

MENS

MILIEU EDUCATION NATURE SOCIÉTÉ

58

Revue scientifique populaire
Trimestrielle | JAN-FÉV-MAR 2013

Ouïe et problèmes d'audition

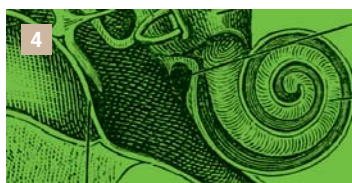


Loterie Nationale
créateur de chances



Universiteit
Antwerpen

Des sons aux oreilles : évolution de l'audition	4
Les poissons sentent vibrer l'eau : l'apparition de la cellule ciliée	5
De la mer à la terre : le maintien de l'équilibre	6
De l'eau à l'air : encore quelques adaptations	7
Les mammifères disposent d'une oreille moyenne étendue	9
Les mammifères laissent pendre leurs oreilles : l'oreille externe	10
Le son	10
L'amplificateur de sons intégré des mammifères	15
L'oreille interne assure l'analyse du son	16
Émission otoacoustique chez les bébés : Dites ORRRREEILLE	18
L'ouïe chez d'autres animaux	19
Implants cochléaires	21
Technique dans mon oreille interne	23
Nous testons un nouveau limaçon	23
Respectez vos oreilles	25
Un nœud dans vos oreilles ?	25
Mieux vaut prévenir que guérir	27



Bio-
MENS

© 2013 Bio-MENS asbl

MaNS est une édition de l'asbl Bio-MENS.
A la lumière du modèle de société actuel, elle
considère une éducation scientifique objective
comme l'un de ses objectifs de base.

www.uitgeverijacco.be
www.biomens.eu

Coordination académique

Prof. Dr. Roland Caubergs, UA
roland.caubergs@ua.ac.be

Rédacteur en chef et rédaction finale

Dr. Ing. Joeri Horvath, UA
joeri.horvath@ua.ac.be

Rédaction centrale

Lic. Karel Bruggemans
Prof. Dr. Roland Caubergs
Dr. Guido François
Prof. Dr. Geert Potters
Dr. Lieve Maesele
Lic. Els Grieten
Lic. Chris Thoen
ir. Marjolein Vanoppen
ir. Ariane Ooms
Prof. Dr. Diane Van Strydonck

Coordination communication Bio-MENS

Kaat Vervoort
Herrysstraat 8b, 2140 Antwerpen
Tél. +32 (0)3 609 52 30
Fax +32 (0)3 609 52 37
contact@biomens.eu

Coordination

Dr. Sonja De Nollin
Tél. +32 (0)495 23 99 45
sonja.denollin@ua.ac.be

Abonnement

Kaat Vervoort
Herrysstraat 8b, 2140 Antwerpen
kaat@biomens.eu

Conception et mise en page

Peter Faes - www.odevie.com
Uitgeverij Acco

Illustrations

Joris Dirckx, UA
Vereniging voor audiologie, Amplifon, Comfoor

AVANT-PROPOS

Photo: www.ratcelis.be



L'ouïe, quel sens étonnant. Comment est-il possible que des ondes complexes dans l'air contiennent des informations ayant plus de signification pour notre cerveau que le code QR le plus élaboré ? Quel ingénieur a aperçu de la façon dont la nature s'est adaptée au fil de dizaines de millions d'années.

Ce numéro de MeNS explique comment une simple cellule dans la mer primitive s'est spécialisée en une 'cellule ciliée' pour pouvoir ressentir les ondes de la mer et comment notre oreille contient des milliers de ces cellules ainsi que toujours une goutte de la mer primitive pour faire fonctionner ces cellules ciliées. Nous lisons également comment un système de levier miniature s'est développé, l'oreille moyenne, pour permettre aux ondes dans l'air d'atteindre efficacement les cellules ciliées. Un certain nombre de ces cellules ciliées sont allées se spécialiser au niveau du limaçon dans les hautes fréquences qui sont typiques des ondes de la parole tandis que les 'cellules ciliées primitives' constituent encore toujours le noyau de l'organe de l'équilibre qui détecte notre position dans l'espace, nous fait danser sur de la musique rythmique et trouble notre âme sur les ondes de la poésie.

Ce précieux sens mérite d'être protégé et heureusement, l'homme moderne et certainement aussi les jeunes en sont de plus en plus convaincus. Car l'ouïe est fragile et les dommages généralement irréparables. Même si les audioprothèses sont aujourd'hui de brillants mini-ordinateurs qui font de leur mieux pour rendre encore fonctionnelle aussi longtemps que possible l'oreille endommagée. Et lorsque ça ne fonctionne plus non plus, il reste les implants cochléaires, de vrais exemples du génie humain qui est en mesure d'imiter ce chef-d'œuvre sensoriel de la nature et de rendre l'ouïe à des personnes sourdes et gravement malentendantes de tous les âges, de manière à ce que personne aujourd'hui ne doive plus vivre dans l'isolement inimaginable de la surdité.

Laissez-vous troubler !

Prof. Dr Paul Govaerts
De oorgroep, Anvers

www.eargroup.net

AVANT-P

Ouïe

et problèmes d'audition

Dossier composé par le Prof. Dr Geert Potters (École supérieure de navigation & Université d'Anvers) avec la collaboration du Prof. Dr. Paul Govaerts (De Oorgroep), Prof. Dr. Joris Dirckx (Université d'Anvers) et mme. Elina Ooms, audiologiste.

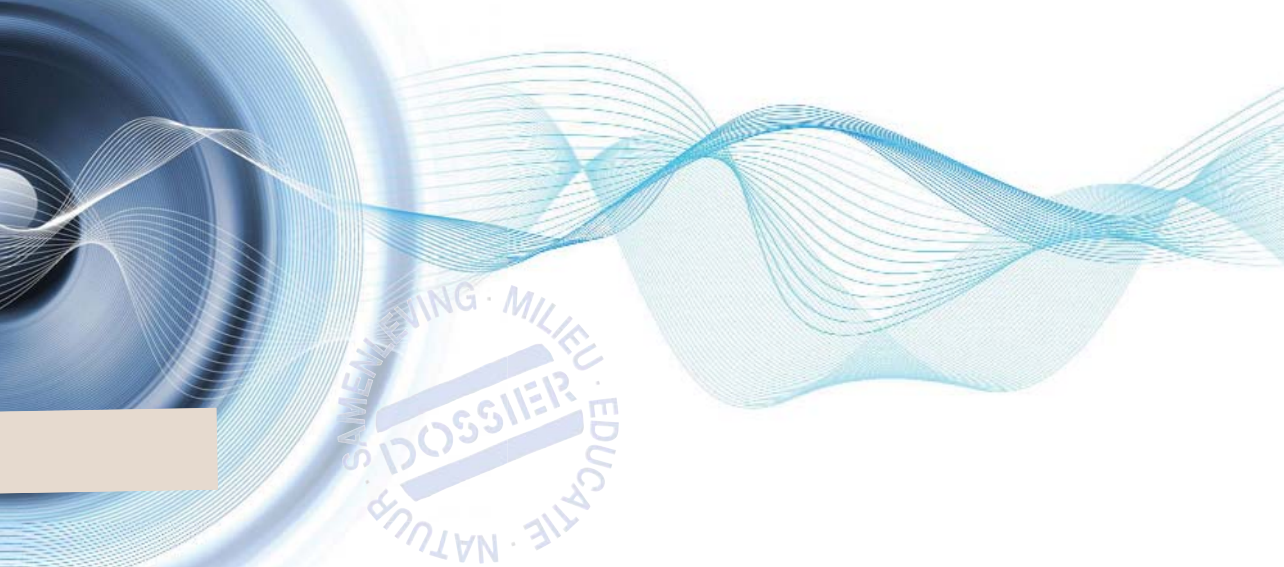
La bonne musique lors d'une scène d'horreur rend tout de suite Dracula un peu plus imposant. Les sons du "Kommt, ihr Töchter, helft mir klagen..." de la Passion selon Saint Matthieu de Bach nous emportent. Nous nous laissons aller sur "Highway to Hell" d'AC/DC. Nous sommes transportés par un "J'aimerais te voir..." chuchoté. Et certains sons influent sur nos actions. On peut se laisser bercer doucement sur sa chanson favorite (ou encore agiter la tête sur un rythme de hard rock), des marches militaires ont pu mettre les troupes en mouvement au fil de l'histoire, sans oublier l'engagement ressenti lors du LiveAid et du Music For Life. Et où sont déjà les mains du célèbre DJ Regi Penxten ? Le son (et sur-

tout la musique) exerce un impact considérable sur notre sensibilité et notre cœur.

Les sons — parlés, chantés, créés par des instruments ou des machines — la plupart d'entre nous ne peuvent s'en passer. Nous les utilisons comme distraction (comme fond sonore au supermarché, via la TV lorsque nous envoyons des SMS ou sommes occupés au PC), et certains en sont tellement accros qu'ils emmènent leur musique toujours et partout avec leur lecteur mp3, que celui-ci affiche la petite pomme ou pas. Nous recherchons le bruit : lors de concerts et de représentations, dans des petites salles et dans le cadre de méga festivals. Parfois, nous sommes trop



Les animaux eux aussi communiquent par des sons. Pensez notamment au chant du rossignol, au hurlement du loup et au son strident du grillon. Toutefois, aucun animal n'égale la subtilité du langage humain et de la musique. Pour les amateurs, un petit jeu : www.youtube.com/watch?v=t8K05OVLruw



voraces dans notre recherche du bruit ; nous risquons alors d'endommager notre ouïe. Et parfois nous nous en éloignons au contraire ; nous nous blottissons alors dans un espace calme pour échapper à la cohue quotidienne.

Nous sommes nous aussi une espèce animale qui dépend fortement de son ouïe. Non pas que parler et écouter soient notre seul mode de communication : notre attitude, nos vêtements et même notre odeur nous aident à entrer en contact avec nos congénères. Mais une grande partie de notre communication avec les autres se déroule pourtant via une donnée humaine unique : le pouvoir de produire des sons très raffinés en parlant et en chantant. Et nous disposons d'un organe auditif très bien développé, qui s'est sans cesse amélioré au fil de millions d'années d'évolution. Et durant nos plus jeunes décennies, nous disposons même de la technologie pour soutenir notre ouïe, si nos propres oreilles commencent à entendre un peu moins bien.

Dans ce dossier de MeNS, nous analysons nos propres oreilles. Nous examinons comment elles se sont développées et adaptées au fil de l'évolution, et nous étudions comment nous pouvons les protéger au mieux contre le bruit du monde moderne.

Vivre sans musique serait une erreur.

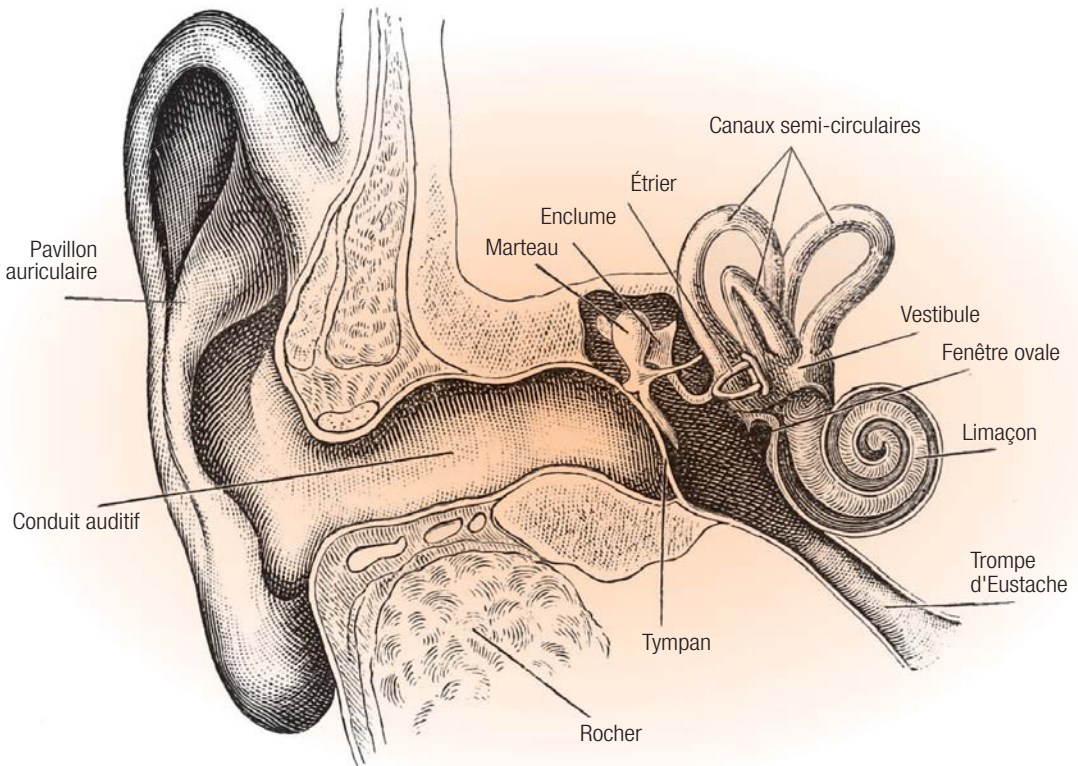
(F. Nietzsche, Götzen-Dämmerung)



shhhhhht!



Des sons aux oreilles : évolution de l'audition



Quelques données importantes

Pour ne pas perdre le fil des idées dans le texte, nous commençons par une présentation générale d'un des systèmes auditifs les plus complexes : celui de l'homme. L'oreille humaine est traditionnellement scindée en trois parties :

- l'oreille externe se compose du pavillon auriculaire et du conduit auditif. À l'extrémité du conduit auditif se trouve le tympan.
- l'oreille moyenne se compose de trois osselets : le marteau (malleus), l'enclume (incus) et l'étrier (stapes). Ces trois osselets font office de système transducteur mécanique (voir la figure à la page à côté) : ils absorbent les vibrations sonores du tympan et les transmettent à l'étrier. Ce dernier osselet vibre environ comme un piston dans une ouverture de forme ovale dans l'oreille interne (la fenêtre ovale) et engendre ainsi des ondes sonores dans le liquide du limaçon.

- l'oreille interne se compose d'une part des trois canaux semi-circulaires de l'appareil de l'équilibre, et d'autre part, du limaçon ou cochlée, à chaque fois avec les nerfs qui y sont associés. Le limaçon est directement relié à la fenêtre ovale. Il convertit les stimuli mécaniques émanant de l'oreille moyenne en une impulsion électrique, qui est ensuite acheminée jusqu'au cerveau par les nerfs auditifs.

L'oreille moyenne et l'oreille interne sont toutes deux entourées par le rocher, une partie du crâne.

Tous ces éléments ont leur propre fonction, leur propre rôle dans l'ensemble. Nous pouvons bien sûr examiner chacun de ces éléments séparément. Il en ressortirait rapidement que nous avons affaire à une partie fascinante de notre corps. Mais nous ne trouvons pas suffisant en biologie de savoir uniquement comment un système (un organe, une cellule, un

processus...) fonctionne chez l'homme. Nous voulons également savoir s'il existe des systèmes similaires chez d'autres organismes et si ceux-ci sont apparentés avec le modèle humain. Dans ce dossier, nous recherchons d'où provient l'ouïe de l'homme : comment est apparu notre pouvoir de percevoir des sons ? Pourquoi était-ce important que des organismes développent ce sens ? Quels avantages ces organismes tirent-ils de la possibilité de percevoir des vibrations de l'air et de l'eau ? Et comment ce sens a-t-il pris au fil de millions d'années la forme que nous lui connaissons aujourd'hui chez l'homme ?

Cette histoire commence il y a des centaines de millions d'années, chez les premiers poissons...



Les poissons sentent vibrer l'eau : l'apparition de la cellule ciliée

La vie sur terre a vu le jour dans la mer. Comme tout le monde le sait, c'est un environnement dans lequel les ondes ont particulièrement beaucoup à dire. Les ondes n'indiquent pas seulement si l'environnement est calme ou agité, elles signalent également s'il y a un obstacle à proximité, comme un corail, un ennemi qui s'approche, ou qui sait, peut-être une délicieuse

collation. Pour celui qui habite la mer, il est donc très utile de pouvoir capter les informations de ces ondes. S'agit-il d'ondes puissantes ou de flots tranquilles, des mouvements lents d'un prédateur insidieux ou rapides d'un petit animal aquatique qui se tortille et se balade ? Les poissons n'auraient jamais pu nager en bancs s'ils n'avaient pas disposé d'un récepteur qui leur donne toutes les informations sur les ondes qui les entourent. L'organe qui transforme le mouvement mécanique d'une ondulation en des signaux nerveux électriques est appelé un mécanorécepteur. Le mécanorécepteur qu'a inventé la nature il y a des centaines de millions d'années pour cette fonction est la 'cellule ciliée'.

Ces cellules sont appelées ainsi en raison de leurs structures fines en forme de poil qui s'élèvent de leur surface, les 'cils'. Lorsque les cils bougent, de petites portes microscopiques s'ouvrent aux extrémités. Il en résulte un courant d'ions de potassium (K^+) qui se déplace vers l'intérieur, dans la cellule. En raison des charges positives entrantes, le potentiel de la cellule change, un phénomène que l'on appelle dé-polarisation. Et lorsque l'onde s'arrête, la cellule renvoie de manière ultrarapide tout le potassium vers l'extérieur, de manière à ce que le 'potentiel de repos' d'origine soit rétabli. Ce phénomène est appelé repolarisation. De cette manière, un signal mécanique est transformé en un signal électrique. L'encadré à la page suivante vous explique davantage à ce sujet.



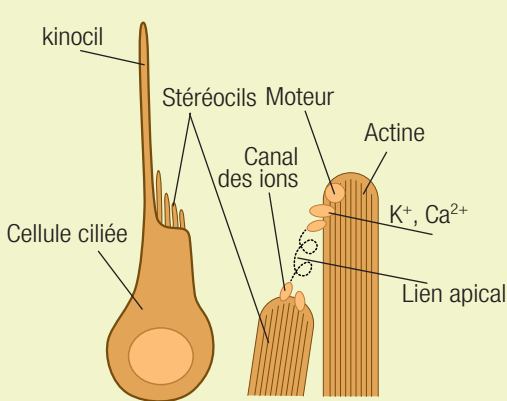
Un transducteur transforme l'énergie d'une forme en une autre. Il en existe différentes sortes : électrochimique (pH-mètre), électro-acoustique (microphone, haut-parleur), électro-optique (lampe fluorescente-) ...



De la mer à la terre : le maintien de l'équilibre

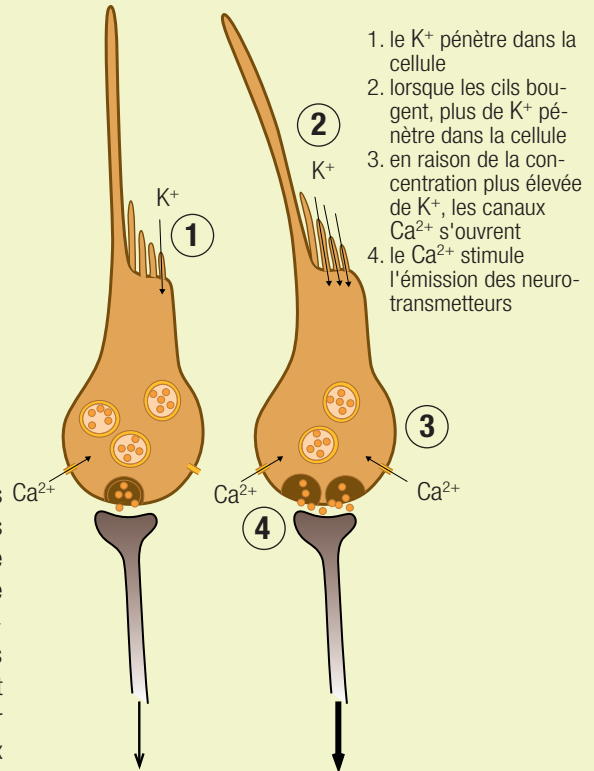
Lorsque le poisson primitif, il y a quelque quatre cents millions d'années, est arrivé sur terre, le mécanorécepteur s'est avéré tellement important qu'il devait certainement rejoindre la terre également. Car

sur terre aussi, l'animal veut sentir sa position dans l'espace et il veut être averti à temps des vibrations d'un prédateur qui s'approche par exemple. Ainsi donc, les cellules ciliées ont été placées dans une petite cavité osseuse, conjointement avec une goutte de mer primitive, riche en potassium et essentielle pour le bon fonctionnement de la cellule ciliée. Cette petite cavité était le début de ce que nous connais-



Courant électrique à travers les oreilles

Sur la membrane plasmique des cellules ciliées, et plus précisément sur la pointe des cils, se trouvent différents canaux d'ions. Ceux-ci sont ouverts au minimum, de manière à ce que la cellule conserve un potentiel de membrane stable. Les extrémités de ces poils sont reliées entre elles via des filaments de protéine, lesdits 'tip links' ou liens apicaux. Lorsque les cils se déplacent vers le plus long poil (le kinocil), le lien apical va ouvrir plus qu'en cas normal un certain nombre de canaux d'ions sur ces extrémités. L'ion qui est le plus présent autour des cils est le potassium (K^+). Il pénétrera donc aussi avec son gradient dans la cellule ciliée au travers des canaux ouverts. Par conséquent, les équilibres électriques changent de part et d'autre de la membrane plasmique de cette cellule : étant donné que des ions de potassium supplémentaires sont entrés, les concentrations de potassium et le potentiel électrique sont plus proches l'un de l'autre des deux côtés de la membrane. C'est ce que l'on appelle la dépolarisation. L'inverse se produit également lorsque les cils s'éloignent du kinocil. Dans ce cas, le lien apical des canaux d'ions se referme, de manière à ce que moins d'ions puissent pénétrer. Par conséquent, les différences augmentent entre les concentrations d'ions à l'intérieur et



à l'extérieur de la cellule et il en résulte une hyperpolarisation.

Lors de la dépolarisation du potentiel de la membrane, les canaux d'ions dépendant du voltage sont activés (autrement dit, les canaux qui s'ouvrent uniquement lorsque le potentiel de la membrane est suffisamment bas). Cette situation entraîne un flux entrant supplémentaire d'ions de calcium (Ca^{2+}). Ces ions veilleront à ce que la cellule ciliée émette des neurotransmetteurs à l'extrémité arrière de la cellule (à l'opposé des stéréocils), notamment du glutamate (voir aussi MeNS 44). Ce glutamate est recueilli par une fibre nerveuse et transmis au cerveau.

sons aujourd'hui comme l'organe de l'équilibre, le saccule et l'utricule. Cet organe est rempli d'endolymphe, il est le seul compartiment extracellulaire dans le corps à être aussi riche en potassium. À un moment donné, et pour une raison qui n'est pas vraiment documentée, trois canaux semi-circulaires sont nés du saccule et de l'utricule. Ce développement est peut-être en rapport avec l'apparition du cou, avec pour conséquence que le mouvement de la tête est devenu indépendant de celui du corps. Quelle qu'en soit l'origine, ces canaux ont permis de détecter de manière très précise les accélérations de la tête dans l'espace tridimensionnel.

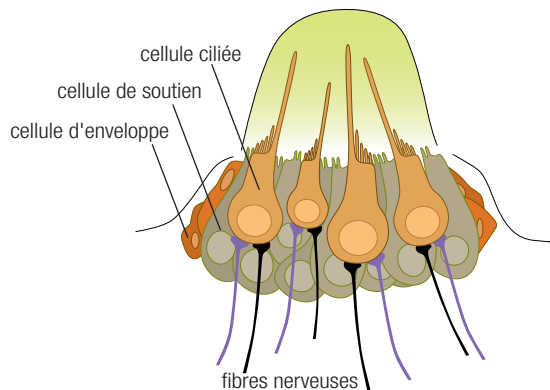
Et ainsi est né l'organe de l'équilibre. Les trois canaux semi-circulaires servent ainsi à suivre la rotation de la tête. Lorsque la tête (et par extension le corps) tourne, le liquide dans les canaux bouge également. Celui-ci stimule les cellules ciliées présentes et celles-ci transmettent à leur tour ce signal aux nerfs. Ainsi, le canal horizontal mesure les rotations autour de notre axe vertical (par exemple lorsque nous faisons une pirouette). Sont également mesurés les ca-

naux antérieurs et postérieurs (rotations comme une roue et un salto). L'organe de l'équilibre n'a par ailleurs que peu de choses à voir avec l'audition.

De l'eau à l'air : encore quelques adaptations...

Lorsque les premières espèces de poisson sont venues sur la terre ferme, il est apparu qu'il existait encore d'autres ondes mécaniques. Et celles-ci étaient particulièrement intéressantes pour l'organisme. Il s'agissait d'ondes dans l'air, le son des feuilles dans les arbres, de l'animal qui frémit dans les buissons, du petit ruisseau qui clapote et beaucoup plus tard aussi, le son produit par la voix des congénères, la parole. Il allait de soi que le mécanorécepteur qui existait déjà pouvait également être utilisé pour coder ces ondes d'air. Mais avant tout, il fallait résoudre deux problèmes.

Le premier problème était que les fréquences du son étaient typiquement plus hautes que celles des mouvements dans l'eau. Dans l'eau, il s'agit de fréquences de quelques ondes par seconde (hertz) jusqu'à éventuellement quelques centaines Hz, tandis que le bruit frémissant dans l'air peut facilement atteindre quelques milliers ou dizaines de milliers d'Hz. Le système de codage étonnant de la 'phase locking' ne peut alors malheureusement plus suivre. Par consé-



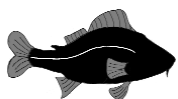
Mécanoréception chez le poisson

L'organe des poissons pour la mécanoréception est le neuromaste : un ensemble de cellules mécanoréceptives (les cellules ciliées), de cellules de soutien et de cellules de protection. Il existe deux sortes de neuromastes : certains se trouvent à la surface de la peau, d'autres se trouvent dans des canaux sous-cutanés. Le principal exemple est la ligne latérale sur le flanc du poisson.



Cette ligne latérale ('lateral line') du poisson correspond à un pli de la peau souvent visible sur le flanc du poisson. Sous ce pli de la peau se trouve 'l'organe de la ligne latérale', toute une série de cellules ciliées. Elles sont non seulement importante pour détecter les proies et le danger qui menace, mais elles aident aussi les animaux à rester nager dans un banc et à déterminer leur propre position dans l'environnement. Même la communication sexuelle semble chez certains poissons (comme le saumon rouge, *Oncorhynchus nerka*) se dérouler en partie via les vibrations de l'eau.

IMPORTANT



Pour percevoir les ondes mécaniques de la mer, les poissons utilisent des cellules ciliées. Nous les retrouvons chez ces animaux dans la ligne latérale.



quent, les cellules ciliées perdent le rythme et commencent à dépolariser arbitrairement. La nature devait donc trouver quelque chose. Elle est venue avec une solution ingénieuse. Comme nous le verrons dans un chapitre suivant, Mère nature a spécialisé un groupe de cellules ciliées dans le codage des sons élevés. Pas par 'phase locking', mais via le nouveau mécanisme de la tonotopie. À ce moment, un quatrième canal est apparu au niveau de l'utricule et du saccule. Ce canal est connu aujourd'hui comme l'oreille interne ou la cochlée. Nous y reviendrons plus loin.

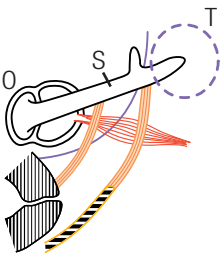
Le deuxième problème était que les ondes dans l'air ne pouvaient que très difficilement faire vibrer l'eau dans le vestibule. Cela vient du fait que le son dans l'air se déplace différemment que dans l'eau. Les physiciens disent que l'impédance acoustique de l'eau est différente de celle de l'air. Lorsque des ondes sonores passent d'un milieu à un autre présentant une impédance différente, beaucoup d'énergie vibratoire se perd au passage. Et c'est exactement ce qui se passe chez les vertébrés sur terre. Le vestibule fonctionne parce qu'il est rempli d'eau. Chez les poissons, le son provient d'un milieu liquide et est transmis via un corps de poisson aquatique dans l'oreille interne qui est remplie d'eau. À partir des animaux amphibies, le son provient d'un environnement qui est rempli d'air. Avec seulement une oreille de poisson, les animaux terrestres ne cap-

L'alcool dans notre sang atteint également le liquide dans l'oreille interne, et le dilue. Par conséquent, les cellules ciliées ne fonctionnent plus de façon optimale et nous perdons notre équilibre et notre sens du positionnement.

teraient pratiquement aucun son de leur environnement. Par conséquent, nous voyons apparaître dans l'évolution à partir de ce groupe une importante adaptation à la vie sur terre : l'oreille moyenne. Il s'agit d'une structure à levier miniature qui transforme les vibrations d'une sorte en l'autre. En électronique, on appelle une telle structure un adaptateur d'impédance. Et étant donné que le système convertit l'énergie des vibrations de l'air en énergie des vibrations aquatiques, nous pouvons dire que l'oreille interne est un transducteur (voir aussi la figure page 5).

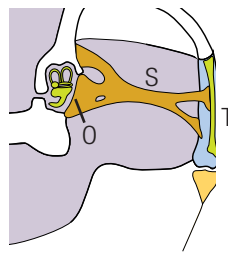
À partir des animaux amphibies les plus évolués (les grenouilles et les crapauds) et des reptiles, un petit os est venu se loger entre l'oreille interne (à la hauteur de la fenêtre ovale) et le monde extérieur (à la hauteur du tympan). Ce petit os aide à faire passer les vibrations de l'air (à l'extérieur du tympan) vers un milieu aquatique (à l'intérieur de la fenêtre ovale). Dans l'encadré sur le site Web (www.biomens.eu), nous calculons cela entièrement en guise d'exemple.

Via ce mécanisme, la grenouille entend des sons élevés (comme son cri d'accouplement). Pour les sons graves, la grenouille se fie encore toujours uniquement à son oreille interne. Celle-ci contient un certain nombre de cellules ciliées spécialisées, avec lesquelles elle perçoit les tons graves. L'oreille moyenne des reptiles se replie plus loin que celle des amphibiens. L'oreille moyenne se trouve en liaison directe avec la



Structure de l'oreille moyenne de la grenouille - Ranacalamitans -
Photo : Dave Huth

Pour les deux figures : S : étrier, T : tympan, O : fenêtre ovale

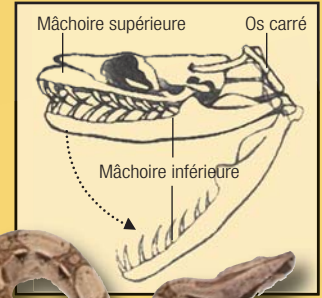


L'oreille moyenne chez les reptiles

Les serpents peuvent-ils entendre ?

Les serpents n'ont pas de tympan et pas de structure d'oreille moyenne. Ils disposent toutefois d'un système d'oreille interne complet. Des vibrations dans l'air sont recueillies via les poumons et de là, elles sont amenées dans l'oreille interne. Les serpents captent donc bien certains sons : ils peuvent entendre un son de voix normal jusqu'à une distance de trois mètres. En outre, cette oreille interne est reliée l'os maxillaire. Par conséquent, les serpents perçoivent les vibrations souterraines. Ils savent lorsqu'un animal à quatre pattes ou un homme approche, mais ils peu-

vent aussi capter le trottement d'une souris. Les scientifiques supposent même que les serpents, qui peuvent bouger chacun des os maxillaires, peuvent entendre en stéréo.



cavité buccale via la trompe d'Eustache. Comme l'oreille moyenne est remplie d'air, cette liaison est nécessaire pour maintenir la pression à l'intérieur de l'oreille moyenne similaire à la pression de l'air de l'environnement. Le nom 'trompe d'Eustache' est un peu mal choisi, car en fait, il n'y a vraiment aucune trompe. Il s'agit plutôt d'un pli de tissu qui dans des conditions normales, est toujours fermé. De temps en temps, la trompe s'ouvre, par exemple lorsqu'on déglutit, qu'on mâche ou qu'on bâille. Un rhume peut semer un fameux désordre dans ce mécanisme : il se peut alors que de grandes différences de pression entre le conduit auditif et l'oreille moyenne surviennent et occasionnent éventuellement une douleur au niveau des oreilles. Ces différences de pression qui peuvent être des milliers de fois supérieures aux pressions sonores normales entraînent que le tympan est tendu, ce qui fait que nous entendons moins bien.

Les mammifères disposent d'une oreille moyenne étendue

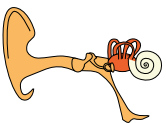
Chez les mammifères, l'oreille moyenne s'est développée encore jusqu'à la structure à levier que nous connaissons de chez les amphibiens et les reptiles.

C'était nécessaire, car les mammifères bien plus que les reptiles commencent à se promener sur de longues pattes. La contribution des os lors du transfert des vibrations vers l'oreille interne a par conséquent sensiblement diminué. C'est pourquoi les mammifères avaient besoin d'une meilleure transmission du son dans l'oreille elle-même.

Chez les humains, l'adaptateur d'impédance biologique dans l'oreille moyenne se compose de trois petits osselets (les plus petits os de tout le corps humain !) Dans l'ordre, nous trouvons entre le tympan et la fenêtre ovale le marteau, l'enclume et l'étrier. Étant donné que le marteau et l'enclume travaillent aussi ensemble comme un levier, le son n'est pas seulement transmis, mais il est aussi amplifié.

Si le son devait atteindre directement la fenêtre ovale, nous entendrions 28 décibels 'moins bien'. Une telle perte auditive survient chez les personnes chez qui la chaîne des osselets de l'oreille moyenne est interrompue ou lorsque les osselets ne peuvent plus vibrer librement. Vous obtenez le même effet lorsque vous maintenez votre tête sous l'eau dans

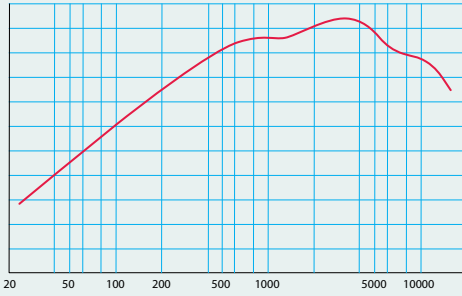
IMPORTANT



Les problèmes d'impédance, survenus parce que l'oreille ne devait plus pouvoir percevoir et décoder les vibrations de l'eau, mais celles de l'air, sont aujourd'hui résolus par l'utilisation d'un adaptateur d'impédance : l'oreille moyenne avec ses osselets. Animaux amphibiens et reptiles n'en ont qu'un seul.



Sensibilité de l'oreille humaine

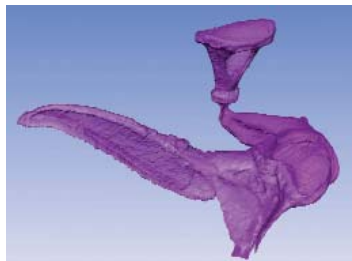


L'oreille humaine présente une sensibilité optimale aux sons entre 2000 et 7000 hertz, avec un pic évident autour de 3000-4000 hertz. On constate également un pic autour de 13 500 hertz.

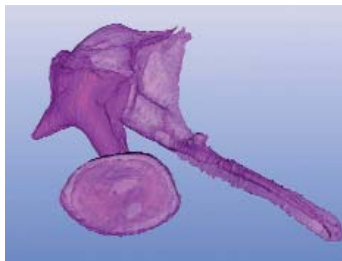
une piscine : étant donné qu'il n'y a aucune "adaptation d'impédance" entre le son dans l'air et l'eau de la piscine, le son des autres personnes est renvoyé en grande partie à la surface de l'eau, et donc on l'entend moins.

Les mammifères laissent pendre leurs oreilles : l'oreille externe

Enfin, les mammifères ont développé pour la première fois une oreille externe claire, munie d'un grand pavillon auriculaire. Celui-ci devait avant tout renforcer le son, et ensuite le dévier vers le conduit auditif. En outre, le pavillon auriculaire (chez l'homme) est formé de manière à ce que surtout les sons de la même hauteur tonale que la parole humaine puissent passer.



Scan en 3D des différents osselets chez l'homme.



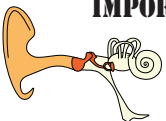
Le tympan humain - Photo : Didier Descouens

Le son

Le conduit auditif est lui aussi plus qu'un simple canal. Pour commencer, il protège l'oreille contre les infections. En ce sens, la partie juste près du pavillon auriculaire est recouverte d'une peau douce et sensible. Les cellules de peau désuètes sont remplacées et poussées vers l'extérieur, ce qui nettoie la partie la plus externe du conduit auditif. Plus profondément vers l'intérieur, nous trouvons un certain nombre de petits poils qui maintiennent les particules de poussière à l'extérieur. Enfin, le conduit auditif contient du cérumen. Il s'agit d'un mélange cireux de kératine, collagène et sébum, produit par les glandes à cérumen. Cette substance aussi arrête la poussière, tout comme les bactéries et les cellules mortes.

En outre, le canal auditif chez l'homme aide aussi à entendre plus facilement les conversations surtout. Une grande partie des informations dans la parole se situent, au vu des formants humains typiques (voir page 13) autour de 3000 Hz. Les dimensions du conduit auditif font que ce sont surtout les fréquences proches de cette valeur qui peuvent passer. Par ailleurs, elles sont encore renforcées : les différences de pression aux alentours de cette fréquence sont jusqu'à dix fois supérieures au niveau du tympan qu'elles ne l'étaient en entrant dans l'oreille.

IMPORTANT



Les mammifères ajoutent deux osselets dans l'oreille moyenne. Ils renforcent les adaptations d'impédance et rendent l'oreille plus sensible aux sons



Les tons fondamentaux de la physique des sons

Avant de franchir l'étape vers le limaçon des mammifères, nous nous concentrons quelques instants sur le concept du son. Brièvement résumé : le son se compose de vibrations sur une échelle microscopique qui sont transmises via l'air, l'eau ou un autre support. Généralement, il s'agit de particules d'air qui commencent à vibrer, mais d'autres formes de matière (comme l'eau, le métal ou le bois) peuvent transmettre le son. Une vibration sonore survient lorsqu'un objet vibrant (des cordes vocales, une peau de tambour, une corde, un diapason) met en mouvement les molécules dans l'air qui l'entourent : par conséquent, la pression d'air locale change. Les molécules concernées se heurtent à d'autres molécules, qui commencent à vibrer : une onde sonore de propagation est ainsi créée. Attention : les molécules restent en leur place d'origine (et y vibrent dans un mouvement de va-et-vient). Ce qui se déplace effectivement, c'est l'énergie nécessaire pour mettre les molécules en mouvement : à chaque fois, de nouvelles molécules commencent à vibrer. (voir aussi la figure p.12)

La physique qualifie cette onde sonore de longitudi-

nale. Autrement dit, le mouvement des molécules individuelles (leur émigration) est parallèle à la direction de propagation de l'onde. Par leur mouvement vibratoire de va-et-vient, les molécules engendrent des zones locales où il y a plus de molécules que la normale (et où règne donc une pression supérieure), et des zones où il y a moins de molécules (avec une pression inférieure).

L'ampleur des variations de pression d'air (pression sonore) est appelée amplitude de l'onde sonore — à savoir, avec quelle force un son retentit. La pression sonore est exprimée en pascal (Pa) unité acceptée mondialement (SI), tout comme la pression d'air habituelle. Remarque : la pression d'air moyenne s'élève à 1035 hectopascals ; l'oreille humaine détecte déjà des variations de pression d'air à partir de 20 micropascals (environ cinq milliards de fois plus petites que cette pression d'air).

Généralement, la force du son n'est toutefois pas exprimée en tant que pression, mais en tant qu'intensité. L'intensité est la quantité d'énergie qui se trouve dans une onde tandis que cette onde se déplace au travers d'une surface déterminée (et ce, par intervalle de temps). Cette énergie est exprimée par mètre carré et par seconde avec l'unité SI : W/m^2 .

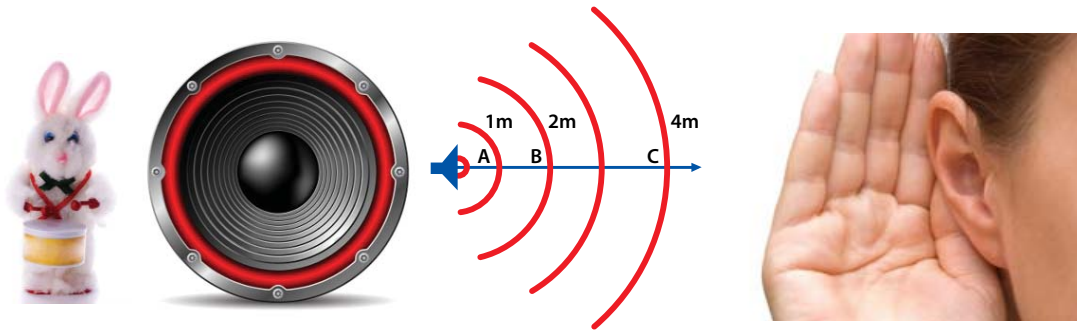


Photo: Kevin Walsh



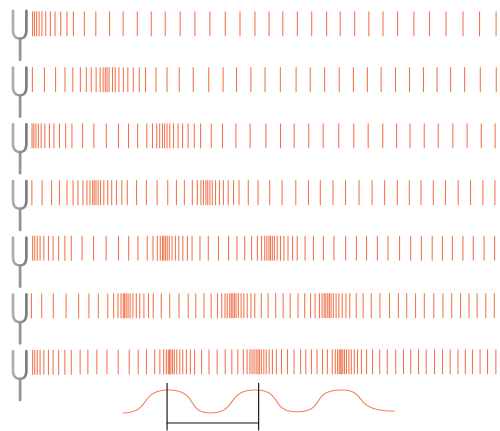
IMPORTANT

L'oreille externe augmente la sensibilité du système auditif.



Plus l'amplitude d'une onde sonore est grande, plus il y a d'énergie contenue dans cette onde. Mais le son se déplace souvent dans toutes les directions. Lorsqu'une onde s'amplifie à partir d'un point (par exemple, une onde sonore qui part d'un haut-parleur et se déplace sur le site d'un festival), l'énergie totale dans toute l'onde reste constante. Elle se répartit pourtant sur la surface totale que couvre l'onde. Plus l'onde se trouve loin de son point de départ, plus cette surface est grande (voir figure ci-dessus). L'énergie par unité de surface et l'intensité sont également plus faibles. Pour une source ponctuelle (voir figure) l'intensité diminue du carré de la distance : si vous allez deux fois plus loin, vous entendez le son avec quatre fois moins d'intensité.

La gamme d'intensités que l'ouïe de l'homme peut percevoir et supporter est tellement grande que les scientifiques ne mesurent pas uniquement les intensités sonores en W/m^2 . Ils utilisent aussi le décibel (dB). L'échelle des décibels constitue une conversion logarithmique décimale des mesures habituelles.



Naissance d'une onde sonore

Comme point zéro, nous utilisons le seuil d'audibilité (le niveau sonore le plus bas que l'homme moyen peut encore entendre). Il s'élève à $10-12 W/m^2$ ou 0 dB. Un son qui est dix fois plus fort reçoit la valeur de 10 dB, un son qui est 100 fois plus fort, reçoit une valeur de 20 dB etc. Le seuil de tolérance à la douleur de notre oreille se situe à 120 dB. À partir de 160 dB, notre tympan peut se déchirer (160 dB correspond à $104 W/m^2$; cette valeur est 10 millions de milliards ou 10.000.000.000.000 de fois plus forte que le seuil d'audibilité). Cependant, des dégâts au niveau de l'oreille peuvent déjà survenir à des pressions sonores nettement plus faibles : l'expression "mon tympan se déchire pratiquement" n'a donc également rien à voir avec la cause réelle d'une perte d'audition en raison d'un bruit excessif, comme il est expliqué plus loin. Dans l'encadré à la page 15, vous trouverez encore quelques exemples de valeurs de décibels.

Une onde n'est pas uniquement déterminée par son amplitude (dB), mais aussi par la rapidité avec laquelle elle se propage, et par sa longueur d'onde. La vitesse du son dépend de la matière que l'onde sonore doit traverser. Le rapport entre la fréquence (ν , la lettre grecque nu) et la longueur d'onde (λ , la lettre grecque lambda) dépend de la vitesse (v) avec laquelle le son se propage, et est déterminé comme suit :

$$\lambda = v / \nu$$

Plus la fréquence est élevée, plus la tonalité est haute et plus la longueur d'onde est courte. Dans un certain milieu, par exemple de l'air sec à 20 degrés Celsius, la vitesse du son a une certaine valeur, par exemple, 340m/s. Dès lors, il existe un rapport fixe



“Pop music often tells you everything is OK, while rock music tells you that it's not OK, but you can change it.”

(Bono, On the Move)

et inversement proportionnel entre la fréquence et la longueur d'onde. L'oreille humaine peut entendre des sons entre 20 et 20 000 hertz (Hz, où 1 Hz équivaut à une vibration par seconde). Les sons inférieurs sont appelés infrasons ; au-dessus de 20.000 hertz, on parle d'ultrasons ou vibrations ultrasons. Cette limite supérieure dépend fortement de l'âge : les jeunes entendent mieux les sons élevés que les personnes plus âgées.

À propos des tons et harmoniques

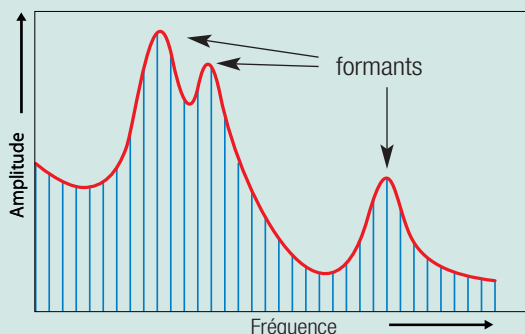
Les plus basses fréquences avec lesquelles vibre une source sonore constituent sa fréquence de base ou son fondamental. Des sources sonores comme une corde, un tuyau d'orgue ou la voix humaine vibrent à plus d'une seule fréquence. Les sons plus hauts qui peuvent être produits sont appelés sons supérieurs.

Si les fréquences de ces sons supérieurs sont des multiples entiers de la fréquence du son fondamental, nous appelons ces sons supérieurs des harmoniques. C'est ainsi aussi que nous découvrons une pièce de musique : en harmonie l'un avec l'autre.

Des instruments de musique sur la base de cordes qui vibrent et de tuyaux d'air produisent outre des sons fondamentaux, également des sons supérieurs harmoniques différents. La physique explique pourquoi. En cas de vibration d'une corde ou de l'air dans un tuyau, l'extrémité du tuyau ou de la corde renvoie la vibration. Ce renvoi va immédiatement interférer avec la vibration existante. C'est pourquoi se forme une onde stationnaire dans le tuyau ou sur la corde. À l'extrémité fermée du tuyau ou de la corde, rien ne vibre. Nous parlons alors d'un minimum ou un nœud. À l'extrémité ouverte d'un tuyau, l'air peut bouger au

Voix

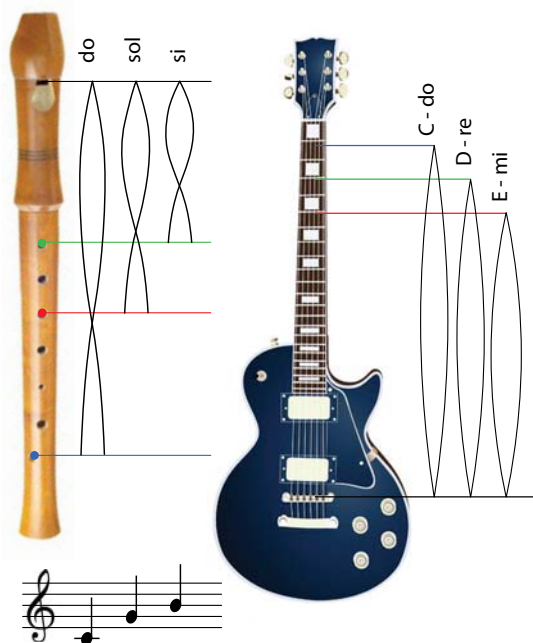
La voix de l'homme produit un son fondamental d'environ 100 hertz chez les hommes et 200 hertz chez les femmes. Par ailleurs, nos cordes vocales vibrantes peuvent aussi faire naître des harmoniques, comme c'est le cas avec les cordes d'un violon. La forme spécifique de la gorge, la bouche et les fosses nasales change ensuite l'intérêt mutuel de ces harmoniques.



Nous parlons de formants : les maxima typiques dans une série d'harmoniques. En influençant ces formants en parlant, nous créons différents timbres.

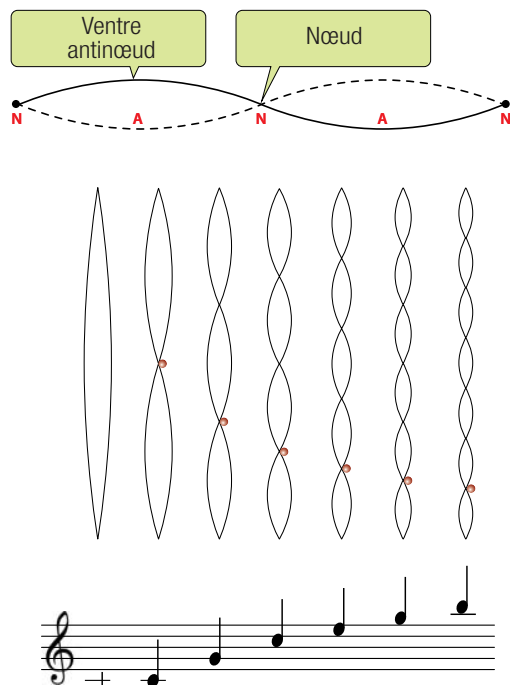
La voix de chanteurs expérimentés présente un formant clair avoisinant les 3000 hertz. Ainsi, ils sont en mesure de chanter même au-dessus d'un orchestre (ce qui ressort souvent fort à des fréquences beaucoup plus basses, par exemple 500 Hz).





Lien entre les doigts de flûte à bec et la hauteur du son

Lien entre les cordes d'une guitare et la hauteur du son



Si la distance entre 2 nœuds diminue de moitié, la hauteur du son augmente d'une octave.

maximum. Il s'y crée un maximum d'onde : un antinœud ou encore un ventre. D'autres ondes ne s'adaptent pas exactement et s'éteignent d'elles-mêmes : seules les ondes qui ont des maxima et minima aux bonnes extrémités continuent d'exister et d'être audibles. La plus longue longueur d'onde qui satisfait à cette condition est le son fondamental. Les autres sont des sons supérieurs harmoniques, comme on peut le voir sur la figure. Le nième son supérieur harmonique a une fréquence de n fois celle du son fondamental.

Les bois et les cuivres d'un orchestre utilisent des vibrations dans des tuyaux pour produire des sons. L'endroit où le musicien souffle est un antinœud. À une extrémité ouverte apparaît aussi un antinœud. En variant la longueur du tuyau (littéralement, dans une trompette d'harmonie, ou en bouchant les trous

et en ouvrant l'axe longitudinal du tuyau, comme sur une flûte à bec), le musicien fait varier aussi la fréquence du son. La même chose se passe sur des instruments à cordes, où le musicien avec ses doigts raccourcit les cordes exactement aux bons endroits.



En savoir plus ?

www.youtube.com/watch?v=5s5c08t_bBw

www.youtube.com/watch?v=YsZKvLn7wU

L'amplificateur de sons intégré des mammifères

La physique qualifie cette onde sonore de longitudinale. Autrement dit, le mouvement des molécules individuelles (leur émigration) est parallèle à la direction de propagation de l'onde. Par leur mouvement vibratoire de va-et-vient, les molécules engendrent des zones locales où il y a plus de molécules que la normale (et où règne donc une pression supérieure), et des zones où il y a moins de molécules (avec une pression inférieure).

Auparavant déjà, nous avons expliqué comment

l'étape des reptiles aux mammifères est associée à deux adaptations importantes, faisant de l'oreille un capteur très raffiné : (1) l'oreille moyenne et l'oreille externe ont été développées davantage et veillent à ce que le son atteigne l'oreille interne dans des circonstances idéales et (2) l'oreille interne est apparue comme quatrième canal ou limaçon hors du saccule et de l'utricule pour pouvoir percevoir les plus hautes fréquences, que le système de codage du 'phase locking' ne pouvait plus suivre. Nous revenons à présent plus en détail sur ce dernier.

Décibels Son

Douloureux, nocif



170 dB	Armes à feu, sirène, chasseur à réaction, explosion de feu d'artifice
140 dB	Avion au départ sur 50 m, autoradio sur le volume le plus élevé, discothèque
130 dB	Concert de rock, passage bruyant dans un concert classique, festival
120 dB	iPod réglé fort, boum, concert de roc

Gênant, risque de dommage



110 dB	Disco, iPod et lecteurs mp3 sur le volume le plus haut, boum
105 dB	Métro, lunapark, tondeuse à gazon, scie à chaîne
100 dB	Disco, concert pop, cinéma
90 dB	Disco, concert pop

Très bruyant



85 dB	Poids lourds, lecteurs mp3, cris intenses
80 dB	Circulation dense, classe affairée, train passant tout près
75 dB	Rasoir électrique, sèche-cheveux, bruits urbain

Modéré



70 dB	Salle de sports, aspirateur et autres appareils ménagers
60 dB	Conversation normale, gsm
50 dB	Pluie
40 dB	Chambre tranquille, bureau, moustique

Calme



30 dB	Chuchotement, tic-tac d'une horloge
20 dB	Salle de lecture dans une bibliothèque
10 dB	Feuille qui tombe, journée sans vent dans un bois calme

Seuil d'audibilité

Source : CM

L'oreille interne assure l'analyse du son

Nous avons déjà vu que le système de codage du 'phase locking' est idéal pour convertir exactement des ondes avec une fréquence relativement basse (jusqu'à quelques centaines d'Hz) en signaux nerveux électriques. Ce système est largement suffisant pour tout ce qui a trait à l'équilibre ainsi que pour les fréquences sonores basses, les sons bas donc. Mais en présence de fréquences plus élevées, comme dans le bruit, ce système ne marche plus. La solution de Mère nature a été la spécialisation. Tout un groupe de cellules ciliées se sont spécialisées, chacune dans une fréquence propre, certaines à 1000 Hz, d'autres à 1500 Hz, etc. Et au lieu de transmettre des signaux au nerf, elles ont acquis des caractéristiques contractiles, un peu comme les muscles. Ces cellules ciliées sont connues aujourd'hui comme les cellules ciliées 'externes'. Ce terme a été choisi en opposition avec les cellules ciliées les plus intérieures, qui sont encore les mêmes cellules ciliées primitives que nous rencontrons également dans

l'organe de l'équilibre. Des milliers de ces cellules ciliées externes sont rassemblées avec un certain nombre de cellules ciliées internes dans ce quatrième canal que nous appelons le limaçon. On y trouve les cellules ciliées qui sont sensibles pour les sons les plus hauts en dessous, à la base, et ceux qui perçoivent les sons les plus bas au-dessus, au niveau de l'apex du limaçon. On peut les comparer aux touches d'un piano. Lorsque les cellules ciliées externes perçoivent leur 'fréquence caractéristique', elles se rassemblent rapidement et veillent à un renforcement très local de l'onde sonore, de manière à ce que les cellules ciliées internes avoisinantes la recueillent et la transforment en signaux nerveux. Lorsque le son change un brin de fréquence, ce sont d'autres cellules ciliées qui se rassemblent et veillent à un renforcement. Ainsi, la fréquence du son détermine l'endroit dans le limaçon qui est stimulé et transmet un signal au cerveau. Le cerveau ne reconnaît pas ici la fréquence du son en lisant le rythme du signal nerveux, mais en examinant quelle fibre nerveuse et donc quelle place dans le limaçon a

T : tympan

M : malleus

I : incus

S : étrier (stapes)

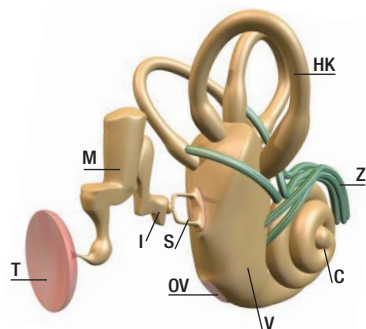
OV : fenêtré ovale

V : vestibule

Z : trajet du nerf

C : limaçon (cochlée)

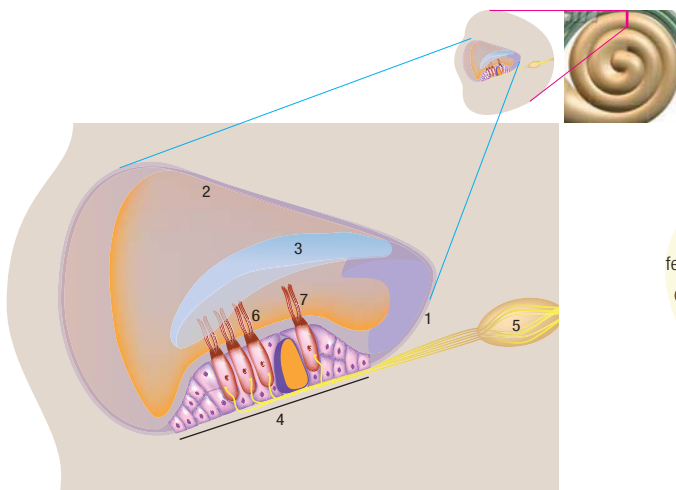
HK : canaux semi-circulaires



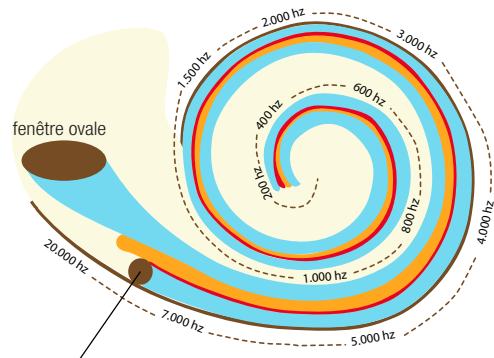
*Examinez le fonctionnement du limaçon sur
www.youtube.com/watch?v=1JE8WduJKV4*



Certains animaux ont une ouïe exceptionnelle. Ainsi, les chiens perçoivent des sons entre 50 et 45.000 hertz ; les chats vont même jusqu'à 85.000 hertz. Les chauves-souris qui chassent à l'aide d'un système d'écholocation fonctionnant sur la base d'ultrasons détectent des sons jusqu'à 120.000 hertz. Les dauphins dépassent amplement ce chiffre et entendent même encore des sons de 200.000 hertz. Les éléphants détectent quant à eux à nouveau l'infrason : ils entendent entre 5 et 10.000 hertz.



Section d'un des conduits du limaçon. 1 : Membrane basilaire, 2 : Membrane de Reissner, 3 : Membrane tectorielle, 4 : Organe de Corti, 5 : trajet du nerf, 6 : cellules ciliées externes, 7 : cellules ciliées internes.



Tonotopie dans le limaçon

transmis le son. Cette conversion de fréquence du signal vers l'endroit de stimulation s'appelle 'tonotopie' (une composition du mot grec $\tau\acute{o}\nu\omicron\varsigma$ [tonos], son et $\tau\acute{o}\pi\omicron\varsigma$ [topos], lieu). Alors que le 'phase locking' est essentiel pour les sons graves, la musique et l'équilibre, la tonotopie est essentielle pour les sons élevés de la parole.

En soi, les premières traces d'un limaçon en développement se retrouvent déjà chez les crocodiliens, en tant que prolongation du saccule. Mais ce n'est que chez les mammifères que cette évolution atteint son apogée (provisoire), notamment par la formation du limaçon comme nous le connaissons chez l'homme.

Chez l'homme, le limaçon mesure au total quelque 3,5 centimètres de long. À l'intérieur, on retrouve la membrane basilaire et la membrane de Reissner, qui divisent le limaçon en trois zones dans le sens de la longueur. L'ensemble est rempli de lymphe.

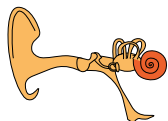
Sur la membrane basilaire se trouve l'organe de Corti. Celui-ci convertit les vibrations mécaniques en impulsions nerveuses. L'organe est composé de cellules ciliées et de cellules de soutien. Les cellules ci-

liées (au total environ 3000 à l'intérieur et 9000 à l'extérieur) sont organisées en quatre rangées qui recouvrent toute la longueur de la membrane basilaire : une rangée de cellules ciliées à l'intérieur et trois rangées à l'extérieur.

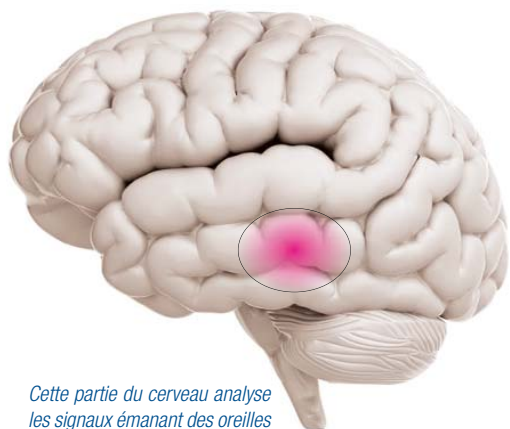
Chaque cellule ciliée dispose de quelque quatre-vingts fins poils (les stéréocils) qui pointent vers l'extérieur dans l'endolymphe de la scala media. Les plus longs stéréocils pointent jusque dans la membrane tectorielle, une structure gélatineuse qui s'étend dans la scala media. Lorsque la membrane basilaire (et les cellules ciliées présentes sur celle-ci) se met à vibrer, la membrane tectorielle ne vibre pas avec elle. Les plus grands stéréocils sont par conséquent courbés. Étant donné que les extrémités de tous les stéréocils d'une cellule sont reliées par des liens apicaux, les plus petits poils bougent avec. Leur fonctionnement ressemble à ce qu'on a pu lire précédemment chez les poissons.

Les vibrations qui sont transmises via l'oreille moyenne passent par l'étrier et font vibrer la fenêtré ovale. Par conséquent, une 'onde progressive' est créée sur la longueur du limaçon. Pour chaque fré-

IMPORTANT



Le limaçon est un ingénieux développement de la nature permettant de coder de manière très précise les fréquences sonores supérieures qui sont typiques de la parole. Un certain nombre de cellules ciliées se sont développées en ce sens en cellules ciliées 'externes'. Elles ont chacune une sensibilité propre pour une fréquence bien déterminée.



Cette partie du cerveau analyse les signaux émanant des oreilles

quence, il y a un endroit déterminé sur la membrane basilaire où les ondes sonores font vibrer le plus la membrane. Cet endroit provient de variations locales en épaisseur et en largeur de la membrane basilaire et du resserrement des cellules ciliées externes qui renforcent encore une fois tout. Les basses fréquences ont leur pic au niveau de l'extrémité arrière du limaçon, tandis que les fréquences plus hautes vont beaucoup plus près de la fenêtre ovale. Et là où la membrane basilaire vibre le plus, ses vibrations sont recueillies par les stéréocils des cellules ciliées internes, tels que décrits plus haut.

Les signaux ne partent pas seulement sur d'autres endroits dans le limaçon, ils arrivent aussi au cerveau, chacun à un autre endroit. La zone dans le cerveau qui traite les signaux sonores est le cortex auditif. Au sein de cette zone, d'autres cellules sont à chaque fois activées lorsque la hauteur du son perçu varie.

Émission otoacoustique chez les bébés : Dites ORRRREEILLE

Une des conséquences inattendues de ce renforcement actif est que notre ouïe ne perçoit pas uniquement des sons, mais produit aussi spontanément un

son. C'est ce que nous appelons l'émission otoacoustique. Elle est la conséquence du resserrement des cellules ciliées externes dans le limaçon. Ce resserrement engendre notamment une petite onde supplémentaire qui se place au-dessus de l'onde sonore entrante. Mais étant donné que tout le système auditif est un parfait conducteur de ce type d'ondes, cette petite onde supplémentaire peut aussi suivre le chemin inverse : depuis le limaçon via les osselets de l'oreille moyenne et de retour vers l'extérieur. Ce son peut être perçu comme un petit son très calme ou une émission otoacoustique.

Une émission otoacoustique est particulièrement intéressante pour un audiollogue. Attendu qu'une émission de ce type représente un effet secondaire normal d'une oreille interne qui fonctionne bien, elle peut aussi servir pour mesurer des problèmes auditifs, même chez des nouveau-nés ! C'est important, car un enfant qui n'entend pas bien n'apprend pas bien à parler non plus. Plus encore, le cerveau d'un nouveau-né commence déjà quelques mois après la naissance à se préparer à l'utilisation ultérieure de la parole. C'est pourquoi il est si important de déceler à temps les problèmes d'audition. Même des enfants complètement sourds peuvent être bien aidés et apprendre normalement à parler comme les autres enfants de leur âge... si toutefois on peut intervenir à temps.

La mesure d'émissions otoacoustiques est donc l'instrument idéal pour contrôler chez les bébés directement après la naissance si l'ouïe fonctionne normalement ou pas. Le Prof. Paul Govaerts a introduit cette technique en Belgique en 1993 pour un dépistage auditif systématique à la maternité.

Le dépistage en lui-même est simple. Le bébé ne subit aucune gêne et peut même simplement continuer à dormir pendant le test. Un son est produit dans l'oreille avec un petit embout. Le médecin mesure ensuite le signal en retour qui est généré dans l'oreille interne par l'émission otoacoustique. Partout dans le monde, cette norme est aujourd'hui devenue un contrôle de la qualité. Depuis lors, on peut remé-



dier bien à temps aux problèmes des malentendants en utilisant des audioprothèses ou des implants cochléaires (voir plus loin). Des enfants qui auparavant auraient présenté de graves problèmes d'expression et de langue développent ainsi un langage normal et suivent l'enseignement habituel.

L'ouïe chez d'autres animaux

Alors que l'ouïe du mammifère a peu à peu pris forme, celle d'autres espèces animales n'est pas encore stable non plus. Chez eux aussi, on constate un grand nombre de changements par rapport aux cellules ciliées primitives datant d'il y a 400 millions d'années. Les poissons modernes perçoivent plus d'ondes et de vibrations qu'il n'y a de changements au niveau de l'onde. Les animaux disposent en effet aussi d'un précurseur de notre oreille interne. Les poissons détectent ainsi aisément tous les sons présentant une fréquence entre 30 et 500 hertz. Cette oreille interne se compose de trois systèmes otolithes et trois canaux semi-circulaires. Il s'agit d'espaces creux, remplis d'un liquide visqueux et bordés par le même type de cellules ciliées que nous venons juste de décrire. Dans le liquide se trouvent aussi des otolithes, une sorte de petits graviers en carbonate de calcium dans une matrice gélatineuse. Ces otolithes servent à percevoir le son. Étant donné qu'un poisson présente environ la même densité que l'eau, l'onde

sonore se déplace aussi rapidement à travers le poisson qu'à travers l'eau environnante. Les otolithes sont toutefois nettement plus denses que l'eau. Ils réagiront donc plus lentement aux vibrations sonores. Par conséquent, ils changent de position par rapport au reste du poisson. Suite à ce processus, ils stimulent les cils sur les cellules ciliées dans l'oreille interne. Les nerfs reprennent ce stimulus et le conduisent vers le cerveau qui va l'interpréter comme un son.

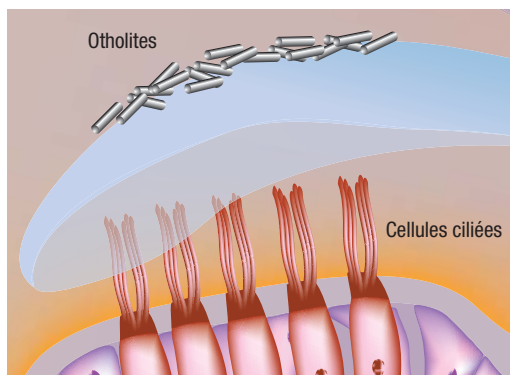
Différents groupes de poissons disposent encore d'autres adaptations leur permettant de mieux entendre. Les carpes notamment, les poissons-chats, les characins (dont le piranha) et encore beaucoup d'autres poissons d'eau douce ont transformé les premières vertèbres en l'organe de Weber. Ce faisant, ils relient la vessie natatoire (une poche remplie d'air) à l'oreille interne. Cette transformation augmente considérablement la sensibilité de leur ouïe : des poissons rouges entendent ainsi des sons jusqu'à 4000 hertz ; le cabillaud jusqu'à 38000 hertz. Des poissons clupéiformes (il s'agit du groupe du hareng, de la sardine et des anchois) disposent alors à nouveau des dites 'bullae' : de longs tubes remplis de gaz qui s'étendent depuis la vessie natatoire jusqu'au niveau de l'oreille interne. Ce faisant, la grande alose américaine (*Alosa sapidissima*) peut entendre des ultrasons allant même jusqu'à 180000 hertz — parmi lesquels donc aussi les ultrasons qu'utilisent beaucoup de mammifères marins.

Chez les amphibiens, une ligne latérale est également apparue au stade larvaire, qui s'est ensuite développée en une oreille interne. Ça s'est surtout passé chez les grenouilles et les crapauds, et plus tard aussi chez





Otolieten - Foto: Matthieu Godbout



Werking van de otolieten

les reptiles. Les grenouilles et les crapauds ont commencé du reste à utiliser activement les sons : par leur coassement, les mâles attirent l'attention d'une femelle pour se reproduire avec elle. Et ces sons doivent pouvoir être perçus par les animaux adultes. Les

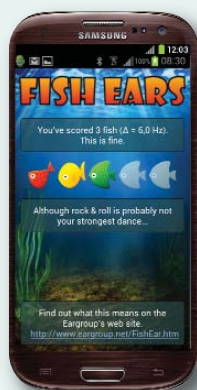
anciens amphibiens (tout comme certains amphibiens actuels, les salamandres par exemple) percevaient peut-être uniquement les vibrations du corps et de l'eau autour d'eux. Ces vibrations étaient transférées vers l'oreille interne via leur squelette. Cette



La musique, une caresse pour notre oreille de poisson

Voulez-vous savoir comment va votre ouïe de poisson ? Téléchargez dans ce cas l'application Fish Ears via le site Web du Oorgroep (<http://www.eargroup.net>). Les jeunes doivent facilement remporter 4-5 petits poissons et pouvoir entendre précisément des différences jusqu'à 2 Hz...

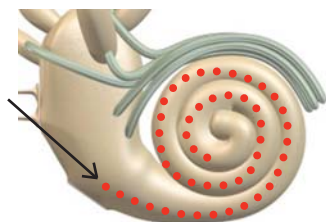
L'ouïe de poisson correspond à la partie très ancienne de l'oreille (le vestibule de l'oreille interne et les trois canaux latéraux et à vrai dire aussi les cellules ciliées internes dans le limaçon). Elle assure l'équilibre et perçoit surtout les sons graves. Comme c'est le cas pour beaucoup de systèmes primitifs, elle a aussi des connexions courtes avec tout ce qui a trait à l'esprit et à l'instinct. C'est la raison pour laquelle une voix grave agréable, un roulement de tambour grave, la basse continue dans une musique classique ou les vibrations assourdissantes sur une piste de danse ont un effet viscéral direct et rapide sur notre esprit.



Et sans oublier que ces sons ne stimulent pas uniquement notre oreille, mais aussi notre équilibre, ce qui va nous inciter spontanément à bouger et même parfois à nous mettre à danser. En outre, ce système primitif a supporté les outrages du temps, ce qui le rend très robuste. Beaucoup plus robuste que le plus jeune système qui est responsable de la compréhension de la parole. Par conséquent, pratiquement tous les problèmes d'audition porteront tout d'abord sur le jeune système des cellules ciliées externes, qu'ils proviennent du bruit, d'une médication toxique, de facteurs génétiques, etc. Et alors, la compréhension de la parole est dans un triste état, mais l'équilibre est encore intact. Mais parfois, c'est le contraire : il existe des maladies connues où les personnes subissent des dommages aux cellules primitives de 'l'oreille de poisson', qui se révèlent par une perte d'audition dans les tons graves, des difficultés avec la musique et la tonalité et aussi parfois par de très graves problèmes d'équilibre. Et il est frappant aujourd'hui de constater que ce type de dommages est souvent en rapport ou même est souvent causé par une tension, un stress et une émotion.

“Ah, music! A magic far beyond all we do here!”

(J.K. Rowling, Harry Potter and the Philosopher's Stone)



oreille interne travaille encore toujours comme chez les poissons : toute l'oreille interne contient à l'intérieur une quantité de liquide (qui ressemble à de l'eau de mer) et se trouve encapsulée dans une partie solide du crâne. Des vibrations de l'extérieur (dans l'eau) font vibrer cet os également. Au travers du liquide se trouvant à l'intérieur, ces vibrations sont perçues par les cellules ciliées. Et celles-ci informent à leur tour le cerveau.

Fin du voyage

Nous terminons ainsi une ample découverte du sens de l'ouïe via les grands mouvements de son évolution. Nous avons vu comment les cellules ciliées qui aidai-ent les premiers poissons à sentir venir les proies et les pillards se sont sans cesse spécialisées davantage pour pouvoir percevoir des sons et des tonalités différentes. De la sensation est née l'ouïe et il s'agit d'une étape supérieure en terme d'évolution.

Nous avons vu ensuite comment l'oreille moyenne et l'oreille externe sont venues s'ajouter pour augmenter fortement la sensibilité. Mais plus la machine est complexe, plus elle peut avoir des ratés, surtout au niveau des ajouts les plus récents. Et cela vaut également pour l'oreille.

Heureusement, nous disposons de toujours plus de moyens pour aider les personnes à entendre. Mais cet aspect sera abordé dans la partie suivante de ce dossier.



Implant cochléaire Photo : Bjorn Knetsch

Implants cochléaires

Il nous est bien sûr impossible d'aborder ici tous les différents moyens techniques susceptibles d'aider les malentendants. Nous avons alors choisi une seule méthode : l'implant cochléaire. Il s'agit d'une des manières les plus modernes de réparer une ouïe endommagée. Même si réparer n'est peut-être pas ici le terme le plus approprié. Un implant cochléaire constitue plutôt un by-pass, un détour pour les signaux sonores au-delà des éléments naturels de l'ouïe. Le mécanisme de fonctionnement d'un implant de ce type et tout à fait différent de celui d'une audioprothèse classique.

Nous allons du reste donner tout d'abord les mauvaises nouvelles. Les implants cochléaires ne sont pas non plus des remèdes miracles. Ils ne réparent pas toutes les formes de dommages de l'ouïe, et ne peuvent pas vraiment garantir un redressement à cent pour cent (tout au moins pas dans tous les domaines, et nous allons le démontrer directement par quelques graphiques). Et il reste encore toujours de grandes différences entre les gens pourvus d'un implant et les gens qui n'ont pas de problème d'audition, mais aussi entre les gens qui ont un implant réciproquement. Il semble que beaucoup de choses dépendent de l'âge du patient auquel l'implant a été mis en place, ou de la façon dont se déroulent la rééducation et la formation après l'opération. Écoutez par ailleurs vous-



**Ne vivez plus
enfermé dans
une bulle**

Entendre mieux, c'est vivre mieux. Parlons-en.

Toujours **5 ANS**
de service gratuit*

TEST AUDITIF
gratuit**



PÉRIODE D'ESSAI
sans engagement***

Vous arrive-t-il de rater les subtilités d'une histoire ou de ne pas comprendre certaines blagues? Prenez rendez-vous sur **www.amplifon.be**. Sur base de votre profil auditif, votre spécialiste Amplifon vous conseillera la meilleure solution, selon vos besoins et votre budget.

www.amplifon.be
ou **0800 94 230**

expérience
expertise
excellence



amplifon



centres auditifs

* conditions dans les centres auditifs ou sur www.amplifon.be ** sans but médical *** sur prescription médicale



Audioprothèse classique

Cet appareil peut fonctionner de différentes manières. Dans sa forme la plus classique, il perçoit tous les sons en dehors de l'oreille et les reproduit ensuite plus fort dans le canal auditif. D'autres appareils transmettent les vibrations perçues à l'extérieur via les os du crâne à l'oreille interne. Photo : Bjorn Knetsch

La musique ne réside pas dans les notes, mais dans le silence entre elles.

(Wolfgang Amadeus Mozart)

même un instant la différence : <http://www.youtube.com/watch?v=SpKKYBkJ9Hw>. Ce n'est pas encore parfait, mais c'est déjà un monde différent de celui où la personne n'entend rien.

Aujourd'hui, nous pouvons du reste encore être fiers de nos concitoyens. Grâce aux bons audiologues dont nous disposons dans ce pays, la Belgique joue un rôle de précurseur au niveau mondial dans le développement d'une nouvelle technologie auditive. L'audiologie (voir l'encadré ci-dessous) constitue donc aussi une option dynamique et tournée vers l'avenir...

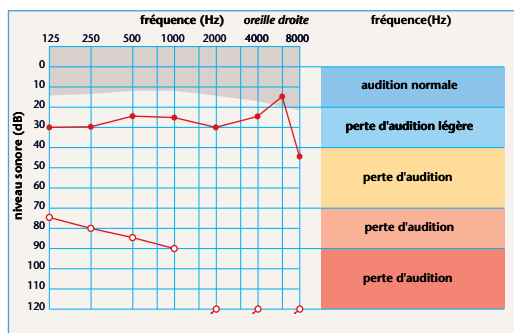
Technique dans mon oreille interne

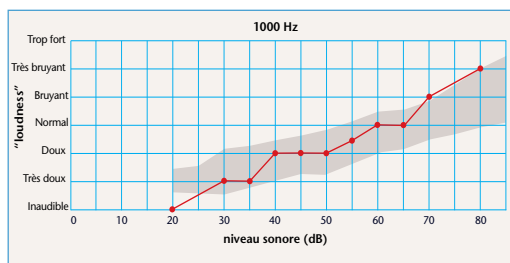
Un implant cochléaire se compose de deux éléments. La partie extérieure sur la tête se compose d'un microphone, un processeur vocal et une bobine émettrice. Le microphone capte tous les signaux de l'environnement ; le processeur convertit ces sons en signaux électriques. La bobine émettrice transmet ce signal via un champ électromagnétique à la section interne. Ensuite, l'implant à proprement parler perçoit le signal dans le limaçon. Cet implant se compose de douze à vingt-deux électrodes qui transmettent conjointement tous les signaux électromagnétiques aux nerfs auditifs. Le réglage proprement dit de l'implant a lieu après l'installation, entre autres par des techniques informatiques modernes (voir l'encadré p.26). Le patient doit lui-même s'exercer chaque jour pour affiner de plus en plus son ouïe.

Nous testons un nouveau limaçon...

Dans quelle mesure un implant cochléaire peut-il aider une personne malentendante ? Nous pouvons le démontrer à l'aide de quatre tests typiques par lesquels on contrôle le fonctionnement d'un implant après son installation.

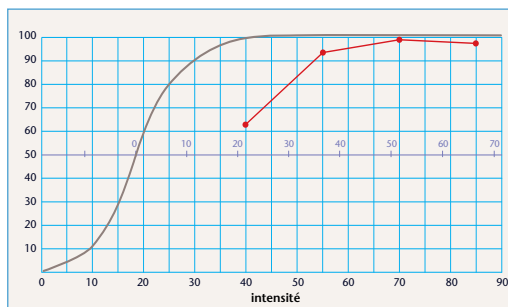
Un premier test est l'audiogramme tonal. Ce test mesure jusqu'à quel niveau sonore un patient peut encore entendre une hauteur tonale déterminée. Dans la case bleue, vous retrouvez les niveaux sonores minimaux qu'une personne qui entend normalement peut encore comprendre. La ligne rouge clair indique le niveau sonore minimal (en dB) que ce patient perçoit encore. À 500 hertz, un son doit au moins s'élever à 85 décibels pour que cette personne l'entende. Nous parlons alors d'une perte de l'audition de 85 décibels. La ligne rouge foncé indique le résultat avec un implant cochléaire.





Un deuxième test est appelé le 'loudness scaling'. Ce test évalue dans quelle mesure des sons forts sont perçus comme effectivement forts. Pour ce faire, on propose au patient d'entendre des sons toujours plus forts à différentes fréquences (dans la figure 1000 Hz). Sur une échelle de 0 (pas audible) à 6 (trop fort) il indique comme il les perçoit. La zone grise sur le diagramme indique le résultat moyen chez des personnes qui entendent normalement ;

Tout entre les lignes grises est considéré comme "normal". La ligne rouge indique le résultat du test avec un implant cochléaire.



Dans un troisième test, le test de discrimination, l'audiologue contrôle si le patient peut distinguer de petites différences entre des sons, comme le i par rapport au a, ou le schwa (ə ou e muet) par rapport

Qu'est-ce qu'un audiologue ?

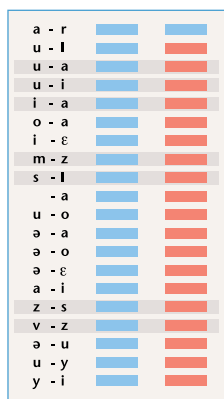
Comme il ressort de l'ensemble du texte, l'ouïe est particulièrement complexe - si complexe qu'une analyse approfondie est une condition préalable à un bon traitement ou suivi. L'audiologue est le spécialiste en la matière et il exécute les examens nécessaires à la demande du médecin nez-gorge-oreille ou du neurologue. En ce sens, un audiologue dispose de différentes aptitudes qui lui permettent d'assumer différents rôles : infirmier, diagnosticien, thérapeute, conseiller/informateur et accompagnateur, mais aussi coach, manager (dirigeant dans son propre centre d'audition ou au sein d'une équipe d'audiologie), chercheur (recherches et études scientifiques par projet) et novateur (en suivant les développements dans le domaine, en les appliquant et les améliorant). Il est pour commencer un praticien paramédical qualifié. Ainsi, il participe au dépistage précoce et à la prévention des troubles de l'audition chez les bébés et les jeunes enfants, au dépistage des troubles lors du traitement du signal auditif ou de la perte de l'ouïe induite par le bruit chez les enfants et les adultes.

Par ailleurs, c'est un bon technicien. Il prend part à la sélection et l'adaptation des implants, il exécute les bonnes mesures et il travaille avec des appareils high-tech.



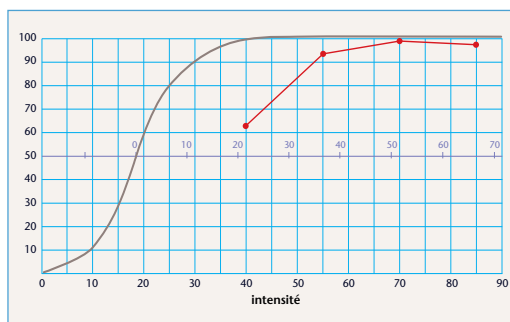
L'audiologue doit aussi pouvoir s'occuper des gens : il accompagne les patients lors de leur rééducation et les aide à se sentir (à nouveau) chez eux dans la société. L'audiologue apporte sa contribution dans des équipes de rééducation pluridisciplinaires pour des enfants et des adultes malentendants ou souffrant de surdité, pour des enfants affichant des troubles du traitement auditif et d'autres problèmes de communication, ou pour des personnes souffrant de problèmes d'équilibre, d'acouphène ou d'hyperacousie. Il donne des formations en matière d'ouïe, des entraînements spécifiques d'audition et d'écoute, un apprentissage pour lire sur les lèvres et une formation en communication.

Et si ce n'est pas encore suffisant, l'audiologue peut également apporter sa contribution à un meilleur accompagnement en matière de nuisance sonore. Avec les bonnes mesures, il peut dresser un relevé, tester les normes légales et donner des conseils concernant le port des bons moyens de protection.



au e normal. Le patient explique à l'audiologue si deux sons lui semblent différents ou au contraire s'ils lui semblent identiques. C'est ce que nous appelons la discrimination de phonèmes. La figure indique combien c'était difficile ou même impossible avec une audioprothèse (colonne de droite où tous les contrastes apparaissent en rouge), et combien avec un implant ça s'est passé sans problème (colonne de gauche, tout en bleu).

Enfin, un audiogramme vocal est établi. L'audiologue contrôle en ce sens combien de mots prononcés sont effectivement compris par un patient. Les mots



sont proposés à différentes intensités. Le patient doit essayer de les répéter. La ligne rouge clair montre le résultat avec des audioprothèses, où le patient n'a pas compris plus de 10-15% des mots forts (70-80 dB). La ligne rouge foncé montre combien ça marche bien avec un implant cochléaire. Les scores se situent entre 60 et 100%.

En entendre (et voir) plus ?

<http://www.youtube.com/watch?v=SmNpP2fr57A>
http://www.youtube.com/watch?v=-WA7-k_UcWY
<http://www.youtube.com/channel/HC3H6CVuLDenk?>

Respectez vos oreilles

Les problèmes d'audition sont monnaie courante aujourd'hui. 42% de toutes les annonces de maladies professionnelles en 2010 portaient sur des problèmes d'audition. Chaque année, 2000 personnes subissent des dommages de l'audition pendant leur travail. Aux États-Unis, il semble qu'un adolescent sur cinq connaisse des problèmes d'audition du même ordre qu'une personne âgée de cinquante à soixante ans. Dans notre pays, une étude de l'Université d'Anvers a révélé les faits suivants : 15% des personnes âgées de 19 à 20 ans souffrent de bourdonnements d'oreilles constants. 85% des jeunes souffrent de bourdonnements d'oreille temporaire après une sortie. Chez 6,5% d'entre eux, ces bourdonnements durent plus de six heures, et chez 1,1%, plus d'un jour.

74% de nos jeunes considèrent qu'une perte d'audition n'est toutefois pas à prendre en considération comme un problème. Ils ont tort.

Tout comme une bonne audition améliore notre bien-être, le stress a également un effet indéniable sur notre audition. Le stress et les soucis sont peut-être ensemble la cause d'une perte d'audition chez beaucoup de personnes. Lorsque l'audiologue fait passer des tests objectifs, il semble que rien ne se passe dans pareil cas. Autrement dit, ce type de perte d'audition peut être guéri avec les soins nécessaires. Mais une perte d'audition résultant d'un bruit excessif est définitive. Par conséquent, elle mérite d'autant plus d'attention.

Un nœud dans vos oreilles ?

Une des conséquences éventuelles des dommages engendrés par le bruit est la perte d'audition. Comme vous pouvez le voir sur ces graphiques, le bruit peut entraîner que vos oreilles soient vingt à trente ans plus vieilles.

Une deuxième conséquence d'un bruit trop important est le bourdonnement d'oreilles, également appelé acouphène : vous entendez continuellement des sons, alors qu'aucune énergie sonore ne parvient à

vosre tympan. 15 à 25% des personnes en souffrent temporairement, par exemple après un concert, une soirée ou un festival. Dans de nombreux cas, ces bourdonnements disparaissent avec le temps, mais pas toujours. L'acouphène peut aussi être une situation constante : le bruissement ne s'en va plus. La conséquence ? Des troubles du sommeil, une dépression et une perte globale de qualité de vie.

Un acouphène constant peut être la conséquence d'une multitude de choses : affections de l'oreille moyenne ou interne, douleurs de l'articulation temporo-maxillaire ou problèmes de cou, effets secondaires de certains médicaments, autres affections comme une pression artérielle trop forte ou trop faible, un diabète, des problèmes de thyroïde ou des

problèmes rénaux, des maladies infectieuses... Dans de nombreux cas, on ne trouve pas de cause directe.

Mais ce qu'on trouve souvent, c'est un défaut de la couche de myéline autour des nerfs. La myéline sert de couche d'isolation autour du nerf lui-même, de sorte que les stimuli puissent circuler sans encombre dans le nerf. Vous pouvez le comparer à la couche de plastique entourant le fil de cuivre qui conduit le courant électrique. Lorsque cette couche est trop fine, elle n'isole pas suffisamment les courants électriques et un court-circuit se produit. Quelque chose de semblable se passe également au niveau des nerfs lorsque la couche de myéline est trop fine. Nous entendons alors cela comme un bruissement

Placez un FOX entre vos oreilles



Les concepteurs de logiciels sont aujourd'hui incontournables dans notre société. Et la recherche moderne concernant l'ouïe ne fait pas exception.

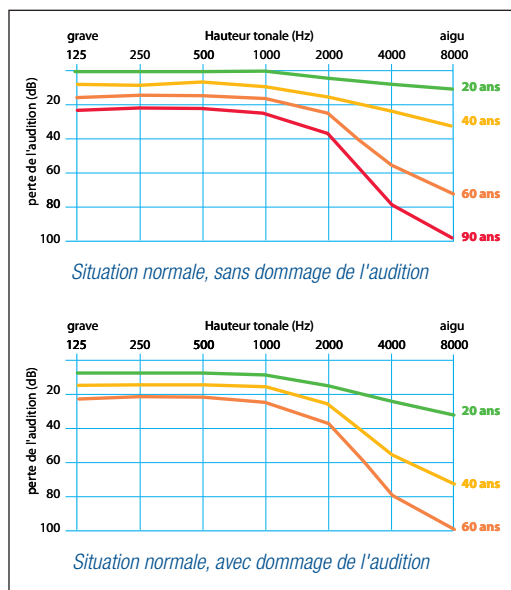
Otoconsult (www.otoconsult.com) est une entreprise spin off du Oorgroep à Anvers. Elle développe des logiciels médicaux pour les médecins ORL et les audiologues. Pour ce faire, l'entreprise travaille depuis des années déjà en collaboration avec la formation professionnelle de bachelier en Informatique de la haute école Karel de Grote (www.kdg.be). Elle vient de coordonner le projet de recherche internationale Opti-Fox, un projet visant à améliorer la mise en place d'implants cochléaires. Le monde entier compte environ 250.000 personnes sourdes portant un implant de ce type. La mise en place de celui-ci requiert du savoir-faire et est effectuée par des médecins, des ingénieurs, des audiologues.

Les stagiaires et professeurs de la KdG ont apporté une contribution importante à un certain nombre d'applications logicielles qui ont été développées par Otoconsult. Ainsi, un logiciel psychoacoustique a été développé pour permettre aux personnes portant un implant cochléaire de pouvoir tester elles-mêmes si l'implant code bien les différentes composantes du son (intensité, aspects spectraux et temporels, com-

préhension de la parole, etc.). Les stimuli du test sont téléchargés via l'Internet ; ensuite un écran tactile permet aux patients d'indiquer ce qu'ils ont entendu.

Les résultats sont ensuite renvoyés au 'cloud'. Dans le 'cloud' est installé FOX (Fitting to OutcomeeXpert), une autre application logicielle qui réalise une analyse des résultats de test via une intelligence artificielle et propose ensuite des modifications à apporter à l'implant. Ces modifications sont programmées dans l'implant et veillent à ce que le patient entende un peu mieux. En collaboration avec le laboratoire de Physique biomédicale de l'Université d'Anvers et avec le soutien de l'IWT, Otoconsult travaille à un nouveau logiciel 'fitting' sur la base d'un modèle. De jeunes informaticiens ont été formés en ce sens aux secrets de la technologie de la parole, aux statistiques et aux mathématiques ainsi qu'à la physique du son.





ou un couinement continu. Dans d'autres cas, différentes cellules ciliées sont endommagées, par exemple des cellules qui perçoivent les sons hauts. Les nerfs qui conduisent à cette perception ne reçoivent plus de stimuli de ces cellules ciliées. Ils interviennent alors pour conduire vers le cerveau le signal d'autres cellules ciliées (qui fonctionnent encore). Ils ne sont programmés que pour traiter les signaux des sons élevés, or ils font autre chose à présent. Cette disparité peut également conduire à un bourdonnement d'oreilles.

Une dernière forme de problème d'audition est l'hyperacousie ou hypersensibilité. Les personnes qui en souffrent supportent très mal une forme quelconque de son. Les bruits de la vie de tous les jours sont douloureux pour ces personnes, irritants et insupportables. Les contacts sociaux normaux sont également très pénibles dans ce cas : une conversation, une réunion, suivre un programme TV, téléphoner... ce sont tous des moments difficiles.

Vous voulez savoir comment fonctionne l'acouphène ?

Sur <http://www.ata.org/sounds-of-tinnitus>, vous trouverez quelques bonnes simulations. Réglez bien le son de votre PC très doux!

**"And then one day you find -
Ten years have got behind you
No one told you when to run -
You missed the starting gun"**

(Pink Floyd, Pink Floyd: Dark Side of the Moon)

Mieux vaut prévenir que guérir

Heureusement, vous ne devez plus aujourd'hui vivre dans un isolement complet pour éviter des problèmes d'audition. Un peu de bon sens est toutefois nécessaire.

En Belgique, un travailleur peut être exposé à du bruit s'élevant à une moyenne de 85 décibels, et ce, jusqu'à un maximum de 8 heures par jour, 40 heures par semaine. En cas d'exposition plus intense, les travailleurs doivent porter une protection au niveau des oreilles ou intercaler les pauses nécessaires. En guise d'illustration : Travailler 8 heures avec 80 décibels dans vos oreilles équivaut à conduire un tracteur pendant une demi-heure (92 dB) ou encore travailler 2 minutes avec une scie circulaire. La raison ? En cas d'augmentation de 3 décibels, les nuisances acoustiques sont doublées et la durée d'exposition maximale diminue de moitié.

Si l'on suit ce même raisonnement pour les loisirs, 8 heures de travail en présence de 80 décibels correspondent à une minute sur un concert pop. Rien d'étonnant à ce que les autorités trouvent nécessaire de protéger quelque peu l'audition du hard-rockeur ou du fan de deathmetal. Vous trouverez le lien vers la brochure sur ces normes à la fin du présent dossier.

Pour protéger votre ouïe, il existe différentes sortes de bouchons d'oreille. Quel que soit votre choix, prenez des bouchons d'oreille qui vous conviennent bien. Opter tout simplement pour le moins cher ne vous aide pas sur le long terme : à chaque fois qu'une protection d'oreille laisse "fuir" 3 décibels, son utilité est réduite de moitié. Dans le tableau à la p.29, vous trouverez les différents types alignés.

En savoir plus ?

<http://www.phon.ucl.ac.uk/resource/hearloss/>

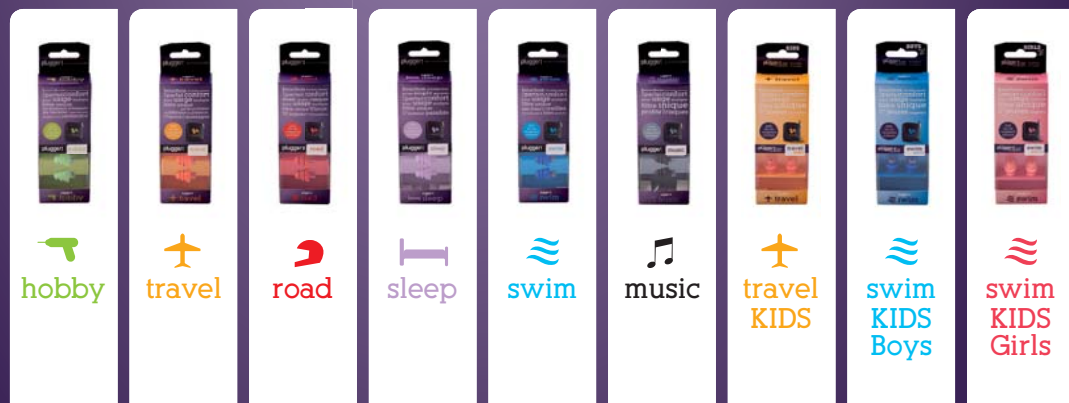
Plugggerz All-Fit

Bouchons d'oreilles de qualité supérieure, polyvalents, pour toutes circonstances : une gamme complète ! En tant que détaillant, avec Plugggerz All-Fit, vous disposez d'emblée de toute la série complète de protège-oreilles.

- Confort parfait grâce aux 3 lamelles et à la matière silicone antiallergique
- Pour usage multiple
- Chaque type est doté d'un filtre unique
- 9 emballages, y compris trois versions KIDS
- Manuel et emballage francophone (aussi disponible: anglais, allemand, néerlandais)
- Plusieurs écrans disponible
- Certification CE et tests selon EN 352-2
- Made in Holland



+



plugggerz

Comfoor B.V. www.plugggerz.eu





E sales@plugggerz.eu T +31 314-36 35 88

Conseils pour protéger vos oreilles

- Placez-vous au moins à 5 mètres des haut-parleurs
- Utilisez autant que possible une protection de l'audition (fréquemment et de préférence sur mesure)
- Essayez de ne pas tout le temps vous placer devant lors d'une représentation
- Ne réglez jamais votre lecteur mp3 sur le volume maximal. Votre voisin dans le bus ou le tram ne doit pas pouvoir chanter avec vous ! Et n'augmentez certainement pas le volume de votre mp3 avec des 'volume boosters' téléchargeables.
- Offrez à vos oreilles un peu de repos lorsque vous sortez (un quart d'heure par demi-heure de musique intense)
- Offrez à vos oreilles après un passage en discothèque ou après un concert une petite journée de repos (sans mp3 !)
- Ne réglez jamais votre mp3 sur un niveau maximal et ne l'écoutez jamais plus d'une heure avec un volume élevé
- Les oreillettes laissent souvent passer plus de son qu'un casque et peuvent par conséquent s'avérer plus nocives
- N'allez de préférence pas à un concert ou en discothèque lorsque vous êtes enceinte. Votre ventre amortit à peine 5 décibels. L'ouïe du bébé, qui est alors encore en plein développement, est alors facilement exposée à 100 décibels et il ou elle ne peut pas utiliser de bouchons d'oreille !

(Source: Comfoor / CM)



	 bouchons d'oreille en mousse jetables	 bouchons d'oreille avec filtre	 bouchons d'oreille réalisés sur mesure	 Cache-oreilles
prix	très bon marché parfois même réutilisables	assez bon marché	fabriqués sur mesure et donc plus chers (mais vos oreilles le valent bien)	raisonnablement chers
confort d'utilisation	modéré	suivant la qualité: bon à modéré	parfait	bon
protection	bon s'ils sont bien mis en place	bonne	parfaite mais veillez bien à ce que la qualité soit garantie par un test de fuite.	bonne : enveloppent vos oreilles
contact avec l'environnement	dépend de l'application: amortissent bien, mais déforment plutôt le son. Mauvais pour écouter de la musique, mais parfait pour travailler avec des tronçonneuses, des souffleurs de jardin, ...	bon: ils déforment moins fort le son	parfait: vous pouvez choisir un filtre pour certaines circonstances (pour être DJ, en moto, pour le travail dans des conditions bruyantes...)	modéré: amortissent autant toutes les fréquences sonores
hygiène	mauvais	suivant la qualité : bon à modéré	très bonne	modérée à bonne

PRIX DE LA JEUNESSE BAEKELAND 2013



A gagner :
2500 euros
offerts par la
Loterie Nationale

L'habitat de demain

Loterie Nationale
créateur de chances

ULB



essenscia

**Bio-
MENS**

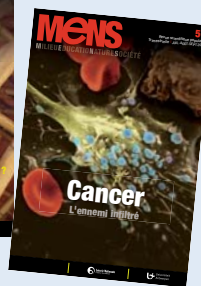
En collaboration avec l'ULB Bio-MENS asbl organise le Prix de la Jeunesse Baekeland, un concours pour les élèves du troisième degré de l'enseignement secondaire (ESG, EST, ESP, ESA). Le thème du Prix de cette année est 'L'Habitat de demain'.

Développez une argumentation critique en groupes de 5 élèves minimum et/ou élaborer un travail créatif autour du thème. Parmi tous les envois, le jury désignera six finalistes autorisée à présenter leur travail au jury et au grand public. En outre, pendant la finale, vous prendrez part à un débat thématique vous permettant de faire preuve d'éloquence.

De plus amples informations sur le prix : www.biomens.eu

Date limite d'inscription
prolongée ! Clôture des
inscriptions : le 17 avril
2013 inclus

MENS 59 Dossier à venir : Médicaments bien contrôlés ou approuvés ?



- 1 L'emballage est-il superflu ?
- 2 Le chat et le chien dans l'environnement
- 3 Soyez bons pour les animaux
- 4 Le chlore, comment y voir clair
- 5 Faut-il encore du fumier ?
- 6 Sources d'énergie
- 7 La collecte des déchets : un art
- 8 L'être humain et la toxicomanie
- 9 Apprenons à recycler
- 10 La Chimie : source de la vie
- 11 La viande, un problème ?
- 12 Mieux vaut prévenir que guérir
- 13 Biocides, une malédiction ou une bénédiction ?
- 14 Manger et bouger pour rester en pleine forme
- 15 Pseudo-hormones : la fertilité en danger
- 16 Développement durable : de la parole aux actes
- 17 La montée en puissance de l'allergie
- 18 Les femmes et la science
- 19 Viande labellisée, viande sûre ! ?
- 20 Le recyclage des plastiques

- 21 La sécurité alimentaire, une histoire complexe.
- 22 Le climat dans l'embarras
- 23 Au-delà des limites de la VUE
- 24 Biodiversité, l'homme fauteur de troubles
- 25 La biomasse : L'or vert du 21ème siècle
- 26 La nourriture des dieux : le chocolat
- 27 Jouer avec les atomes : la nanotechnologie
- 28 L'or bleu : un trésor exceptionnelle !
- 29 Animal heureux, homme heureux
- 30 Des souris et des rats, petits soucis et grands tracas
- 31 Illusions à vendre
- 32 La cigarette (ou) la vie
- 33 La grippe, un tueur aux aguets ?
- 34 Vaccination : bouée de sauvetage ou mirage ?
- 35 De l'énergie à foison
- 36 Un petit degré de plus. Quo vadis, la Terre ?
- 37 L'énergie en point de mire
- 38 TDAH, lorsque le chaos domine
- 39 Une société durable... plastiques admis
- 40 Aspects d'évolution - Darwin

- 41 Les maladies sexuellement transmissibles
- 42 La Chimie Verte
- 43 Espèces invasives
- 44 Le cerveau
- 45 Embarquement pour Mars
- 46 Où la piste mène-t-elle ?
- 47 Quand le sang cesse de circuler...
- 48 PVC : durabilité et design en harmonie
- 49 Biodiversité marine
- 50 Biologie systémique
- 51 Le monde des abeilles
- 52 (Sur)Population
- 53 Surpêche
- 54 Manger en conscience
- 55 Bambou
- 56 Cancer
- 57 Biomimétisme