



QUE SE PASSE-T-IL QUAND NOUS ENTENDONS ?

Christian J. Sumner ^{1*}, Michael A. Akeroyd ², Joseph Sollini ² and Caryl Hart ³

¹Département de Psychologie, Université Nottingham Trent, Nottingham, Royaume Uni

²Sciences de l'audition, Santé Mentale et Neurosciences Cliniques, École de Médecine, Université de Nottingham, Nottingham, Royaume Uni

³Auteur indépendant pour les enfants, Sheffield, Royaume Uni

Que se passe-t-il lorsque nous entendons ? Où va le son lorsqu'il pénètre dans nos oreilles ? Nos oreilles perçoivent les vibrations de l'air et les convertissent en signaux électriques que le cerveau peut traiter. Mais ce n'est qu'un début. Le cerveau utilise des dizaines de milliers de cellules nerveuses pour entendre le son le plus simple ou le plus faible. Avec ses cellules nerveuses, le cerveau résout une énigme sans fin : comprendre ce qui se passe dans le monde. Pour ce faire, le cerveau doit séparer les sons qui se produisent en même temps, les reconnaître et les décrypter de nombreuses façons, comme déterminer le volume d'un son et sa provenance. Cet article donne un aperçu de la manière dont les oreilles et le cerveau travaillent ensemble pour que nous puissions vivre dans un monde sonore.

LE MONDE DES SONS

Imagine-toi seul, assis au bord d'un lac très calme. Imagine maintenant que tu mets deux petits bateaux jouets au bord de l'eau, à environ un mètre l'un de l'autre, comme le garçon sur le dessin ci-dessus. Tu lances une pierre dans l'eau, plus loin que les bateaux. Lorsque la pierre touche l'eau, elle crée des ondulations qui se déplacent en cercles à partir de l'endroit où la pierre a coulé. Lorsque les vagues atteignent tes bateaux, ceux-ci se balancent de haut en bas. Si ta pierre est tombée à la même distance de chaque bateau, les deux bateaux commenceront à bouger en même temps. Mais si ta pierre est tombée plus près du bateau de

gauche, il commencera à osciller avant le bateau de droite.

Imagine maintenant que le lac est très fréquenté. Un chien barbote à proximité, un jet-ski passe en trombe au loin et des canards nagent près de toi. Chaque chose en mouvement crée d'autres vagues de tailles différentes, provenant de nombreuses directions, et chaque vague déplacera tes bateaux d'une manière spécifique.

Et si tu ne pouvais pas voir l'ensemble du lac, mais seulement les deux bateaux ? Tu pourrais savoir que quelque chose crée des vagues, mais il serait difficile d'en déterminer la cause. C'est exactement ce que tu fais lorsque tu écoutes des sons. Lorsque les gens parlent, que les oiseaux chantent ou que des voitures passent dans la rue, ils créent dans l'air des ondulations invisibles qui s'étendent vers l'extérieur comme les vagues sur le lac. Lorsque ces ondulations atteignent tes oreilles, elles font "osciller" des pièces mobiles à l'intérieur de tes oreilles, comme ces bateaux jouets, et les nerfs à l'intérieur de tes oreilles envoient des signaux à ton cerveau suite à ce mouvement d'oscillation. Ton cerveau détermine alors la nature et l'origine de ces sons, même si tu ne peux pas voir ce qui les produit ! L'ouïe peut créer une image vivante du monde qui t'entoure, et la plupart du temps, tu ne t'en rends même pas compte ! Les scientifiques sont encore en train d'essayer de comprendre comment cela se produit [1].

QUE SE PASSE-T-IL DANS TON OREILLE ?

Si tu pouvais voir l'air se déplacer au ralenti, tu pourrais observer les vibrations sonores qui partent des mains d'une personne qui applaudit, traversent l'air et arrivent jusqu'à tes oreilles. Bien sûr, l'air est invisible et il vibre beaucoup trop vite pour que nos yeux puissent suivre les ondes sonores.

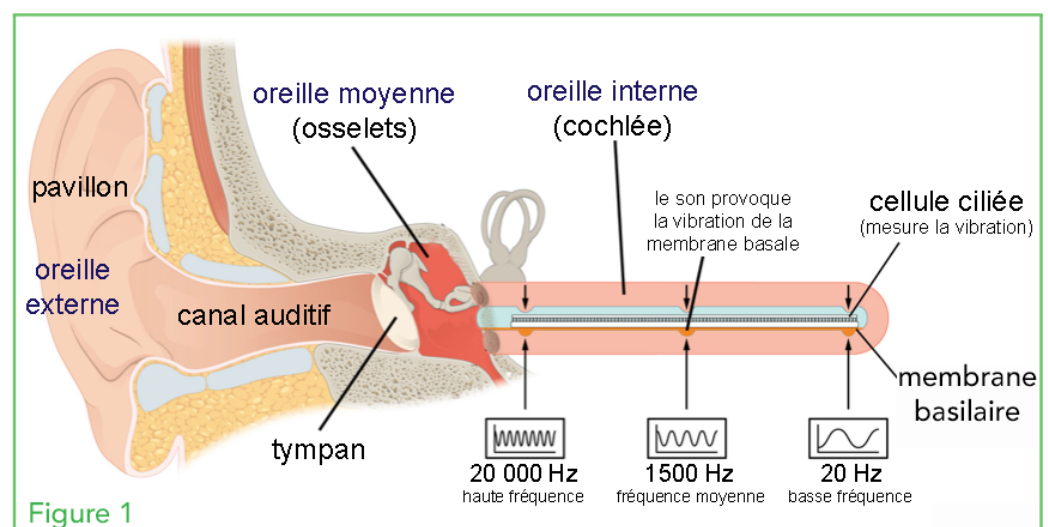


Figure 1. Schéma des différentes parties de l'oreille. Le tympan sépare l'oreille externe de l'oreille moyenne. Dans l'oreille interne, la cochlée est représentée droite et en coupe pour montrer la membrane basilaire. (En réalité, elle est enroulée en spirale dans l'os temporal, voir la Figure 3).

CONDUIT AUDITIF. Tube qui achemine le son jusqu'au tympan.

TYMPAN. Membrane semblable à la peau qui sépare l'oreille externe de l'oreille moyenne. Le tympan transmet les vibrations de l'air en mouvement aux os de l'oreille moyenne.

COCHLÉE. Chambre en spirale faite d'os et remplie de liquide se déplaçant en même temps que les os de l'oreille moyenne et le tympan. Ce déplacement entraîne celui de la membrane basilaire.

MEMBRANE BASILAIRE. Membrane souple à l'intérieur de la cochlée de l'oreille interne se déplaçant en même temps que le liquide qui l'entoure. La partie bougeant le plus dépend de la fréquence du son.

FRÉQUENCE D'UN SON. Vitesse des vibrations des ondes sonores dans l'air, c'est-à-dire le nombre de fois par seconde que les molécules d'air accomplissent un cycle de compression, d'expansion et de retour à la normale.

* Figure ajoutée à la version française

CELLULES CILIÉES. Cellules de la membrane basilaire qui transforment les mouvements en signaux électriques transmis au cerveau par les nerfs. Elles sont dotées de minuscules poils se déplaçant avec le liquide entourant la membrane basilaire.

Tes oreilles sont constituées de plusieurs parties (**Figure 1**). Les parties souples sur les côtés de la tête s'appellent les oreilles externes. L'oreille externe recueille les ondes sonores qui voyagent dans l'air et les achemine dans le **conduit auditif** où elles rebondissent contre le **tympan**, une mince membrane de peau tendue à l'extrémité du conduit auditif. Avec un diamètre d'environ 8 mm, le tympan vibre sous l'effet des ondes sonores qui le frappent. De l'autre côté du tympan se trouvent trois os minuscules, les plus petits de ton corps. Ils captent les vibrations du tympan et les envoient dans l'oreille interne, ou **cochlée**. La cochlée est un tube en forme de spirale rempli d'un liquide salé qui se déplace rapidement d'avant en arrière en fonction des vibrations de l'air.

La cochlée est divisée en deux parties par une membrane semblable à de la peau appelée **membrane basilaire**. Les vibrations sonores qui pénètrent dans l'oreille font vibrer cette membrane de haut en bas. La partie de la membrane la plus proche de l'oreille externe est plus sensible aux sons aigus de haute **fréquence**, jusqu'à 20 000 vibrations par seconde ou Hertz (Hz). [Cette fréquence est bien plus élevée que les notes de musique les plus aiguës produites par un piccolo (petite flûte) ou un sifflet, qui peuvent atteindre 4 000 Hz.] En général, seules les personnes jeunes peuvent bien entendre cette fréquence ; la plupart des adultes âgés d'environ 60 ans n'entendent que jusqu'à 10 000 Hz environ. L'autre extrémité de la membrane basilaire (la plus loin de l'oreille externe) vibre davantage aux sons graves de basse fréquence, comme ceux produits par une contrebasse, qui peuvent atteindre 40 Hz — une valeur proche de la fréquence la plus basse que nous puissions percevoir (20 Hz). La parole se situe principalement dans la gamme des fréquences moyennes, entre 100 et 2 000 Hz. La cochlée "trie" donc les sons en fonction de leur fréquence. Cela nous permet de détecter la fréquence d'un son (par exemple, les notes de musique), et de distinguer les sons de fréquences différentes qui se produisent en même temps !

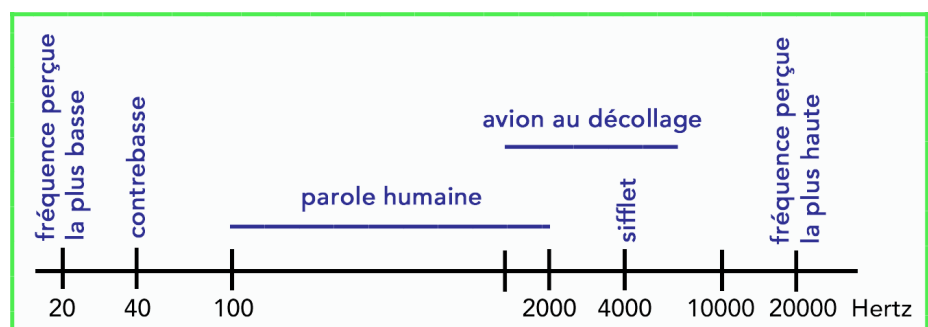


Figure 2*. Gamme de fréquence des sons que perçoivent nos oreilles.

Tout au long de la membrane basilaire se trouvent de minuscules **cellules ciliées** qui mesurent les vibrations et les transforment en signaux électriques. Chaque cellule ciliée est reliée à une fibre nerveuse qui transmet ces signaux électriques au cerveau. Le cerveau décode, ou interprète, ces signaux et détermine la nature et l'origine du son. Bien sûr l'oreille assure d'autres fonctions.

TU ENTENDS AVEC TON CERVEAU

NOYAUX AUDITIFS.
Ensemble de cellules proches les unes des autres dans le cerveau et dédiées au traitement des sons. L'olive médiane supérieure et le cortex auditif sont des exemples de noyaux auditifs

Ton cerveau est comme un superordinateur ! C'est lui qui donne un sens aux signaux électriques envoyés par tes oreilles. Les parties du cerveau qui traitent les sons sont appelées **noyaux auditifs** (Figure 3). Dans les noyaux auditifs, les cellules cérébrales perçoivent des types de sons spécifiques. Certaines cellules cérébrales sont particulièrement sensibles aux sons de basse fréquence, comme les moteurs de voiture, et d'autres aux sons de haute fréquence, comme les chants d'oiseaux. Les cellules cérébrales qui détectent les sons de basse fréquence se regroupent souvent, et celles qui détectent les sons de haute fréquence font de même. Nous disons qu'elles sont organisées en une "carte" de fréquences qui t'aide à savoir quelle est la fréquence du son que tu entends.

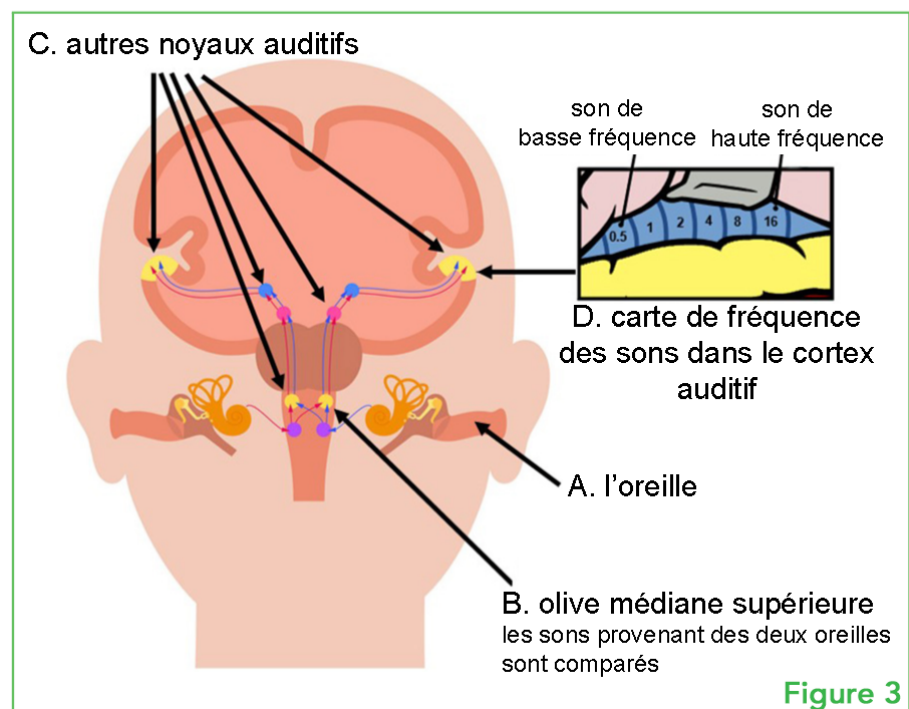


Figure 3. Schéma du trajet des signaux électriques produits par la cochlée (dessinée en orange) (A) L'oreille externe où le son pénètre. (B) Noyau auditif appelé "olive médiane supérieure" où les sons provenant des deux oreilles sont comparés. (C) Autres noyaux auditifs. Les informations sur le son passent par ces noyaux, et chacun joue un rôle différent, en traitant le son de manière à ce que nous puissions le comprendre. Les scientifiques n'ont pas fini d'élucider cette question. (D) Schéma d'un gros plan montrant l'organisation de la carte des fréquences dans le cortex auditif, une autre partie du cerveau importante pour le traitement des sons. Sur ce gros plan, la couche supérieure du cerveau a été soulevée (par l'appareil dessiné en gris) pour révéler la carte des fréquences. (crédit d'image : modifié à partir de Wikipedia Commons).

OLIVE MÉDIANE SUPÉRIEURE. Noyau auditif du cerveau dédié au traitement des informations sur un son arrivant aux deux oreilles ; elles aident à déterminer d'où viennent les sons.

Certains noyaux auditifs ont des tâches spéciales qu'aucune autre partie du cerveau ne peut accomplir. L'un de ces noyaux, appelé **olive médiane supérieure**, compare le temps mis par un son pour atteindre chaque oreille [2]. Comme dans notre exemple des petits bateaux sur le lac, les sons provenant de la gauche arriveront d'abord à l'oreille gauche et mettront un peu plus de temps pour arriver à l'oreille droite.

Si le son vient de l'avant, il arrivera aux deux oreilles en même temps. C'est l'une des façons dont ton cerveau peut déterminer d'où vient le son.

Le cerveau effectue de nombreuses autres tâches pour t'aider à comprendre les sons qui t'entourent. Par exemple, il peut déterminer le volume (l'intensité) d'un son ou repérer des sons nouveaux et inattendus. Il peut reconnaître des mots et déterminer le mouvement d'un objet à partir des variations des ondes sonores au fil du temps. Imagine presque n'importe quel aspect du son ou la façon dont il peut changer, et tu trouveras probablement des cellules cérébrales capables de le mesurer !

DONNER UN SENS AUX SONS

Le rôle du cerveau est de transformer les sons en informations sur le monde qui nous entoure et de leur donner un sens. Par exemple, lorsque tu entends une personne parler et que tu comprends les mots qu'elle prononce, tu ne te contentes pas de déterminer si les sons sont forts ou faibles, proches ou éloignés, immobiles ou en mouvement. Ton cerveau essaie également d'identifier les sons. Pour cela, il fait appel à toutes les connaissances qu'il possède déjà sur ces sons (Figure 4A). Nous comprenons les mots parce que nous avons déjà appris un langage et que nous savons à quoi ressemblent de nombreux mots ; tu n'entends donc pas seulement des sons, mais des mots qui ont une signification pour toi. La façon dont nous comprenons les sons dépend donc en partie de ce que nous savons déjà ! Même les choses que tu vois peuvent influencer la façon dont tu perçois les sons. C'est extrêmement important lorsque tu écoutes quelqu'un parler : le fait de voir le visage d'une personne permet de mieux la comprendre.

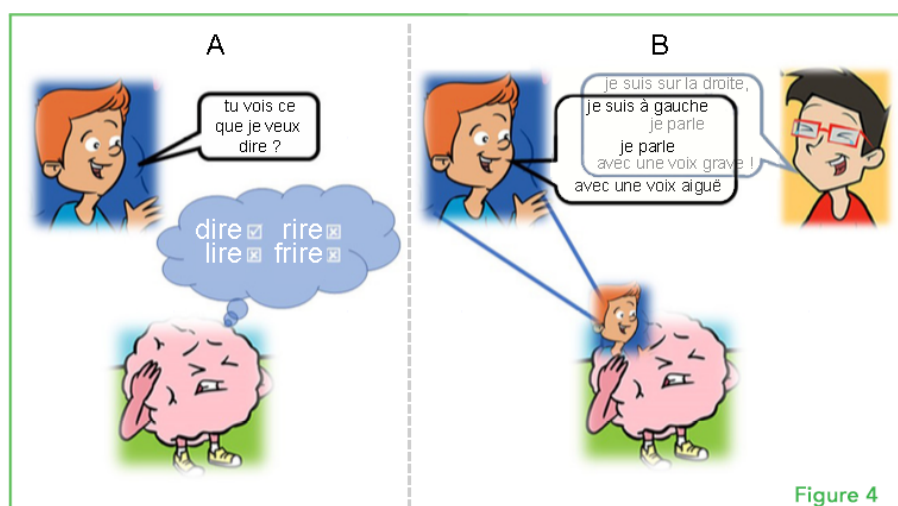


Figure 4. (A) Ce que tu sais des sons affecte ce que tu entends et t'aide à comprendre. (B) La façon dont tu écoutes affecte ce que tu entends et t'aide à séparer et à comprendre les sons (figure adaptée à partir de quelques articles en anglais de <https://kids.frontiersin.org/collections/17985/a-world-of-sound>).

DÉMÊLER TOUS LES SONS QUE TU ENTENDS

L'aspect le plus étonnant de l'audition est peut-être son efficacité lorsqu'il y a beaucoup de sons qui se produisent en même temps. Imagine que tu

es avec deux amis et qu'ils parlent en même temps. Tu peux généralement choisir l'une des voix à écouter, sans confondre les mots des deux amis. Le cerveau utilise des "astuces" pour séparer les sons. Par exemple, si tes amis sont assis à des endroits différents, ton cerveau peut déterminer d'où vient chaque voix en utilisant les olives médianes supérieures ! Tu n'as pas besoin de réfléchir à l'origine des voix, ton cerveau est « câblé » pour faire cela automatiquement. Le choix de l'ami à écouter n'est pas automatique, et la façon dont tu écoutes aide également ton cerveau à distinguer les voix (Figure 4B). De manière étonnante, si tu prêtes attention à l'une des voix, ton cerveau réagit plus fortement à cette voix et tu l'entends plus clairement [3] !

L'AUDITION : BIEN PLUS QU'UNE OREILLE !

Maintenant, tu es probablement d'accord pour dire qu'entendre ne se résume pas à tes oreilles. Tes oreilles convertissent les sons en signaux que ton cerveau peut interpréter. Ce n'est pas une tâche facile ! Mais lorsque tu donnes un sens à ces sons, ils ont traversé plusieurs milliers de cellules cérébrales. Ton cerveau et les cellules qui le composent travaillent dur pour t'aider à donner un sens aux sons et informations qu'ils te transmettent sur le monde. Il est essentiel de comprendre comment nous entendons pour « soigner » efficacement les problèmes auditifs, qui s'aggravent avec l'âge. Cette compréhension de l'audition a également conduit à des technologies telles que les fichiers mp3 et à des innovations en matière de reconnaissance artificielle de la parole par les ordinateurs.

Si tu souhaites en savoir plus sur le monde passionnant du son et sur la façon dont nous l'entendons, tu peux consulter la collection d'articles (en anglais) sur le site : <https://kids.frontiersin.org/collections/17985/a-world-of-sound>.

RÉFÉRENCES

[1] Bergman, A. 1990. *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound*. Cambridge, MA: MIT Press.

[2] Grothe, B., Pecka, M., and McAlpine, D. 2010. Mechanisms of sound localization in mammals. *Physiol. Rev.* 90:983–1012. doi: 10.1152/physrev.00026.2009

[3] Mesgarani, N., and Chang, E. F. 2012. Selective cortical representation of attended speaker in multi-talker speech perception. *Nature* 485:233–6. doi: 10.1038/nature11020

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (Sumner C, Akeroyd M, Sollini J and Hart C (2023) What Happens When We Hear? *Front. Young Minds.* 11:1072364. doi: 10.3389/frym.2023.1072364).

TRADUCTION : Nicole Pasteur, Association Jeunes Francophones et la Science

ÉDITION : Jean-Marie Clément, Association Jeunes Francophones et la

Science

MENTOR SCIENTIFIQUE : Catherine Braun-Breton

REMERCIEMENTS : Merci à Josselin Gély et Romain Blanc pour leur accueil et leur implication dans l'édition de cet article par leurs élèves.

JEUNES ÉDITEURS :

RACHEL, 14 ANS

Je m'appelle Rachel, mes passions dans la vie sont d'écouter de la musique et de lire (j'adore le français, c'est ma matière préférée). Mais ce que j'aime le plus c'est le théâtre et inventer des histoires (j'aime écrire). Mon animal préféré est le capybara. Et plus tard je m'imagine bien écrivaine.

NOAH, 14 ANS

Je m'appelle Noah et j'ai 14 ans. Je suis passionné par la boxe que je pratique depuis plus de 4 ans. J'aime sortir dehors en trottinette électrique avec mes amis.

PIERRE 14 ANS

Je m'appelle Pierre et j'ai 14 ans. Je suis né à Béziers et suis passionné par l'informatique, le sport et bien manger.

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOUMIS le 17 octobre 2022 ; **ACCEPTÉ** le 26 avril 2023.

PUBLIÉ EN LIGNE le 18 mai 2023.

ÉDITEUR : Robert Zatorre

MENTORS SCIENTIFIQUES : Stephanie Carreiro, Beatriz Gal

CITATION : Sumner C, Akeroyd M, Sollini J and Hart C (2023) What Happens When We Hear? *Front. Young Minds.* 11:1072364. doi: 10.3389/frym.2023.1072364

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT.

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEUR

Copyright © 2023 Sumner, Akeroyd, Sollini and Hart

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES EXAMINATEURS

ANJALI, 12 ANS

Anjali aime les chiens, les champignons et le dessin. Elle n'aime pas la mayonnaise et se méfie des tatous.

DECLAN, 14 ANS

Declan est un intello passionné du Massachusetts, toujours enthousiaste à l'idée d'apprendre quelque chose de nouveau. Il aime les jeux, les chiens. Il est toujours prêt à parler et n'est pas obsédé par Hollow Knight.

JUAN, 14 ANS

Je suis étudiant en Espagne et j'aime jouer aux échecs, apprendre de nouvelles choses et faire du sport.

GONZALO, 13 ANS

Je m'appelle Gonzalo et je suis en 9ème année. J'ai toujours aimé les sciences et les mathématiques. Je joue du violoncelle, du piano et au tennis. Depuis que j'ai entendu parler de Frontiers for Young Minds, j'ai voulu participer. Je m'engage à aider les autres à comprendre de nouveaux sujets en révisant des articles.

GREY, 14 ANS

Grey aime les champignons, la musique, la lecture et le dessin. Elle n'aime pas l'histoire, la musique rock ou les bruits forts. Ses couleurs préférées sont le vert et le noir.

AUTEURS

CHRISTIAN J. SUMNER

Chris Sumner est professeur associé en neurosciences auditives à la Nottingham Trent University. Il a une formation en informatique et considère donc le cerveau comme un gros ordinateur ; il veut comprendre le programme qui nous permet d'entendre ! Il s'intéresse à tous les aspects de l'audition ; la manière dont le cerveau sépare les sons simultanés (comme les instruments d'un orchestre), la manière dont les cellules cérébrales traitent les sons, ou encore l'évolution de l'audition avec l'âge. Son choix de carrière est né de son intérêt pour la musique, mais il ne se voyait pas devenir une rock star. *christian.sumner@ntu.ac.uk, orcid.org/0000-0002-2573-7418

MICHAEL A. AKEROYD

Michael est professeur en sciences de l'audition à l'université de Nottingham. Il a étudié la physique et la psychologie, et il s'intéresse à la façon dont nous entendons. Son audition est nettement moins bonne que lorsqu'il était plus jeune, peut-être parce qu'il a assisté à trop de concerts pop et qu'il a entendu beaucoup trop de sons (et beaucoup trop de sons très forts). orcid.org/0000-0002-7182-9209

JOSEPH SOLLINI

Joe est professeur associé et un neuroscientifique de l'audition à l'université de Nottingham. Il a toujours été étonné par le fait que notre personnalité et toutes nos perceptions sont possibles grâce aux milliers de cellules de notre cerveau. Il a étudié la psychologie puis les neurosciences à l'université, où il a appris que le cerveau trouve constamment des moyens ingénieux pour nous aider à apprendre et à découvrir le monde. Il consacre aujourd'hui son temps à essayer de comprendre comment les cellules du cerveau travaillent ensemble pour nous permettre d'entendre plus facilement dans des environnements bruyants. orcid.org/0000-0002-1974-4291

CARYL HART

Caryl Hart est auteure de livres pour enfants ; elle écrit des livres d'images et des romans pour les jeunes. Elle anime des ateliers d'alphabétisation créative pour les écoles, les bibliothèques, les communautés et les festivals. Ses livres ont été primés ou sélectionnés pour de nombreux prix régionaux et nationaux. *Meet the Oceans* a figuré parmi les meilleurs livres pour bébés et tout-petits de Waterstones et de Topic's Best EYFS Curriculum Support en 2021. *Girls Can Do Anything* a été sélectionné pour l'Independent Bookshop Week Book Award l'Independent Bookshop Week Book Award en 2019. *The Girl who Planted Trees* a remporté le Teach Early Years Best Picture Book Award et a été choisi comme l'un des meilleurs livres de 2022 par le UK Children's Laureate, Joseph Coelho en 2022. Ses séries « best-sellers » *Princess* et *Albie* se sont chacune vendues à plus d'un quart de million d'exemplaires, et ces livres sont traduits dans de nombreuses langues à travers le monde. Pour plus d'informations, visite le site www.carylhart.com ou envoie un message à Caryl sur Twitter @carylhart1 ou Instagram @carylhart. Elle serait ravie d'avoir de tes nouvelles !