

Influence des fréquences sur la diminution temporaire du seuil auditif

Mylène Dandavino, Marianne Roussy

Collège André-Grasset, Second prix Étudiant

Dec^{Plus} en sciences de la nature, Cohorte 1994-1996

Le but de notre recherche consistait à déterminer l'influence relative des différents niveaux fréquentiels sur la diminution temporaire du seuil auditif, dans un échantillon composé d'étudiants du Collège André-Grasset. Ce seuil auditif, mesuré à l'aide d'un audiomètre, était évalué par un test d'audition qui précédait et suivait les trois séances d'écoute, pour lesquelles des écouteurs et un magnétophone étaient utilisés. Les données recueillies ont démontré une diminution du seuil plus marquée pour les hautes fréquences que pour les fréquences originales. Les basses fréquences ont par contre causé un résultat contraire. La diminution temporaire du seuil auditif est donc influencée par le niveau fréquentiel de la musique.

I- Introduction

La musique a toujours influencé les moeurs. Mais le son ne limite pas son influence à cet aspect psychologique, étendant son emprise à la physiologie humaine. Les fréquences ont-elles des impacts différents, selon leur hauteur, sur la diminution temporaire du seuil auditif ?

L'étude de la diminution temporaire du seuil auditif requiert d'abord la compréhension de quelques concepts, soit le fonctionnement de l'oreille, la nature des phénomènes sonores et la définition de la diminution du seuil auditif.

A- Physionomie et physiologie de l'oreille

Les informations théoriques ont été puisées dans *Anatomy and Physiology* (1978), dans *Atlas of Human Anatomy* (1985) ainsi que dans *Merveilles et secrets du corps humain* (1987). L'oreille humaine peut être divisée en trois parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. Les ondes sonores, qui se propagent dans l'air, sont captées par le pavillon, morceau de cartilage entourant le conduit auditif. Celles-ci pénètrent dans ce conduit long de 2,5 cm, muni d'un duvet et dont les parois contiennent les 4 000 glandes sécrétrices nécessaires à la protection du tympan. Le

rôle de l'oreille externe est surtout homéostatique, assurant la constance de la température et de l'humidité. Les ondes sonores entrent ensuite en contact avec une membrane tendue, le tympan, qui vibre selon la fréquence du son. Ces poussées imperceptibles sont alors transmises aux osselets, contenus dans le compartiment réduit de l'oreille moyenne. C'est d'abord le marteau qui, par un mouvement de levier, fait bouger l'enclume qui transmet ses vibrations à l'étrier, le plus petit os du corps. Ce système amplifie l'intensité du signal d'un facteur 20.

L'oreille interne joue alors son rôle. L'étrier, inséré dans la membrane de la fenêtre ovale, est en contact avec le liquide contenu dans l'oreille interne. Les ondes de pression liquide ainsi créées se propagent vers la cochlée, mécanisme central de l'ouïe. Cette petite structure en forme d'escargot, enroulée deux fois et demie sur elle-même, tient le même rôle qu'un piano possédant 20 000 touches, qui sont les cellules ciliées. Ces cellules sensorielles vibrent selon les vagues produites dans le liquide cochléaire. L'influx nerveux produit est alors transmis par le nerf auditif vers le cerveau, où il sera traité.

Ce qu'il est important de noter pour notre recherche est que, selon *Les merveilles du corps humain*, les sons provoquent, selon leur hauteur, leur effet maximal sur différents segments de la cochlée. Les basses fréquences activent les cellules les plus larges et flexibles, au coeur de la spirale. Par contre, les hautes fréquences ont leur réponse maximale à la fin de la spirale, près de la fenêtre ronde, où les cellules sont étroites et rigides. La différence structurale entre ces régions pourrait expliquer des diminutions différentes du seuil auditif pour les hautes et les basses fréquences.

B- Nature des phénomènes sonores

Le son est un phénomène physique qui peut être produit par tout objet qui vibre de façon rapide. Par exemple, une corde qu'on pince ou une membrane qui vibre peuvent produire un son. Lorsqu'une membrane vibre, une certaine pression est appliquée sur les molécules d'air adjacentes. Ces dernières appliquent une pression équivalente sur leurs voisines. Toutefois, appliquant la loi d'action-réaction, les deuxièmes molé-

cules d'air repoussent les premières, les forçant ainsi à regagner leur position originelle. Le son ne représente donc pas un mouvement de molécules dans l'air se déplaçant à 340 m/s, mais bien une propagation d'alternance entre des zones de basse pression et de haute pression.

En effet, ces alternances sont telles qu'elles peuvent être représentées par une fonction sinusoïdale où l'axe des ordonnées représente la pression. Lorsque la courbe rencontre l'axe des abscisses, la pression à cet endroit et à cet instant correspond à la pression atmosphérique. Lorsqu'on se situe au-dessus de l'axe la pression y est supérieure tandis qu'au-dessous, elle y est inférieure. Pour décrire un son, trois caractéristiques sont nécessaires: l'intensité ou le volume (dB), la hauteur du son ou sa fréquence (Hz) et le timbre du son ou son contenu harmonique.

L'intensité peut être défini comme étant l'énergie incidente par seconde sur une surface de 1 m². L'écart pour lequel l'oreille humaine perçoit le son est énorme : la pression acoustique du son le plus fort tolérable est 10 millions de fois plus élevée que celle pour le son presque inaudible. L'échelle des décibels tire justement son utilité de ce phénomène puisque c'est une échelle logarithmique et qu'il est possible d'y représenter la totalité des valeurs d'intensité audibles. Pour transformer l'intensité mesurée en W/m² en dB, nous utilisons l'intensité du son le plus faible encore audible comme référence. Cette intensité représente 10⁻¹² W/m² pour une fréquence de 1 000 Hz. La pression qui lui correspond est 1,4 x 10⁻⁵ N/m².

$$\text{dB} = \log (P/P_0) \text{ (pression)}$$

$$\text{dB} = \log (I/I_0) \text{ (intensité)}$$

$$\text{ex.: } \text{dB}_1 = 10 \log (10^{-10} \text{ W/m}^2 / 10^{-12} \text{ W/m}^2)$$

$$\begin{aligned} \text{dB}_1 &= 10 \log 10^2 \\ &= 10 \times 2 \\ &= 20 \text{ dB} \end{aligned}$$

La deuxième caractéristique nécessaire pour définir le son est la hauteur du son ou sa fréquence. Pour donner une définition la fréquence est le nombre d'oscillations par seconde du son, une oscillation par seconde égalant un hertz (Hz). Le domaine du son audible s'étend de 20 Hz à 20 000 Hz mais notre étude s'est limitée aux fréquences de 512, 1 024, 2 048, 3 000 et 4 096 Hz. L'utilité du timbre du son ou de son contenu harmonique réside dans le fait qu'il sert à différencier un son de même intensité et de même fréquence provenant d'instruments différents. En effet, la même note à la même intensité possède la même fréquence fondamentale mais le contenu harmonique (intensité et quantité varie) diffère d'un instrument à l'autre. Une fréquence

harmonique est un multiple entier de la fréquence originale.

Pour la musique toutefois, l'étude se complique passablement puisqu'elle correspond à la présence simultanée de plusieurs sons très différents.

C- Diminution du seuil auditif

Une définition du seuil auditif est: pour un auditeur donné à une fréquence déterminée, c'est le niveau minimal de pression acoustique efficace qui produit une sensation auditive. Il est mesuré, le plus souvent en décibels.

En comparant la courbe normale théorique des seuils d'audition avec la compilation des résultats obtenus lors des tests effectués avant l'écoute, nous remarquons une similarité qui confirme la validité de nos résultats. Il est à noter que cette similarité est observée pour les fréquences de 512, 1 024, 2 048, 3 000 et 4 096 Hz, l'écart des fréquences concernant la parole, écart aussi des fréquences pour lequel le seuil d'audition est le plus faible.

La diminution du seuil d'audition peut être due à plusieurs facteurs dont la fatigue et l'exposition à un son à une intensité relativement élevée. Selon le *Guide de réclamation de la FTQ, : La surdité professionnelle* (1984), la diminution à long terme du seuil est principalement importante dans les régions de haute fréquence. Elle est, de plus, directement liée aux causes de la diminution temporaire. Pour une diminution temporaire, l'exposition peut varier de quelques minutes à huit heures, après quoi on rejoint une asymptote, selon les travaux de Melnick, dans son article *Human temporary threshold shift (TTS) and damage risk* (1991). De plus, ces études ont démontré que ce sont les zones responsables de la perception des hautes fréquences, qui sont les plus affectées par la diminution à long terme du seuil. C'est sur cette réalité que nous avons fondé notre hypothèse.

II- Expérimentation

Préalablement à l'expérimentation, il était nécessaire de procéder au choix des cobayes. Au début, nous étions très peu sélectives, et tous les cobayes âgés entre 10 et 85 ans étaient les bienvenus. Toutefois, des problèmes d'acouphènes nous ont obligé à éliminer certains sujets.

En effet, ces cobayes avaient de la difficulté à différencier les sons produits par l'audiomètre (appareil nécessaire pour effectuer le test auditif) des sons produits par l'oreille elle-même. Une autre catégorie de cobayes a dû être éliminée, comprenant ceux et celles qui, faute de temps ou de douleurs trop considérables, ont cr  bon

de se désister. Nous avons également décidé de mieux cibler notre échantillon en éliminant les cobayes plus âgés (plus de 22 ans), qui semblaient trouver plus douloureux que les jeunes l'écoute des musiques. Aussi, le fait que le seuil d'audition commence à diminuer à partir de l'âge de 25 ans, certains paramètres non-contrôlés et non-définis, présents chez ces sujets, auraient pu influencer nos résultats. L'échantillon final était donc composé de 42 sujets âgés entre 16 et 22 ans fréquentant tous le Collège André-Grasset.

Par la suite, trois rendez-vous étalés sur trois semaines différentes ont été fixés pour tous les cobayes. Pour chaque rendez-vous, le sujet devait se prêter à un test auditif, suivi d'une écoute de quatre musiques, totalisant une durée de 10 minutes. Ensuite, un deuxième test auditif permettait de déterminer, par la comparaison des résultats de ce test à ceux obtenus au premier test, l'importance de la diminution du seuil.

Pour chaque semaine, un écart spécifique de fréquences avait été sélectionné. Pour la première semaine, les musiques étaient inchangées, à la deuxième semaine, l'intensité des hautes fréquences a été diminuée, et l'intensité et la quantité de basses fréquences ont été augmentées. Pour la troisième semaine, l'inverse a été effectué afin que les hautes fréquences soient amplifiées et que les basses soient diminuées. Toutefois, pour les trois semaines, les mêmes quatre musiques étaient utilisées, soient, *The Golden Eye Overture* de la bande sonore du film «The Golden Eye», *Everything Counts* de Depeche Mode, *Antartica* de Vangelis et *Move This* de Technotronics.

L'appareil utilisé pour mesurer le seuil d'audition est l'audiomètre. Celui-ci envoie des signaux sonores à une intensité et une fréquence déterminées.

L'expérimentateur sélectionne ces paramètres et envoie ensuite un signal. Le cobaye, coiffé d'écouteurs, actionne un voyant lumineux s'il entend ce son. Ensuite, l'intensité du signal est diminuée, mais la même fréquence est conservée, et ainsi de suite jusqu'à ce que le cobaye ne perçoive plus les signaux sonores. Le seuil auditif est ensuite mesuré en suivant la même procédure pour toutes les fréquences de l'audiomètre.

L'audiomètre que nous utilisions pouvait envoyer des signaux sonores aux fréquences 512, 1 024, 2 048, 3 000 et 4 096 Hz. On débutait les tests avec la fréquence 512 Hz et une intensité de 30 dB. Nous diminuions l'intensité jusqu'à ce que le seuil soit atteint et nous poursuivions avec la fréquence de 1024 Hz.

À la suite des 10 minutes d'écoute des musiques, un second test auditif était effectué, de la même façon.

III- Analyse des résultats

Nos expérimentations nous ont donc permis d'évaluer la diminution du seuil auditif pour chaque catégorie de fréquence, les fréquences inchangées, les basses et les

hautes. Le calcul de la diminution consistait à soustraire à la dernière fréquence perçue lors du test préliminaire la dernière entendue après l'écoute.

Une tendance constante s'est dégagée. Le seuil d'audition des hautes fréquences, soit 2 048 Hz, 3 000 Hz et 4 096 Hz, a été beaucoup plus affecté par la diminution, et ce, quelle que soit la catégorie de fréquence écoutée. Cette diminution a d'ailleurs été de beaucoup plus prononcée après l'écoute des hautes fréquences qu'après les fréquences originales. Par contre, elle était moins marquée pour le test concernant les basses fréquences. Quantitativement, la diminution moyenne du seuil auditif a été de 7,57 dB pour les fréquences originales, de 5,24 dB pour les basses fréquences et de 14,71 dB pour les hautes fréquences.

Il a ensuite été possible d'évaluer l'influence des catégories fréquentielles sur la diminution du seuil auditif. Le calcul de celle-ci consistait à soustraire de la diminution causée par l'écoute des fréquences originales la diminution relative à l'écoute du niveau fréquentiel étudié. Un résultat négatif montre donc une influence négative, donc moins grande, sur la diminution du seuil d'audition.

Encore une fois, l'influence a gardé une tendance constante. Ce sont dans les fréquences les plus hautes que nous avons pu remarquer les plus grandes différences. Nos résultats ont montré que les hautes fréquences ont une plus grande influence sur la diminution du seuil auditif que les basses fréquences. L'influence moyenne des basses fréquences sur la diminution du seuil a été de -2,33 dB tandis que les hautes fréquences ont entraîné un effet de 7,14 dB.

IV- Conclusions

Après nos expérimentations, nous pouvons affirmer que les niveaux de fréquence ont une influence considérable sur l'importance de la diminution temporaire du seuil auditif. Plus particulièrement, les hautes fréquences affectent nettement plus cette diminution tandis que les basses fréquences semblent moins affecter la sensibilité des cellules auditives.

Ces différences peuvent être expliquées par la physiologie de l'oreille, les différentes fréquences touchant des régions différentes de l'oreille interne. Aussi, cela justifie les différences dans la diminution du seuil auditif par rapport aux différentes fréquences.

Aussi, les caractéristiques du son ont voulu expliquer comment celui-ci peut se propager à l'oreille, c'est-à-dire comment se produit le phénomène de l'audition. Ayant démontré que le son se propage sous la forme d'une onde de changement de pression, celle-ci peut donc se transmettre à l'oreille lorsqu'elle frappe le tympan.

Aussi, nous pensons qu'avec les moyens disponibles, le déroulement de l'expérience s'est effectué de façon as-

sez contrôlée pour affirmer que nos résultats sont valables. Également, ceux-ci confirment notre hypothèse, c'est-à-dire que les hautes fréquences ont une plus grande influence sur la diminution temporaire du seuil auditif que les basses fréquences.

Toutefois, il serait intéressant, dans le cadre d'un projet semblable, d'étudier les facteurs reliés à la perception de la douleur. En effet, pour chacune des catégories de fréquences choisies, la douleur ne semblait pas de même nature. Aussi, dans le cadre d'un projet de plus grande envergure, il serait intéressant d'étudier la diminution permanente de seuil auditif.

V- Remerciements

Nous désirons sincèrement remercier le responsable de notre projet, André Blais, ses contacts, ainsi que Louis Robichaud, qui nous ont été d'une grande aide pour cerner et diriger notre projet. Leur aide fut aussi essentielle pour la recherche du contexte théorique. De plus, la présentation graphique des résultats n'aurait pu être possible sans l'expérience et le temps de Nicole Perreault. Finalement, nous nous devons de remercier nos 56 cobayes qui nous ont prêté, parfois contre leur volonté, leurs oreilles et leur seuil d'audition, car sans eux, toute expérimentation aurait été impossible. Merci encore à tous ceux qui ont supporté les nombreuses répétitions de notre éternel refrain.

VI- Bibliographie

- 1 Bevan, J. Anatomy and physiology. New York: Simon and Schuster, 1978.
- 2 Guinness, A. E., ed. Merveilles et secrets du corps humain. Paris: Sélection du Reader's Digest, 1987.
- 3 Benson, H. Physique III: Ondes, optique et physique moderne. Saint-Laurent: Erpi, 1993.
- 4 Frohse, F. et all. Atlas of human anatomy. United States of America: Harper and Row, 1985.
- 5 Gribenski, A. L'audition. Paris: Presses universitaires de France, 1951.
- 6 Guide de réclamation: La surdité professionnelle. Montréal: Service d'éducation, Fédération des travailleurs du Québec, 1984.
- 7 Melnick, W. «Human temporary threshold shift (TTS) and damage risk.» Journal of Acoustic Society of America, vol. 90 (1991), 147-154.