

Cabine d'écoute pour l'étude de la perception aux Basses Fréquences

Adrien VIDAL,
Guy RABAU, Christophe LAMBOURG, Philippe HERZOG

■ **Spécificités des basses fréquences :**

- On « n'écoute » pas uniquement avec les tympans (conduction osseuse, vibrations, etc.)
- Seuil d'audition élevé (> 60 dB pour $f < 50$ Hz)
- Grandes longueur d'ondes (> 6 m pour $f < 50$ Hz)
- La diffusion de BF à fort niveau sur HP peut entraîner de la distorsion en HF audible

▪ **Spécificités des basses fréquences :**

- On « n'écoute » pas uniquement avec les tympans (conduction osseuse, vibrations, etc.)
- Seuil d'audition élevé (> 60 dB pour $f < 50$ Hz)
- Grandes longueur d'ondes (> 6 m pour $f < 50$ Hz)
- La diffusion de BF à fort niveau sur HP peut entraîner de la distorsion en HF audible

▪ **Dispositif d'écoute adapté à l'étude de la perception**

- Cabine d'écoute
 - Immersion au sein d'un champ acoustique
 - Les premiers modes sont à des fréquences « élevées »
 - Niveau reproduit plus élevé qu'en champ libre
- Dispositif complexe de haut-parleurs
 - Nombreux HP
 - HP de grandes dimensions

Introduction

I - Construction d'une cabine pour la perception du bang sonique

II - Application industrielle : perception du bruit des transports

III - Projet de cabine V2 : restitution du champ large bande

Conclusion

Introduction

I - Construction d'une cabine pour la perception du bang sonique

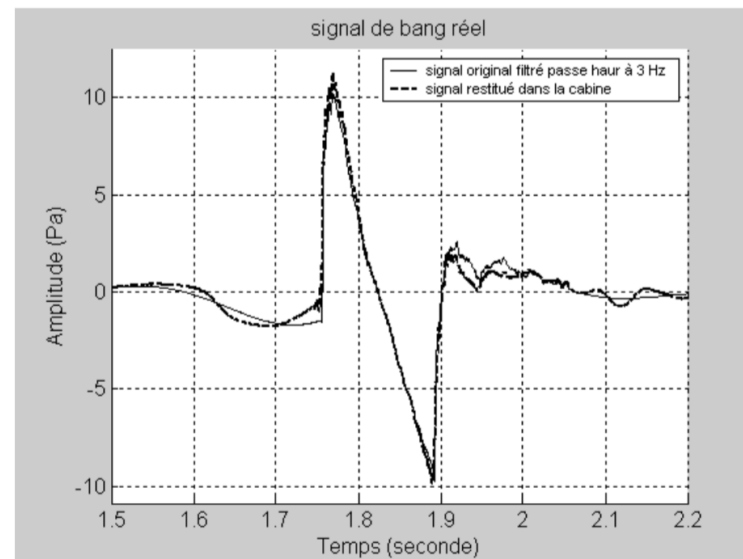
II - Application industrielle : perception du bruit des transports

III - Projet de cabine V2 : restitution du champ large bande

Conclusion

■ Caractéristiques du bang sonique

- Niveaux sonores élevés (jusqu'à 120 Pa)
- Contenu TBF important (entre 1 et 30 Hz)
- Fronts d'onde raides (entre 1 à 10 ms)
- Ondes en « U » et en « N »

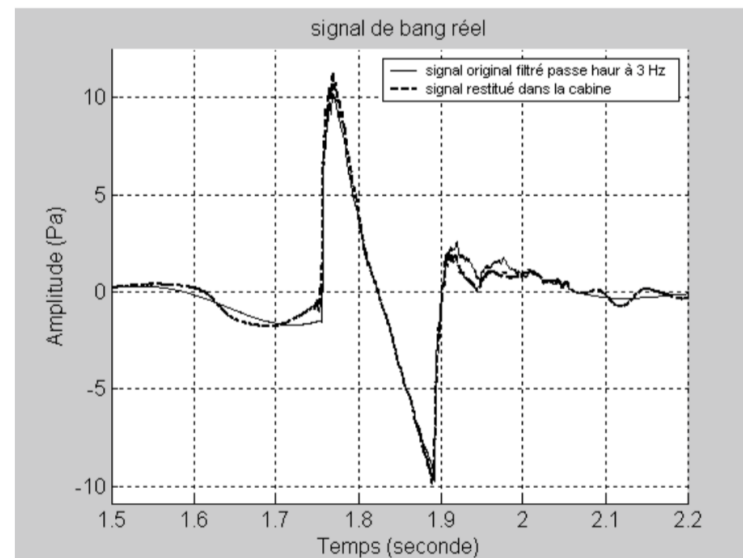


■ Caractéristiques du bang sonique

- Niveaux sonores élevés (jusqu'à 120 Pa)
- Contenu TBF important (entre 1 et 30 Hz)
- Fronts d'onde raides (entre 1 à 10 ms)
- Ondes en « U » et en « N »

■ Objectif : étude perceptive du bang

- Réalisation d'une cabine d'écoute BF
- Etude perceptive du bang : sonie et gêne
- Reproduction sonore limitée à 110 dB à 3 Hz (protection des auditeurs)



■ Choix du haut-parleur

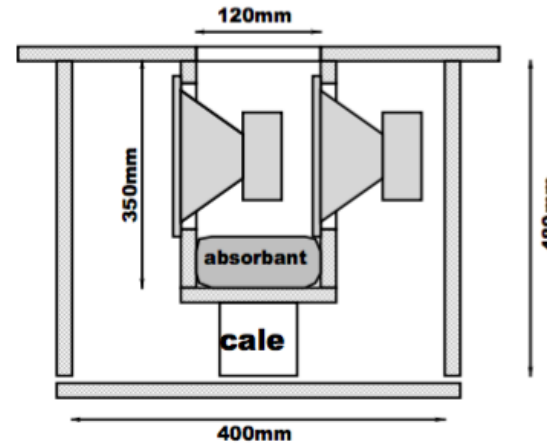
- Diamètre 30 cm (Audax HT 300 G0)
- Permet de générer 80 dBSPL entre 3 Hz et 200 Hz sans distorsion majeure
- 32 HP permettent de générer 110 dBSPL

■ Choix du haut-parleur

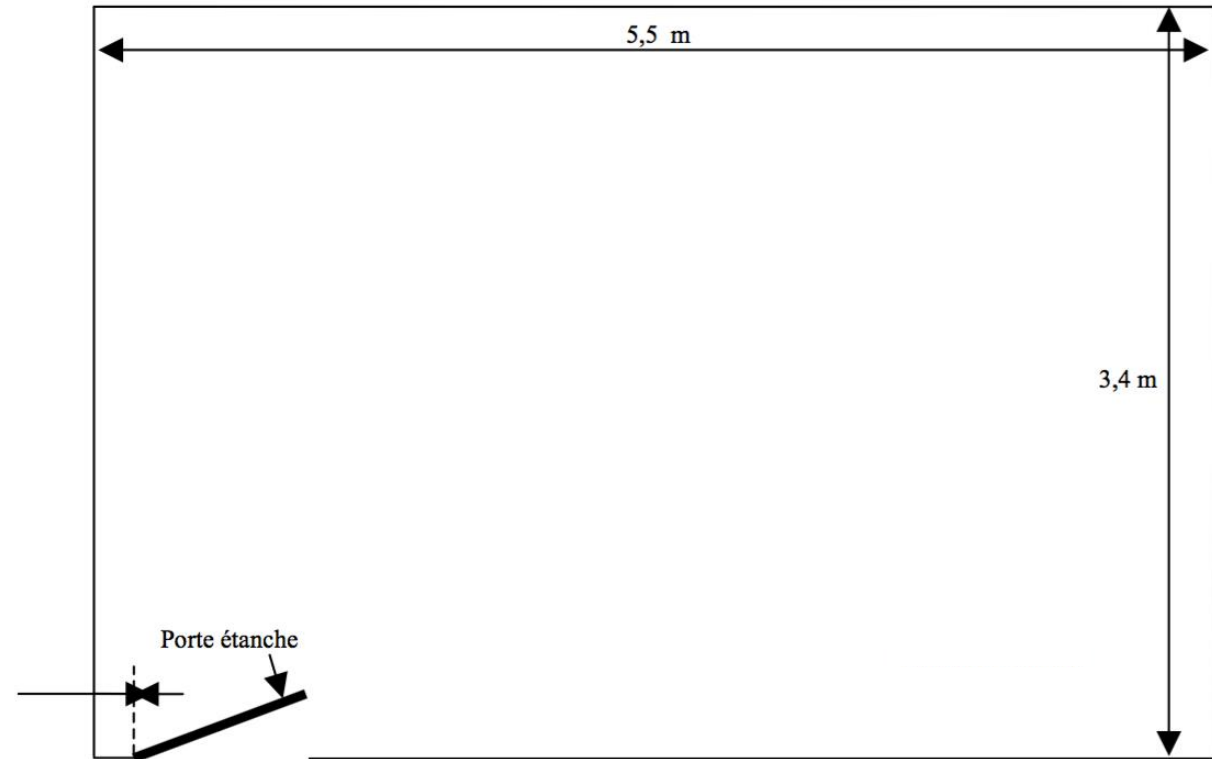
- Diamètre 30 cm (Audax HT 300 G0)
- Permet de générer 80 dBSPL entre 3 Hz et 200 Hz sans distorsion majeure
- 32 HP permettent de générer 110 dBSPL

■ Géométrie des enceintes

- Configuration en push-pull
- 55 L de charge acoustique



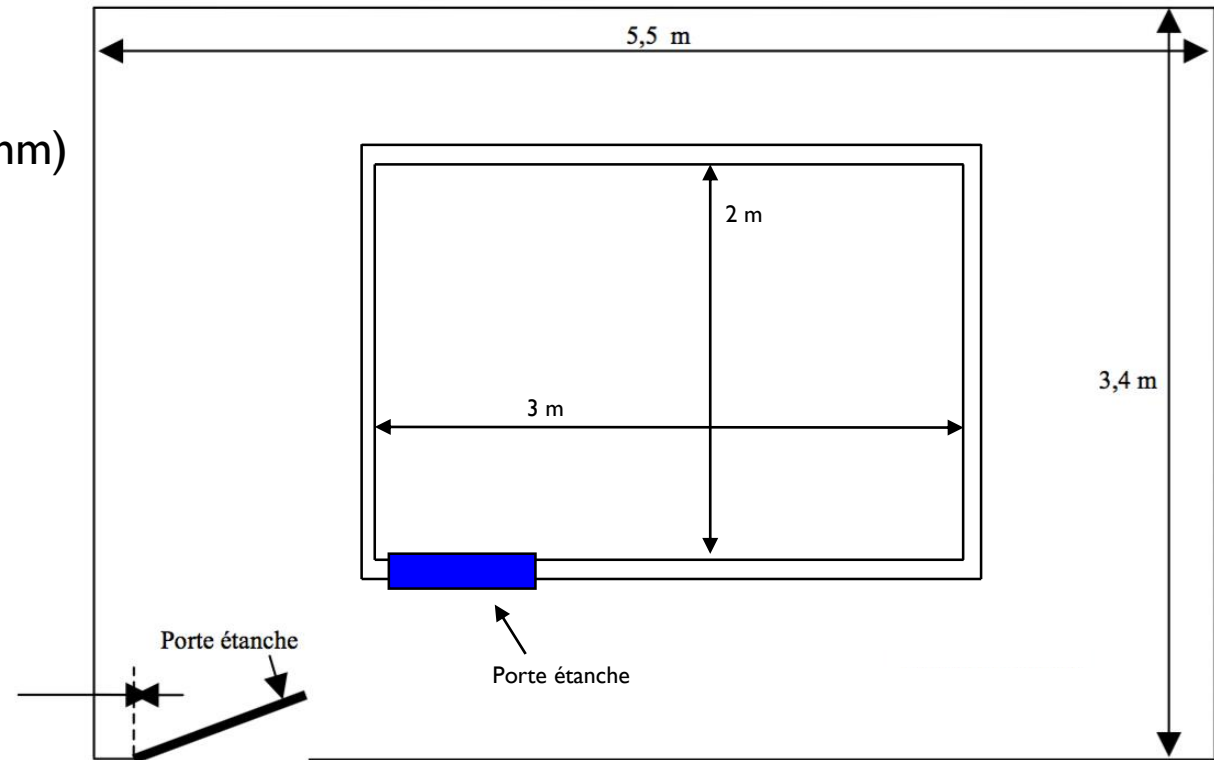
■ Ancienne cabine audiométrique



- **Ancienne cabine audiométrique**

- **Cabine 3 x 2 x 2 m**

- Siporex 7cm
- Laine de roche (80 mm et 50 mm)
- Vide d'air

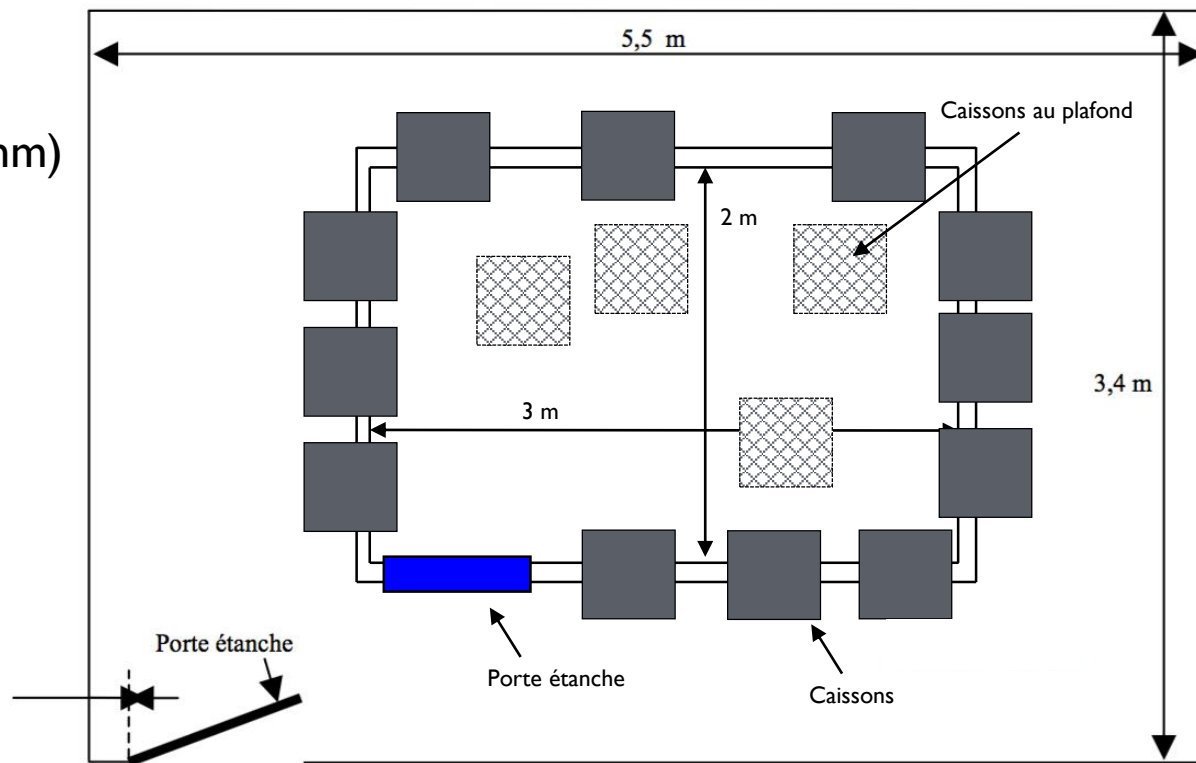


- **Ancienne cabine audiométrique**

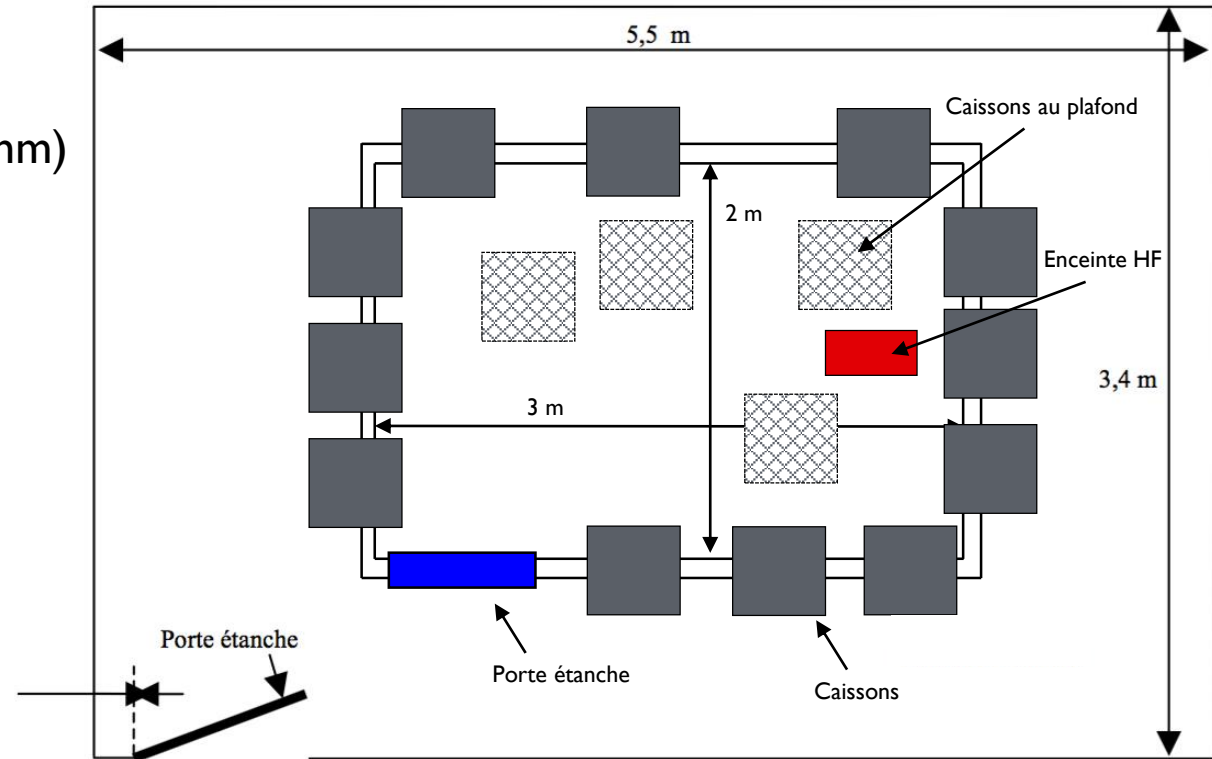
- **Cabine 3 x 2 x 2 m**

- Siporex 7cm
- Laine de roche (80 mm et 50 mm)
- Vide d'air

- **16 caissons**



- **Ancienne cabine audiométrique**
- **Cabine 3 x 2 x 2 m**
 - Siporex 7cm
 - Laine de roche (80 mm et 50 mm)
 - Vide d'air
- **16 caissons**
- **Enceinte HF (Tannoy 600)**



- **Ancienne cabine audiométrique**

- **Cabine 3 x 2 x 2 m**

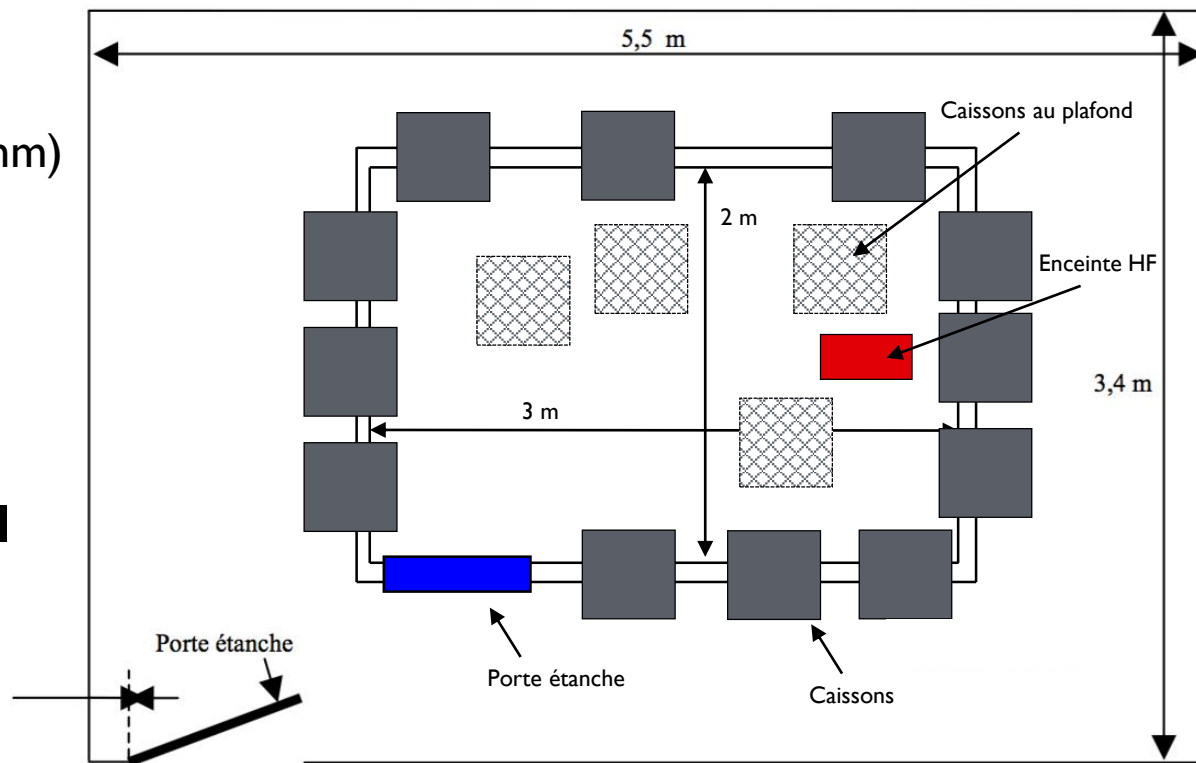
- Siporex 7cm
- Laine de roche (80 mm et 50 mm)
- Vide d'air

- **16 caissons**

- **Enceinte HF (Tannoy 600)**

- **Egalisation à partir d'une RI**

- Filtre FIR 320 ms en BF
- Filtre FIR 23 ms en HF



- **Ancienne cabine audiométrique**

- **Cabine 3 x 2 x 2 m**

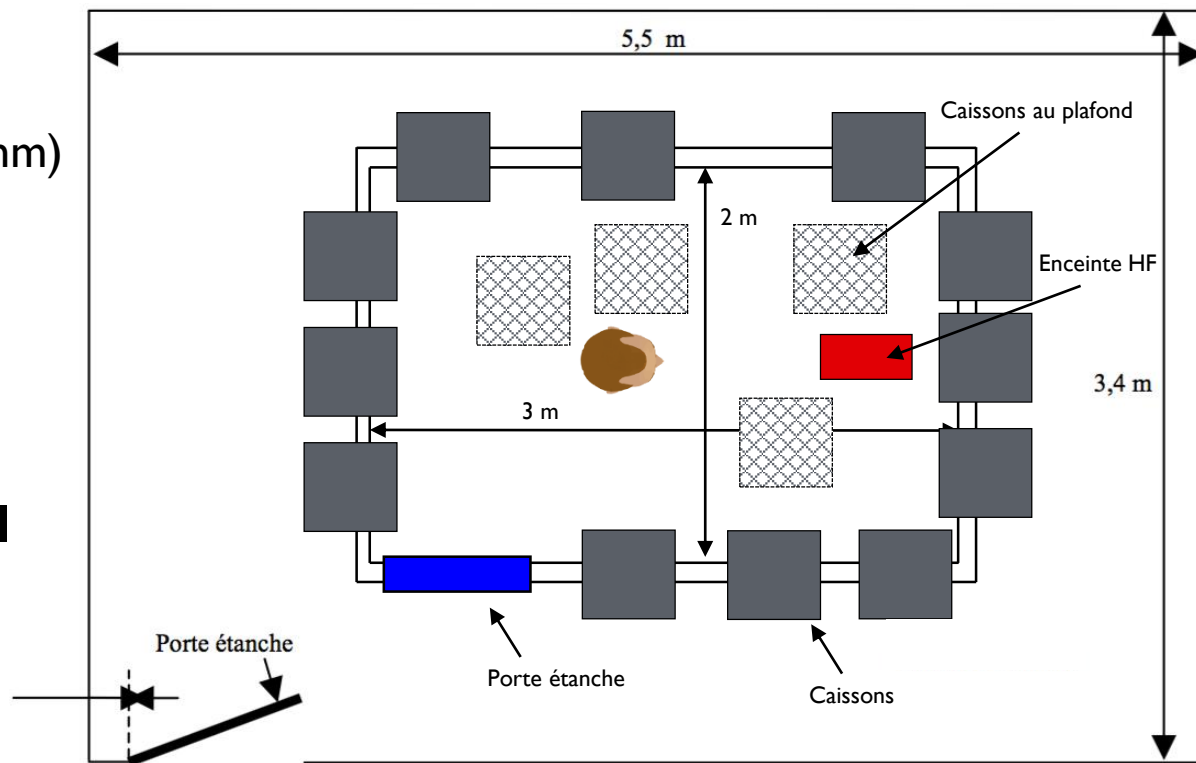
- Siporex 7cm
- Laine de roche (80 mm et 50 mm)
- Vide d'air

- **16 caissons**

- **Enceinte HF (Tannoy 600)**

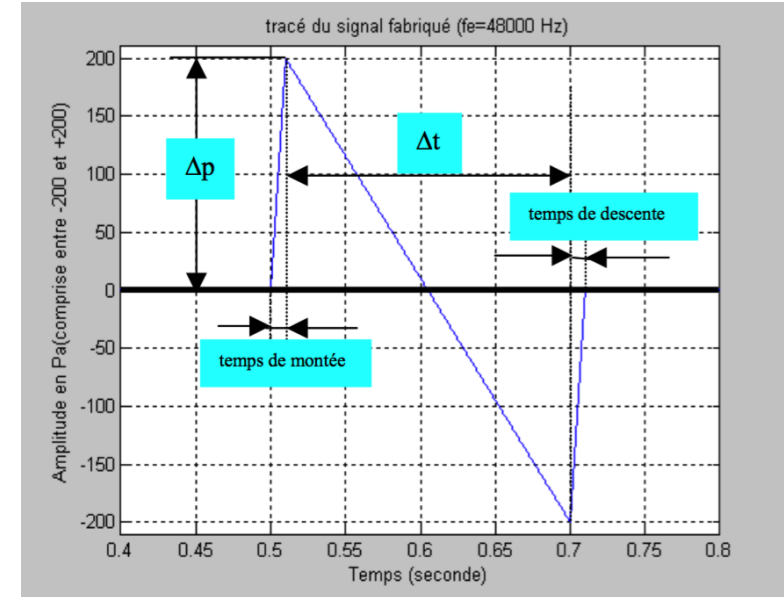
- **Egalisation à partir d'une RI**

- Filtre FIR 320 ms en BF
- Filtre FIR 23 ms en HF



▪ Choix des sons (de synthèse)

- Type d'onde (U et N)
- Niveau crête Δp (de 85 à 110 dB)
- Temps de montée t_m (de 0,1 à 25 ms)
- Temps interpic Δt (de 75 à 500 ms)

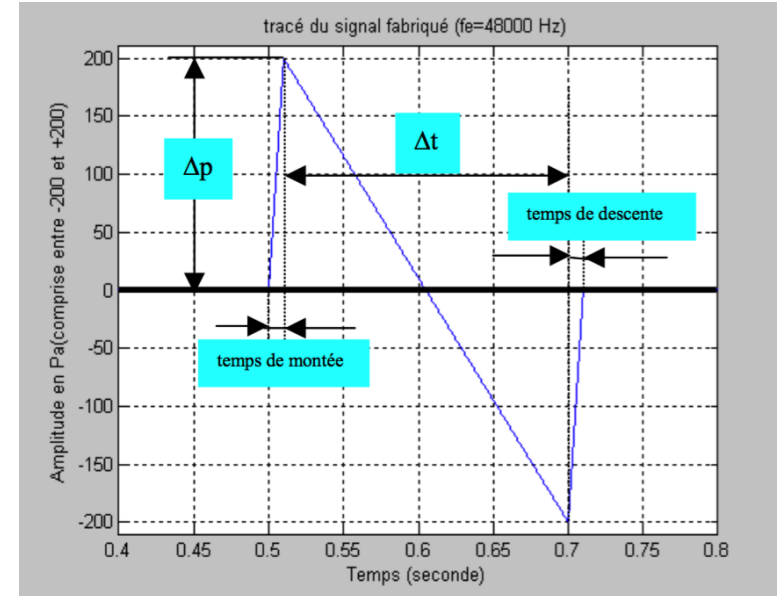


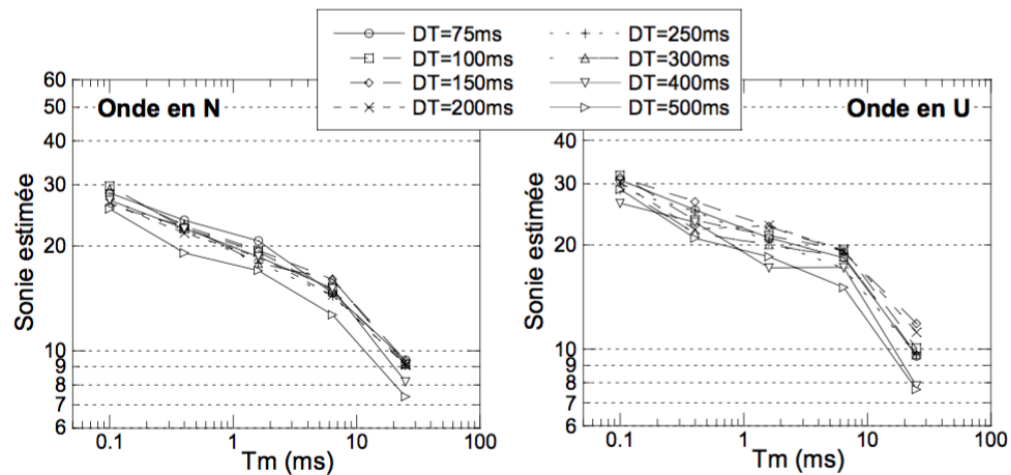
▪ Choix des sons (de synthèse)

- Type d'onde (U et N)
- Niveau crête Δp (de 85 à 110 dB)
- Temps de montée t_m (de 0,1 à 25 ms)
- Temps interpic Δt (de 75 à 500 ms)

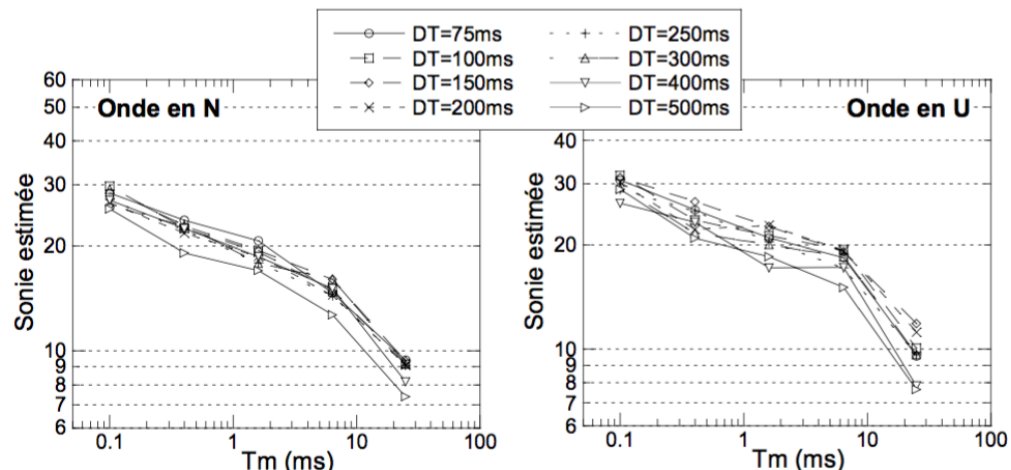
▪ 3 tests perceptifs

- Mesure de la gêne et de la sonie à Δp constant
- Tracé d'une fonction de sonie
- Mesure de la gêne avec/sans TBF

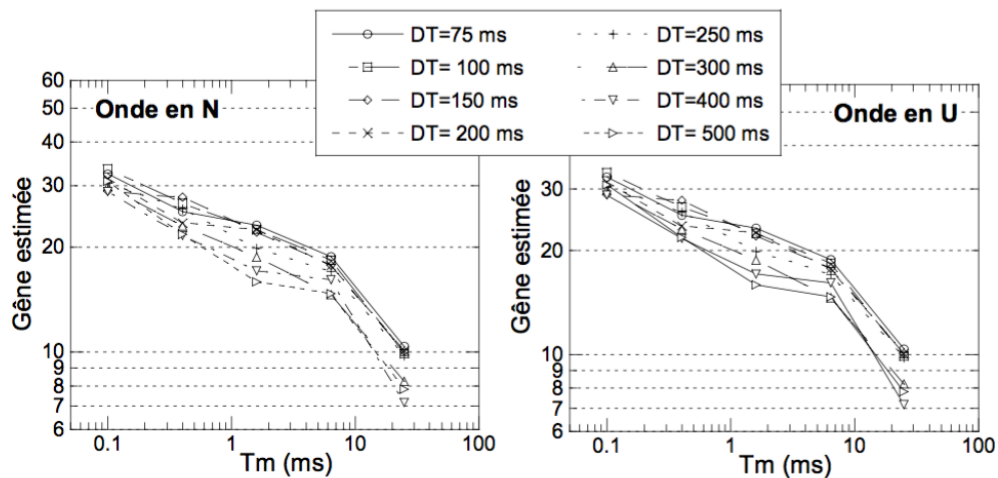




- Perception similaire ondes N et U



- Perception similaire ondes N et U



- La gêne varie avec la sonie

Introduction

I - Construction d'une cabine pour la perception du bang sonique

II - Application industrielle : perception du bruit des transports

III - Projet de cabine V2 : restitution du champ large bande

Conclusion

■ Contexte

- Collaboration RATP et SNCF
- Caractérisation de la gêne riverain due aux bruits des transports en TBF
- 2 Hz – 200 Hz
- Bruits de natures diverses :
 - Impacts des pneus de bus sur des défauts de voirie
 - Passage RER, métro
 - Poste de redressement

■ **Contexte**

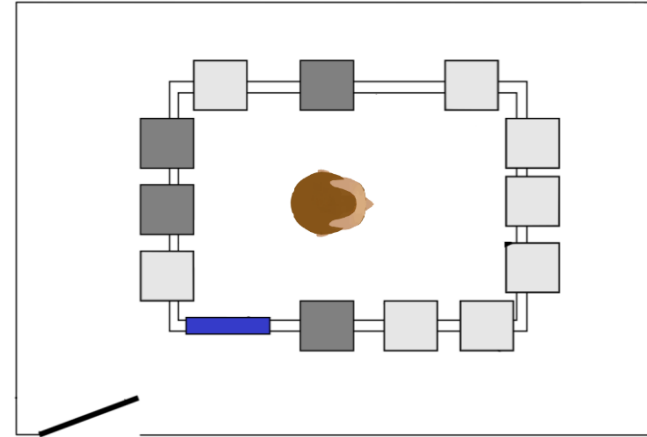
- Collaboration RATP et SNCF
- Caractérisation de la gêne riverain due aux bruits des transports en TBF
- 2 Hz – 200 Hz
- Bruits de natures diverses :
 - Impacts des pneus de bus sur des défauts de voirie
 - Passage RER, métro
 - Poste de redressement

■ **Etude perceptive**

- Mesure du seuil d'audibilité de bruit des transports
- Adaptation de la cabine

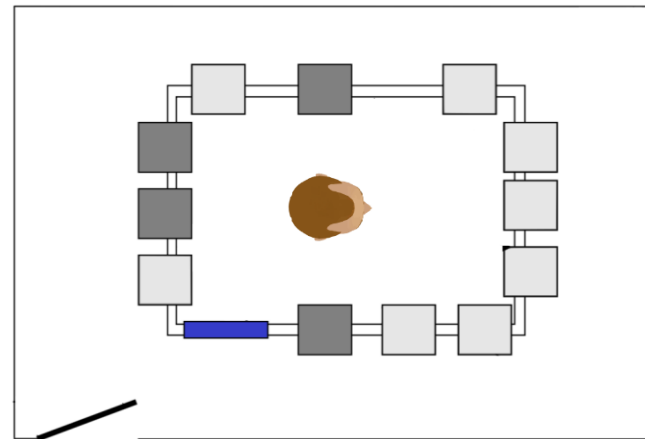
- **Utilisation de 4 caissons**

- Niveau sonore suffisant pour l'étude
- Minimise le bruit de fond



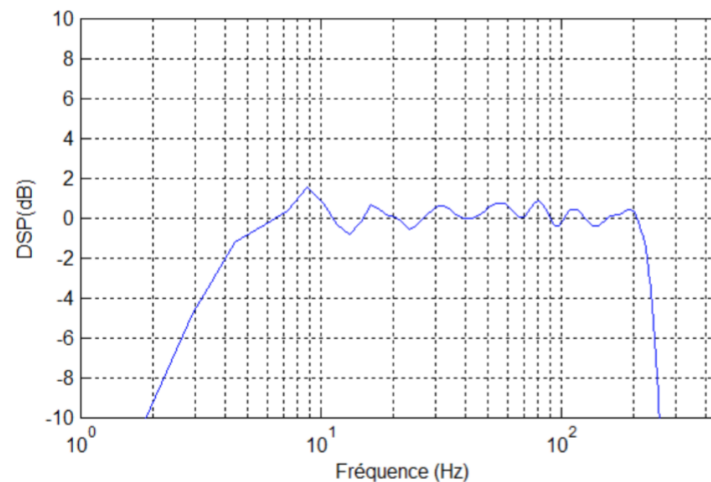
■ Utilisation de 4 caissons

- Niveau sonore suffisant pour l'étude
- Minimise le bruit de fond



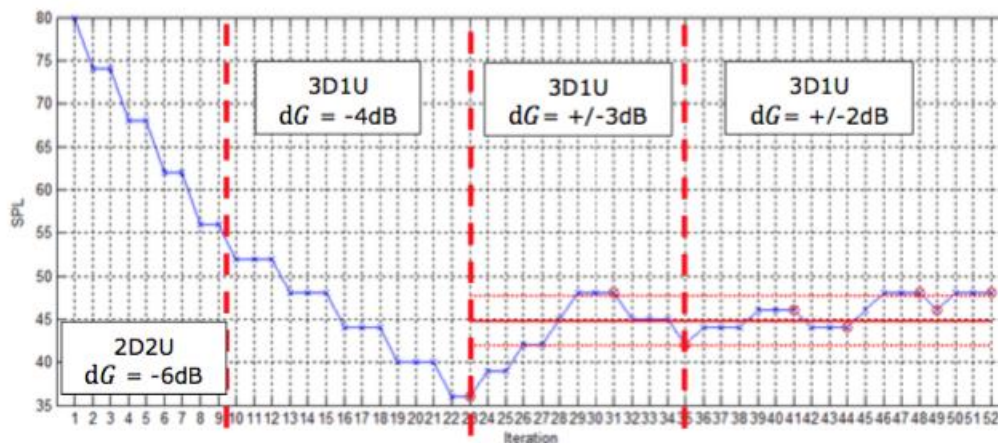
■ Egalisation du système

- 2 points d'écoute (~ les oreilles)
- 4 filtres FIR
- +/-2 dB [4 Hz – 200 Hz]



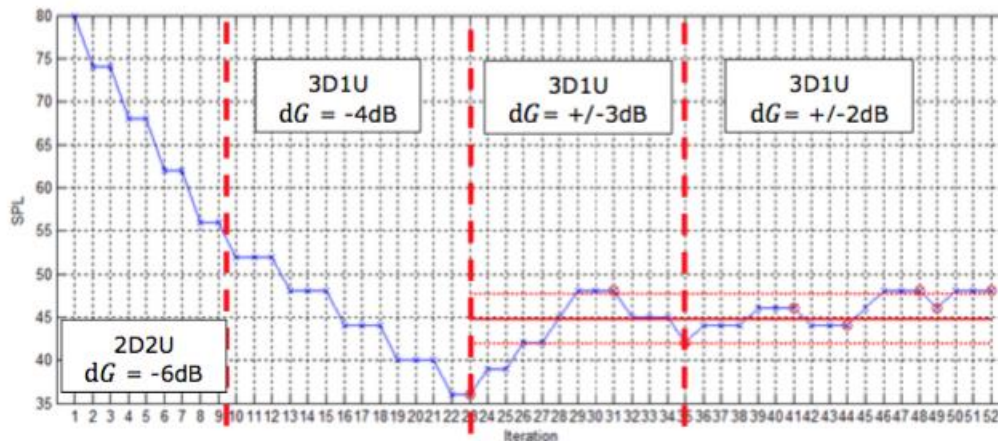
■ Test perceptif

- Mesure du seuil d'audibilité
- Mesure adaptative



■ Test perceptif

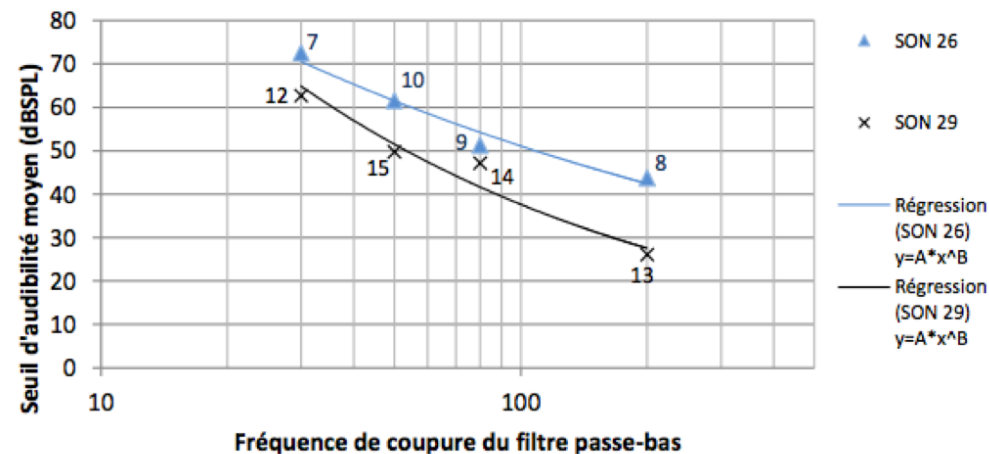
- Mesure du seuil d'audibilité
- Mesure adaptative



■ Préparation de 16 sons

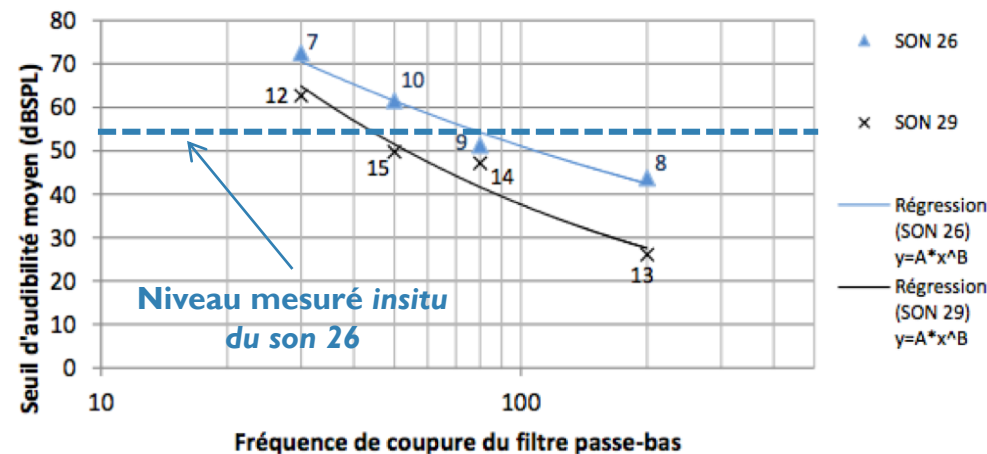
- Enregistrements de passages de bus/train chez les riverains
- 1 signal étalon : sinus 40 Hz
- 2 séries de signaux filtrés passe-bas à 200, 80, 50 et 30 Hz
- Tous les signaux filtrés passe-bas à 200 Hz et passe-haut à 2 Hz

- **Influence du filtrage passe-bas**
 - Seuil diminue quand fréquence augmente



■ Influence du filtrage passe-bas

- Seuil diminue quand fréquence augmente
- Pour $f_c < 50$ Hz, Son26
 - seuil > niveau mesuré *insitu*
 - Composantes TBF peu audibles

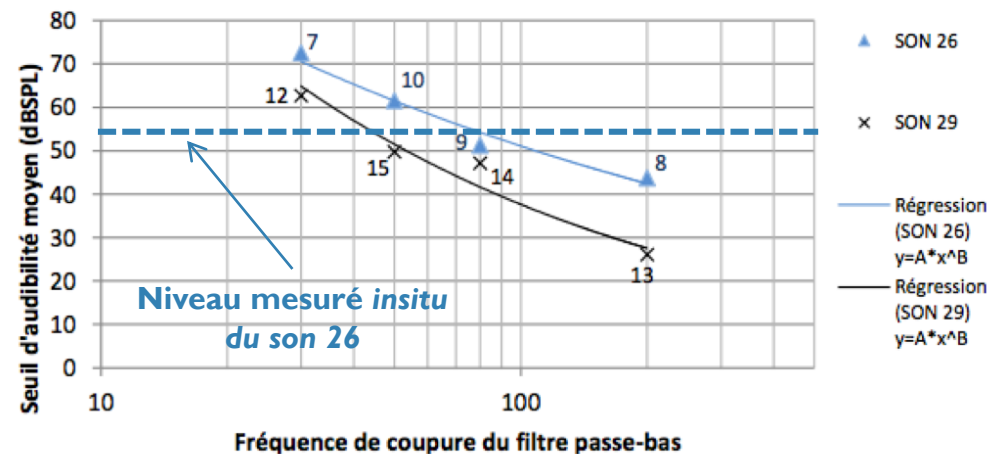


■ Influence du filtrage passe-bas

- Seuil diminue quand fréquence augmente
- Pour $f_c < 50$ Hz, Son26
 - seuil > niveau mesuré *insitu*
 - Composantes TBF peu audibles

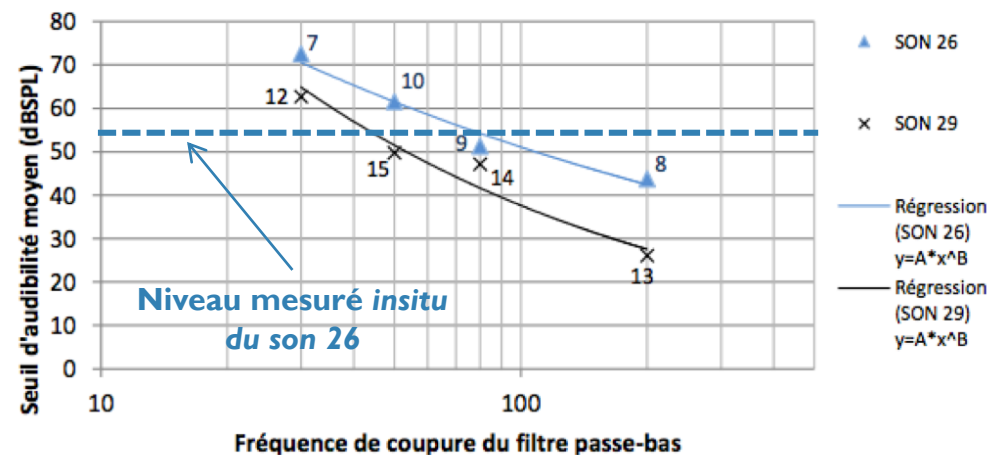
■ Calcul d'indicateurs

- Niveaux pondérés (Z, A, C, G)
- Modèles de sonie (Moore et ISO 532B)



■ Influence du filtrage passe-bas

- Seuil diminue quand fréquence augmente
- Pour $f_c < 50$ Hz, Son26
 - seuil $>$ niveau mesuré *insitu*
 - Composantes TBF peu audibles



■ Calcul d'indicateurs

- Niveaux pondérés (Z, A, C, G)
- Modèles de sonie (Moore et ISO 532B)

■ Corrélation avec résultats expérimentaux

- $\rho_{\text{Spearman}} = 0.97$ pour modèles de sonie (niveau max)
- $\rho_{\text{Spearman}} = 0.95$ pour niveau max avec pondération A

Introduction

I - Construction d'une cabine pour la perception du bang sonique

II - Application industrielle : perception du bruit des transports

III - Projet de cabine V2 : restitution du champ large bande

Conclusion

■ Hypothèses

- Aux HF : champ direct + diffraction par les parois
- Aux BF : champ modal qui s'écrit :

$$p(r) = A. \sum_N \frac{\phi_N(r_0)\phi_N(r)}{k_N^2 - k^2}$$

r_0 : position de la source

ϕ_N : mode d'ordre N

k_N : nombre d'onde propre associé
au mode d'ordre N

■ Hypothèses

- Aux HF : champ direct + diffraction par les parois
- Aux BF : champ modal qui s'écrit :

$$p(r) = A. \sum_N \frac{\phi_N(r_0)\phi_N(r)}{k_N^2 - k^2}$$

r_0 : position de la source

ϕ_N : mode d'ordre N

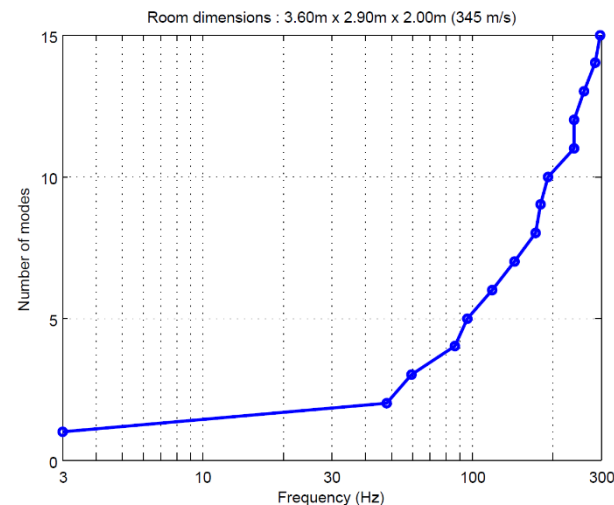
k_N : nombre d'onde propre associé
au mode d'ordre N

■ Terme au dénominateur joue le rôle de filtre passe haut

- Un mode est évanescent en dessous de sa fréquence de coupure f_N ($k_N = \frac{2\pi f_N}{c}$)
- Sa contribution n'est sensible qu'en champ proche
- => Il est possible de tronquer la série aux N modes non évanescents

■ Fréquences de coupure

- Dépendent des dimensions de la pièce
- Aux TBF (< 30 Hz), mode « isobare »
- Nombre de modes croît avec la fréquence

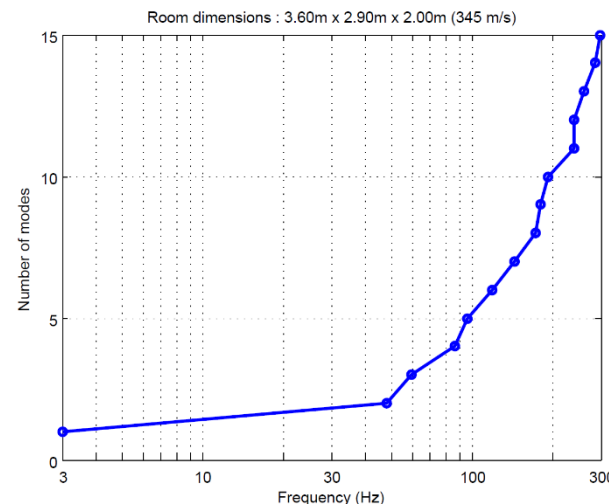


■ Fréquences de coupure

- Dépendent des dimensions de la pièce
- Aux TBF (<30 Hz), mode « isobare »
- Nombre de modes croît avec la fréquence

■ Combinaison linéaire des N termes de la série

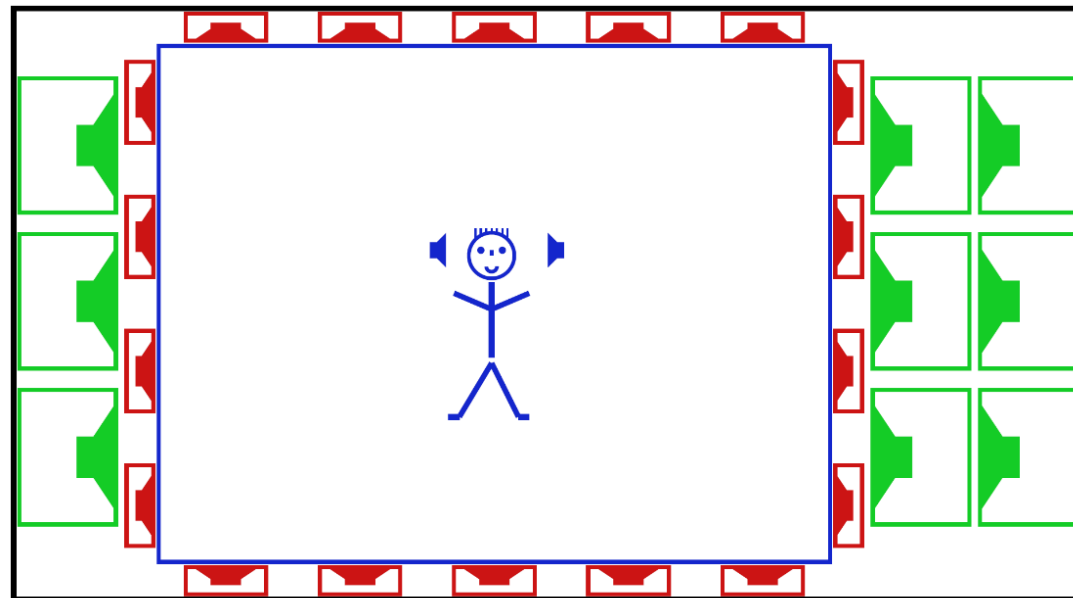
- Résulte de la position des HP (termes $\phi(r_0)$)
la position des points de mesure (termes $\phi(r)$)
- S'il y a + que N HP, leur rayonnement reste décrit par N termes et la matrice est dégénérée
- Si on pilote le système avec M micros ($M < N$), le rang de la matrice décroît à M



■ 32 caissons « TBF »



- ElectroVoice modifiés
- De 3Hz à 40 Hz
- 124 dBSPL à 20 Hz
- Pilotés par un seul canal (mode isobare)

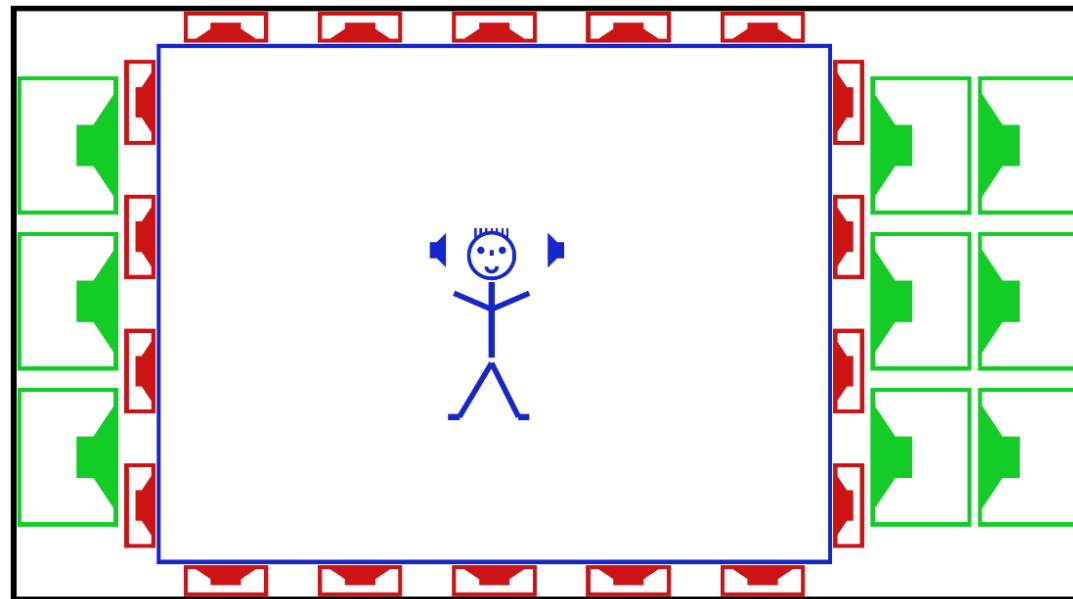


■ 32 caissons « TBF »

- ElectroVoice modifiés
- De 3Hz à 40 Hz
- 124 dBSPL à 20 Hz
- Pilotés par un seul canal (mode isobare)

■ 20 caissons « BF »

- Répartis sur 6 parois
- Contrôle des modes non-evanescents
- De 40 Hz à 400 Hz

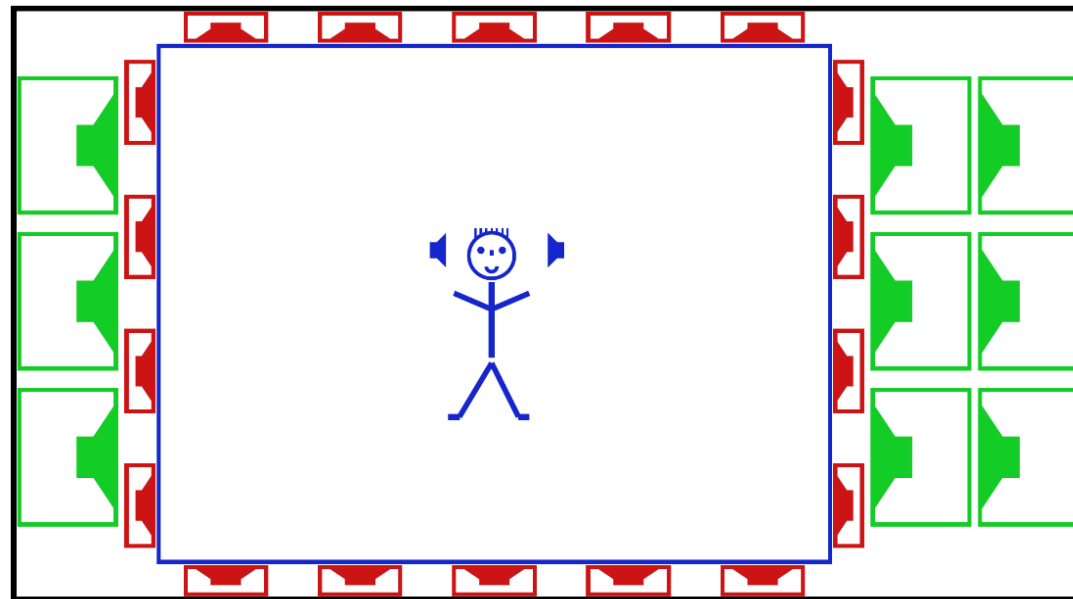


■ 32 caissons « TBF »

- ElectroVoice modifiés
- De 3Hz à 40 Hz
- 124 dBSPL à 20 Hz
- Pilotés par un seul canal (mode isobare)

■ 20 caissons « BF »

- Répartis sur 6 parois
- Contrôle des modes non-evanescents
- De 40 Hz à 400 Hz



■ Reste du spectre : systemes audios « conventionnels »

■ **Synthèse 3D dans une cabine**

- Comment minimiser l'influence acoustique de la salle ?
- Utilisation d'un faible nombre de canaux

■ **Placement des sources en proximité de l'auditeur**

- Recherche d'un compromis de placement des sources
- Définition de critères objectifs basés sur des tests perceptifs
- Rendu sonore simulé et comparaison de configurations transaurales (2 HP)

- **Calcul de filtres**

- Mesures anéchoïques avec support
- Tête artificielle



- **Calcul de filtres**
 - Mesures anéchoïques avec support
 - Tête artificielle
- **Egalisation *in situ* et individuelle**
 - Prise en compte de l'effet de salle
 - Prise en compte de la diffraction individuelle



- **Conception d'une cabine permettant l'étude de la perception des BF**
 - Perception du bang sonique : fort niveaux en TBF
 - Perception du bruit des transports

- **Projet de nouvelle cabine large-bande**
 - Pilotage par bandes de fréquences (densité modale)
 - En TBF : mode isobare
 - En BF : pilotage multi-canal
 - Au-delà : système 3D optimisé

Merci pour votre attention !

Merci aux co-auteurs

Guy RABAU	(LMA)
Christophe LAMBOURG	(Genesis)
Philippe HERZOG	(LMA)