

# Une nouvelle protection auditive adaptée aux musiciens

ANTOINE BERNIER, étudiant à la maîtrise, Chaire de recherche CRITIAS, École de technologie supérieure.

JÉRÉMIE VOIX, professeur agrégé, Chaire de recherche CRITIAS, École de technologie supérieure.



Antoine Bernier

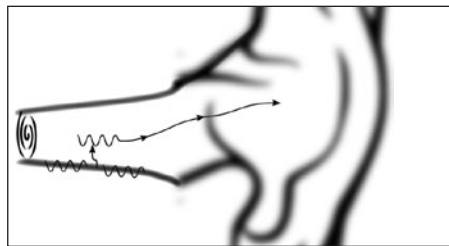


Jérémie Voix

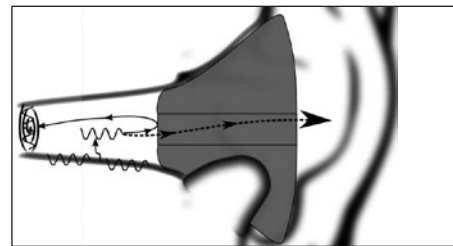
*L'inconfort perceptuel entraîné par le port d'une protection auditive limite son acceptation par les musiciens et pousse ces derniers à ne pas en faire un usage rigoureux et adéquat. Plusieurs musiciens affirment que les protections auditives entravent leur performance en modifiant leur perception auditive. Le refus de porter une telle protection peut cependant conduire à des pertes auditives qui peuvent être sévères et permanentes, ce qui risque de compromettre la carrière du musicien. L'inconfort ressenti par les musiciens lorsqu'ils découlent principalement de deux effets indésirables: l'effet d'occlusion et l'effet d'isolement.*

## L'EFFET D'OCCLUSION

L'effet d'occlusion est la perception augmentée et déformée de sa propre voix lorsque le conduit auditif est occlus en opposition avec la perception naturelle lorsque le conduit auditif est ouvert (**Figure 1**). La raison principale de ce changement de perception est que la vibration des cordes vocales se propage par les os et les tissus de la tête pour exciter les parois du conduit auditif, faisant ensuite vibrer le tympan lorsque le conduit auditif est occlus (**Figure 2**). Le phénomène se manifeste également lorsqu'un instrument à vent est utilisé, puisque celui-ci fait également vibrer les os de la boîte crânienne.



**Figure 1** : Les vibrations transmises par les os font vibrer la paroi du canal auditif et l'air contenu dans le canal. La pression sonore créée tend à se dissiper par le chemin le moins résistif en sortant du conduit auditif, puisque celui-ci est ouvert.



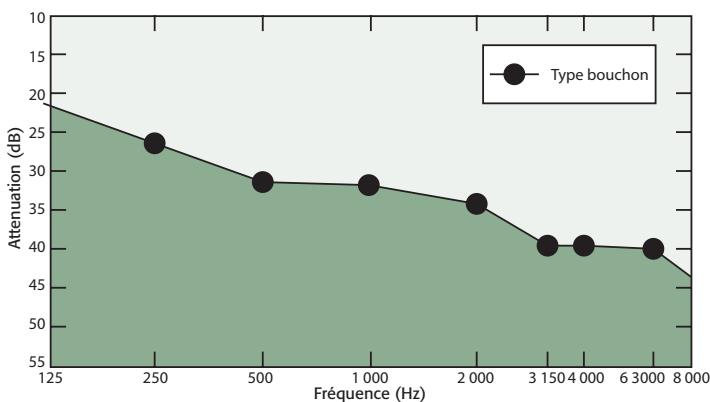
**Figure 2** : Le conduit auditif est occlus et le chemin normalement moins résistif est bouché, ce qui fait que la pression sonore régénérée par les vibrations du conduit fait vibrer le tympan, augmentant ainsi la perception de sa propre voix. L'effet résultant donne l'impression d'une voix forte dont le timbre est altéré. →

## L'EFFET D'ISOLEMENT

L'effet d'isolement est la sensation souvent désagréable, ressentie par le porteur de bouchons, d'être isolé de son environnement sonore. Elle comprend plusieurs facteurs.

Tout d'abord, l'insertion d'un bouchon annule la résonance naturelle du conduit auditif qui n'agit plus comme un tuyau résonnant ouvert. Notre oreille, habituée à la hausse de niveau créée par cette résonance, ressentira une baisse de niveau aux fréquences concernées.

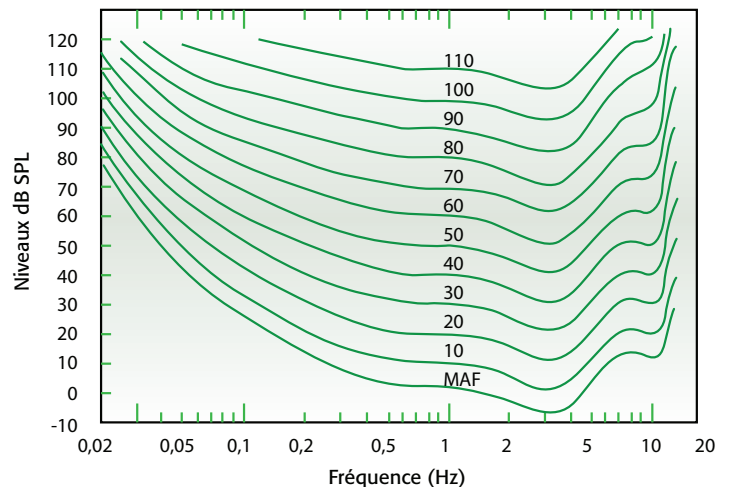
En second lieu, les protecteurs auditifs sont généralement moins efficaces en basses fréquences. Le porteur se retrouve donc affligé d'une différence majeure de perception de l'équilibre spectral (**Figure 3**).



**Figure 3 :** Courbe d'atténuation typique d'un protecteur de type bouchon, montrant une atténuation moins élevée dans les basses fréquences que dans les hautes fréquences.

« Le musicien entendra le même équilibre sonore que le spectateur et pourra protéger son oreille, tout en étant bon juge de la qualité sonore de la prestation.

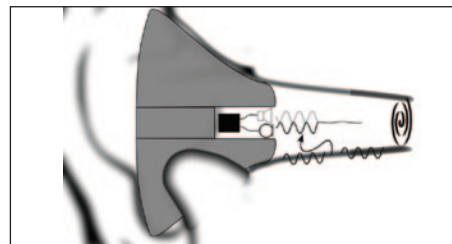
Enfin, la sensibilité fréquentielle de l'oreille est non linéaire: le contenu fréquentiel du même son entendu à différents niveaux sera perçu différemment par notre oreille, comme le témoignent les courbes isosoniques (**Figure 4**). Ces courbes impliquent, par exemple, que la basse ressortira plus de l'ensemble si on écoute une chanson à fort niveau qu'à faible niveau. Par conséquent, même un musicien qui porterait des protections auditives compensant les facteurs évoqués précédemment n'entendra pas exactement le même équilibre spectral que le spectateur. Cette différence de perception peut être dérangeante lorsque le musicien veut vérifier que sa musique est bien équilibrée aux oreilles du spectateur.



**Figure 4 :** Représentation de la non-linéarité de la perception humaine. Les courbes montrent la correspondance entre les niveaux absolus et l'intensité sonore ressentie selon la fréquence. Les différences de formes entre les courbes témoignent de perceptions différentes selon le niveau sonore (tiré de Robinson et Dadson, 1956).

## SOLUTION PROPOSÉE

Le projet de maîtrise d'Antoine Bernier consiste à développer un prototype de protecteur auditif actif pour musiciens, palliant simultanément l'effet d'occlusion et l'effet d'isolement. L'effet d'occlusion est annulé par une technique de contrôle actif du bruit, dont le principe est l'annulation d'un son par l'addition d'un autre son en opposition de phase. Un microphone à l'intérieur du conduit occlus sert de microphone de référence, tandis qu'un hautparleur fournit l'onde sonore d'annulation.



**Figure 5 :** Grâce à l'algorithme d'annulation de l'effet d'occlusion, l'onde qui en est responsable (en noir) est captée par le micro interne et reproduite à l'inverse (en gris pâle) en temps réel par le hautparleur. La superposition des deux ondes tend vers le silence (en gris).

L'effet d'isolement est contré par des techniques de traitement du signal transmis sous le protecteur. Un second microphone, à l'extérieur du protecteur auditif, permet de capter l'environnement sonore du porteur. Le hautparleur interne est utilisé pour reproduire, à un niveau moindre, l'environnement sonore dans le canal auditif, en s'assurant que →

l'équilibre spectral du son reproduit soit le plus près possible de ce qui aurait été entendu sans protecteur auditif (Figure 6). Typiquement, si l'on considère qu'un protecteur auditif atténue plus les hautes que les basses fréquences, le hautparleur compensera en amplifiant les hautes, et en annulant les basses (Figure 7). Le traitement de signal implémenté dans un DSP permet de compenser à la fois la disparité fréquentielle de l'atténuation acoustique du bouchon et la résonance perdue de l'oreille en faisant les corrections nécessaires.

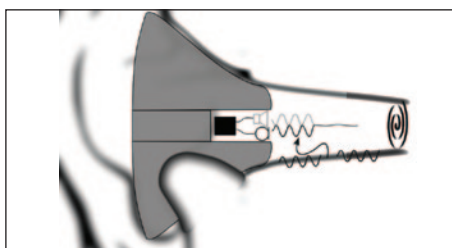


Figure 6 : Le son extérieur est capté et reproduit par le hautparleur interne avec les corrections nécessaires, à un niveau variable.

spectateur et pourra protéger son oreille, tout en étant bon juge de la qualité sonore de la prestation.

La coexistence de toutes ces corrections est possible, car le microphone à l'extérieur du bouchon permet d'identifier le signal utile, tandis que le micro à l'intérieur capte les fuites acoustiques ainsi que l'effet d'occlusion. Les deux microphones sont donc utilisés pour différencier les sons extérieurs, qui doivent être relayés à l'oreille à un niveau

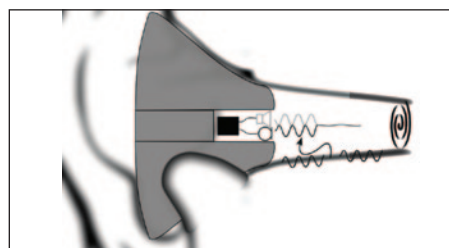


Figure 8 : Système proposé de bouchon actif pour musicien, montrant l'effet des deux algorithmes superposés fonctionnant en simultané.

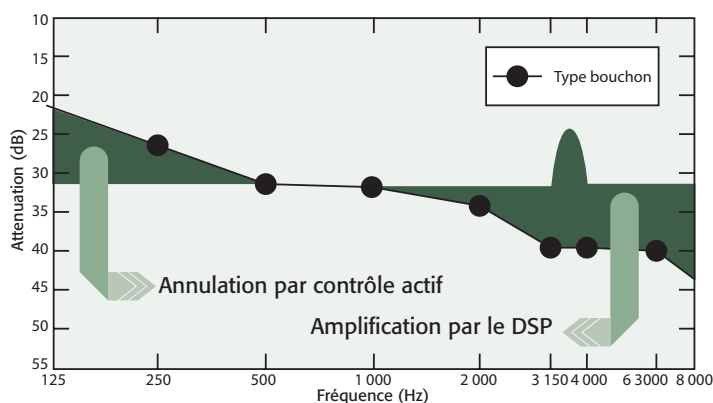


Figure 7 : Courbe typique d'atténuation fréquentielle d'un protecteur auditif de type bouchon, montrant la correction nécessaire requise pour uniformiser cette atténuation, avec une représentation de la compensation pour la résonance perdue de l'oreille.

Pour pallier la non linéarité de l'oreille, qui contribue potentiellement à l'effet d'isolement, une compensation du déséquilibre fréquentiel est implémentée dans le DSP afin que les signaux transmis au tympan, à un niveau moindre, soient perçus avec le même équilibre fréquentiel que s'ils avaient été reçus à des niveaux plus élevés. De cette façon, le musicien entendra le même équilibre sonore que le

sécuritaire, et l'effet d'occlusion et les fuites acoustiques, qui doivent être atténués (Figure 8).

## CONCLUSION

Le système proposé de bouchon actif pour musicien présente une solution pour les problèmes causés par les protections auditives qui sont les plus dérangeants. Un prototype fonctionnel a été réalisé dans le cadre du projet de maîtrise d'Antoine Bernier et a permis d'obtenir des résultats prometteurs, quoique limités à un contexte de laboratoire. La prochaine étape est donc la réalisation d'un prototype suffisamment petit et autonome pour être utilisé pendant quelques heures dans une situation réelle. Les défis techniques associés à cet objectif sont nombreux, mais les bienfaits d'un tel système pourraient changer à tout jamais la perception des protections auditives et faire en sorte qu'elles ne soient plus vues comme un mal nécessaire, mais bien comme un instrument de travail indispensable.

En parallèle avec les efforts qui mèneront à un prototype plus avancé, il est primordial d'élaborer un protocole de validation auprès des musiciens afin de qualifier et de quantifier l'importance et l'efficacité des différents éléments de la solution actuelle. Ce retour est essentiel à l'obtention d'une solution pratique, bien adaptée aux besoins des musiciens et permettant une expérience auditive naturelle et agréable, sans risque de surexposition sonore. ○

## RÉFÉRENCES

Bernier A et Voix J. (2013). « An active hearing protection device for musicians ». *Proceedings of Meetings on Acoustics*, Acoustical Society of America, vol. 19 no 1, p. 040015.  
 Robinson D.W. et Dadson R.S. (1956). « A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones ». *British Journal of Applied Physics* vol 7 no 5, pp. 166-181.