

Limitation de l'effet Larsen au sein des prothèses auditives

Les prothèses auditives constituent une technologie du quotidien dont le fonctionnement repose sur des compromis techniques tangibles. Leur dimension prosaïque couplée à des enjeux de santé qui sont plus que jamais actuels a motivé mon choix de sujet, donnant un sens concret à ma démarche.

Elle s'inscrit dans le thème par la nécessité de concevoir la prothèse comme un système bouclé. Effectivement, le signal sonore amplifié émis par l'écouteur est de nouveau capté par le microphone extérieur. Il est donc de nouveau amplifié et ainsi de suite, créant une boucle à l'origine de bruit parasite.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *SCIENCES INDUSTRIELLES (Electronique)*
- *PHYSIQUE (Physique Ondulatoire)*
- *SCIENCES INDUSTRIELLES (Automatique)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

<i>Prothèse Auditive</i>	<i>Hearing Device</i>
<i>Effet Larsen</i>	<i>Feedback</i>
<i>Surdité</i>	<i>Deafness</i>
<i>Amplification</i>	<i>Amplification</i>
<i>Filtre</i>	<i>Filter</i>

Bibliographie commentée

Les prothèses auditives ont connu une évolution technologique considérable depuis leur apparition, principalement portée par les progrès de l'électronique et du traitement du signal. L'objectif est double : améliorer l'intelligibilité de la parole pour les personnes malentendantes et limiter les phénomènes physiques indésirables liés à l'amplification sonore, notamment la rétroaction acoustique, souvent assimilée à l'effet Larsen.

Les premiers dispositifs auditifs reposaient sur une amplification mécanique ou électrique simple, sans contrôle précis du spectre fréquentiel. Les premières prothèses électriques du début du XX^e siècle utilisaient une chaîne analogique composée d'un microphone, d'un amplificateur et d'un haut-parleur. Ces systèmes permettaient une amplification active, mais restaient peu adaptables aux pertes auditives spécifiques de chaque utilisateur et présentaient une sensibilité importante aux instabilités acoustiques. [1] [5]

Jusqu'aux années 1980, la majorité des prothèses auditives étaient analogiques. Le gain appliqué au signal était global, ce qui limitait la qualité sonore et augmentait le risque de rétroaction. L'introduction de l'électronique numérique à partir des années 1990 a marqué une rupture technologique majeure. Le signal acoustique capté par le microphone est converti en signal numérique, traité par un processeur, puis reconverti avant émission. Cette architecture permet un traitement fréquentiel fin du signal, avec une amplification différenciée selon les bandes de fréquence, adaptée au profil auditif du patient. [1] [4]

Cependant, l'augmentation du gain nécessaire pour compenser certaines pertes auditives accentue le risque de rétroaction acoustique. Ce phénomène apparaît lorsque le son émis par le haut-parleur est recapté par le microphone, formant une boucle de rétroaction positive. Lorsque le gain de boucle dépasse un seuil critique, le système devient instable et génère des oscillations auto-entretenues. La miniaturisation des prothèses auditives, qui réduit la distance entre microphone et écouteur, renforce encore cette contrainte physique. [4]

Le passage au traitement numérique du signal a rendu possible le développement de solutions actives de suppression de la rétroaction acoustique. Ces solutions reposent sur l'estimation du chemin de rétroaction entre le haut-parleur et le microphone, puis sur la soustraction du signal estimé. Fillon et Prado proposent en 2003 par exemple une méthode fondée sur un filtrage adaptatif de type LMS (Least Mean Squares). L'algorithme ajuste en temps réel les coefficients du filtre afin de minimiser l'erreur entre le signal mesuré et le signal estimé de rétroaction, ce qui permet d'augmenter le gain maximal sans apparition d'instabilité.[2] [4]

Des travaux plus récents montrent que des filtres adaptatifs plus élaborés, intégrant des erreurs pondérées, améliorent la robustesse du système dans des environnements acoustiques variables [3]. Ces méthodes illustrent le compromis fondamental entre rapidité d'adaptation et précision de l'estimation du chemin de rétroaction, compromis central dans la conception des aides auditives numériques modernes.

Ainsi, l'évolution des prothèses auditives met en évidence le rôle clé du traitement numérique du signal dans la résolution de problèmes physiques concrets. Le passage de l'analogique au numérique a permis non seulement une amélioration significative de la qualité sonore, mais également la mise en œuvre de stratégies efficaces pour limiter la rétroaction acoustique. Les recherches actuelles s'orientent vers l'intégration de méthodes d'apprentissage automatique afin

d'anticiper les conditions de rétroaction et d'optimiser dynamiquement les paramètres du système.

Problématique retenue

La rétroaction acoustique est le principal obstacle à l'amplification de signaux acoustiques extérieurs. Il est donc légitime de se demander quelles solutions nous pouvons envisager afin de limiter l'impact de l'effet Larsen sur les performances d'une prothèse auditive.

Objectifs du TIPE du candidat

- Etudier le fonctionnement physique d'une prothèse auditive.
- Mettre en lumière les phénomènes physique à l'origine de l'Effet Larsen.
- Concevoir expérimentalement un filtre anti-bruit simple en première solution.
- Etudier l'influence du gain du système sur l'importance de l'Effet Larsen.
- Concevoir un système électronique équivalent à une prothèse auditive afin de vérifier les constats théoriques et l'efficacité des solutions envisagées.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] RENARD, C., & MÉNARD, M. : Les évolutions techniques des aides auditives : https://www.bruit.fr/images/acoustique_techniques/AT56_OKSITE-25-36_compressed.pdf
- [2] FILLON & PRADO : Annulation d'écho acoustique dans les prothèses auditives : https://www.gretsi.fr/data/colloque/pdf/2003_001-0457_13760.pdf
- [3] YIN & CHEN : Acoustic Feedback Cancellation Algorithm for Hearing Aids : <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/7/1528>
- [4] THOMAS FILLON : Traitement numérique du signal acoustique pour une aide aux malentendants : <https://pastel.hal.science/pastel-00001201v1>
- [5] MORVAN. P, BUISSON-SAVIN J., BOITEUX C., BAILLY-MASSON E., BUHL M., THAI-VAN H. : Factors in the Effective Use of Hearing Aids among Subjects with Age-Related Hearing Loss: A Systematic Review : <https://www.mdpi.com/2077-0383/13/14/4027>

DOT

- [1] : Septembre - Novembre 2025: Etude théorique et bibliographique de l'effet Larsen, compréhension des origines physiques du phénomène.
- [2] : Décembre 2025: Première mise en évidence expérimentale de l'effet Larsen, premiers essais du filtre RLC série.

[3] : *Janvier 2025: Identification de la bobine comme responsable de l'échec du filtrage.*

[4] : *Janvier - Février 2025: Tentatives de filtrage avec le filtre de Rauch, prise de conscience de la précision requise pour éliminer le Larsen.*

[5] : *Mars 2025: Prédiction de la fréquence du Larsen par la résonance mécanique du haut parleurs. Traçage des diagrammes de Bode.*