

Les technologies de la protection auditive



François FOHR
22^{ème} Journée Nationale de l'Audition
14 mars 2019
Le Mans Innovation



www.ctm-lemans.com

LAUM



Itemm

Institut technologique européen
des métiers de la musique



LE MANS ACOUSTIQUE

Recherche, Formation & Innovation
en PAYS de la LOIRE



APPLICATIONS



Le CTTM

- Date de Création :1992
- Forme Juridique : Association loi 1901
- Statut : CRT, Centre de Ressources Technologiques
- Ressources : 45 salariés, docteurs, techniciens, ingénieurs, administratifs
- Moyens :
 - 1500 m² de laboratoires de recherche, salles d'essais et ateliers (dont salles blanches iso 7 et laboratoire P2)
 - Un bureau d'études : conception, calcul, prototypage...

ACOUSTIQUE & VIBRATIONS

MATÉRIAUX

INGÉNIERIE DE CONCEPTION

INGÉNIERIE BIOLOGIQUE ET
MÉDICALE

L'Acoustique au CTTM

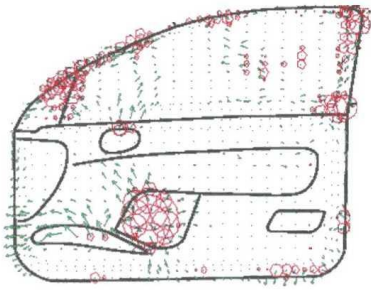


Diagnostic

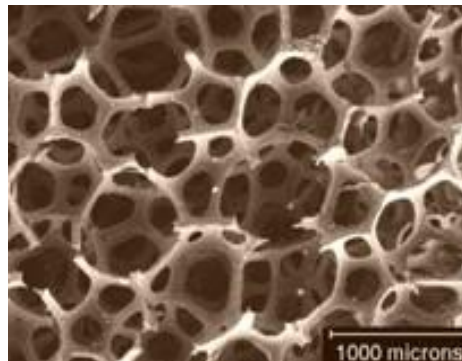
Prototypage, faisabilité

Recherche et innovation

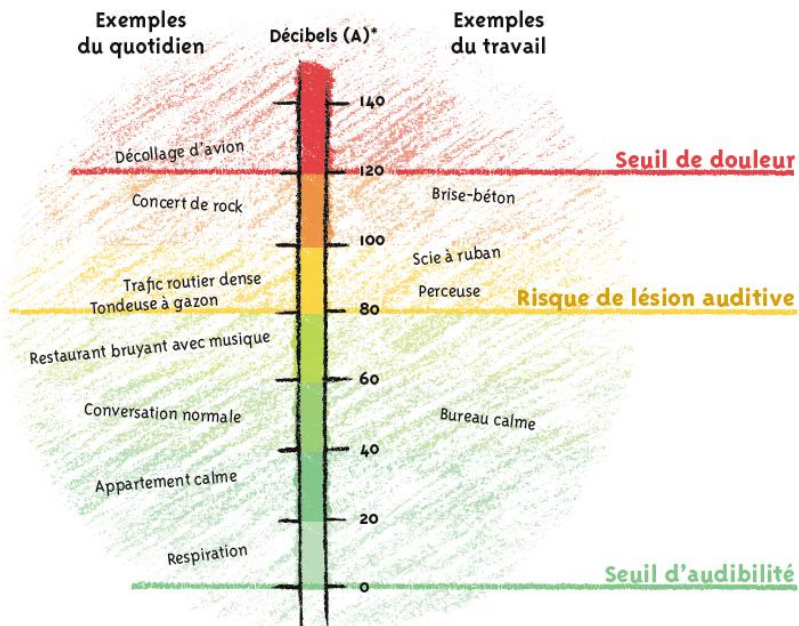
Transfert de Technologie



PSA PEUGEOT CITROËN



L'exposition au risque



EXEMPLE DE DURÉES D'EXPOSITION QUOTIDIENNES ÉQUIVALENTES	
Niveau sonore en dB(A)	Durée d'exposition
80	8 h
83	4 h
86	2 h
89	1 h
92	30 min
95	15 min
98	7,5 min

Niveau sonore

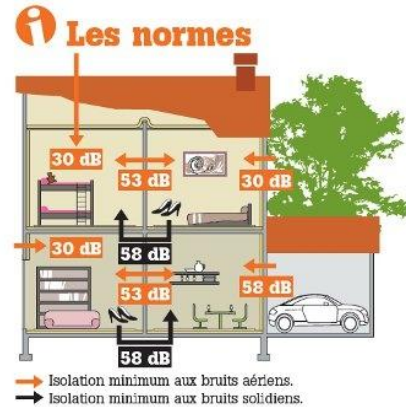
Durée d'exposition

Source : <http://www.inrs.fr/risques/bruit/exposition-risque.html>

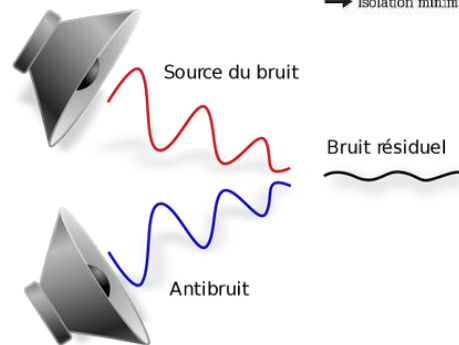
De la réduction du bruit

Le contrôle passif

Isolation



Le contrôle actif



Absorption



à la protection auditive

Les EPI (équipements de protection individuel)

- Casques anti-bruit
- Bouchons d'oreille

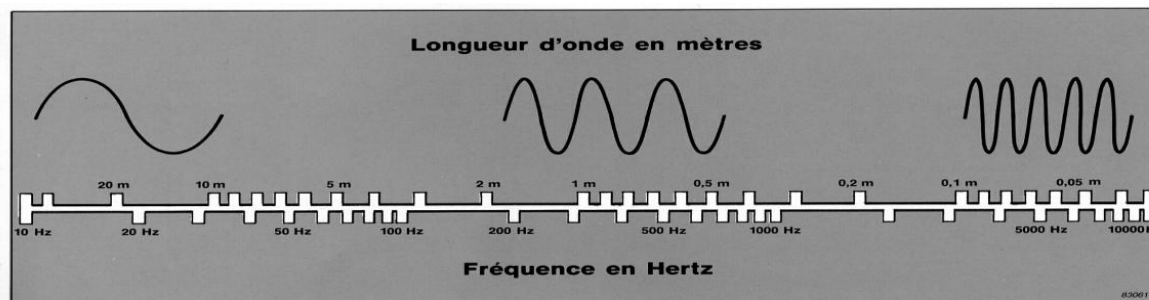
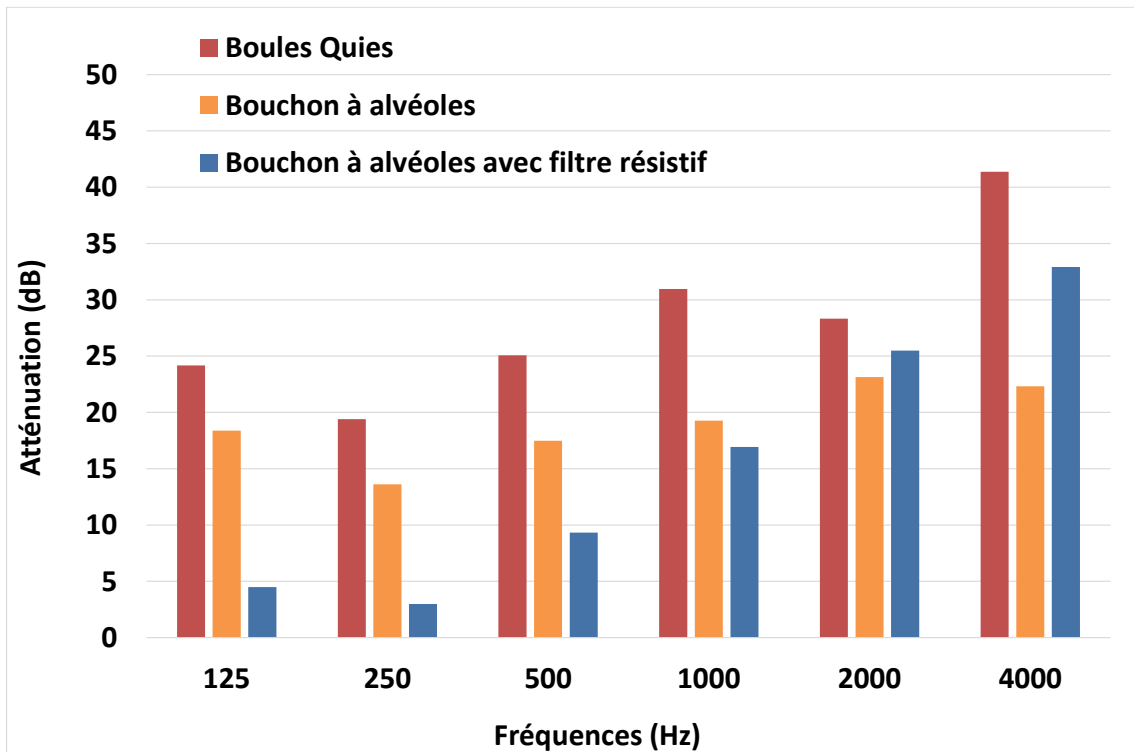


Les bouchons d'oreille

A quoi ça sert ?

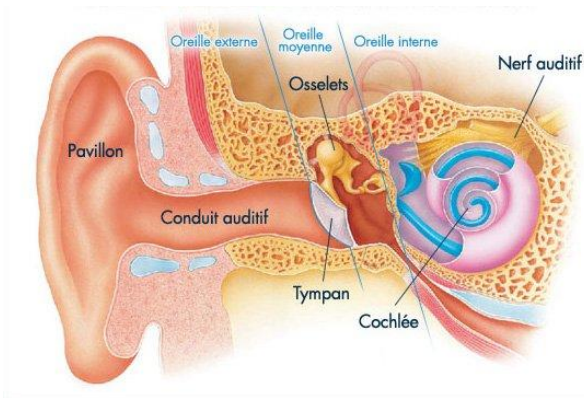
- Se protéger des niveaux de bruit élevés
 - Se protéger du bruit de machines mais entendre quand même les signaux d'alerte
 - Se protéger du bruit ambiant tout en continuant à parler avec ses collègues
 - Faire de la musique sans devenir sourd (fosse d'orchestre)
 - ...
-
- **Atténuation modulée en fonction des besoins**
 - **Atténuation uniforme quelque soit la fréquence**

Atténuation et fréquences



La particularité de l'oreille humaine

Réponse en fréquence d'un conduit auditif ouvert



= Résonance acoustique d'un tube ouvert à une extrémité (en $\frac{1}{4}$ de longueur d'onde)

$$f_0 = \frac{c_0}{4L} \approx \frac{340}{4 \times 0.025} = 3400 \text{ Hz}$$

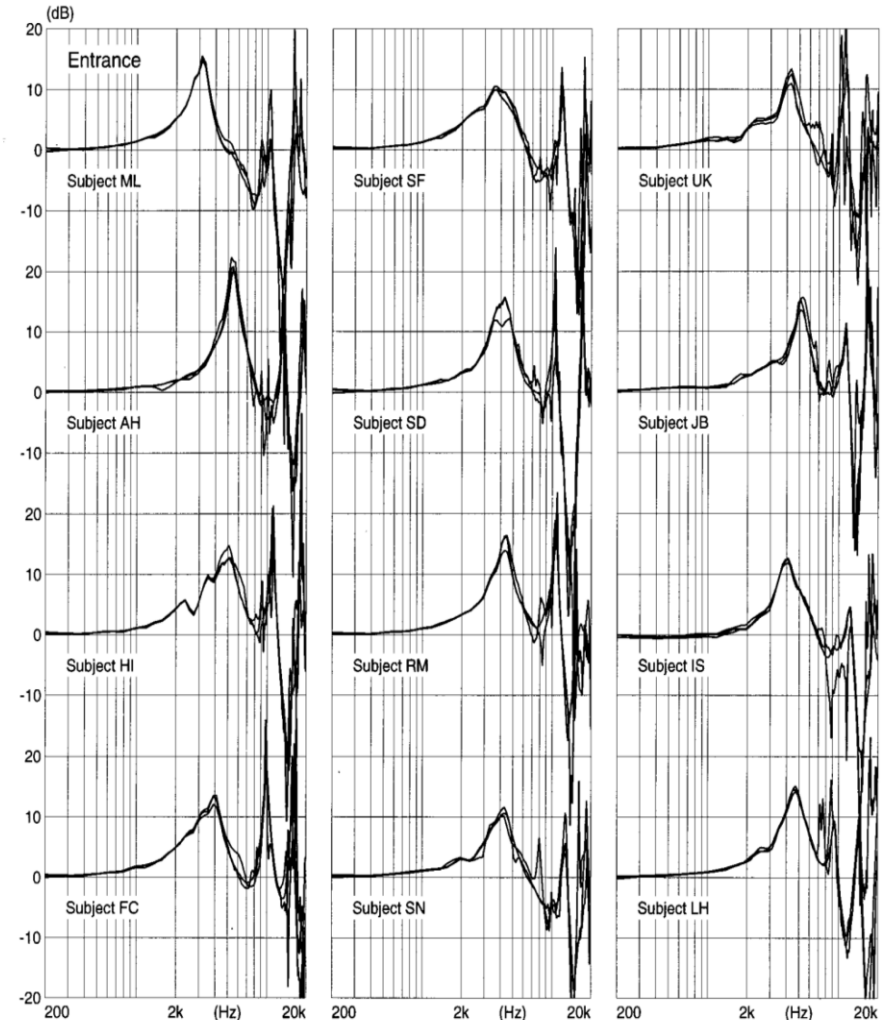
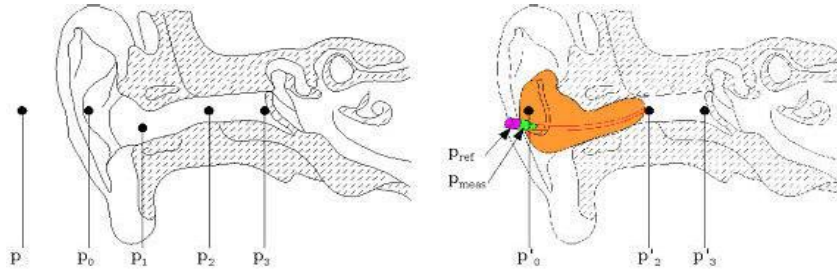


Figure 3 : Mesure de la réponse du canal auditif sur 12 sujets selon [20]

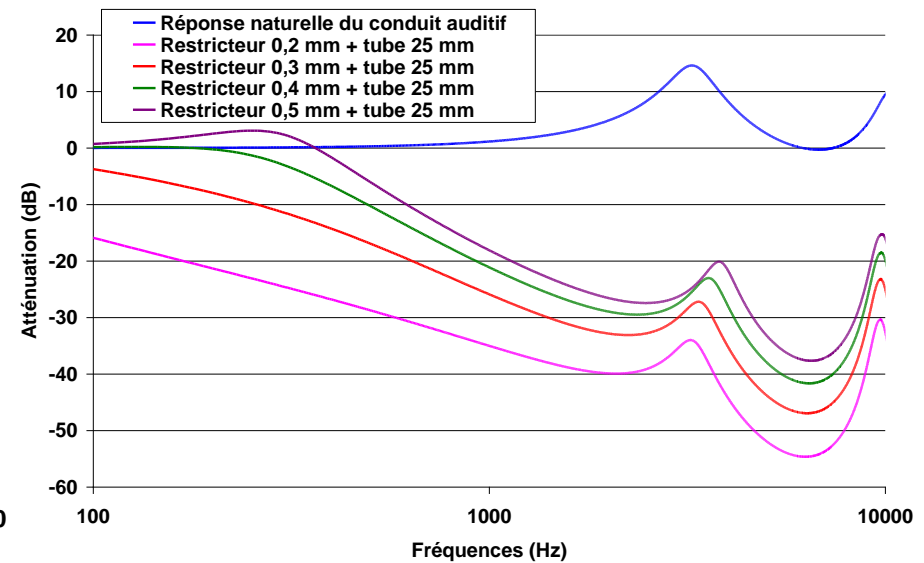
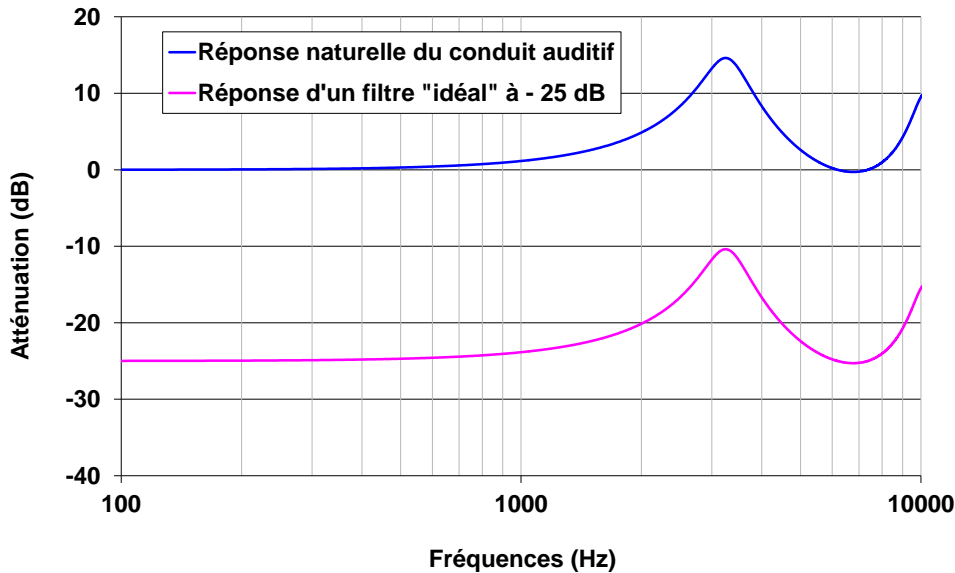
Le bouchon d'oreille idéal



Réponse en fréquence

Filtre idéal à -25 dB

Filtres résistifs



La (seule) solution existante

Filtre à membrane



Elmer V. Carlson & Industrial Research Products, Inc., "Passive ear protector", Brevet Européen n° EP 0 315 942, 1987

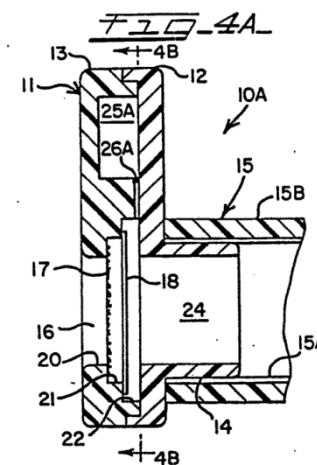
Principe du filtre à membrane :

- Membrane étanche mince (10 à 100 microns)
- Associé à un film résistif (correction de la réponse dans les moyennes fréquences)

Mais ...

- Pas d'évacuation de la transpiration
- Effet d'occlusion
- Bouchon moulé (prises d'empreintes)

→ **Pas (encore) de solutions idéales**

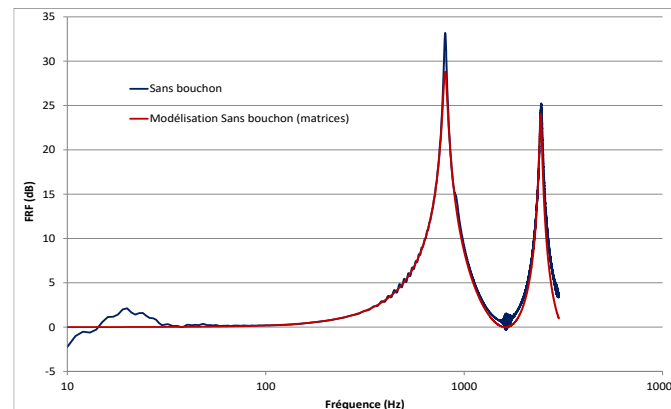


Etudes réalisées au CTTM

- Conception de bouchons
- Mise au point de filtres acoustique
- Analyse des filtres existants

Outils :

- Développement d'un banc de mesure
- Simulation numérique



Méthodes de mesure

Méthode REAT :

Normes ISO 4869-1 et 2

Méthode subjective : détection de seuil en cabine audiométrique par 16 sujets

Méthode MIRE :

Normes ISO 11204-1

Méthode directe avec microphone dans le canal auditif (perte par insertion)

Méthodes «maisons » (fabricants) :

Méthodes subjectives utilisant généralement un casque audio

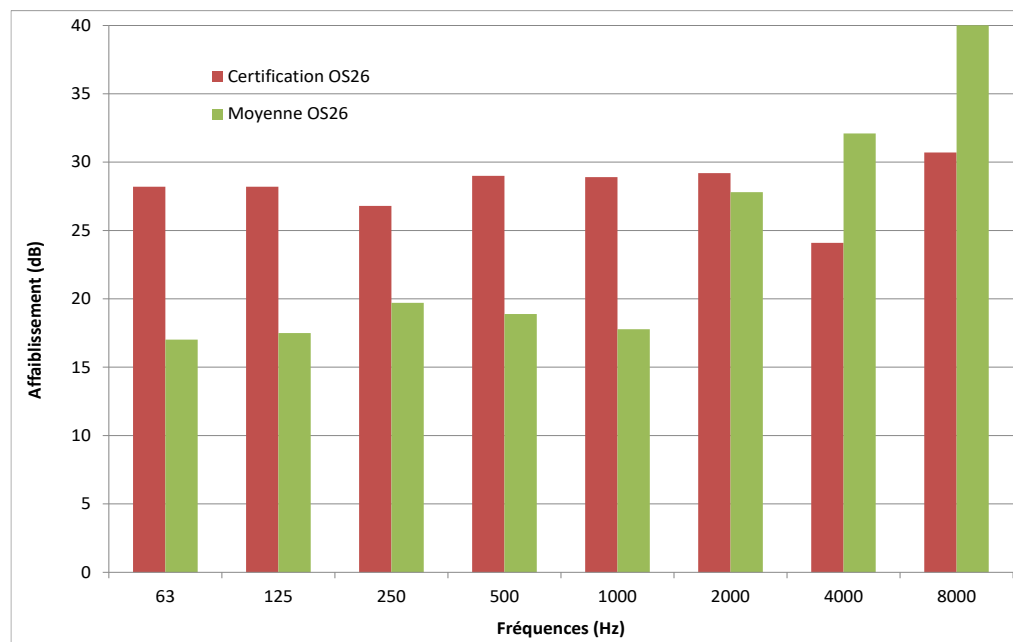
Oreille artificielle :

Mesure objective de la perte par insertion (différence de niveau de pression avec et sans filtre)

Conception et réalisation d'un banc de mesure

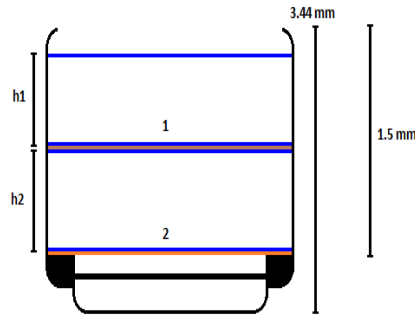
Prototypage :

- Tête en résine (impression 3D) et oreilles en silicone (coulée sous vide)
- Mesure de la perte par insertion

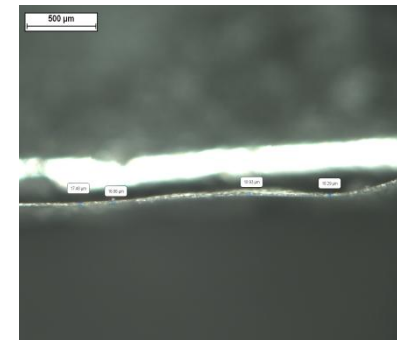
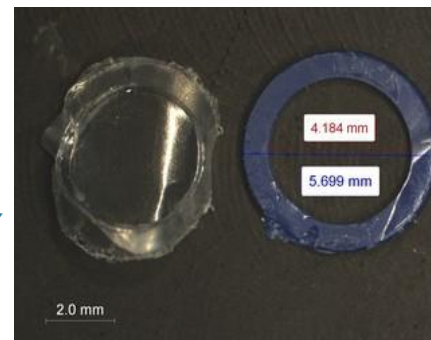
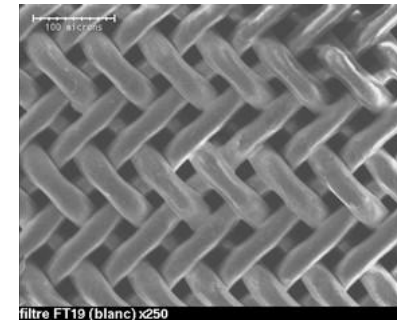
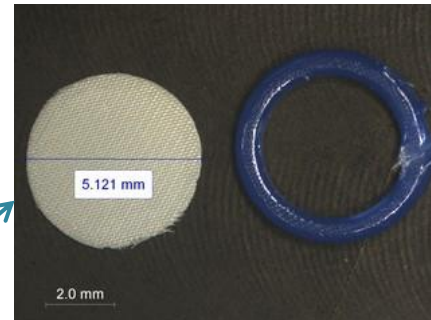
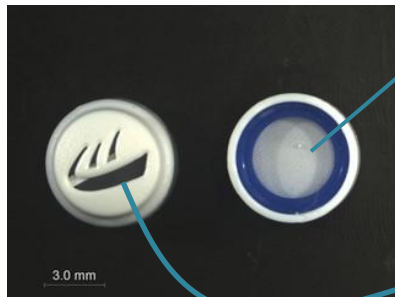


Analyse de filtres existants

Matériaux et géométrie



h1 : hauteur joint 1
h2 : hauteur joint 2
1 : premier filtre
2 : deuxième filtre



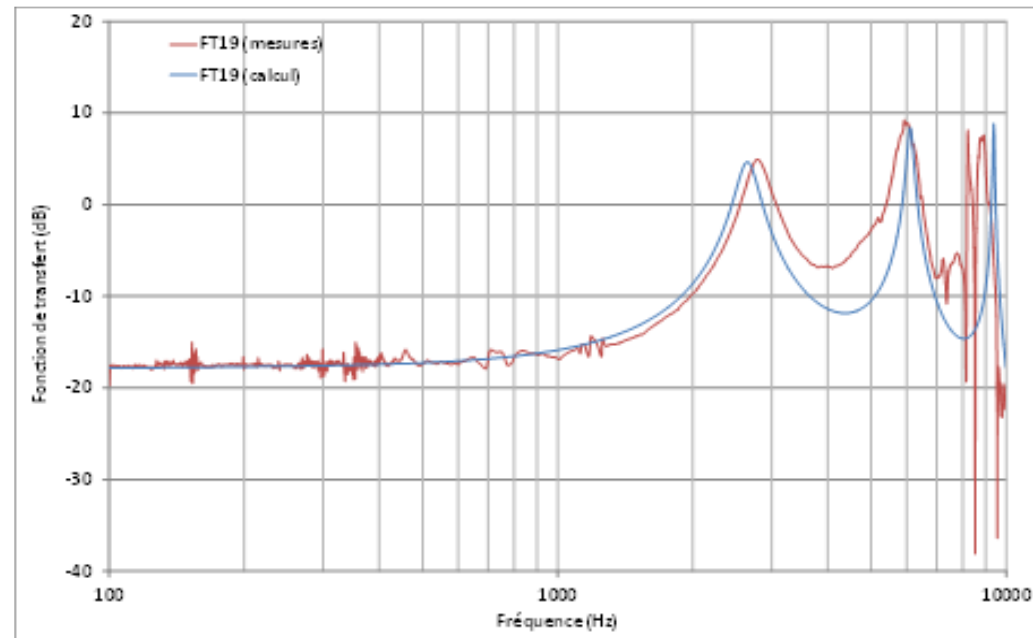
- Membrane étanche en TPU (Polyuréthane thermoplastique)
- Membrane poreuse constituée d'un tissage élaboré

Analyse de filtres existants

Mesures et simulations numériques

Paramètres du problème :

- Diamètre et épaisseur de la membrane
- Module d'Young
- Densité
- Géométrie du conduit tympanique
- Géométrie du perçage dans le bouchon



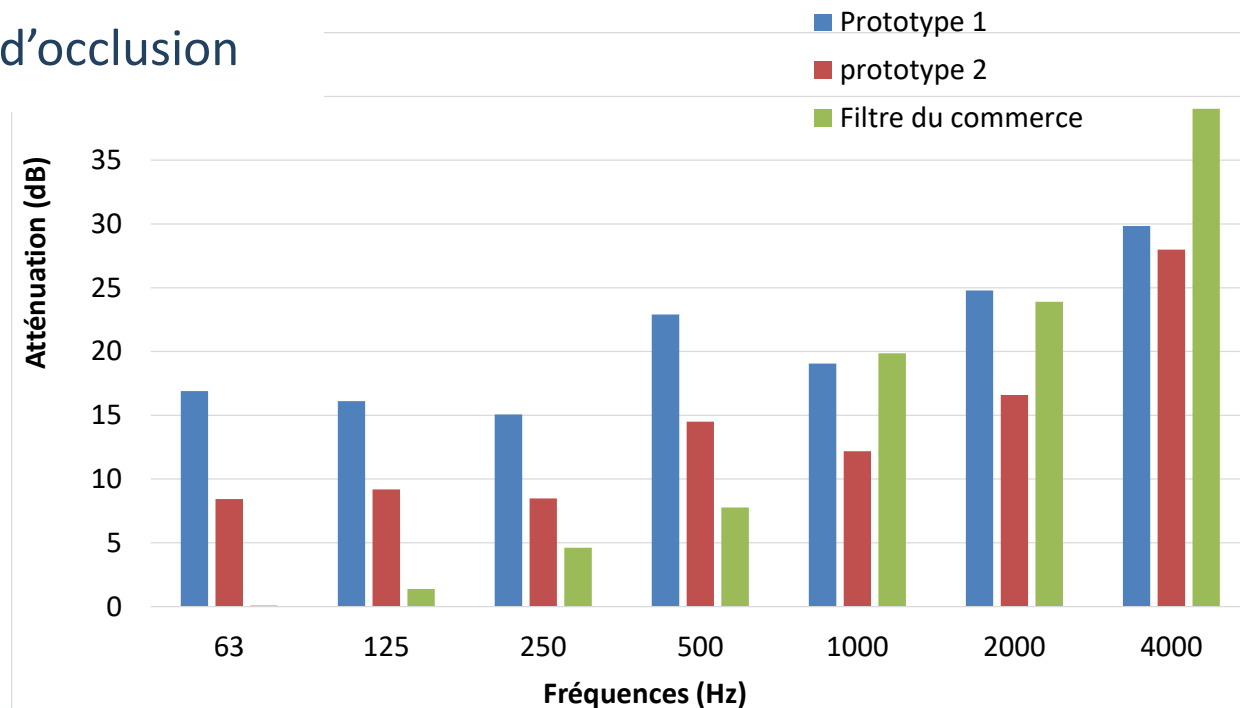
Comparaison calcul / mesure

Mise au point de bouchons à atténuation uniforme

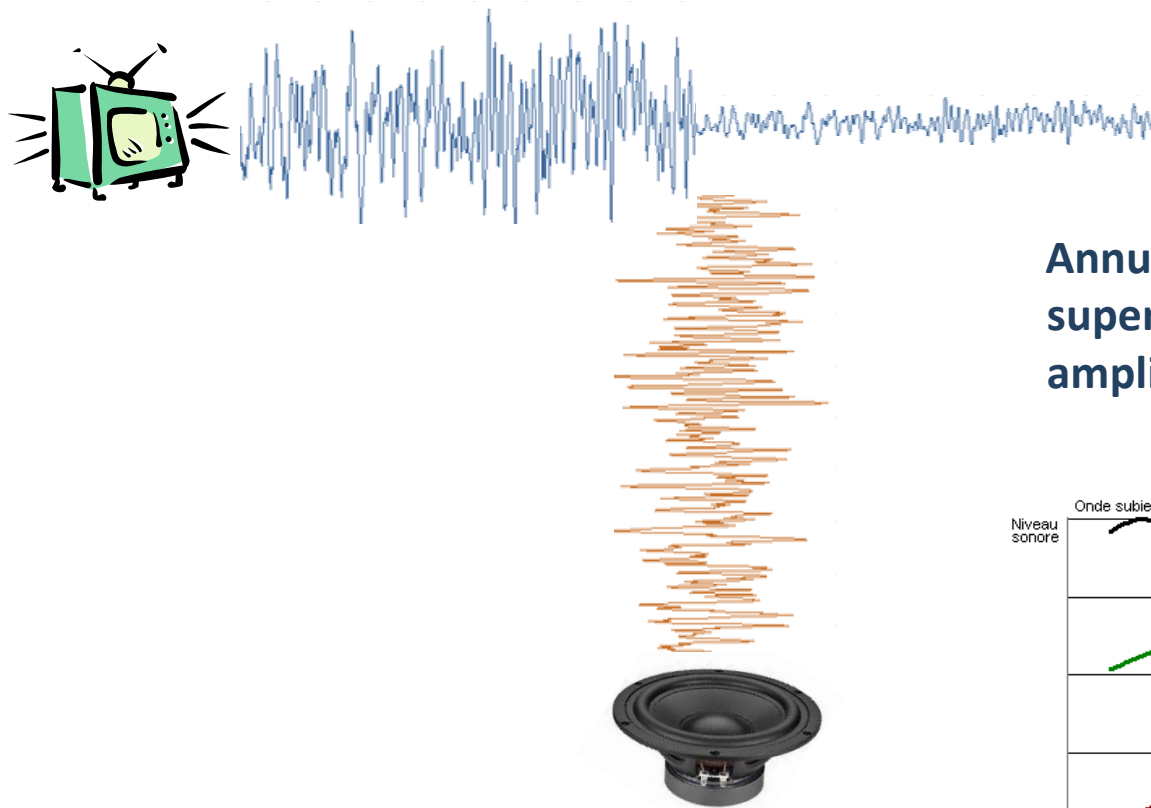
Bouchons universels à alvéoles

Filtre non étanche :

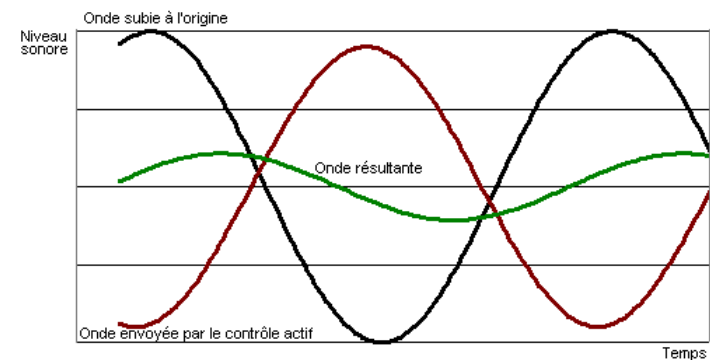
- Évacuation de la transpiration
- Egalisation de pression
- Limitation de l'effet d'occlusion



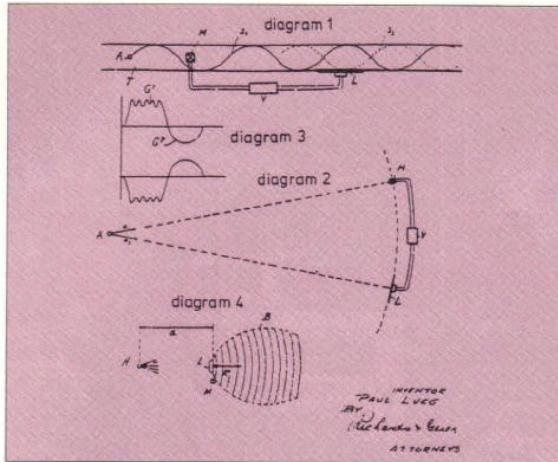
Le contrôle actif de bruit



Annuler un bruit indésirable par la superposition d'un bruit de même amplitude en opposition de phase



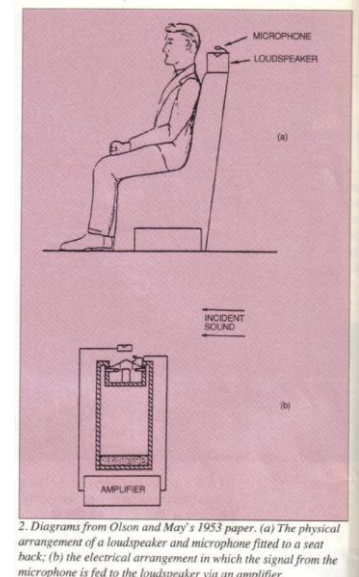
Une vieille histoire ...



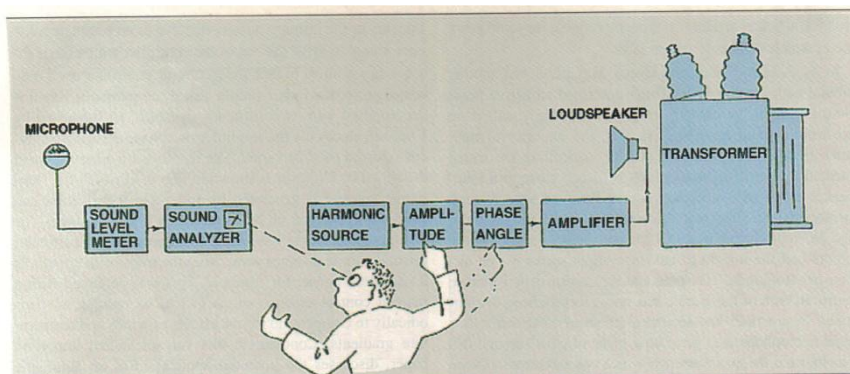
1. Diagrams from Paul Lueg's 1934 patent.

P. Lueg, « Process of silencing sound oscillations », US Patent n° 2.043.416, 1936

H. F. Olson & E. G. May, « Electronic sound absorber », Journal ou the Acoustical Society of America, n°25, 1953



2. Diagrams from Olson and May's 1953 paper. (a) The physical arrangement of a loudspeaker and microphone fitted to a seat back; (b) the electrical arrangement in which the signal from the microphone is fed to the loudspeaker via an amplifier.

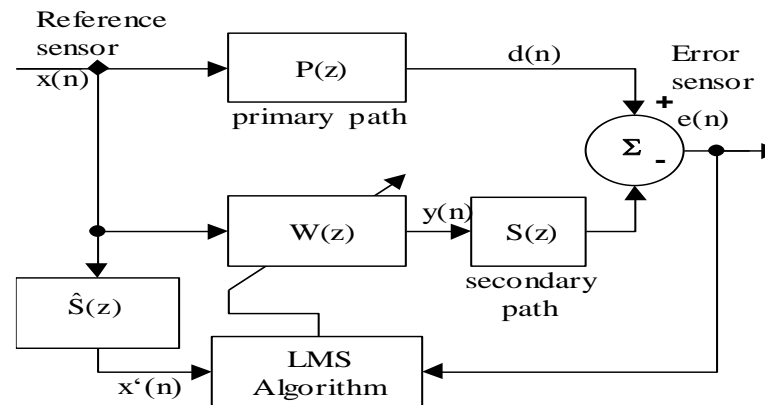
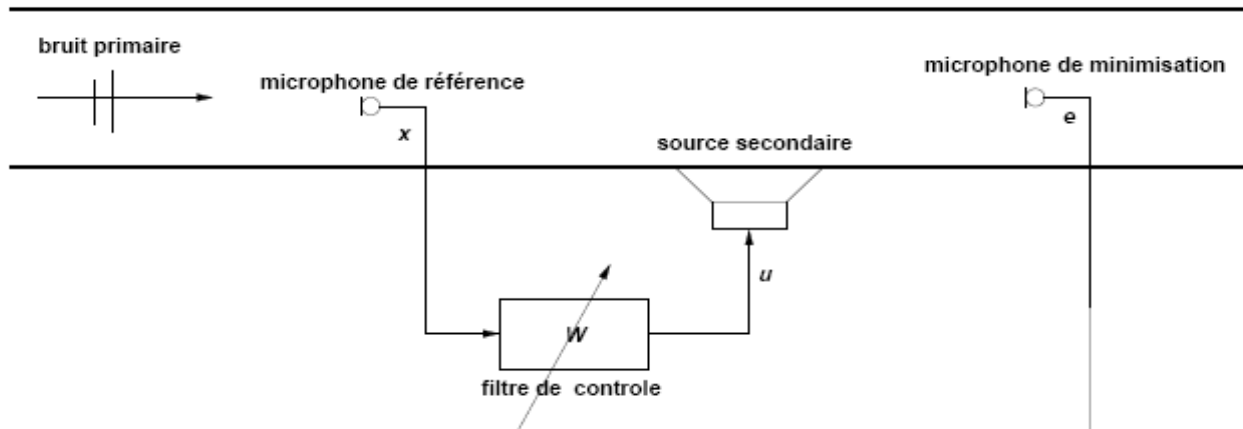


4. Manually adaptive, feedforward active control system for transformer noise proposed by Conover in 1956.

W. B. Conover, «Fighting noise with noise », Noise Control n° 2, 1956

Dispositif de contrôle actif

Dispositif temps réel : $\Delta t < ms$



Domaines et limites du contrôle actif de bruit

Domaine des basses fréquences :

- ✓ Généralement qq centaines de Hz
- ✓ Domaine pour lequel les dispositifs passifs nécessitent des grands volumes, des masses importantes...

Niveaux de bruit élevés :

- ✓ En basses fréquences : davantage générateur de fatigue que de gêne auditive
- ✓ Vibrations associées

Solutions industrielles :

- ✓ Solutions simples avec peu d'actionneurs
- ✓ Source de bruit localisée
- ✓ Rapport efficacité/coût favorable

Performances objectives et perception

Faible sensibilité de l'oreille humaine aux basses fréquences

- ✓ Perception atténuée de l'effet du contrôle actif

Effet de masquage des basses fréquences :

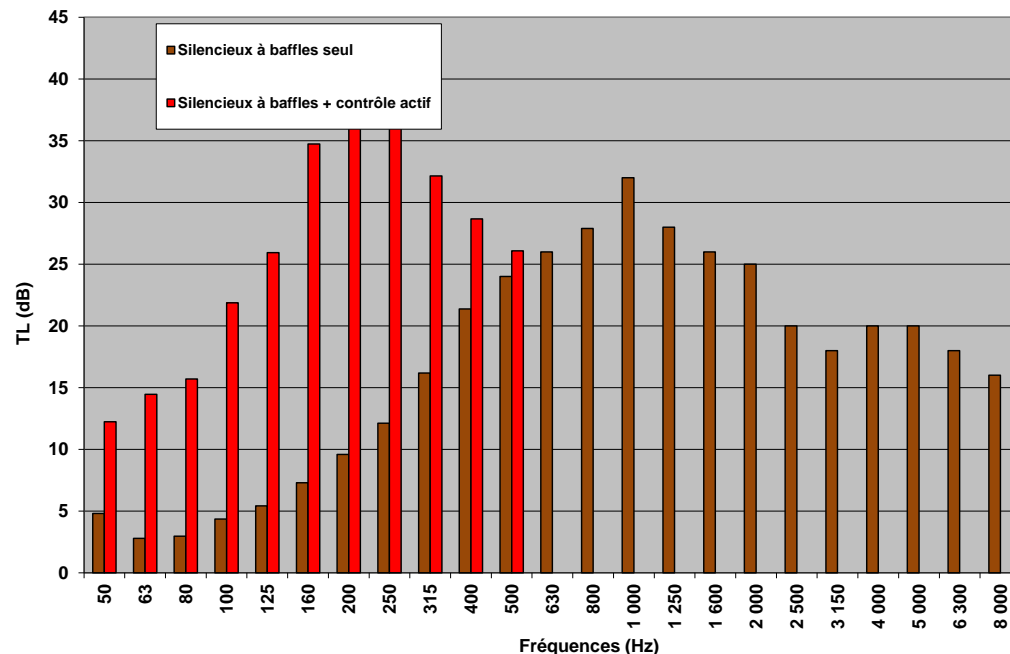
En supprimant les basses fréquences, il arrive que l'on perçoive mieux les composantes moyennes et hautes fréquences

- Possible ressenti d'une augmentation du bruit
- Meilleure intelligibilité

Notion de fatigue :

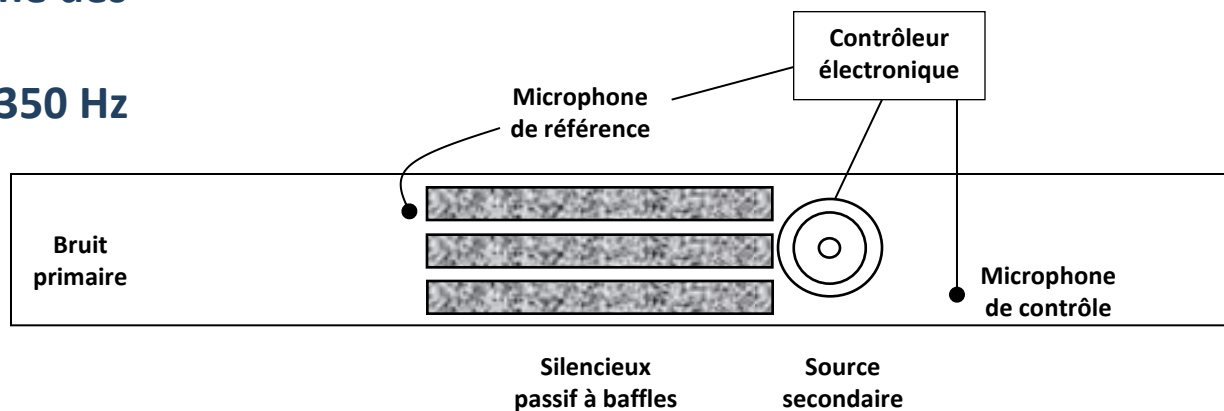
- ✓ Essentiellement lié aux basses fréquences
- ✓ Pas ou peu d'études sur le sujet
- ✓ Liée à des temps d'exposition longs

Exemple d'application : Circuit de ventilation bâtiment



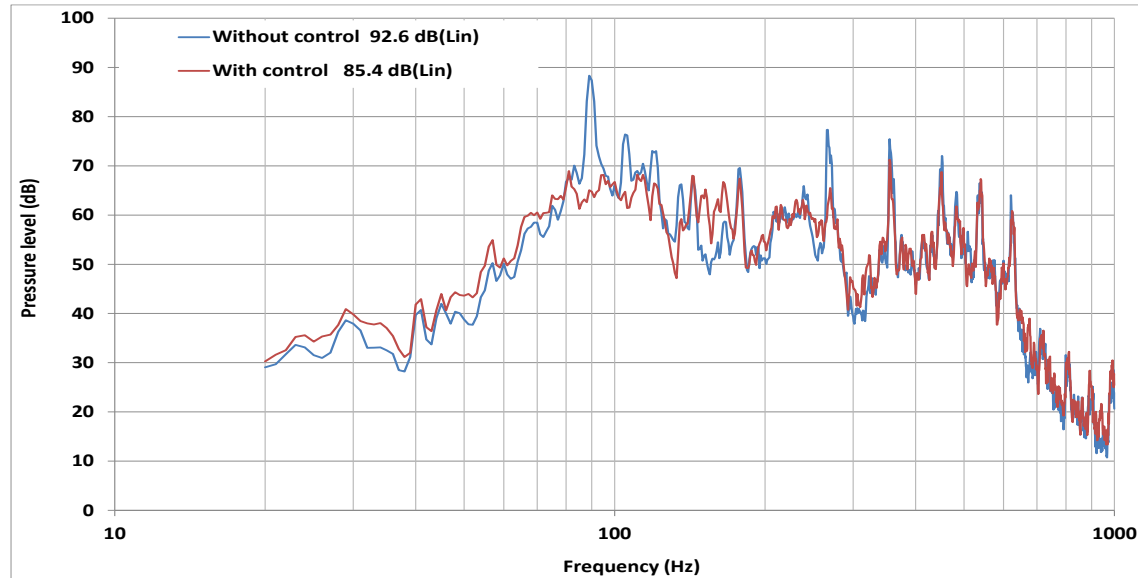
Domaine de fréquence (domaine des ondes planes)

Ex : gaine 0,5 m x 0,5 m → $f < 350$ Hz



Exemple d'application : Cabine d'engin agricole

- 2 haut-parleurs (sono de bord améliorée)
- 3 microphones
- 1 contrôleur



Perception :

- ✓ Faible sensibilité de l'oreille humaine aux basses fréquences
- ✓ Effet de masquage des basses fréquences → possible sensation d'une augmentation du bruit
- ✓ Fatigue physique non prise en compte

Exemple d'application

Siège d'avion

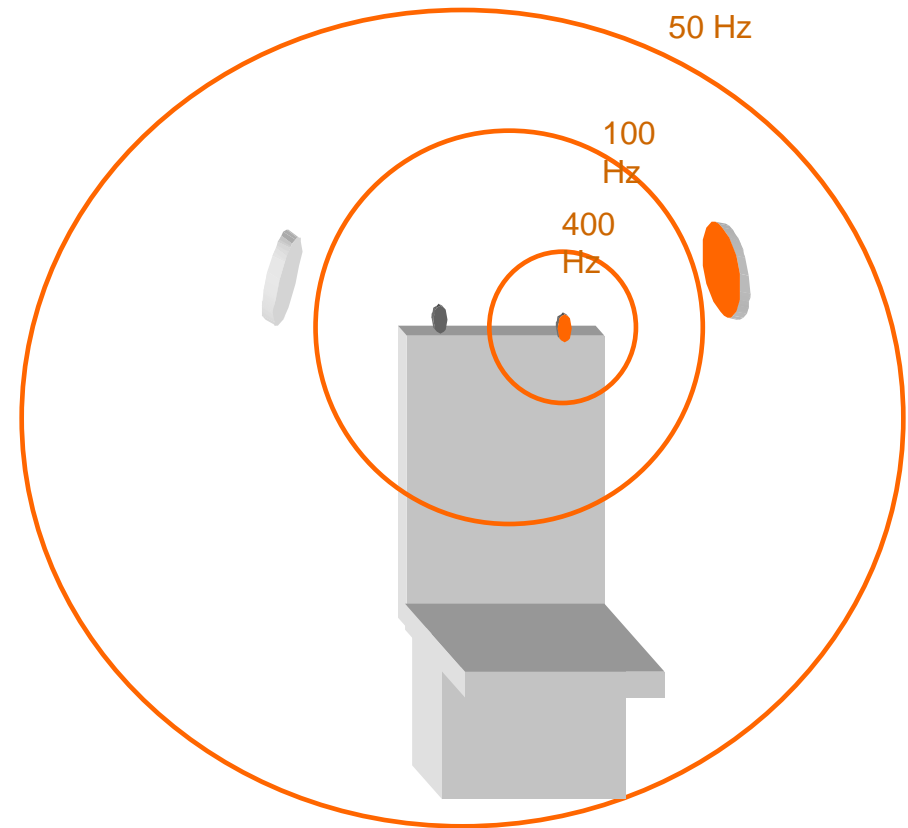
Création d'une « bulle de silence » dont les dimensions dépendent de :

- La fréquence (longueur d'onde)
- La position des haut-parleurs
- La proximité des microphones de contrôle

Domaine de fréquence du contrôle actif :
Environ [40 – 400 Hz]

Performances du
haut-parleur

Distance oreille/micro
de contrôle



Exemple d'application

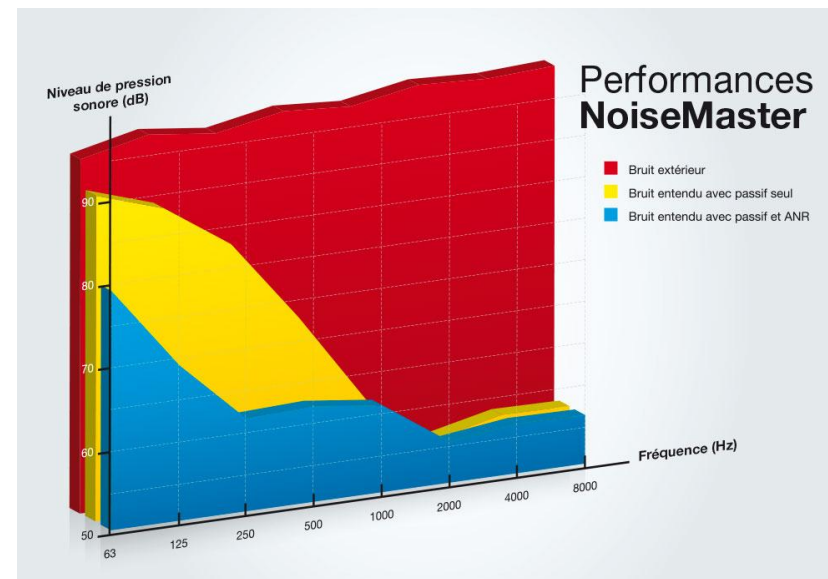
Le casque anti-bruit actif

Effets complémentaires :

- Isolation passive : coque + coussinets + mousse absorbante
- Contrôle actif des basses fréquences

Casques communicants et diffuseurs audio

Fabricants : Bose, TechnoFirst



Source : <http://www.technofirst.com/fr/noisemaster/>

Merci de votre attention



Le silence est la sieste du bruit
José Arthur