



Égalisation - par filtrage dans le temps et par gamme de fréquences -  
d'auralisations d'acoustique du bâtiment basées sur le champ sonore

# Programme

- Auralisation (acoustique du bâtiment) chez gae
- Système d'auralisation
- Égalisation et calibrage du système

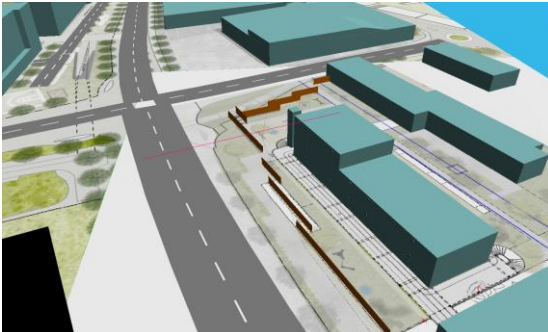
# Programme

- Auralisation (acoustique du bâtiment) chez gae

# Gartenmann Engineering

acoustique

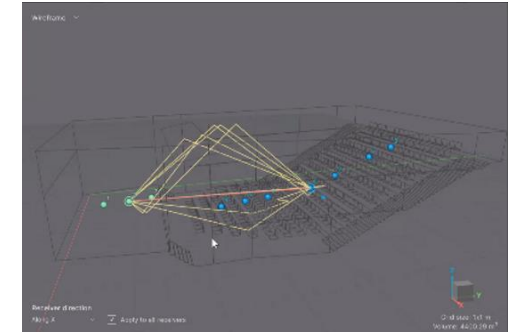
Protection contre le bruit  
extérieur



acoustique du bâtiment



acoustique des salles



# Auralisation (acoustique du bâtiment) chez gae

Protection contre le bruit  
extérieur

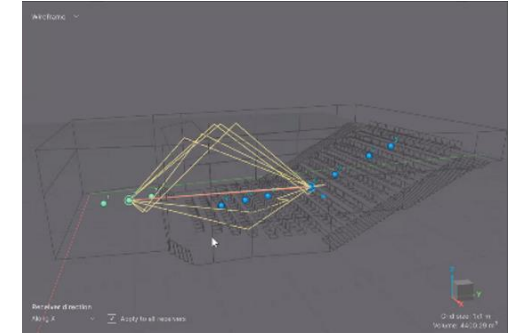


Auralisation des espaces  
extérieurs  
Aménagement de l'espace  
sonore  
A ce jour, premières  
demandes sur cette  
thématique

acoustique du bâtiment



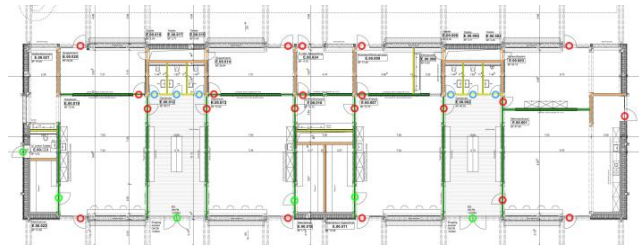
acoustique des salles



Auralisations d'acoustique  
des salles  
De plus en plus fréquentes  
Avec des programmes de  
simulation d'acoustique de  
salles comme CATT ou  
Treble.tech

# Auralisation (acoustique du bâtiment) chez gae

acoustique du bâtiment



Pourquoi l'auralisation acoustique des bâtiments ?

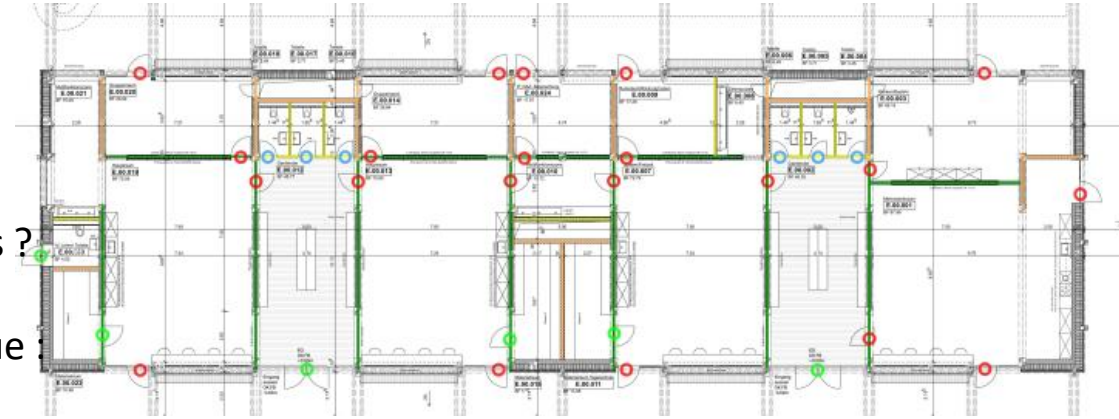
La demande la plus importante, resp. un grand potentiel pour d'avantage de compréhension pour nos clients lors de leurs phases de planification

# Auralisation (acoustique du bâtiment) chez gae

acoustique du bâtiment

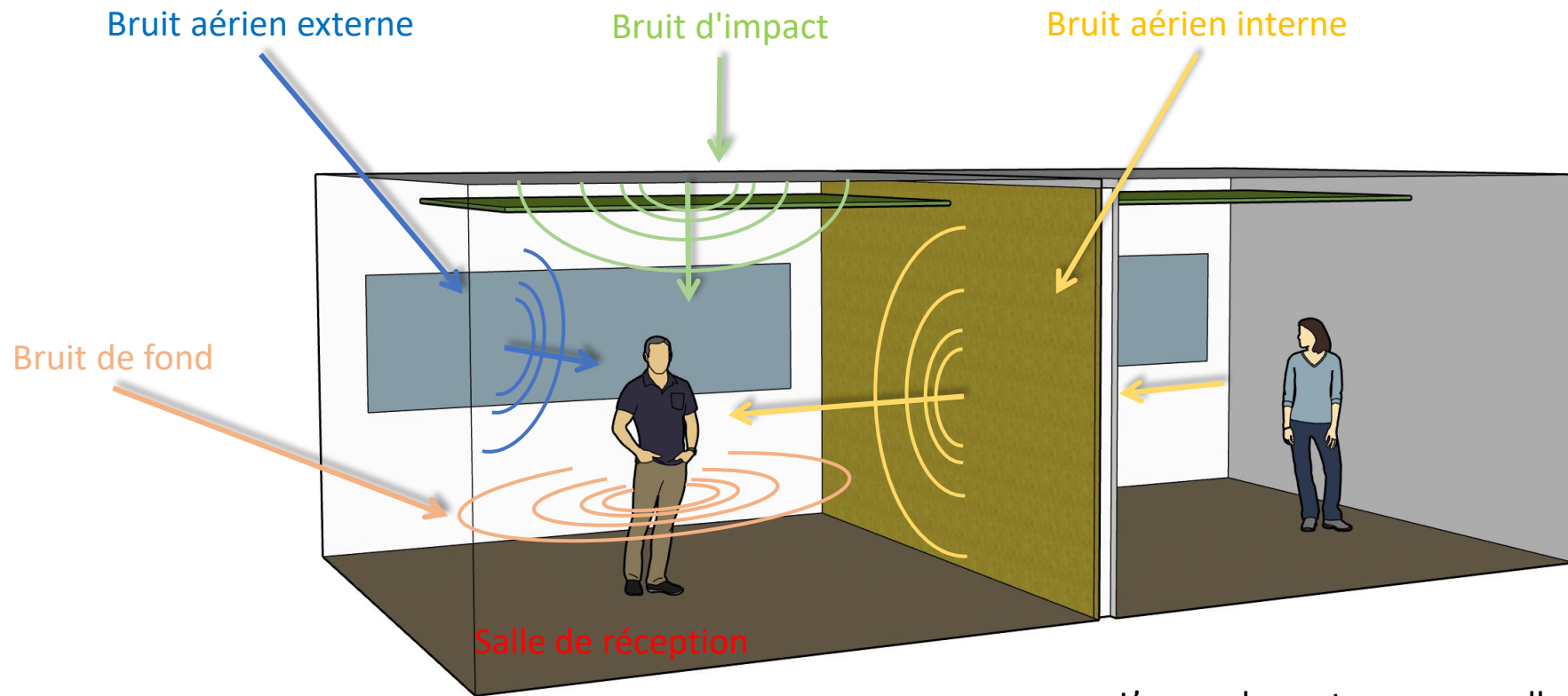
Pourquoi l'auralisation acoustique des bâtiments ?

Grande valeur ajoutée sur des questions telles que :



- *À quoi correspond un bruit de ventilation de 35 dB(A), ou un doublement d'une source de bruit ?*
  - *Que signifie un affaiblissement des bruits aériens de 35 dB, 40 dB ou 45 dB ?*
    - *Que signifie la discrétion acoustique ?*
- *Quel effet est perçu par les différents types de structures: construction légère, maçonnerie, construction massive ?*
- *Qu'est-ce qui caractérise le bruit de choc, et à quel effet est perçu par les différentes structures ?*

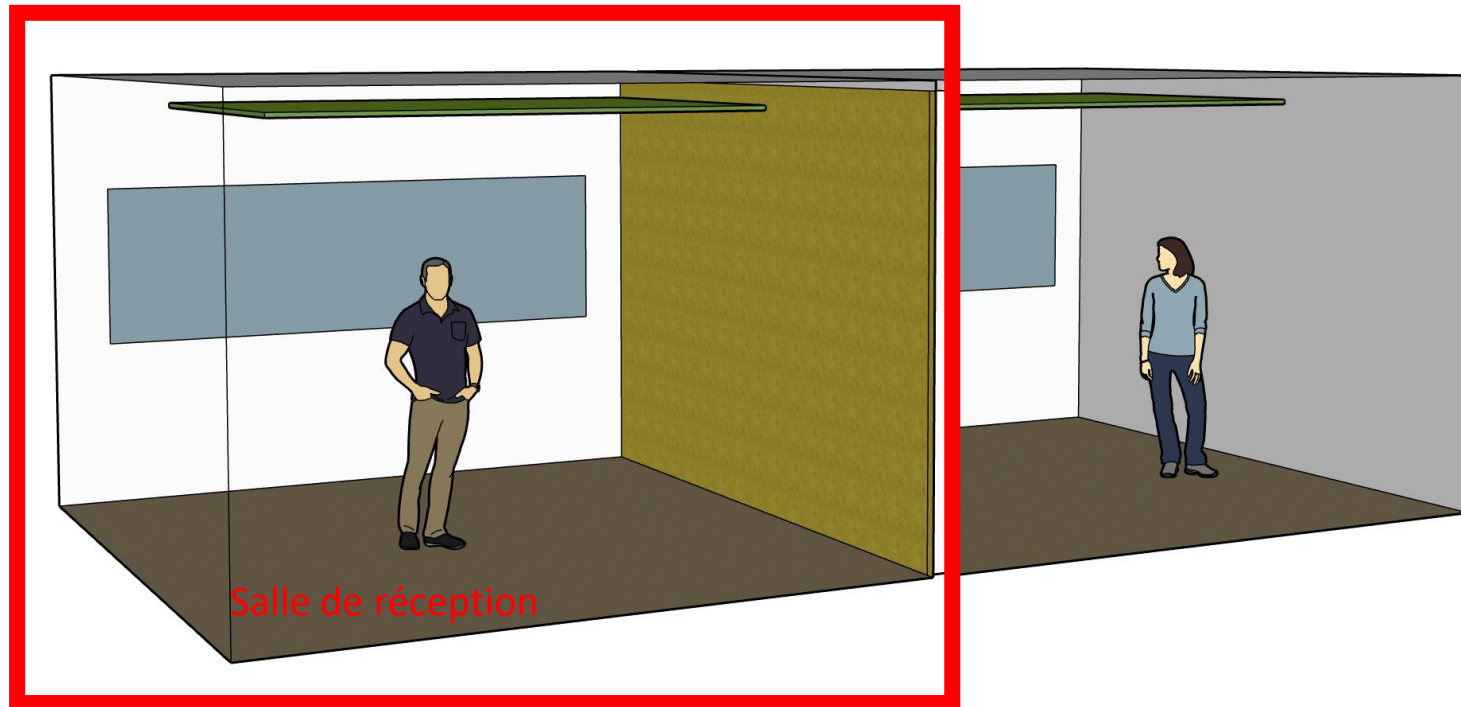
# Auralisation (acoustique du bâtiment) chez gae



L'exemple porte sur une salle de réception dans un bâtiment

# Auralisation (acoustique du bâtiment) chez gae

Auralisation dans la salle  
de réception



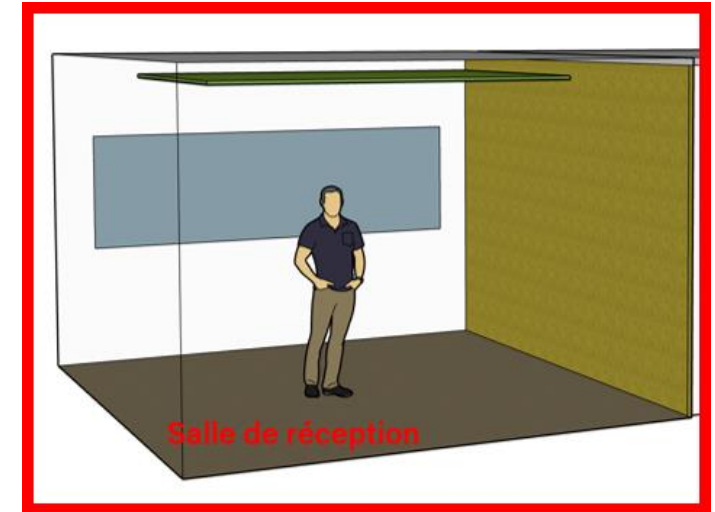
# Programme

- Auralisation (acoustique du bâtiment) chez gae
- Système d'auralisation

# Système d'auralisation

Conditions pour le système «Salle» :

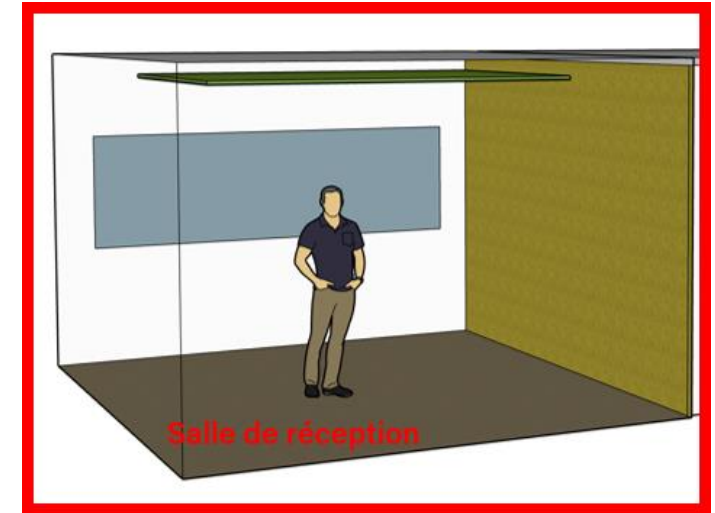
- proche de la réalité, y compris visuellement, un « bureau standard »
- plutôt que dans un « studio d'enregistrement »
- plutôt qu'avec des écouteurs
- il doit être possible de discuter ensemble



# Système d'auralisation

Conditions pour le système «Salle» :

- proche de la réalité, y compris visuellement, un « bureau standard »
- plutôt que dans un « studio d'enregistrement »
- plutôt qu'avec des écouteurs
- il doit être possible de discuter ensemble



# Systeme d'auralisation



Des haut-parleurs de surface qui excitent le mur derrière des panneaux Sterso non remplis d'Acoutech

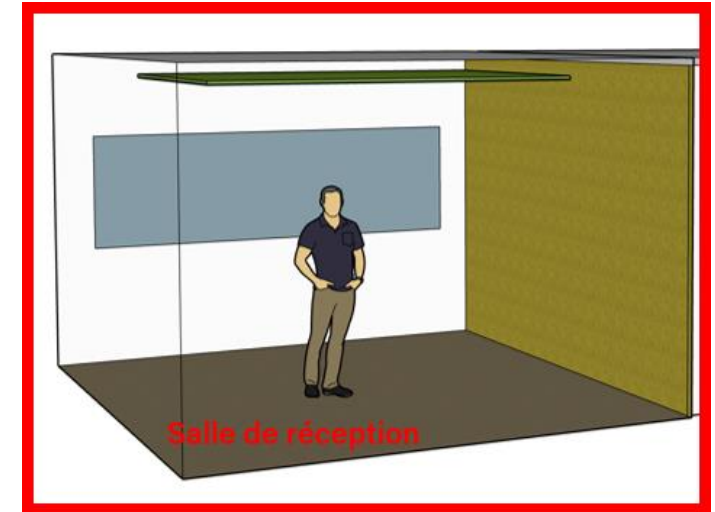
Haut-parleur pour la reproduction des signaux d'excitation comme dans la salle d'émission (à titre de comparaison)

Cette configuration permet une auralisation basée sur le champ sonore.

# Système d'auralisation

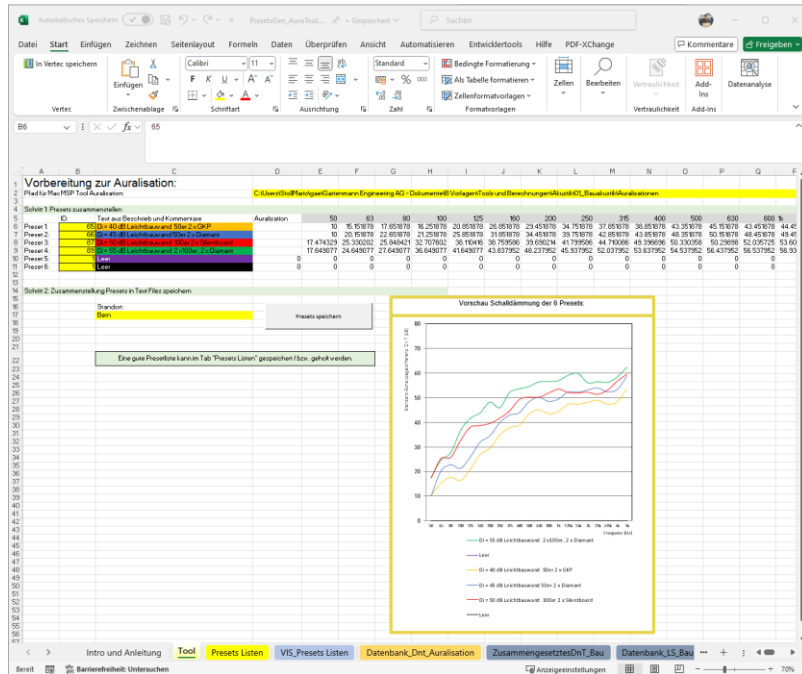
Conditions pour le système Tool :

- Auralisations de l'isolement au bruit aérien comme première priorité
- Base de données avec différentes structures de cloisons :
  - à partir de mesurages gae sur chantier
  - à partir de mesurages effectués en laboratoire par les fabricants
- Bruit de fond réglable dans la salle de réception
- Différents scénarios dans la salle d'émission
- Compatible en temps réel, flexible pendant les sessions d'auralisation



# Systeme d'auralisation

Excel pour la preparation



$D_{NT}$  Valeurs spectrales, valeur numerique unique  $D_i$

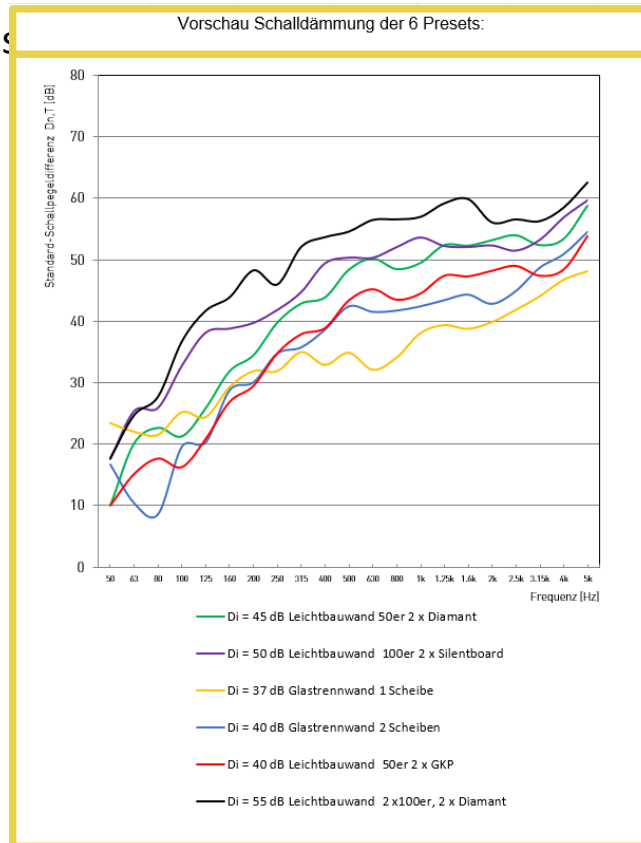


Outil de lecture

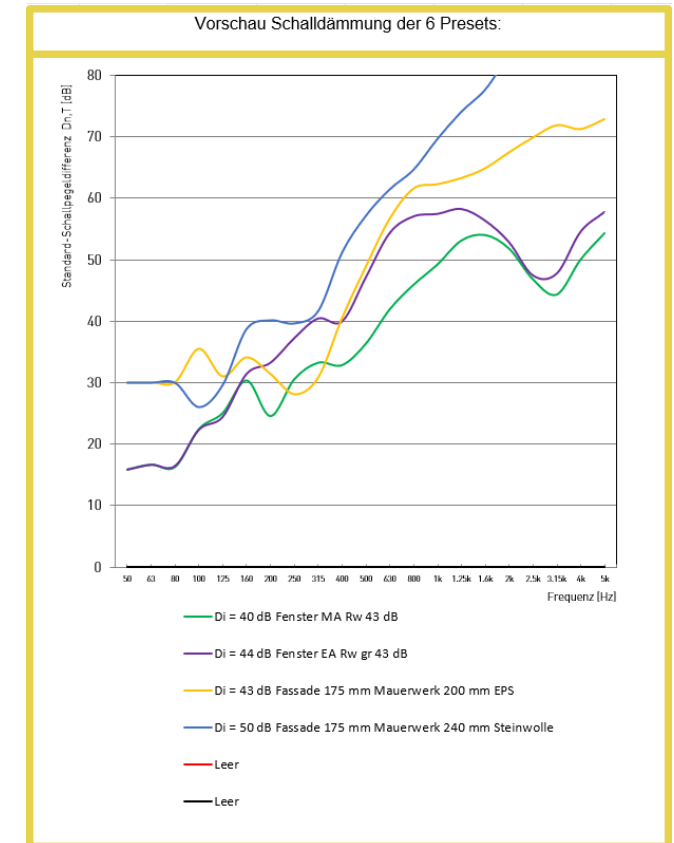
- Auralisation du bruit aérique interne et externe
- Différents niveaux de bruit de fond
- Bruit de choc (en cours de développement)

# Systeme d'auralisation

Scénario : différentes cloisons

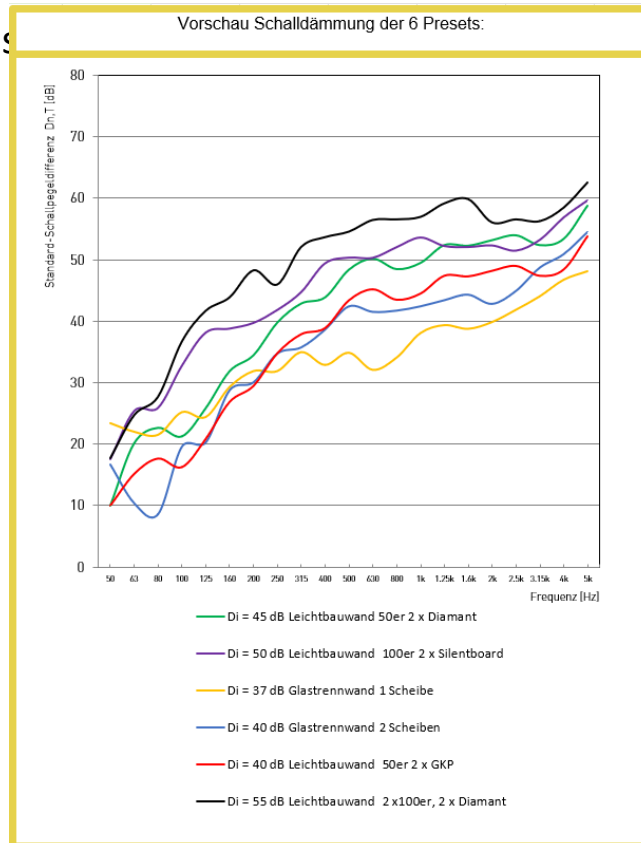


Scénario : Façade (exigences, structure)

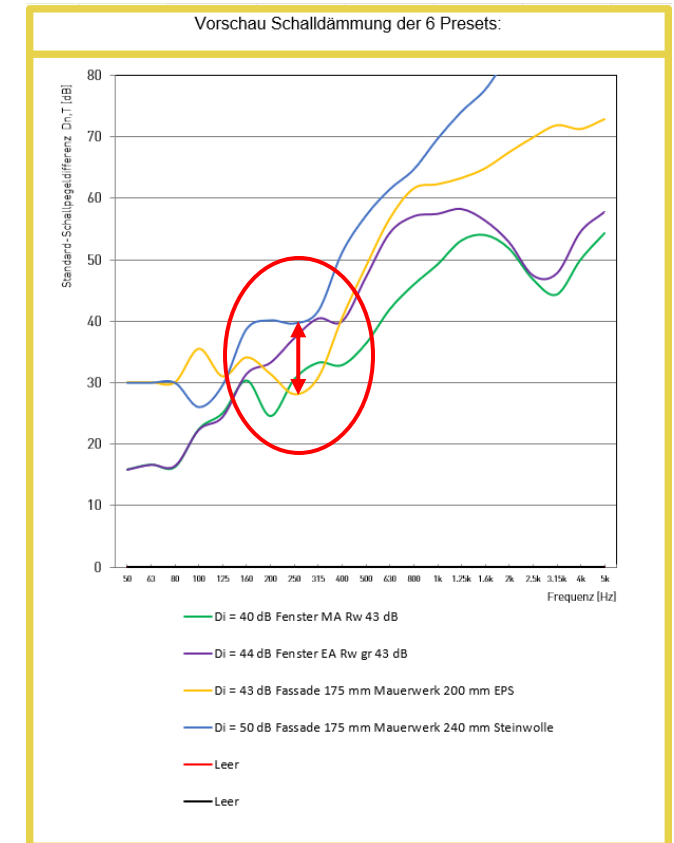


# Systeme d'auralisation

Scenario : differentes cloisons



Scenario : Façade (exigences, structure)

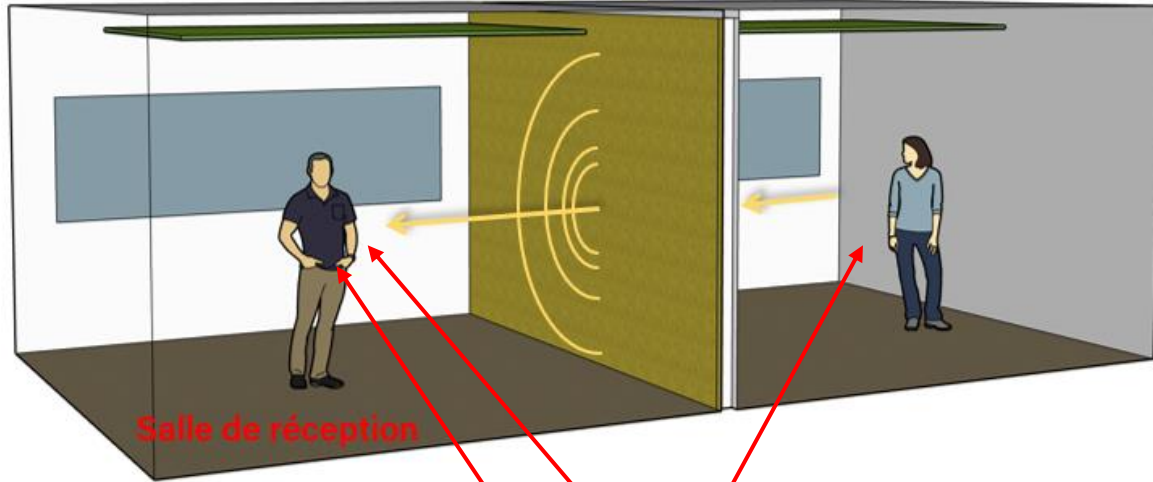


# Programme

- Auralisation (acoustique du bâtiment) chez gae
- Système d'auralisation
- Égalisation et calibrage du système

# Égalisation et calibrage du système

Situation réelle:



$L$ : niveau de pression acoustique dans le champ diffus

Extrait SIA 181

1.1.1.15 Niveau de pression acoustique moyen  $L$  dB

Moyenne spatiale du niveau de pression acoustique dans un local.

En échantillonnant le champ sonore en continu:

$$L = 10 \lg \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2}{p_0^2} dt \right]$$

$T$  durée d'intégration, en s

Extrait SIA 181

1.1.2.14 Isolement acoustique normalisé  $D_{nT}$  dB

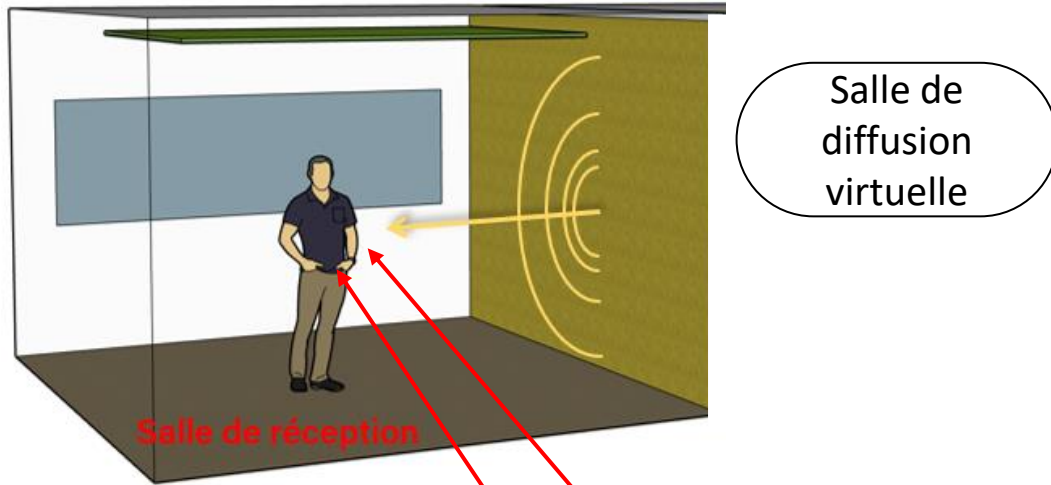
Mesurage in situ selon SN EN ISO 16283-1

$$D_{nT} = D + 10 \lg (T/T_0)$$

$D = L_1 - L_2$  différence de niveau, en dB  
 $L_1$  niveau de pression acoustique moyen dans le local d'émission, en dB  
 $L_2$  niveau de pression acoustique moyen dans le local de réception, en dB  
 $T$  temps de réverbération dans le local de réception, en s  
 $T_0$  temps de réverbération de référence (0,5 s)  
 $D_{nT}$  est indiqué pour chaque bande de tiers d'octave.

# Égalisation et calibrage du système

Auralisation:



Auszug SIA 181

1.1.2.14 **Isolement acoustique normalisé**  
 $D_{nT}$   
dB

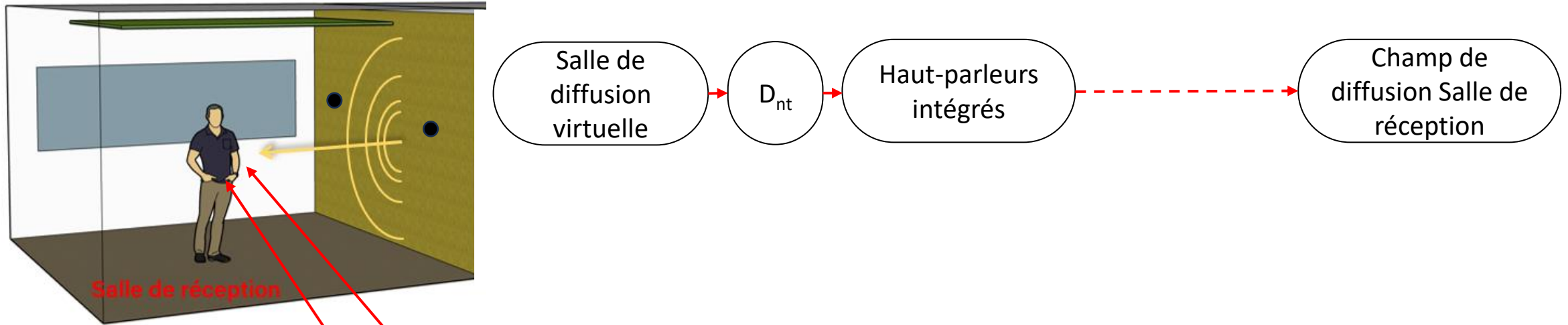
Mesurage in situ selon SN EN ISO 16283-1

$$D_{nT} = D + 10 \lg (T/T_0)$$

- $D = L_1 - L_2$  différence de niveau, en dB  
 $L_1$  niveau de pression acoustique moyen dans le local d'émission, en dB  
 $L_2$  niveau de pression acoustique moyen dans le local de réception, en dB  
 $T$  temps de réverbération dans le local de réception, en s  
 $T_0$  temps de réverbération de référence (0,5 s)  
 $D_{nT}$  est indiqué pour chaque bande de tiers d'octave.

# Égalisation et calibrage du système

Auralisation:



Auszug SIA 181

1.1.2.14 **Isolement acoustique normalisé**  
 $D_{nT}$   
 dB

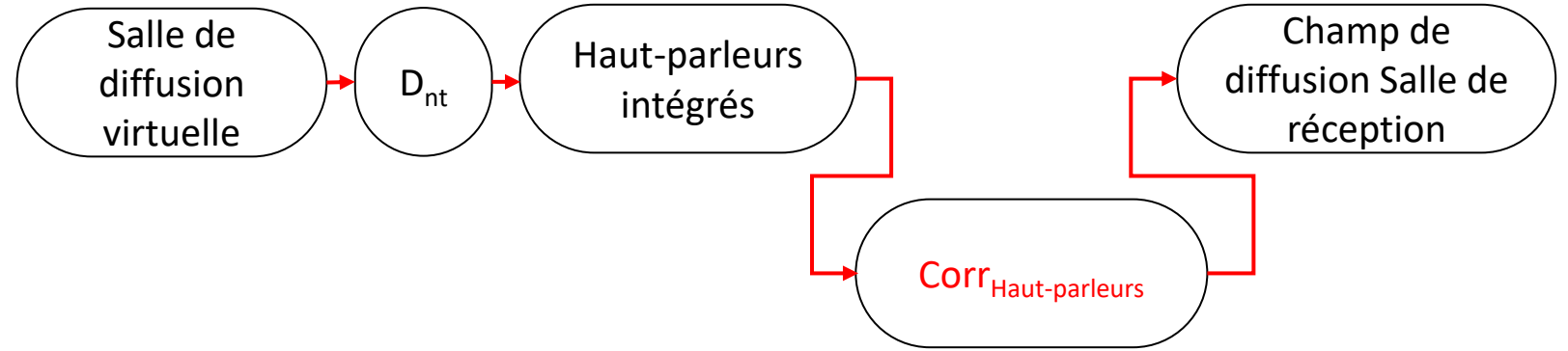
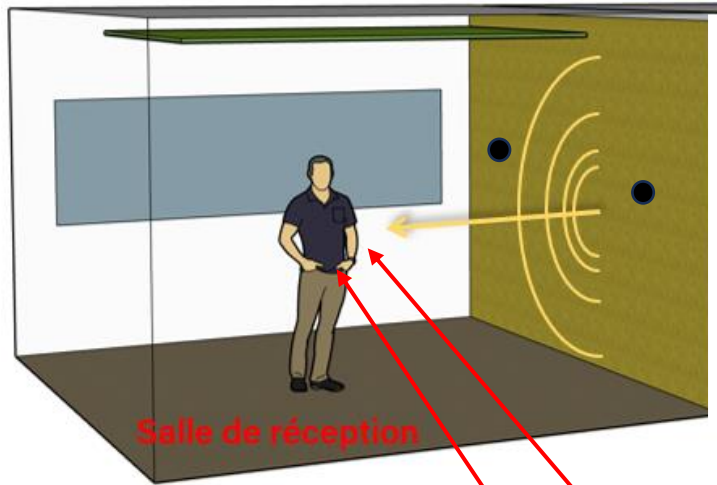
Mesurage in situ selon SN EN ISO 16283-1

$$D_{nT} = D + 10 \lg (T/T_0)$$

- $D = L_1 - L_2$  différence de niveau, en dB
- $L_1$  niveau de pression acoustique moyen dans le local d'émission, en dB
- $L_2$  niveau de pression acoustique moyen dans le local de réception, en dB
- $T$  temps de réverbération dans le local de réception, en s
- $T_0$  temps de réverbération de référence (0,5 s)
- $D_{nT}$  est indiqué pour chaque bande de tiers d'octave.

# Égalisation et calibrage du système

Auralisation:



$$L_2 = L_1 - D_{nt} + 10 \cdot \log_{10}(T/T_0) + \text{Corr}_{\text{Haut-parleurs}}$$

Auszug SIA 181

1.1.2.14 **Isolement acoustique normalisé**  
 $D_{nT}$   
 dB

Mesurage in situ selon SN EN ISO 16283-1

$$D_{nT} = D + 10 \lg(T/T_0)$$

- $D = L_1 - L_2$  différence de niveau, en dB
- $L_1$  niveau de pression acoustique moyen dans le local d'émission, en dB
- $L_2$  niveau de pression acoustique moyen dans le local de réception, en dB
- $T$  temps de réverbération dans le local de réception, en s
- $T_0$  temps de réverbération de référence (0,5 s)
- $D_{nT}$  est indiqué pour chaque bande de tiers d'octave.

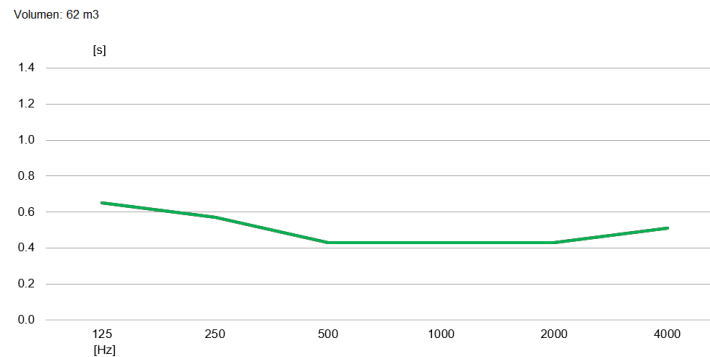
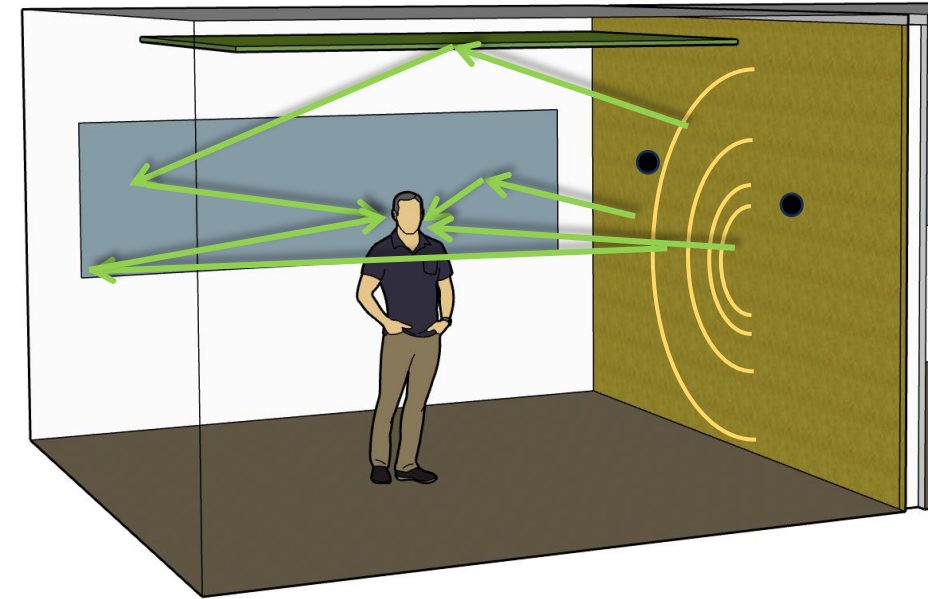
# Égalisation et calibrage du système

Égalisation des haut-parleurs ( $\text{Corr}_{\text{Haut-parleurs}}$ ):

La correction doit porter sur le rayonnement de la paroi excitée par les haut-parleurs → **jaune**.

La propagation dans le champ sonore, l'acoustique de la pièce, ne doit pas être corrigée → **vert**.

Il s'agit d'une réalité augmentée acoustique dans un bureau standard.



# Égalisation et calibrage du système

Égalisation des haut-parleurs ( $\text{Corr}_{\text{Haut-parleurs}}$ ):

Cible dans la gamme de fréquences pertinente :

- réponse en fréquence plate
- bonne réponse impulsionnelle

Des filtres pour l'égalisation sont implémentés dans l'outil de lecture (filtre FIR).

L'idéal serait de mesurer le rayonnement du mur en champ semi-libre :

- sans l'influence de l'acoustique de la pièce de réception (modes, réflexions).

Comme cela n'est manifestement pas possible, il a fallu trouver un moyen de mesurer le rayonnement du mur.



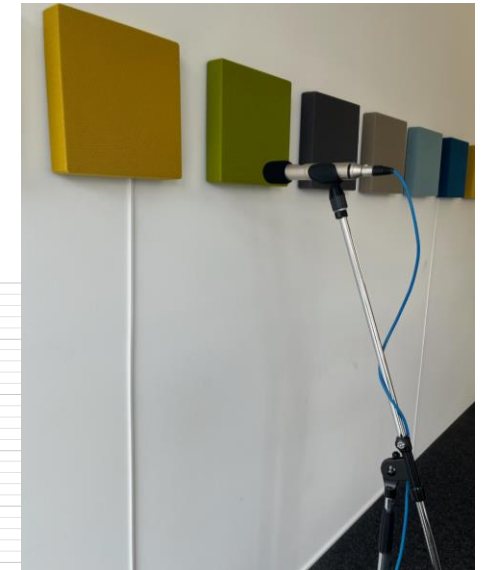
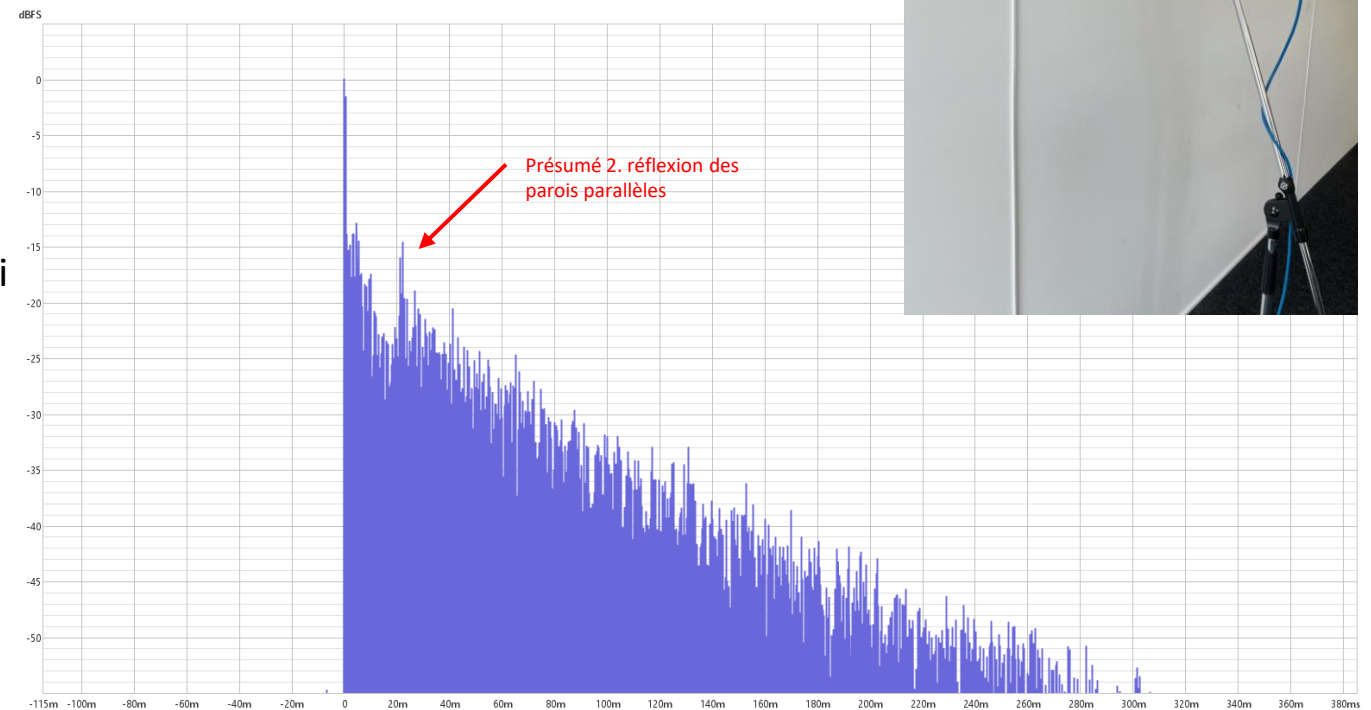
# Égalisation et calibrage du système

La réponse impulsionnelle (Sinus Sweep) a été mesurée en champ proche pour un grand nombre de points de mesure sur l'ensemble du mur avec un microphone directionnel (hypercardioïde).

Comme on pouvait s'y attendre, les données de mesure montrent que l'acoustique de la pièce a une influence.

L'égalisation ne doit pas corriger ce phénomène, car les caractéristiques acoustiques de la salle de réception doivent être conservées.

Pour cette raison, une fenêtre temporelle aussi courte que possible a été appliquée pour la génération des filtres de correction.



# Égalisation et calibrage du système

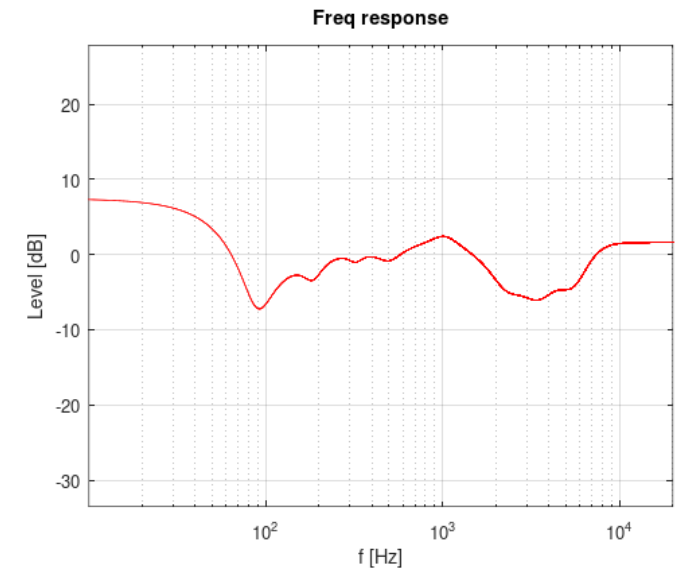
La gamme de fréquences en acoustique du bâtiment s'étend de 50 Hz ... 5 kHz.

C'est la zone spectrale cible de l'égalisation **Corr<sub>Haut-parleurs</sub>**.

Des essais auditifs ont montré que la plage de fréquences des basses-médiums, d'environ 80 Hz à 500 Hz, est particulièrement importante et critique.

C'est souvent dans cette zone que se situe l'affaiblissement de la paroi, qui dépend de l'élément de construction, ainsi qu'une grande partie de l'énergie des signaux d'excitation habituels utilisés pour l'auralisation, comme la parole ou le bruit routier.

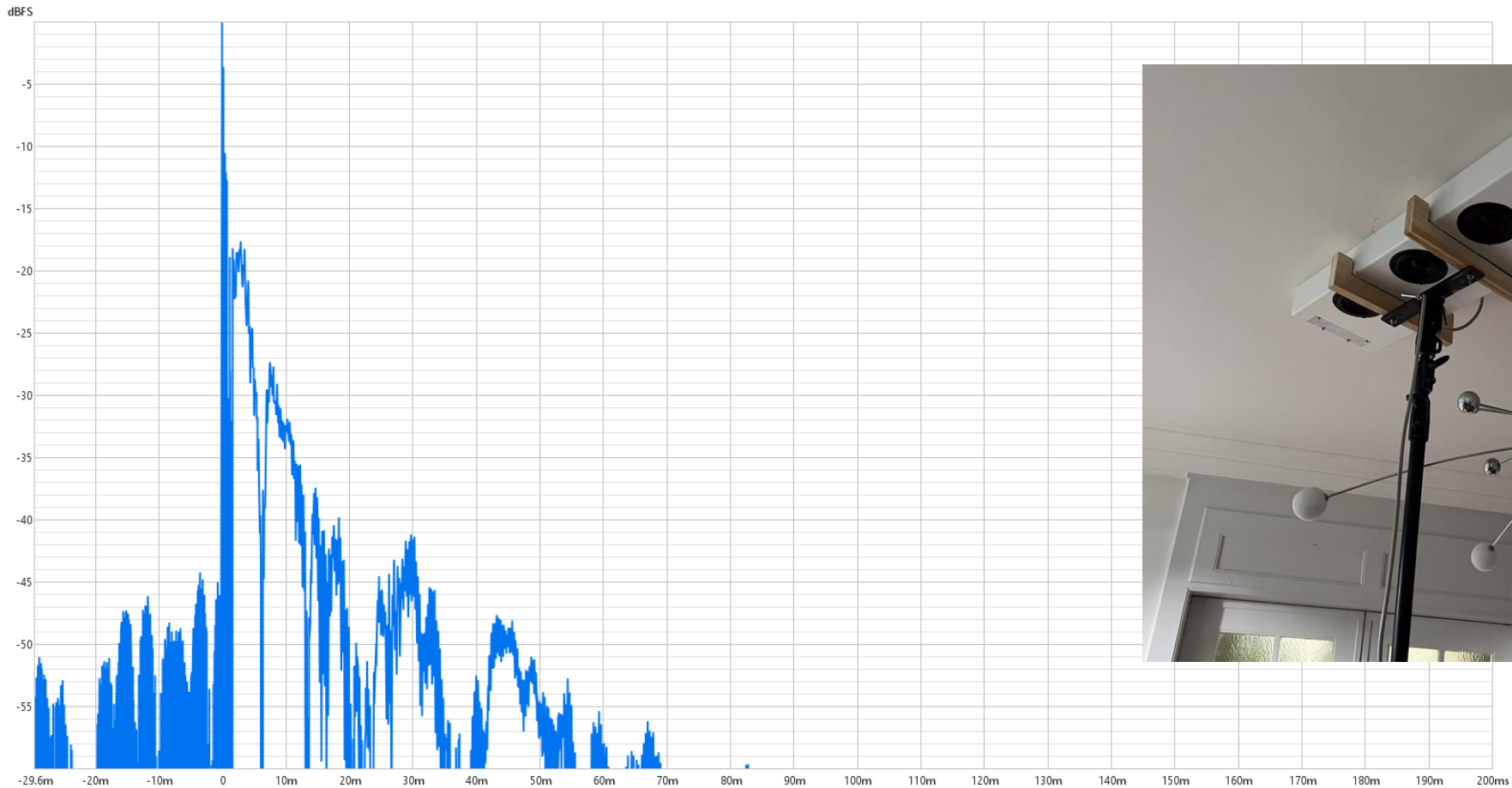
En raison du type du haut-parleur, une certaine dispersion des courbes d'amplitude apparaît dans le rayonnement. Pour l'égalisation, une moyenne spectrale a été calculée et le filtre de correction a été généré à partir de cette moyenne.



# Égalisation et calibrage du système

Pour l'auralisation du bruit de choc, il est difficile de reproduire fidèlement toutes les impulsions des basses fréquences. Les caissons de basses habituels ont tendance à osciller longtemps.

Représentation exemplaire de la réponse impulsionnelle d'une mesure en champ libre:



# Égalisation et calibrage du système

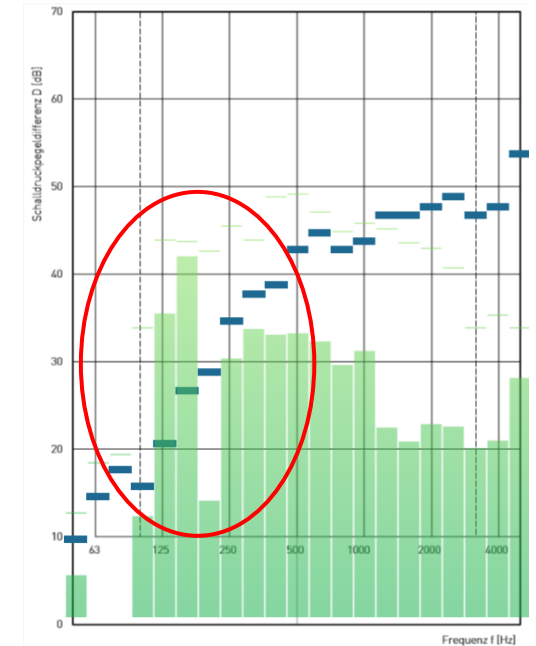
De nombreux essais d'écoute et d'auralisation ont déjà été réalisés avec ce système. Il en ressort les conclusions suivantes:

- Pour une auralisation plausible et naturelle de situations acoustiques dans le domaine de la construction, une égalisation correcte dans le spectre fréquentiel et surtout dans le domaine temporel est absolument nécessaire (y compris le filtrage).
- Dans la salle de réception, une zone a été définie dans laquelle les écarts de niveau de l'auralisation sont faibles (zone d'écoute pour la réalité augmentée).

# Égalisation et calibrage du système

De nombreux essais d'écoute et d'auralisation ont déjà été réalisés avec ce système. Il en ressort les conclusions suivantes:

- Pour une auralisation plausible et naturelle de situations acoustiques dans le domaine de la construction, une égalisation correcte dans le spectre fréquentiel et surtout dans le domaine temporel est absolument nécessaire (y compris le filtrage).
- Dans la salle de réception, une zone a été définie dans laquelle les écarts de niveau de l'auralisation sont faibles (zone d'écoute pour la réalité augmentée).
- Les auralisations sont passionnantes pour nous, spécialistes de l'acoustique, et très instructives pour les néophytes.
- Le système d'auralisation basé sur le champ sonore dans une salle de réception permet de discuter directement ensemble des situations entendues, ce qui peut être très intéressant pour la compréhension.



Questions...(en allemand ;- ) ?

Contact: Gartenmann Engineering, Mario Stoll, m.stoll @ gae.ch