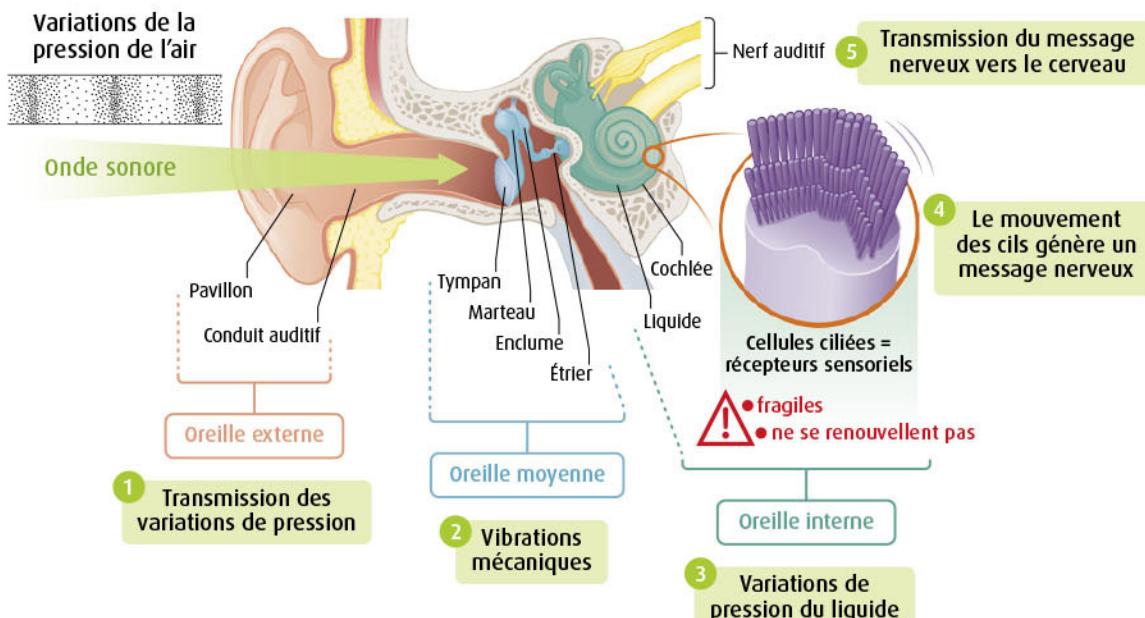
Les mots-clés du chapitre

Aires cérébrales • Cellules ciliées • Neuromédiateurs • Oreille externe, moyenne et interne • Récepteurs sensoriels de l'ouïe

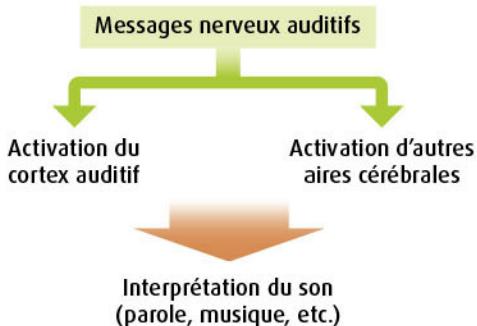
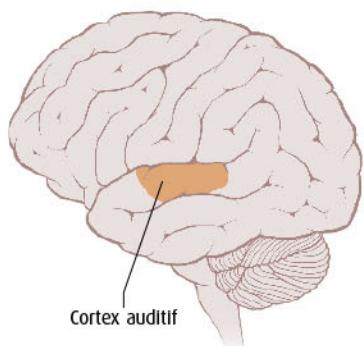
► Lexique p. 251

l'essentiel par l'image

La transmission des ondes sonores vers le cerveau



Le traitement des messages nerveux auditifs par le cerveau



La préservation de l'audition

LES BONS GESTES :



- limiter la durée d'écoute au casque
- ne pas régler le volume trop fort



- s'éloigner des enceintes en concert

Tester ses savoirs

1 Vrai/Faux

Identifiez les affirmations fausses et rectifiez-les.

- a. Les récepteurs sensoriels sont situés dans l'oreille moyenne.
- b. Les ondes sonores sont transmises sous forme de variations de pression de liquide dans l'oreille interne.
- c. Les mouvements des osselets entraînent des vibrations du tympan.
- d. Les cellules ciliées sont capables de se renouveler.
- e. Les informations nerveuses en provenance de l'oreille interne sont principalement traitées dans le cortex auditif.

3 QCM

Pour chaque proposition, identifiez la bonne réponse.

1. L'oreille moyenne contient :

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| a. les osselets | c. le conduit auditif |
| b. la cochlée | d. les nerfs auditifs |

2. Sur la photo ci-dessous, les structures rouges et jaunes sont :



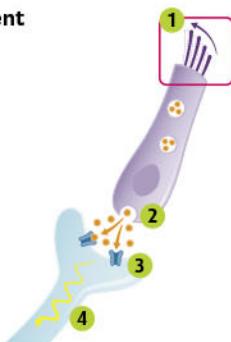
- a. des neurones
- b. des cellules ciliées
- c. les osselets de l'oreille

4 Question de synthèse

Expliquez en quoi l'organisation de l'oreille humaine permet la perception des sons.
Votre réponse prendra la forme d'un texte d'une dizaine de lignes.

2 Légender un schéma

Indiquez à quoi correspondent les étapes 1 à 4.



3. Les cils des cellules ciliées sont directement mis en mouvement par :

- a. des variations de pression de liquide dans l'oreille interne
- b. des variations de pression de l'air dans l'oreille moyenne
- c. des vibrations du tympan

4. Une altération des cellules ciliées entraîne une perte auditive car elle perturbe :

- a. le mouvement des osselets
- b. les vibrations du tympan
- c. la genèse d'un message nerveux auditif
- d. le passage des ondes sonores dans l'oreille

5. L'hémisphère gauche du cerveau est davantage impliqué dans :

- a. l'interprétation de la musique
- b. l'interprétation des bruits de notre environnement
- c. l'interprétation du langage

● Critères de réussite

- ✓ J'ai nommé et mis en relation les différentes structures de l'oreille avec leur rôle.
- ✓ Mon texte est organisé de façon logique.
- ✓ Mes phrases sont ponctuées et grammaticalement correctes.

5 Raisonner et rédiger

Le professeur Tournesol et son cornet acoustique

La première description de cornets acoustiques date du XVII^e siècle. Ils ont aujourd'hui été remplacés par des dispositifs électroniques discrets.

DOC 1 Extrait de l'album de Tintin *Objectif Lune*.



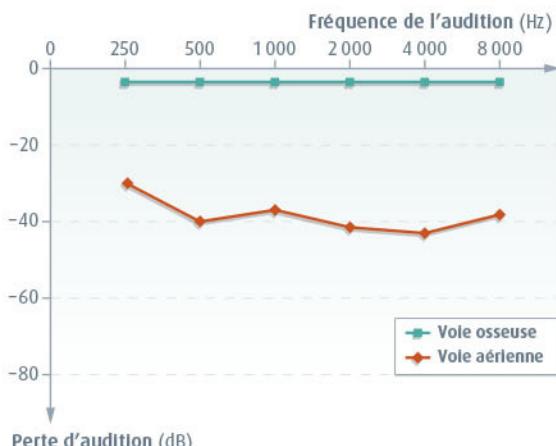
QUESTIONS

1. D'après vos connaissances, proposez des hypothèses sur la cause de la surdité du professeur Tournesol.
2. Le cornet acoustique a un rôle similaire à une partie de l'oreille. Précisez laquelle et son rôle.

6 Analyser des données et raisonner

Identifier une cause de surdité

La surdité peut résulter de différentes causes. Afin de proposer une solution aux patients atteints de surdité, il faut donc commencer par localiser la partie défaillante de l'oreille.



DOC 2 Audiogramme d'un patient (oreille droite).

Chaque oreille est testée séparément dans une cabine isolée du bruit. L'opérateur fait varier l'intensité et la fréquence du son afin de déterminer l'intensité minimum perçue par le patient. Le son perçu est transmis de deux façons :

- par voie aérienne, c'est-à-dire par émission d'une onde sonore qui est transmise aux trois parties de l'oreille ;
 - par voie osseuse, c'est-à-dire en créant une vibration sur le crâne qui est transmise directement à l'oreille interne, sans passer par l'oreille externe et moyenne.
- Les résultats figurent dans un audiogramme, dont l'analyse permet d'identifier une surdité liée à un problème dans l'oreille interne, ou en amont (oreille externe ou moyenne).

DOC 1 Protocole d'un test d'audition.

QUESTIONS

1. Indiquez dans quel cas une perte auditive est constatée chez ce patient.
2. En déduire la partie de l'oreille qui est défaillante, en expliquant votre raisonnement.

7 Analyser des données et raisonner

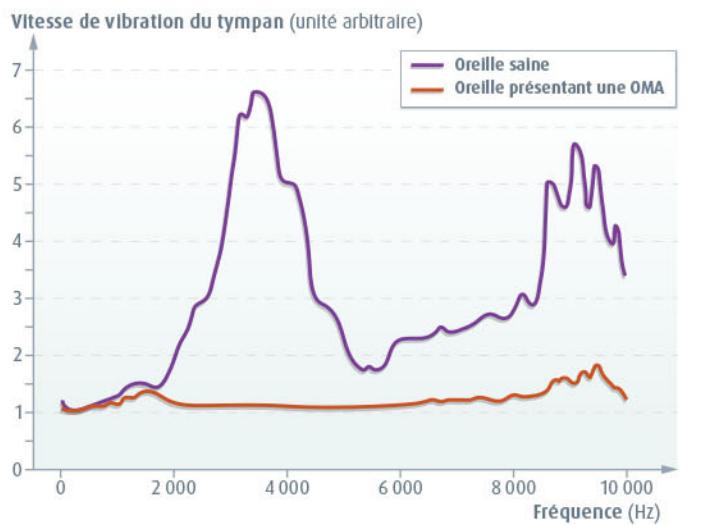
L'otite moyenne aigüe

L'otite moyenne aigüe (ou OMA) se caractérise par sécrétion de liquide dans l'oreille moyenne. Elle peut être causée par une infection et entraîne une baisse auditive temporaire.

Elle peut être traitée par des médicaments.

QUESTION

Exploitez le document et utilisez vos connaissances pour expliquer la perte temporaire de l'audition lors d'une otite moyenne aigüe.



DOC 1 Vitesse de vibrations selon la fréquence des ondes sonores.

8 Mettre en relation des données, raisonner et rédiger

Le rôle du cerveau dans la perception des sons

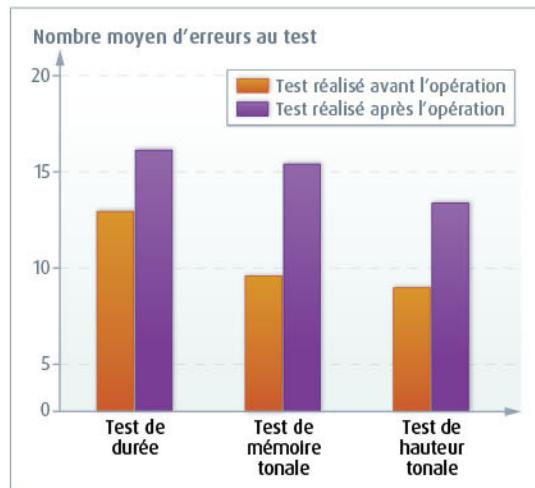
Dans les années 1960, un chercheur effectue des tests chez des patients avant et après la suppression, dans leur cerveau, du lobe temporal droit. Ce traitement avait pour but de soigner des formes graves d'épilepsie. Ce type de traitement a été totalement abandonné aujourd'hui.

	Sons écoutés par le patient	Rôle du patient
Test de hauteur tonale	2 notes successives (50 fois)	Juger si la seconde note est plus haute ou plus basse
Test de mémoire tonale	Deux séquences de notes successives, avec modification d'une note dans la 2 ^e séquence (30 fois)	Identifier par un chiffre la note qui a été modifiée dans la 2 ^e séquence
Test de durée	Deux notes de durées différentes (50 fois)	Juger si la seconde note est plus longue ou plus courte

DOC 1 Tests réalisés.

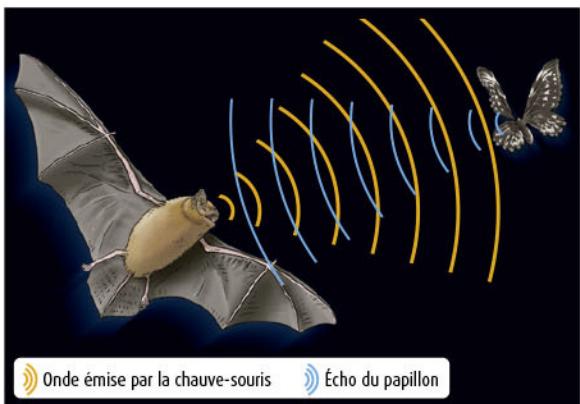
QUESTION

Comparez le résultat des tests effectués avant et après l'opération des patients, puis expliquez-les à l'aide de vos connaissances.



DOC 2 Résultats des tests de la lobectomie droite.

Monde animal



Une chauve-souris détecte un papillon par écholocation.

Menez l'enquête

Recherchez les domaines d'application du sonar, ainsi que ses impacts sur la faune marine.

Écouter pour voir

Au XVIII^e siècle, deux biologistes cherchent à comprendre comment les chauves-souris se déplacent dans l'obscurité. Après avoir bandé leurs yeux, ils constatent qu'elles volent avec aisance et capturent leur proie avec précision. Ils leurs bouchent ensuite les oreilles et se rendent compte qu'elles sont alors incapables de chasser. Les chauves-souris verraien-t-elles avec leurs oreilles ? Deux siècles plus tard, ce mystère est résolu : les chauves-souris se déplacent par écholocation. L'écholocation consiste à envoyer des sons et à écouter leur écho pour localiser, et dans une moindre mesure identifier, les éléments d'un environnement. Cette technique est également utilisée par les dauphins, certains oiseaux, et par le sonar.



Pour en savoir plus Article du magazine *Pour la Science* et Vidéo de Radio Canada

Technologie

L'homme qui entend les couleurs

Neil Harbisson est né avec une anomalie visuelle nommée achromatopsie : il ne distingue aucune couleur et voit donc le monde en nuances de gris. Cette pathologie s'explique par une absence de cellules photoréceptrices sensibles aux différentes couleurs. En 2004, l'homme est devenu le premier au monde à arborer un « eyeborg », une sorte d'œil électronique qui lui permet de transposer les couleurs en fréquences sonores. Les teintes à haute fréquence paraissent aiguës tandis que les couleurs à basse fréquence se situent plus dans les graves. « Pour moi, le ciel est toujours gris, les fleurs sont toujours grises et la télévision toujours en noir et blanc. Mais depuis mes 21 ans, au lieu de voir les couleurs, je peux les entendre », explique-t-il.



Pour en savoir plus Conférence TED de Neil Harbisson

Menez l'enquête

Expliquez comment fonctionne l'eyeborg et comment il a permis à Neil Harbisson de créer des portraits sonores.