

28 SEP 2020

Article de recherche

SANTÉ

L'effet d'occlusion : quand la perception de notre voix nous dérange



Kévin Carillo



Olivier Doutres



Franck Sgard





Achetée sur Istock.com. Droits d'auteur.

RÉSUMÉ:

L'effet d'occlusion est le nom donné à un inconfort acoustique couramment rencontré par les utilisateurs de prothèses auditives ou de protecteurs auditifs contre le bruit. Il est décrit comme la perception accrue des bruits physiologiques générés par le corps, notamment la voix, et dont les vibrations se propagent par conduction osseuse jusqu'à l'oreille interne. Pour expérimenter ce phénomène, rien de plus simple! Il vous suffit de lire ces lignes à voix haute en vous bouchant les oreilles. Dans cet article, l'histoire scientifique de l'effet d'occlusion est relatée depuis ses prémices jusqu'à la compréhension que nous en avons aujourd'hui, et nous plonge au cœur du processus par lequel se construit la connaissance. Mots clés : Effet d'occlusion, inconfort acoustique, appareil auditif

Introduction

Si vous lisez ces lignes à haute voix tout en vous bouchant les oreilles, que ce soit en les recouvrant de la paume de vos mains ou en obstruant le conduit auditif à l'aide de vos doigts, vous venez d'expérimenter l'effet d'occlusion. Votre voix vous a semblé plus grave, creuse, voire cavernreuse, et a résonné comme si vous aviez parlé la tête dans un tonneau. Si vous êtes dans un endroit calme et que vous restez silencieux, vous pourriez percevoir plus distinctement votre respiration, voire votre rythme cardiaque, du fait de l'effet d'occlusion. On dit que la sensibilité de votre ouïe aux bruits générés par votre corps a augmenté! Ce phénomène, très répandu dans les domaines des prothèses

auditives et des protecteurs auditifs contre le bruit, est un inconfort acoustique important qui peut entraîner un mauvais ajustement voire le refus du port de ces dispositifs. Pour une personne ayant une surdité handicapante, le non-port de ses prothèses peut être source d'isolement social et de détresse psychologique. Pour un travailleur exposé à des niveaux sonores trop élevés, l'absence de protecteurs auditifs provoque des dommages irréversibles de son audition. Réduire l'effet d'occlusion induit par ces dispositifs est donc primordial et requiert d'en comprendre le mécanisme fondamental. Cet article retrace l'histoire de ce phénomène depuis sa découverte jusqu'à aujourd'hui, pour une brève balade épistémologique en immersion au cœur du processus de la recherche scientifique.



L'effet d'occlusion d'hier à aujourd'hui

En 1827, deux savants, Wheatstone et Tortual, relatent indépendamment les premières expériences mettant en évidence ce phénomène aujourd'hui connu sous le nom d'effet d'occlusion. Wheatstone, physicien britannique de renom, constate que le son émis par la propre voix du sujet, ou par un diapason en contact avec sa tête, est perçu plus fort par l'oreille occluse que par celle restée ouverte. De son côté, Tortual remarque que le tic-tac d'une montre mécanique serrée entre les dents s'entend davantage à travers l'oreille occluse. De ces expériences historiques débute alors une longue épopée scientifique au cours de laquelle de nombreuses théories vont se succéder afin de tenter d'expliquer l'effet d'occlusion et plus généralement, la façon dont les sons internes se transmettent sous forme de vibrations jusqu'à l'oreille interne.

La théorie de l'écoulement

Les premières explications fleurissent entre 1855 et 1863, date à laquelle est proposée par Mach celle qui perdurera le plus longtemps et qui est connue sous le nom de la théorie de l'écoulement (the « outflow theory »). Celle-ci stipule que les bruits physiologiques se propageraient directement et exclusivement à la cochlée à partir de laquelle une partie d'entre eux serait transmis à travers la chaîne ossiculaire jusqu'au tympan et « s'écouleraient » hors du conduit auditif lorsque celui-ci est ouvert (voir le schéma anatomique de la Figure 1), tandis qu'ils seraient en quelque sorte bloqués par l'occlusion. À cette époque, l'effet d'occlusion ne peut être précisément quantifié et la théorie de

l'écoulement n'est remise en question qu'à partir des années 1920. Durant cette période sont réalisées les premières mesures du phénomène, de façon objective, par l'augmentation de la pression acoustique dans le conduit auditif occlus mesurée à l'aide d'un microphone, et de façon subjective, par la diminution du seuil d'audibilité du sujet lorsque l'oreille est occluse. Bien que les vibrations puissent effectivement se propager directement à la cochlée, la théorie de Mach ne peut expliquer le fait que l'ampleur du phénomène diminue à mesure que le dispositif d'occlusion est inséré plus profondément dans le conduit auditif. Sa théorie est alors invalidée.

La théorie du masquage

Au début des années 1930, von Békésy, futur prix Nobel de médecine de 1961 pour ses travaux sur la cochlée, soupçonne alors la vibration de la paroi du conduit auditif comme étant la source principale de l'effet d'occlusion, mais le mécanisme par lequel cette vibration est davantage entendue lorsque l'oreille est occluse demeure un mystère. Durant cette période émerge alors une nouvelle théorie dite du masquage (the « masking theory »). Celle-ci postule que le bruit ambiant masquerait les sons rayonnés par la paroi vibrante du conduit auditif et qu'ils ne seraient alors perçus que lorsque l'oreille est occluse. Cette théorie est définitivement oubliée quelques deux décennies plus tard lorsqu'en 1960, Huizing réalise des mesures de l'effet d'occlusion en chambre sourde, dans laquelle le bruit de fond et donc l'effet de masquage sont très faibles, et confirme que l'effet d'occlusion persiste dans ces conditions. ✍

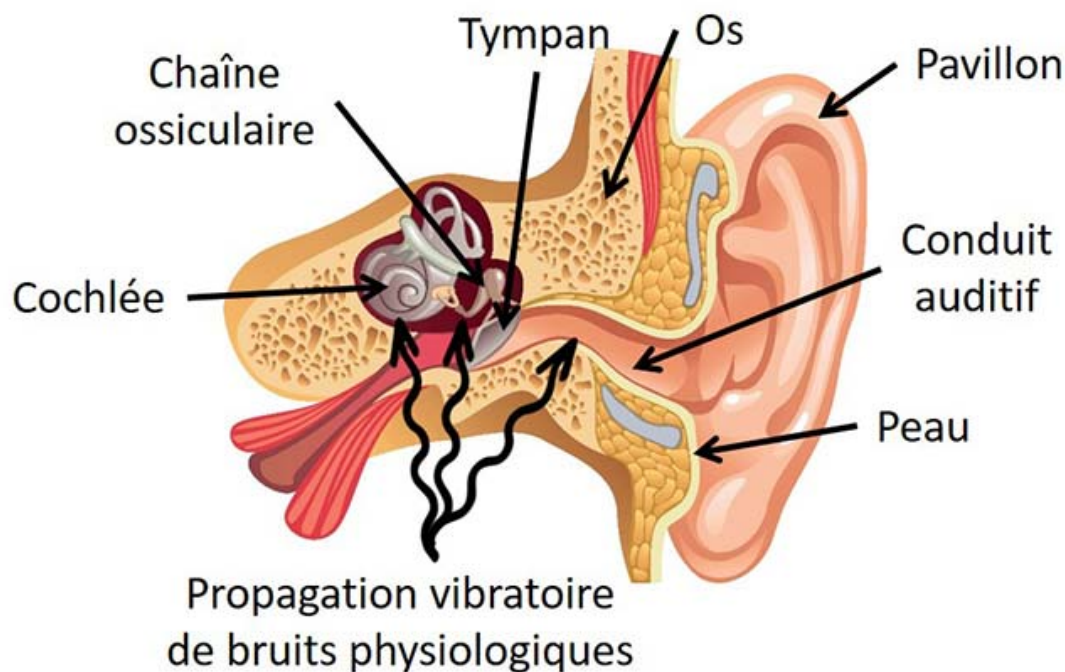


Figure 1 : Schéma de l'appareil auditif et des chemins de transmission vibratoire jusqu'à celui-ci des bruits physiologiques générés par le corps.

Modélisation du phénomène

L'année 1964 marque un tournant majeur dans l'étude du phénomène avec l'élaboration par Tonndorf du premier modèle de l'effet d'occlusion, basé sur une analogie électro-acoustique. Ce modèle, davantage descriptif que prédictif, conceptualise pour la première fois le changement de propriétés acoustiques qui s'opère au sein du conduit auditif qui devient en quelque sorte plus difficile à comprimer lorsqu'il est occlus. Seulement, le manque de clarté de ce premier modèle rend son interprétation ambiguë et couramment associée à l'idée reçue selon laquelle le bruit généré par la paroi du conduit auditif s'échapperait par l'entrée lorsqu'il est ouvert, mais serait piégé dans le conduit occlus, et ainsi davantage perçu. Dans un article récemment publié par les auteurs, l'interprétation de l'effet d'occlusion a été

revisitée en détail en utilisant conjointement un modèle électro-acoustique et un modèle numérique construit à partir d'images anatomiques d'un sujet humain (voir Figure 2).

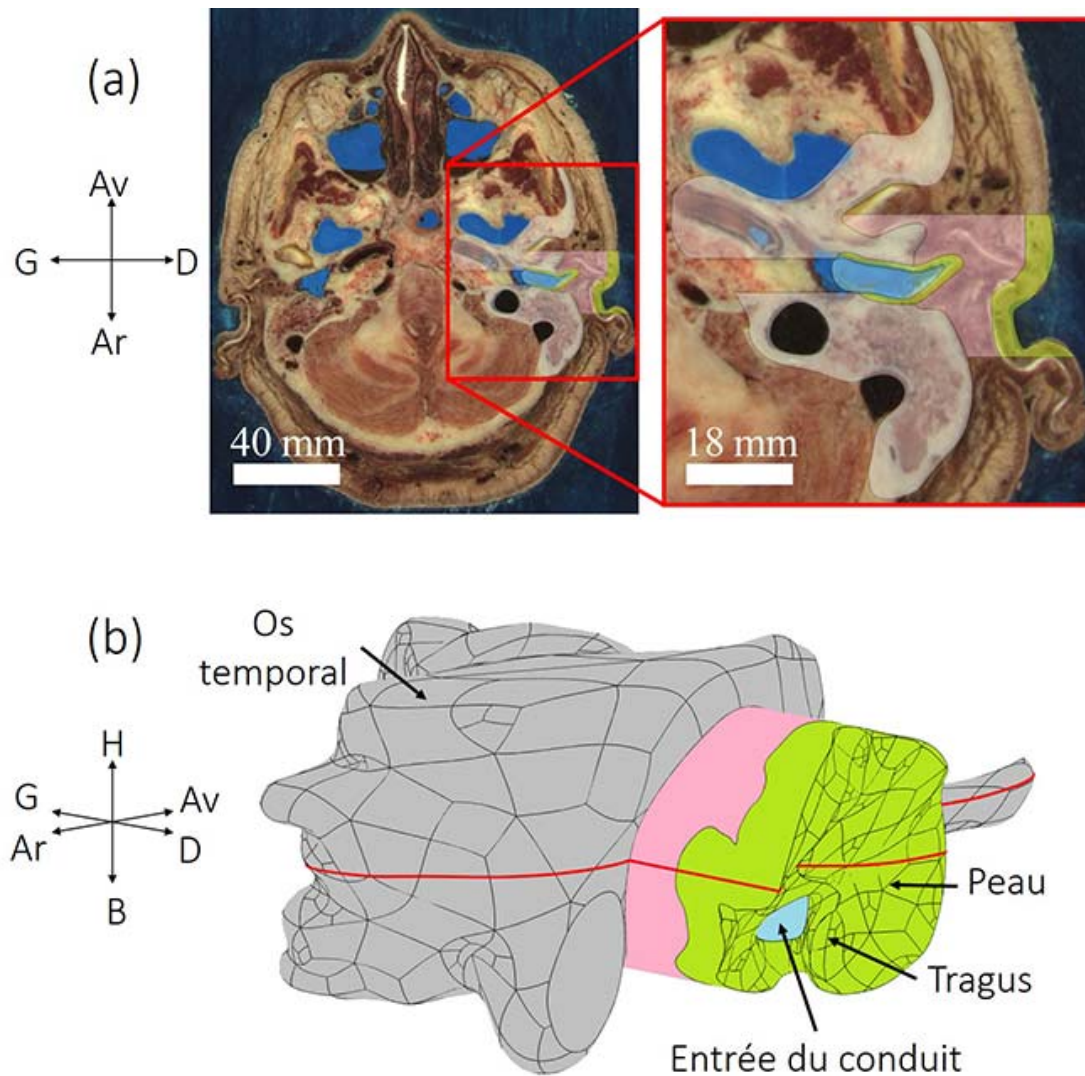


Figure 2 : (a) Exemple d'images anatomiques d'un sujet humain à partir desquelles est construit (b) un modèle numérique de l'oreille externe excitée mécaniquement. Le système de coordonnées se réfère à haut (H), bas (B), avant (Av), arrière (Ar), gauche (G) et droite (D).

L'article illustre notamment le fait que l'occlusion du conduit rend la cavité d'air formée entre le dispositif d'occlusion et le tympan plus difficile à comprimer par la paroi vibrante du conduit. La cavité d'air occluse s'oppose alors davantage à cette vibration ce qui augmente la pression acoustique (bruit) générée dans le conduit occlus (voir Figure 3). En outre, l'influence de la distribution vibratoire de la paroi du conduit sur l'effet d'occlusion a été mise en évidence grâce au modèle numérique, ce qui a permis de clarifier la façon dont elle est prise en compte dans les modèles électro-acoustiques. Finalement, l'effet d'occlusion ne vient donc pas de ce que le bruit généré par la paroi s'échapperait du conduit ouvert et serait piégé dans le conduit occlus, mais du fait de l'augmentation du bruit généré par la paroi du conduit auditif consécutivement à son occlusion. En outre, la façon dont la paroi du conduit auditif vibre influence le phénomène.

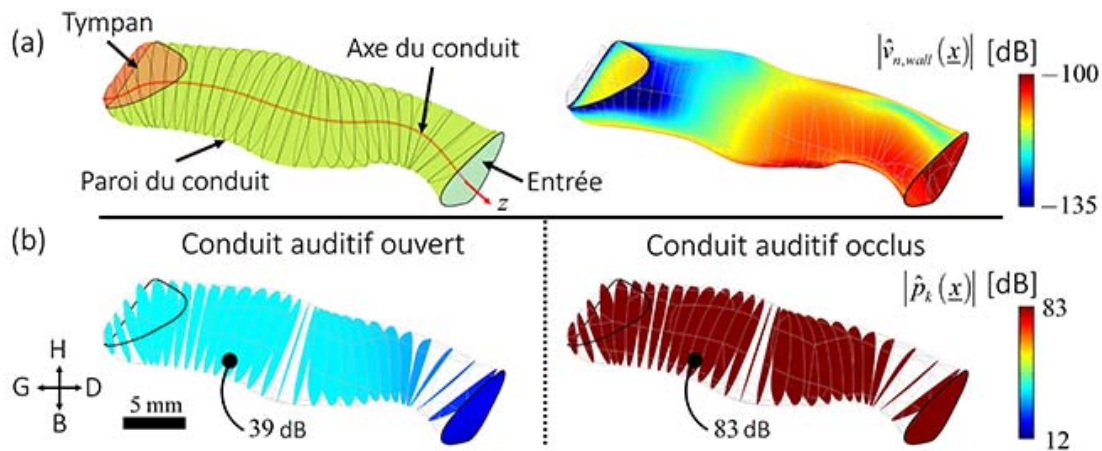


Figure 3 : (a) Vue du conduit auditif (gauche) et du champ vibratoire de sa paroi (droite) et (b) niveau de bruit dans le conduit ouvert (gauche) et occlus (droite) calculé à 100 Hz à l'aide du modèle numérique.

Les perspectives de demain

De multiples questions de recherche concernant l'effet d'occlusion continuent d'être investiguées, par exemple sur la perception de l'inconfort associé et son lien avec des indicateurs objectifs, sur l'influence des différences anatomiques interindividuelles ou encore sur la façon dont le dispositif d'occlusion contribue à ce phénomène. En particulier, de nouveaux concepts de bouchons d'oreille passifs destinés à réduire l'effet d'occlusion sont envisagés et  commencent à être développés au GRAM (Groupe de recherche en acoustique à Montréal), en parallèle de dispositifs actifs déjà à l'étude au sein de la chaire de recherche CRITIAS à l'ÉTS. À terme, ces dispositifs permettront d'améliorer le confort acoustique et la protection auditive des travailleurs.

Informations supplémentaires

Pour de plus amples explications sur le mécanisme fondamental de l'effet d'occlusion, le lecteur intéressé pourra se référer à l'article suivant :

CARILLO, Kévin, DOUTRES, Olivier, et SGARD, Franck. Theoretical investigation of the low frequency fundamental mechanism of the objective occlusion effect induced by bone-conducted stimulation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2020, vol. 147, no 5, p. 3476-3489.



Kévin Carillo

[Profil de l'auteur\(e\)](#)

Kévin Carillo est doctorant au Département de Génie mécanique de l'ÉTS. Son projet de recherche porte sur l'étude de l'effet d'occlusion et vise à proposer et développer à terme des bouchons d'oreille.

Programme : Génie mécanique

Laboratoires de recherche : GRAM-Groupe de Recherche en Acoustique à Montréal

**Olivier Doutres**[Profil de l'auteur\(e\)](#)

Olivier Doutres est professeur au Département de génie mécanique de l'ÉTS et directeur du GRAM. Ses recherches portent sur les protecteurs auditifs, les têtes artificielles augmentées et les matériaux acoustiques innovants.

Programme : [Génie mécanique](#)

Laboratoires de recherche : [GRAM-Groupe de Recherche en Acoustique à Montréal](#) [ÉREST – Équipe de recherche en sécurité du travail](#)

**Franck Sgard**[Profil de l'auteur\(e\)](#)

Franck Sgard est chercheur sénior à l'IRSST et professeur associé au Département de génie mécanique de l'ÉTS.

Programme : [Génie mécanique](#)

CACHER LES RÉFÉRENCES DES IMAGES

VOIR LES COMMENTAIRES

Références images

L'image de l'ouvrier avec le casque de protection a été achetée sur Istock.com. Droit d'auteur.

Les figures 1, 2 et 3 appartiennent aux auteurs. Licence CC.

Laboratoires de recherche : [GRAM-Groupe de Recherche en Acoustique à Montréal](#)

Domaines d'expertise : [Protecteurs auditifs](#) [Matériaux acoustiques](#) [Bruits](#)



SUBSTANCE

ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE
ET INNOVATION DE L'ÉTS

CATÉGORIES

AÉROSPATIALE

AIDE À LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉNERGIE

ENTREPRENEURIAT ET GESTION

INFRASTRUCTURES ET MILIEUX BÂTIS

L'EXPÉRIENCE ÉTS

MATÉRIAUX ET FABRICATION

TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS

SANTÉ

ROBOTIQUE

À PROPOS

À PROPOS

NOUS JOINDRE

ÉVÉNEMENTS

POLITIQUE ÉDITORIALE