

Contrôle actif de bruit

Le rêve et la réalité

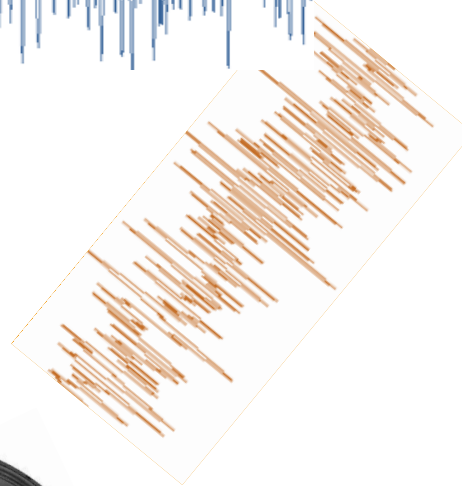
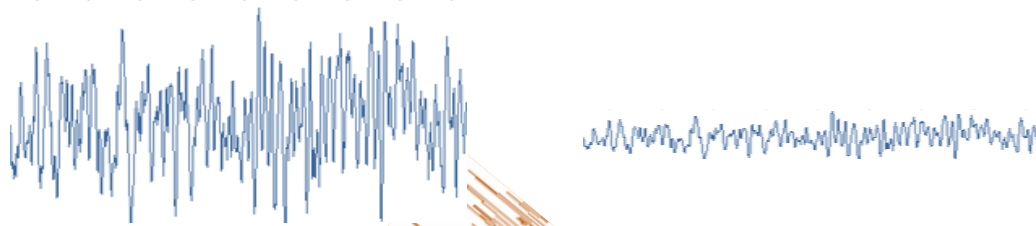


François FOHR
Journée X-Mobility
14 juin 2018, Le Mans



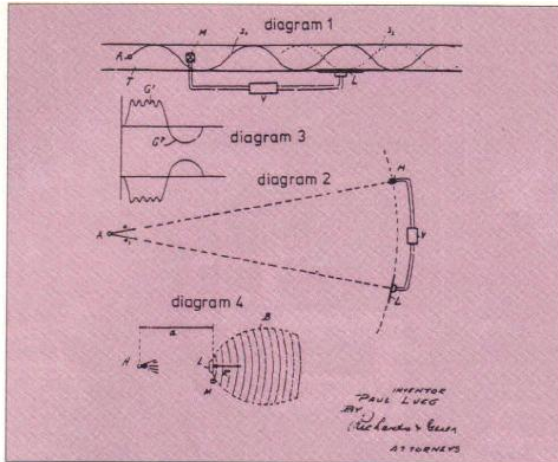
www.ctm-lemans.com

Le contrôle actif...qu'est-ce que c'est ?



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

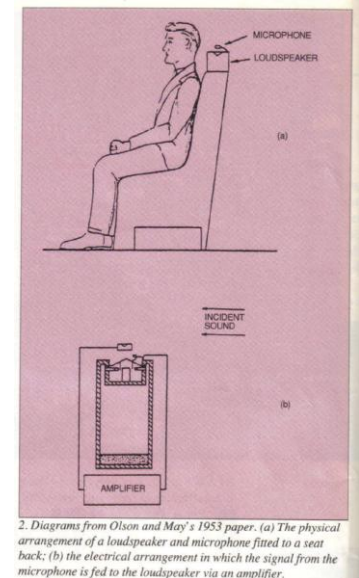
Une vieille histoire ...



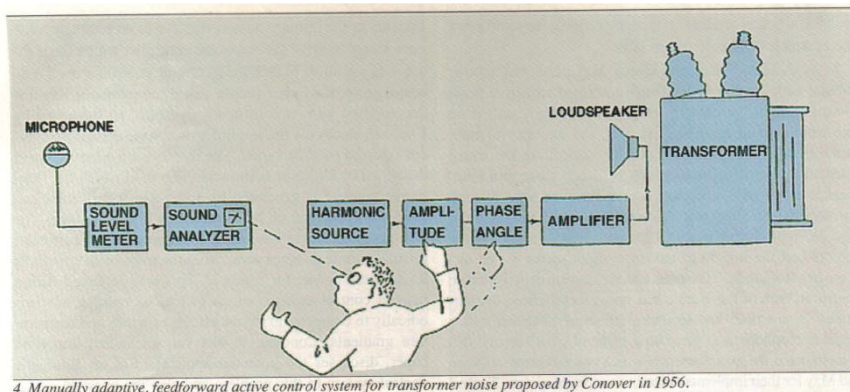
1. Diagrams from Paul Lueg's 1934 patent.

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.

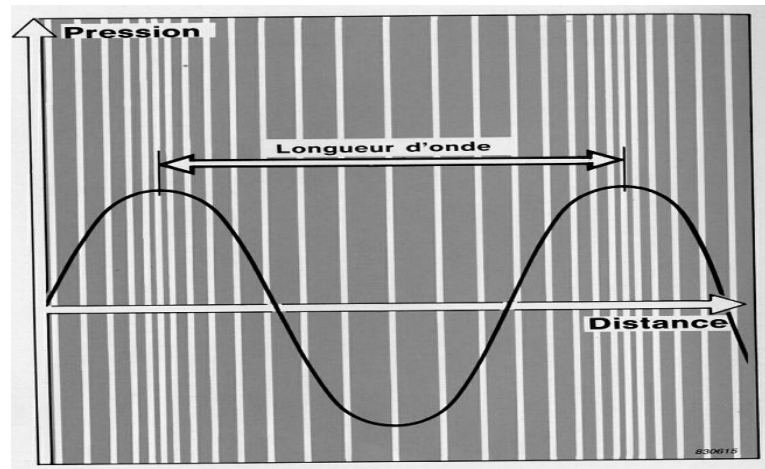
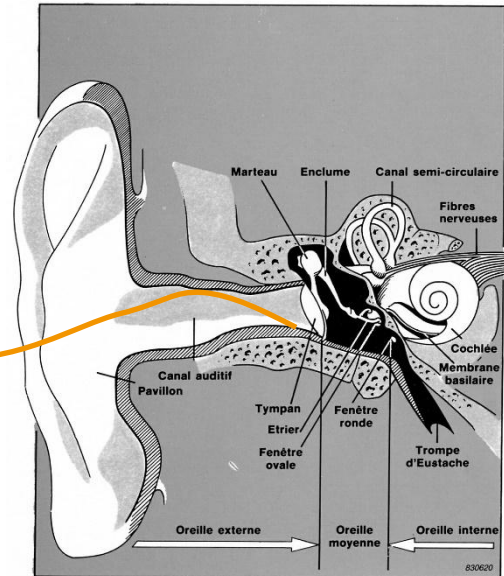
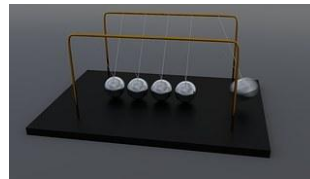


4. Manually adaptive, feedforward active control system for transformer noise proposed by Conover in 1956.

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

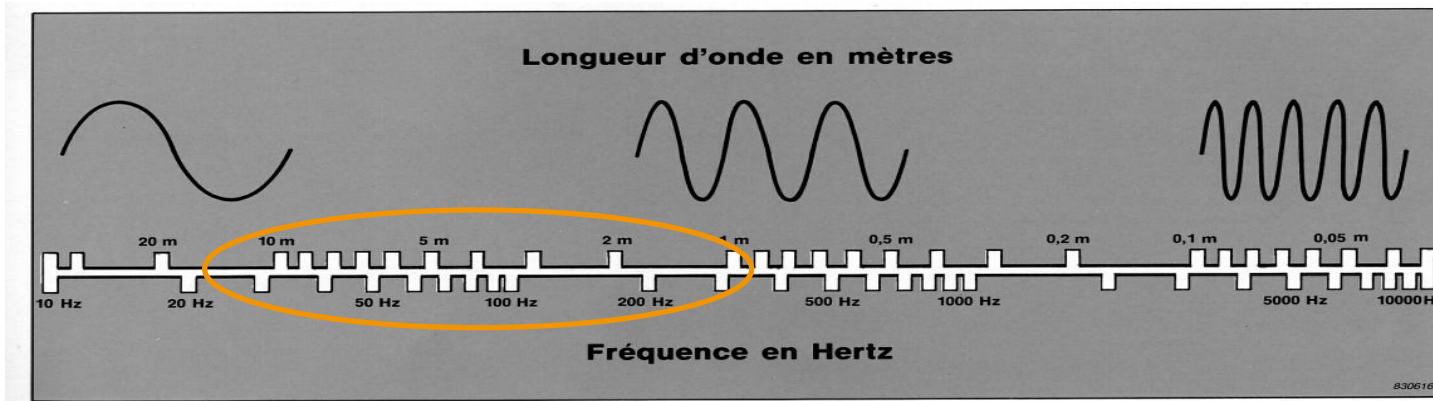
Principes généraux

Mécanismes de la propagation du son



Principes généraux

L'échelle des fréquences



Domaine du contrôle actif

Infrasons : inaudibles

Ultrasons : inaudibles

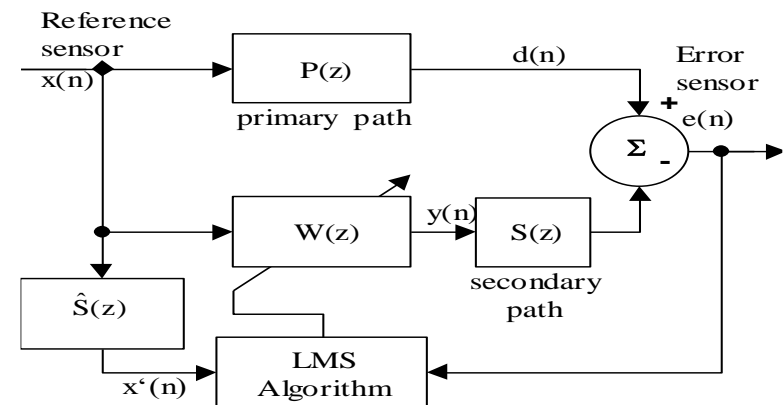
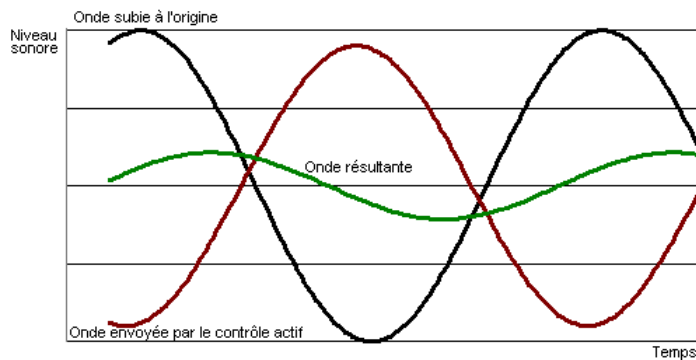
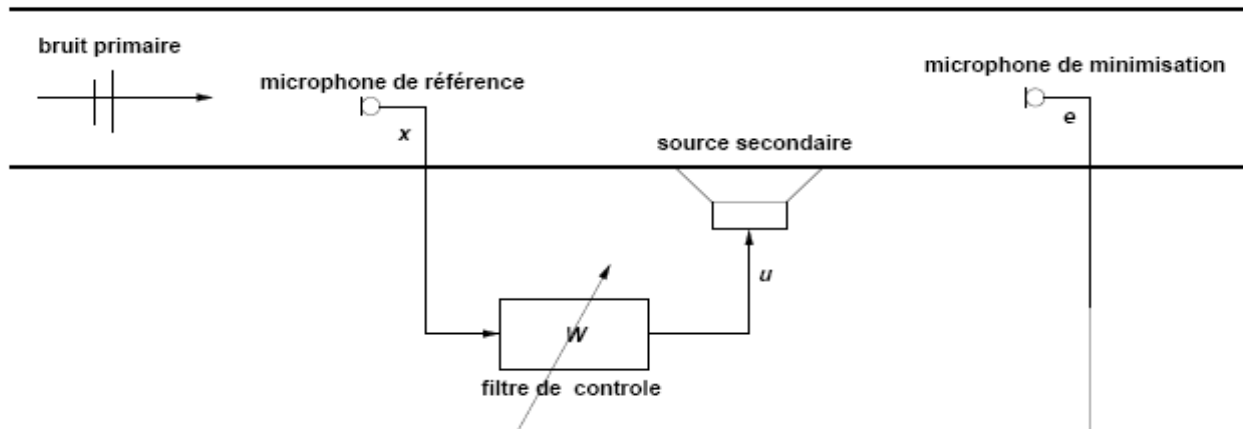
Basses fréquences : sons graves

Hautes fréquences : sons aigus

Moyennes fréquences : médiums

Dispositif de contrôle actif

Dispositif temps réel : $\Delta t < ms$



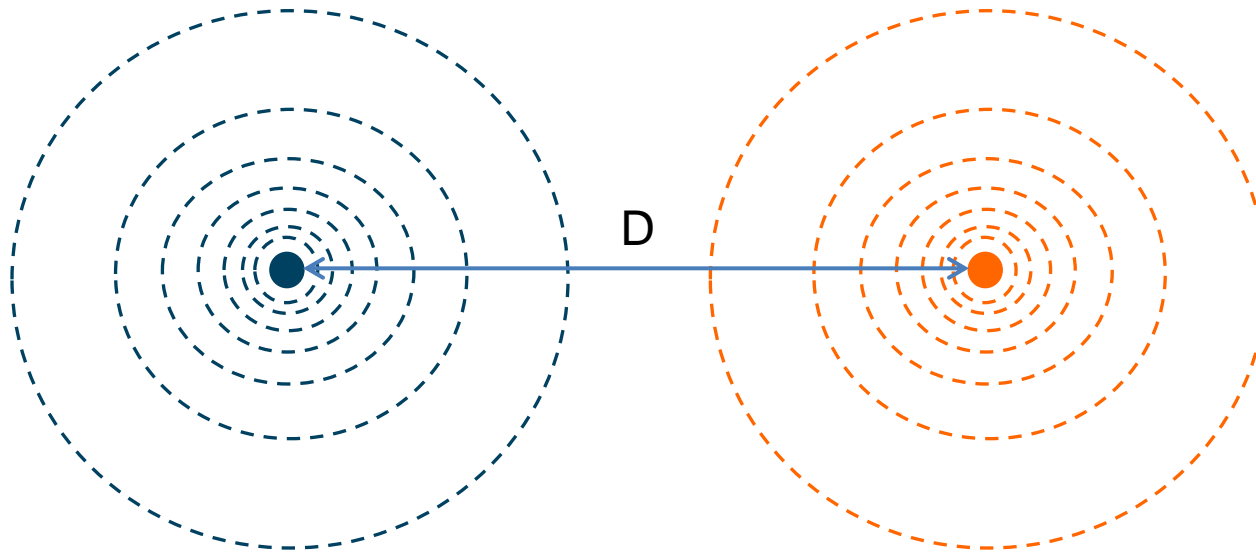
Conditions physiques du contrôle actif

Contrôle d'un monopôle par un autre :

Condition d'atténuation globale \rightarrow distance $D > \text{longueur d'onde}/6$

Exemples : $D = 10 \text{ cm} \rightarrow$ fréquences traitées $< 550 \text{ Hz}$

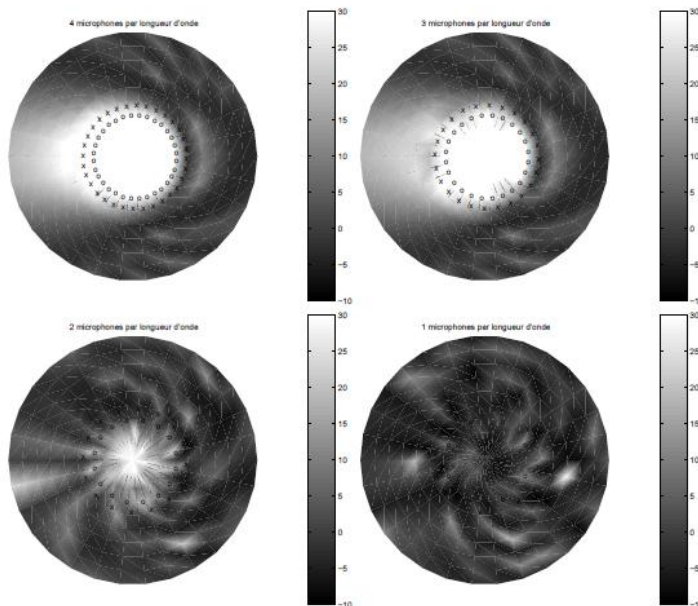
$D = 1 \text{ m} \rightarrow$ fréquences traitées $< 55 \text{ Hz}$



Conditions physiques du contrôle actif

Contrôle en espace ouvert autour d'une source de bruit :

Nombre de sources nécessaires : $N = \frac{54a^2f^2}{c^2}$ avec : a rayon de la sphère où sont réparties les sources secondaires



Exemples 1: un transformateur EDF qui émet des bruits jusqu'à 150 Hz

(a = 2 m) → 40 sources de contrôle !!

Exemples 2: une cheminée de bateau qui émet des bruits jusqu'à 100 Hz

(a = 1 m) → 4 sources de contrôle

FIG. 1.6 – Atténuation avec 32 monopôles (x) du bruit produit en 2D par une onde plane en 32 points (o)

Conditions physiques du contrôle actif

Contrôle en espace clos :

Nombre de sources = nombre de modes

Nombre de modes en fonction de la fréquence :
$$N(f) = \frac{4\pi f^3 V}{3c^3} + \frac{\pi f^2 S}{4c^2} + \frac{fL}{8c}$$

Avec : L somme des dimensions de la cavité, S surface totale des parois et V volume de la cavité



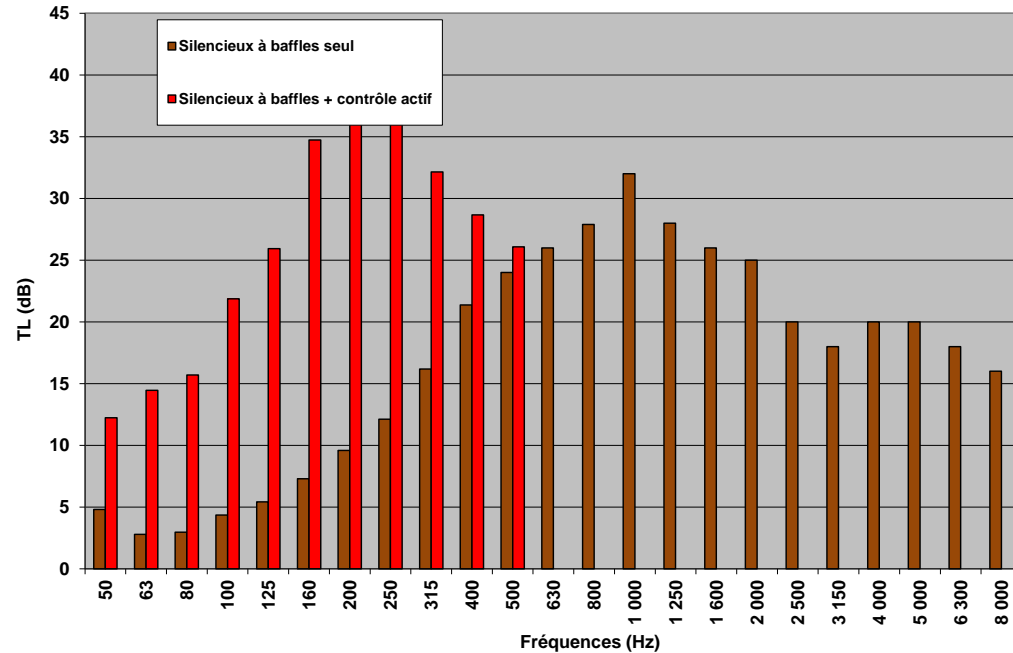
Exemple 1 : un bureau de 10 m² avec un contrôle actif jusqu'à 350 Hz

→ 130 sources de contrôle !!

Exemple 2 : une cabine d'engin de chantier 1 m³ avec un contrôle actif jusqu'à 350 Hz

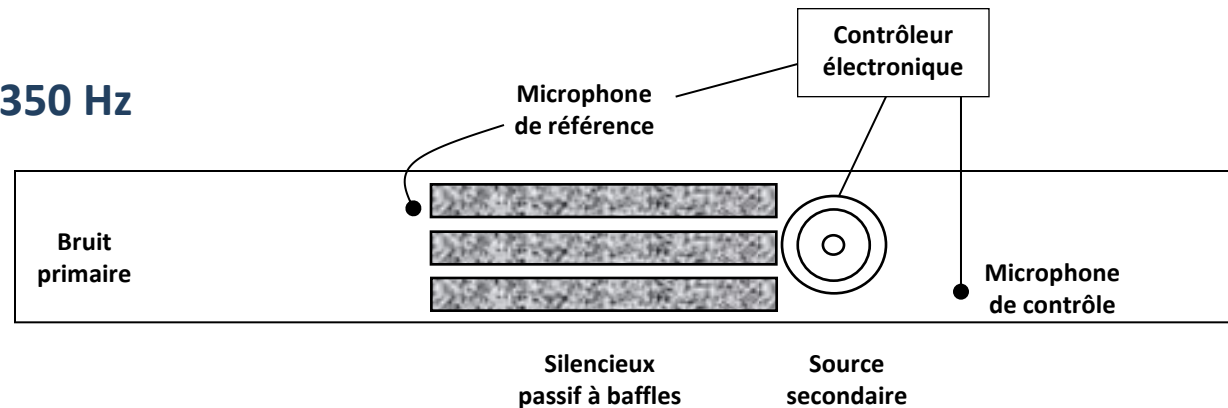
→ 8 sources de contrôle

Exemple d'application : Circuit de ventilation bâtiment



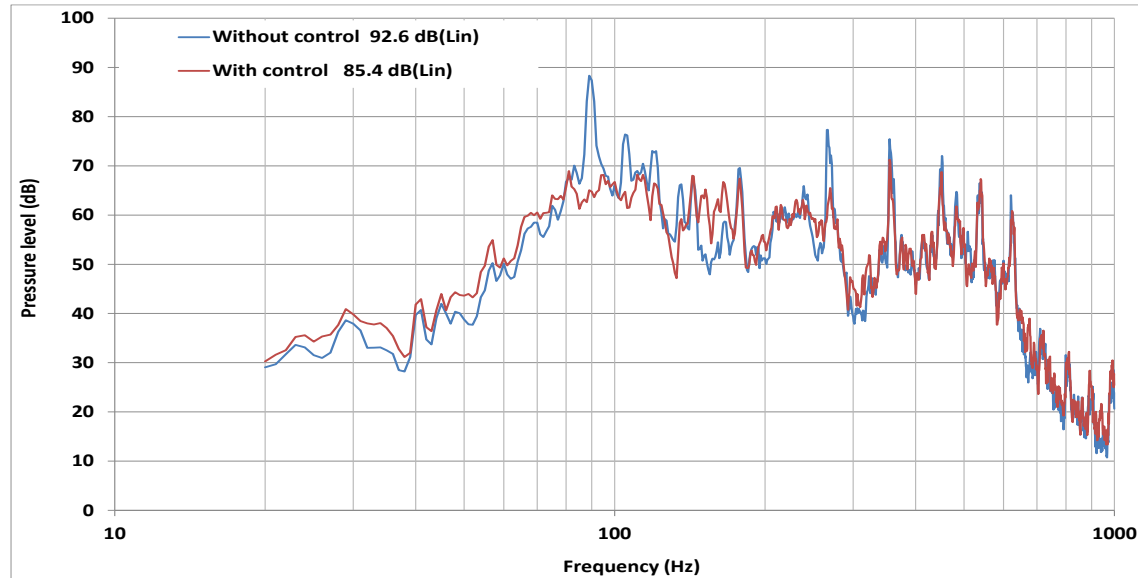
Domaine de fréquence (domaine des ondes planes)

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



Exemple d'application : Cabine d'engin agricole

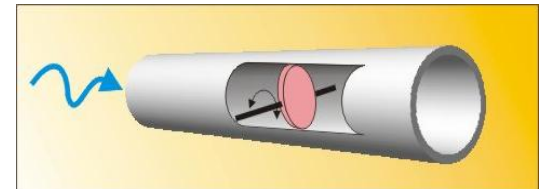
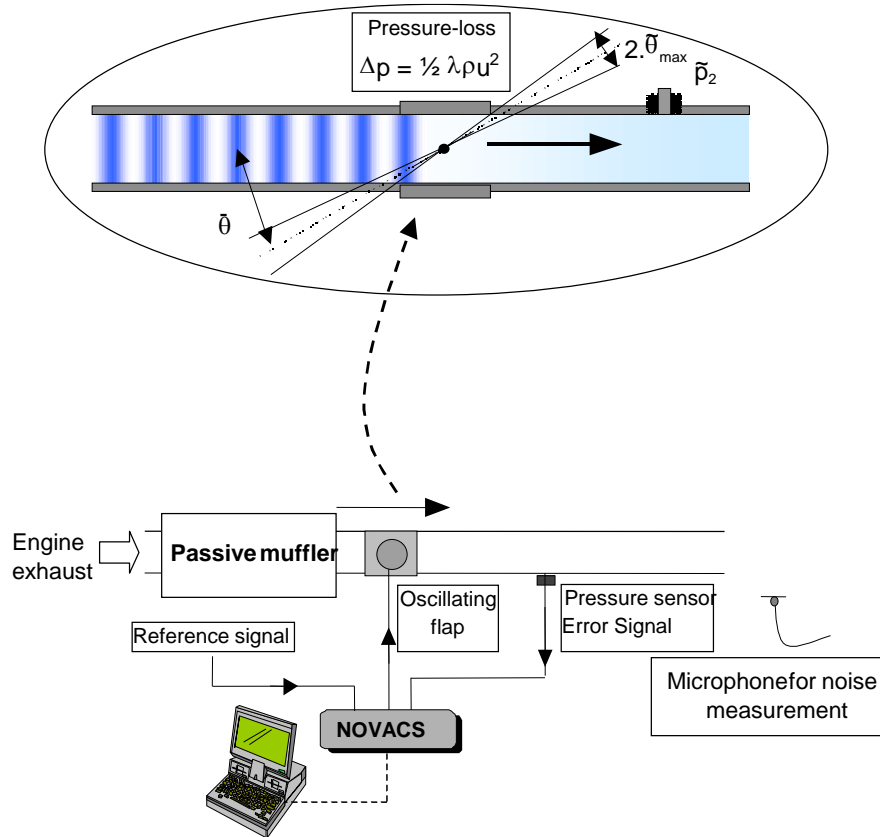
- 2 haut-parleurs (sono de bord améliorée)
- 3 microphones
- 1 contrôleur



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 : Echappement d'un moteur thermique

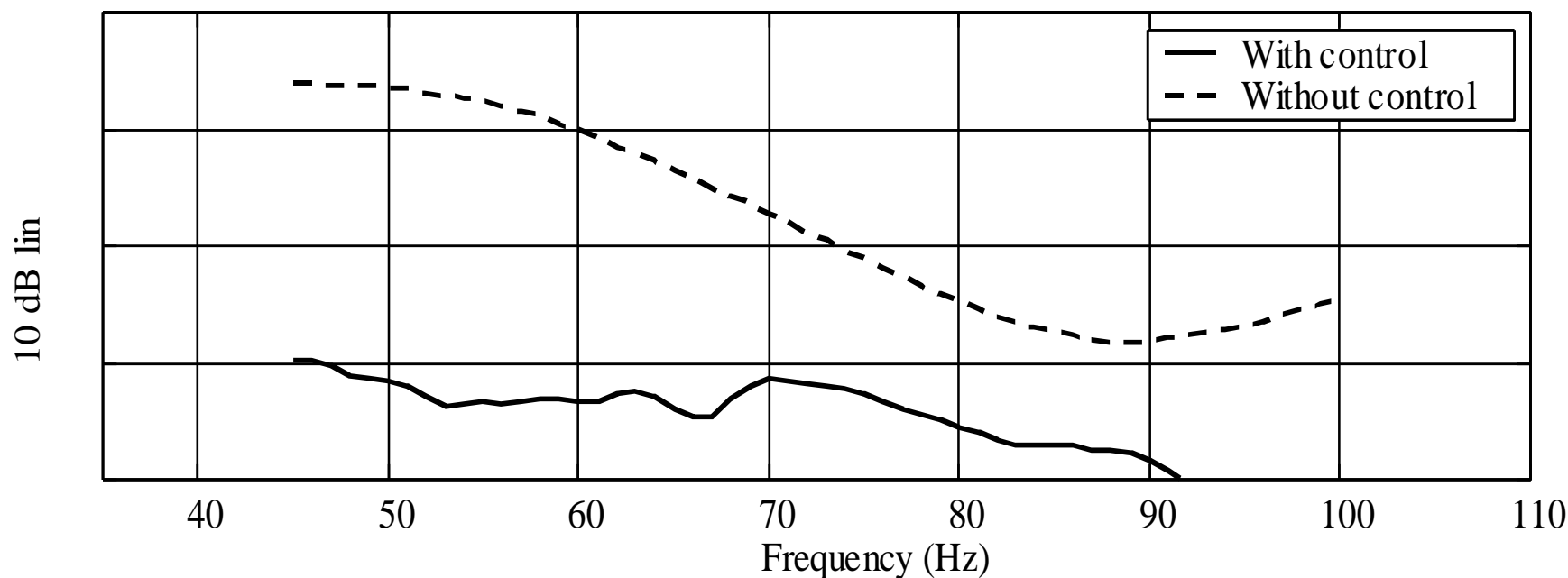


*Prototype pour
échappement automobile*

Principe du volet oscillant

Exemple d'application : Echappement d'un moteur thermique

*Results of experiments on a truck exhaust line (first harmonic)
Moteur 11 litres 6 cylindres
Control with varying engine speed (800 to 2000 rpm in 10 s)*



Limites du dispositif

- ✓ Perte de charge déjà prise pour dépollution et silencieux passif
- ✓ Prix
- ✓ Applications automobiles → Design sonore

Exemple d'application

Siège d'avion

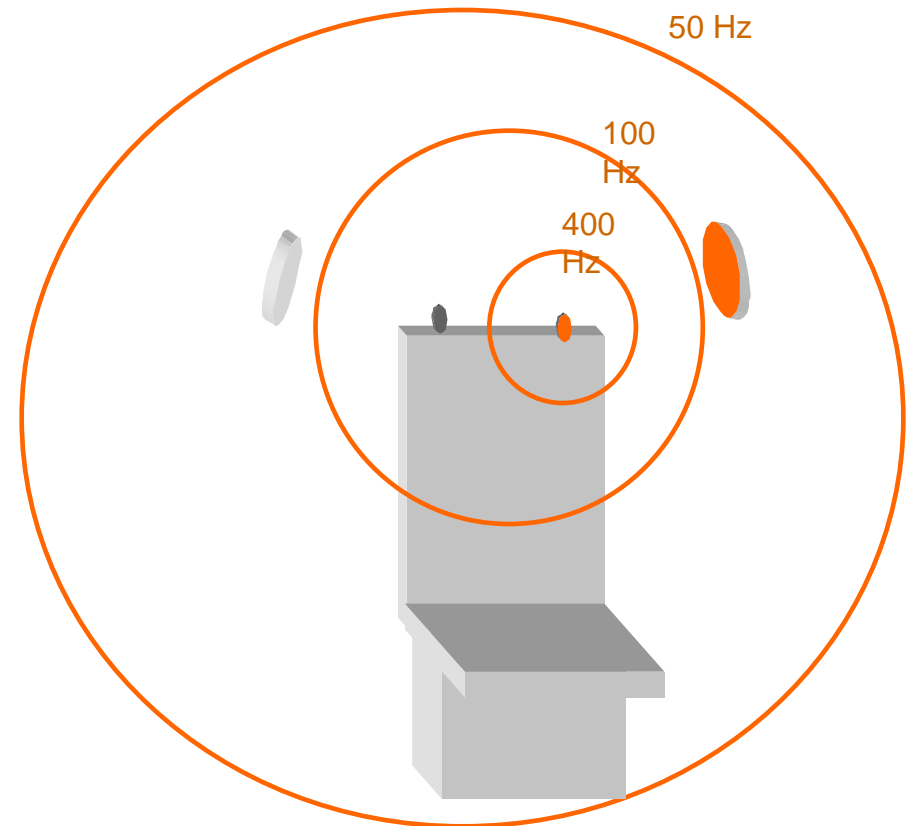
Création d'une « bulle de silence » dont les dimensions dépendent de :

- 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



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

Sensibilité de l'oreille humaine aux basses fréquences :

- ✓ Échelle dB avec pondération A : mal appropriée
- ✓ Echelle subjective de la sonie : bon indicateur de l'effet ressenti du contrôle actif

Effet de masquage des basses fréquences :

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

→ Possible ressenti d'une augmentation du bruit

Notion de fatigue :

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

Conclusions

Le rêve devient réalité lorsqu'il s'accorde avec la physique

Le casque anti-bruit actif

Traitement du mode bourdonnement d'un habitacle automobile

Sièges d'avion à hélices

Encoffrement de machines industrielles



→ **Protection efficace contre les nuisances vibroacoustiques basses fréquences**

Efficacité parfois difficile à démontrer : Perception et effets à long terme

Prix :

Electronique bon marché (systèmes à DSP, amplificateurs audio numériques (classe D), micros... *le prix, c'est l'actionneur*