

# Auralisation en temps réel de salles de concert dans une salle de répétition musicale

Développement d'un premier prototype

Projet IDN: Exploring the effects of room acoustics on the  
physical and psychological health of musicians

Manuel Isenegger, HSLU



*Source d'image: Microsoft Designer*

# Aperçu du projet

- Sous-projet d'un projet supérieur
  - Exploration des **effets de l'acoustique** des salles **sur la santé** physique et psychologique des musicien·ne·s (par Sabrina Köchli, Rose Dawn).
- Objectif
  - Développement d'un système pour **auraliser en temps réel** la réponse d'espaces **acoustiques divers** au signal d'un instrument.
- Première partie
  - Etude de faisabilité (effectuée par Lél Bartha, supervisé par Manuel Isenegger, Othmar Schälli et Armin Taghipour).

# Différence «auralisation» et «acoustique active»

- Auralisation:
  - Terme incorporant **plusieurs concepts**.
  - D'habitude utilisé pour la **reproduction d'un signal** audio (par casques ou enceintes), comme il serait perçu dans un certain **environnement physique** (typiquement une salle).
- Acoustique active:
  - Liée à une **salle spécifique**.
  - **Ajout de réverbération** artificielle à un signal (soit enregistré, soit d'un microphone) par des enceintes distribuées.

# Possibilités de réverbération artificielle (analogue/historique)

- Chambre de réverbération

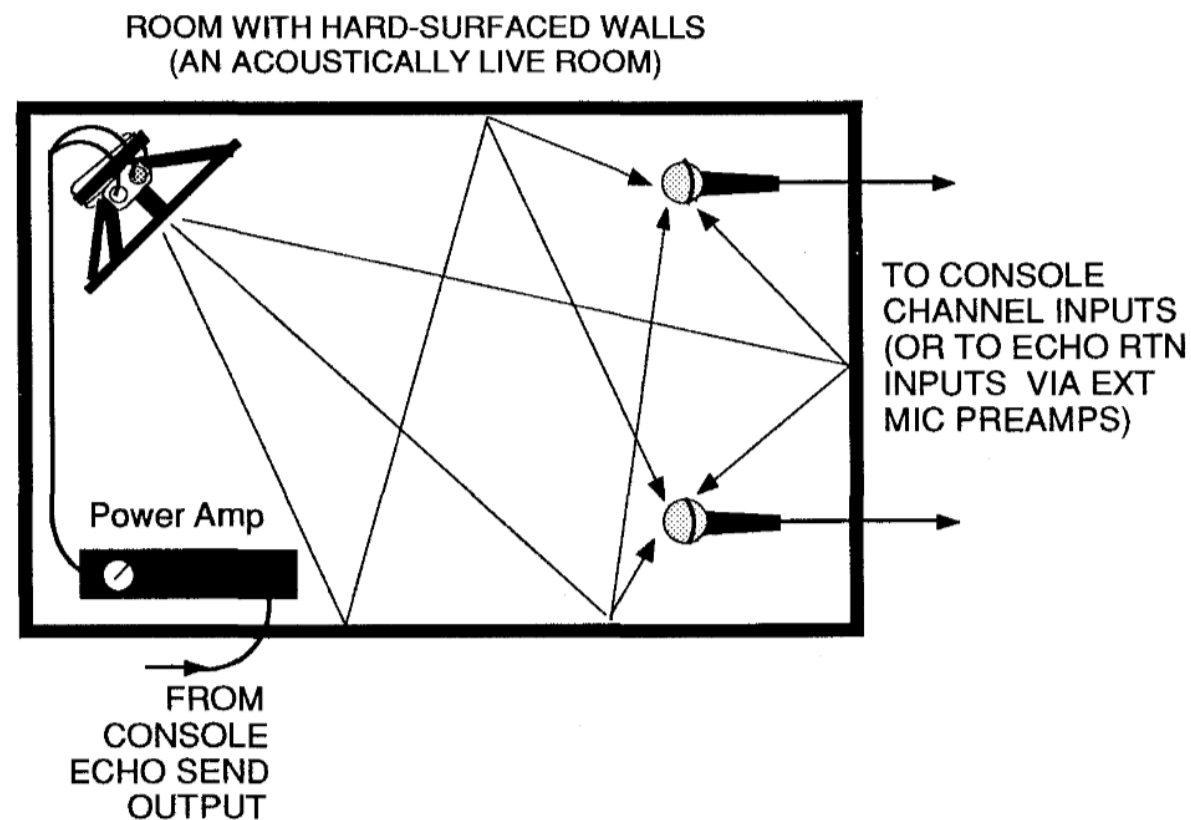


Figure 14-17. General design of an actual reverb chamber

Source d'image: *Sound Reinforcement Handbook*

# Possibilités de réverbération artificielle (analogue/historique)

- Chambre de réverbération
- Réverbération à plaque, à tube ou à ressort

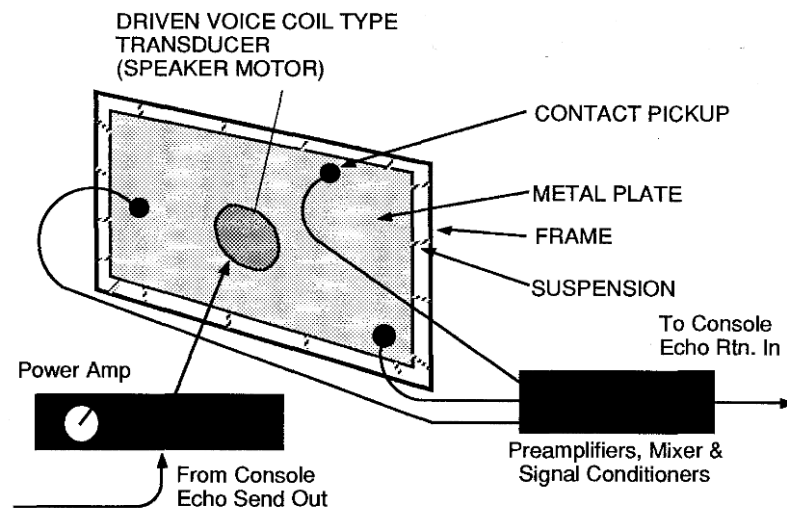


Figure 14-20. General design of a plate type reverb

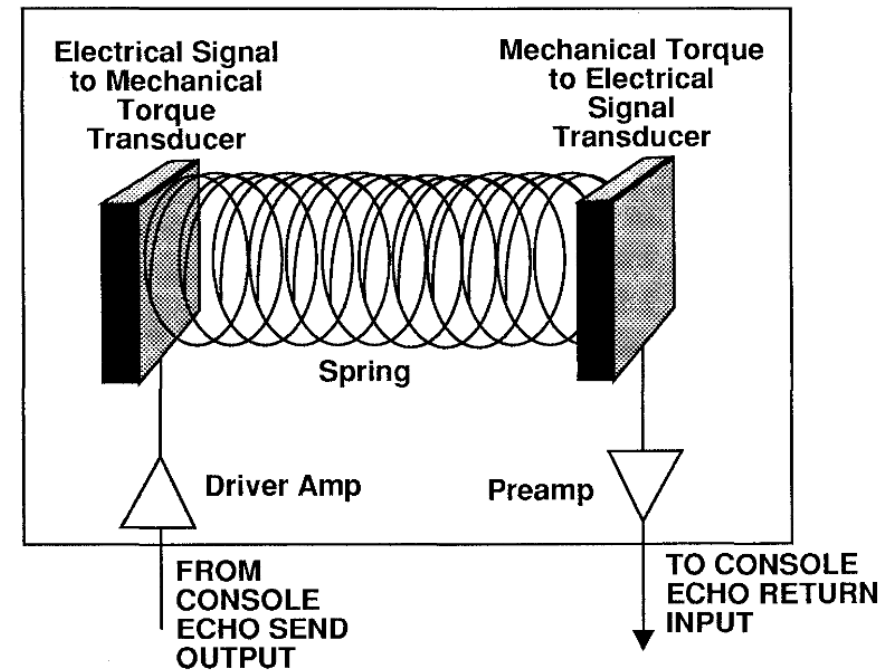


Figure 14-19. General design of a spring type reverb

Source d'images: Sound Reinforcement Handbook

# Possibilités de réverbération artificielle (analogue/historique)

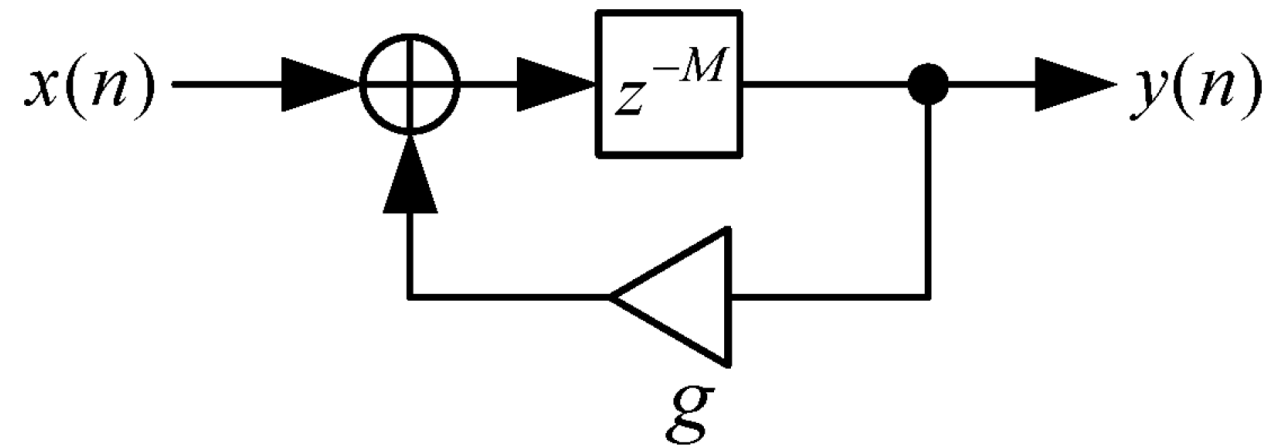
- Chambre de réverbération
- Réverbération à plaque, à tube ou à ressort
- Délai à bande



Source d'images: <https://www.hispasonic.com/productos/wem-watkins-copicat/25911>;  
<https://www.uaudio.jp/blog/echoplex-space-echo-and-delay-history/>

# Possibilités de réverbération artificielle (réseaux de délai)

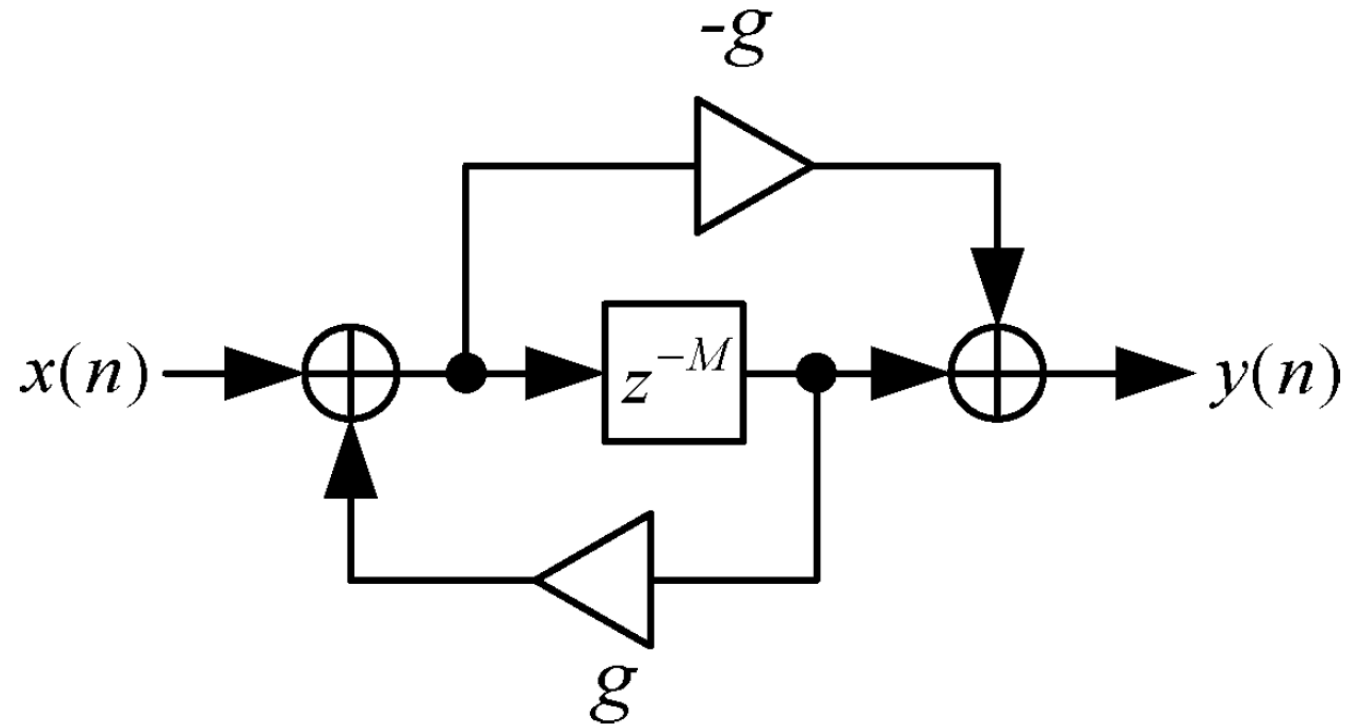
- Filtre en peigne



Source d'image: Välimäki et. al (2012)

# Possibilités de réverbération artificielle (réseaux de délai)

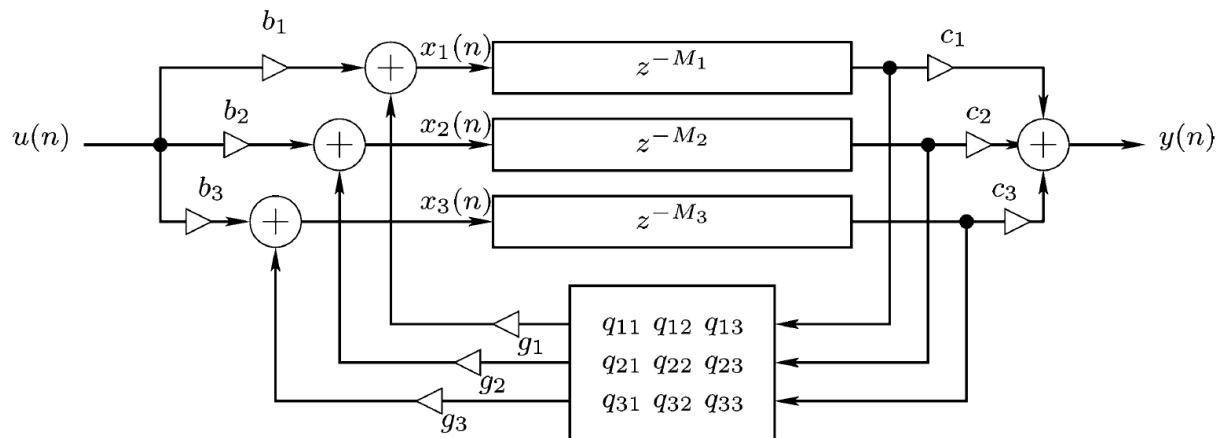
- Filtre en peigne
- Filtre passe-tout



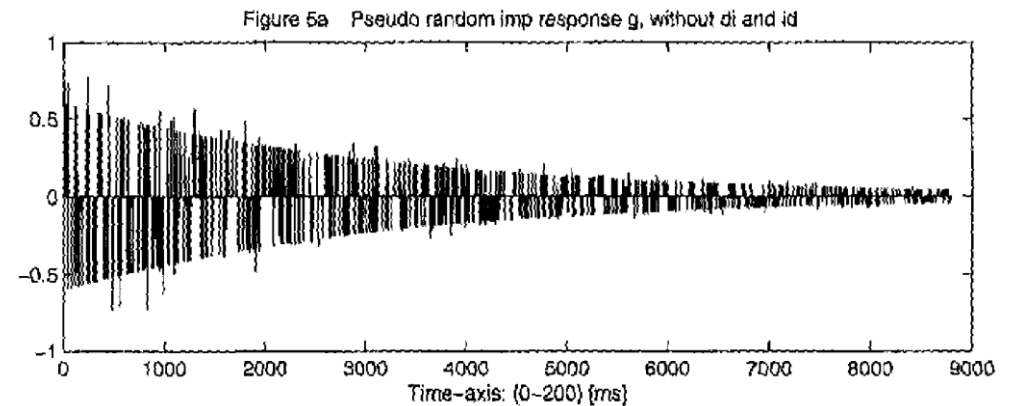
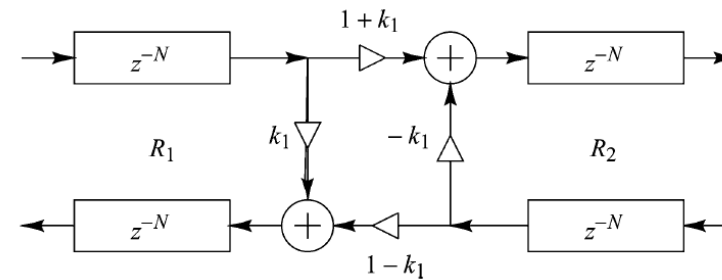
Source d'image: Välimäki et. al (2012)

# Possibilités de réverbération artificielle (réseaux de délai)

- Filtre en peigne
- Filtre passe-tout
- etc.



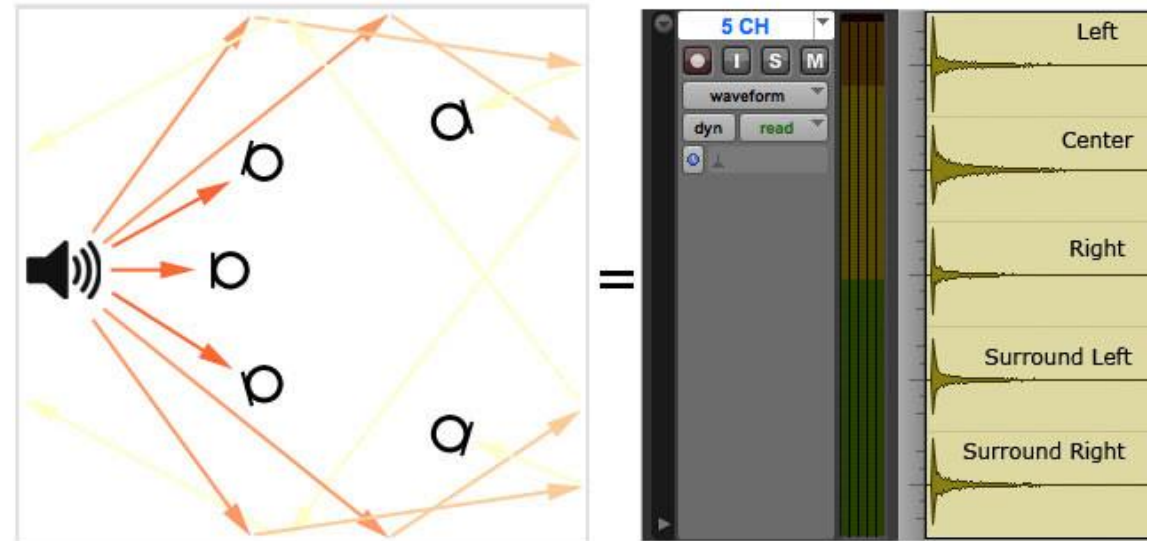
$$k_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}$$



Source d'images: Välimäki et. al (2012)

# Possibilités de réverbération artificielle (Modèles de salle basés sur des caractéristiques physiques ou mesurés)

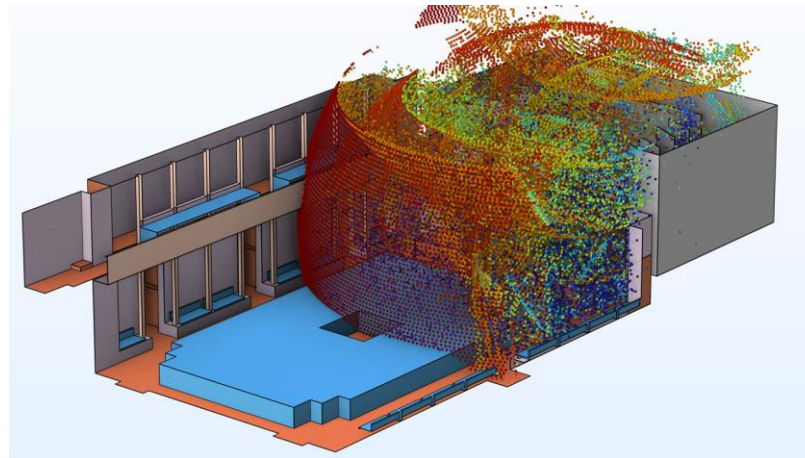
- Convolution avec réponse(s) impulsionnelle(s)



Source d'image: <https://www.avosound.com/en/tutorials/create-impulse-responses/convolution-reverb-multichannel>

# Possibilités de réverbération artificielle (Modèles de salle basés sur des caractéristiques physiques ou mesurés)

- Convolution avec réponse(s) impulsionnelle(s)
- Obtention
  - par mesure
  - par simulation:
    - Simulation d'onde (p.ex.: FDTD, BEM, MEF)
    - par lancer de rayons



Source d'image:  
<https://www.comsol.com/blogs/validating-an-acoustic-ray-tracing-simulation-of-a-chamber-music-hall>



Source d'image: Barré et al (2015)

# Possibilités de reproduction spatiale

- Casques

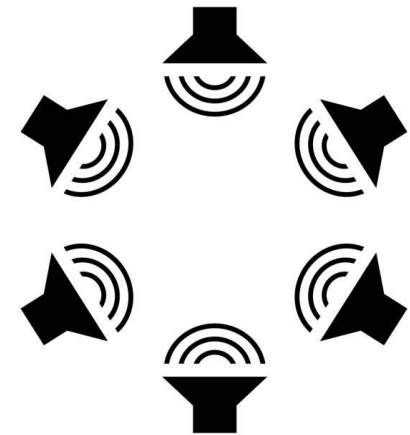
- En utilisant des HRTF (evtl. personnalisés)
- Possibilité du Headtracking (rotation, des fois aussi translation)



*Source d'image: Flaticon by Freepik*

- Enceintes

- Mono
- Stéréo
- «Surround»:
  - Normal: 2.1, 5.1, 7.1
  - Spécial: 9.1, 11.1, 5.1.2, 7.1.4
- Cinéma et spécialisé:
  - 22.2, IMAX 12.0, Ambisonics, Auro-3D, Dolby Atmos, etc.



*Source d'image: iStockphoto LP*

# Exemples d'auralisation et d'acoustique active

- «Digital Innovation Lab» du Royal College of Music



# Exemples d'auralisation et d'acoustique active

- «SoundLab» de Arup



# Exemples d'auralisation et d'acoustique active

- «AuraLab» de l'EMPA



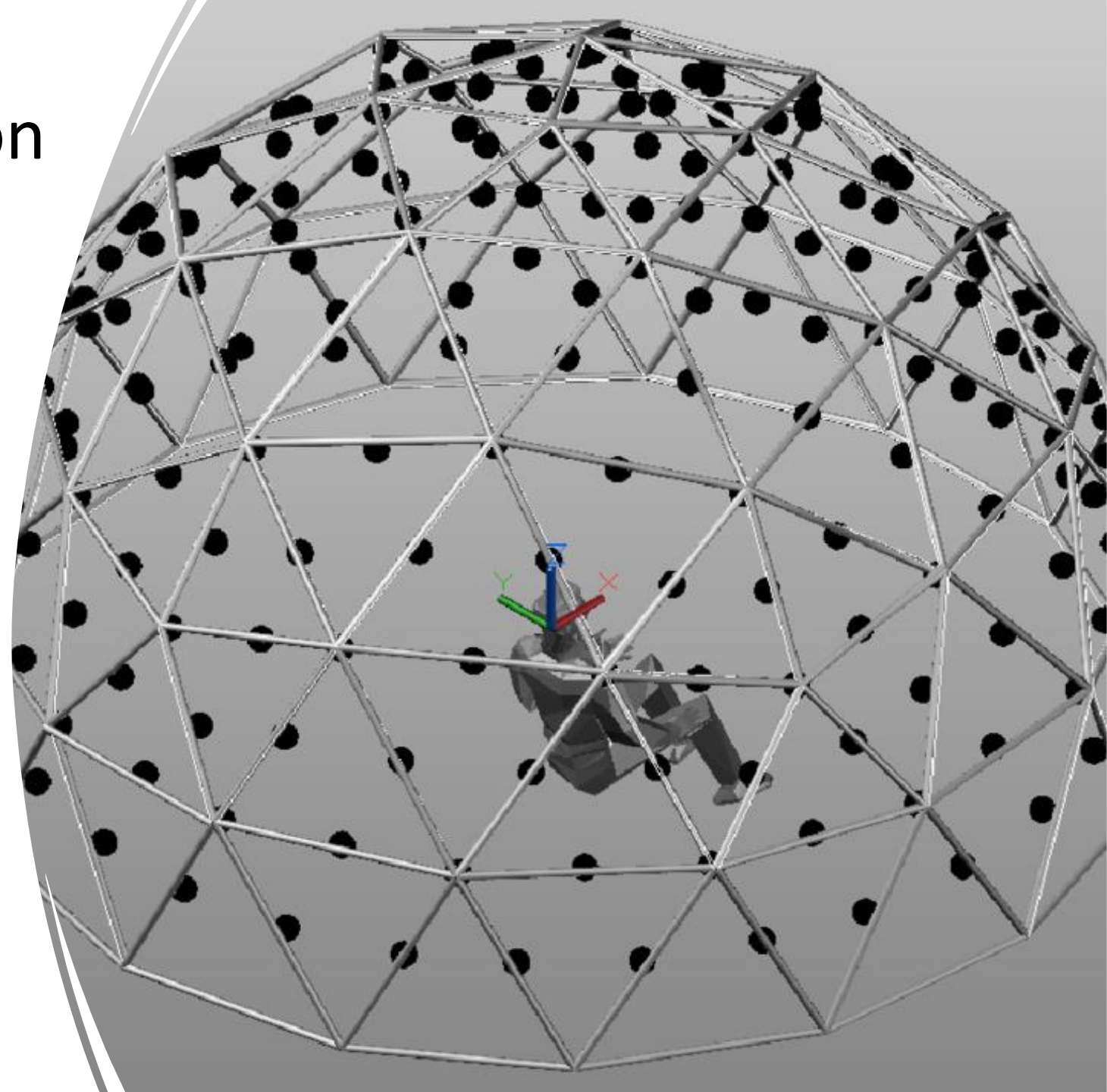
# Exemples d'auralisation et d'acoustique active

- «The Cube» de Virginia Tech



# Exemples d'auralisation et d'acoustique active

- «The Dome» de l'université de Sydney



# Exemples d'auralisation et d'acoustique active

- «Constellation» de Meyer Sound



# Exemples d'auralisation et d'acoustique active

- «Ambiance» de L-Acoustics



# Exemples d'auralisation et d'acoustique active

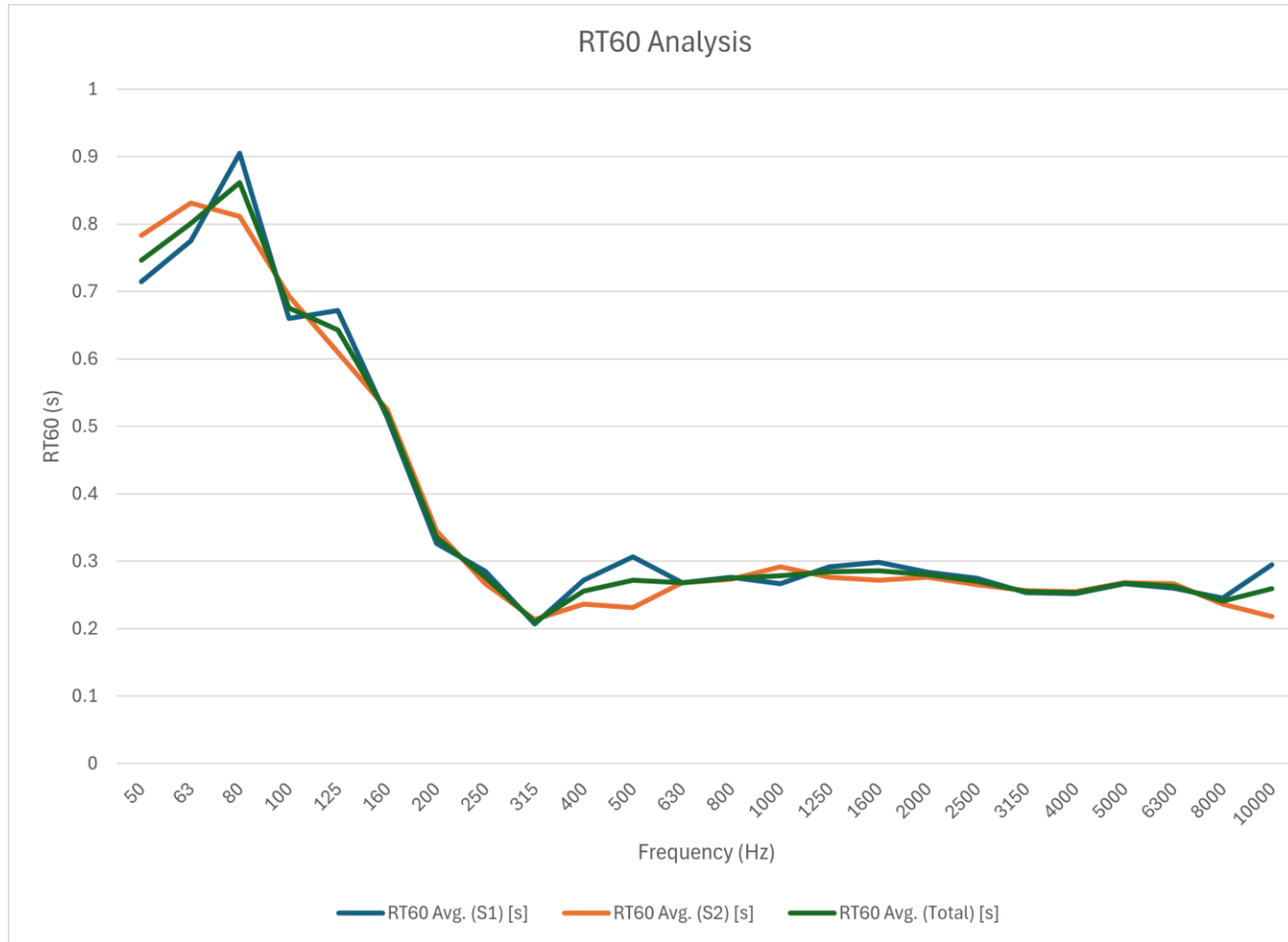
- «Amadeus Active Acoustics»



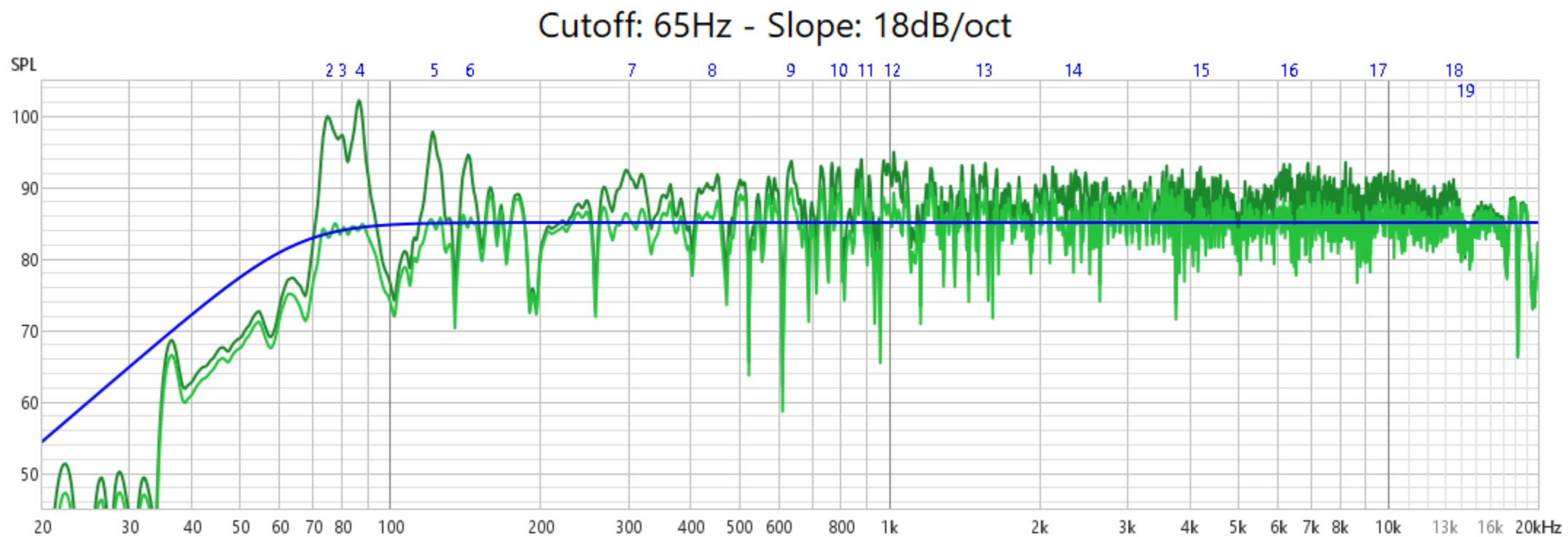
# Développement du prototype «SP-Lab»

- Contraintes extérieures:
  - **Salle définie** à l'haute école de musique de Lucerne
  - Décision: Système avec enceintes
    - **Pas de casques**: Trop encombrant pour les musicien·ne·s
  - Disponibilité de 6 enceintes (avec amplis) de l'haute école de musique
- Décisions internes:
  - Traitement de signaux dans Reaper (logiciel de MAO) avec ordinateur portable
  - Utilisations de **réponses impulsionnelles existantes**

# Propriété acoustique de la pièce

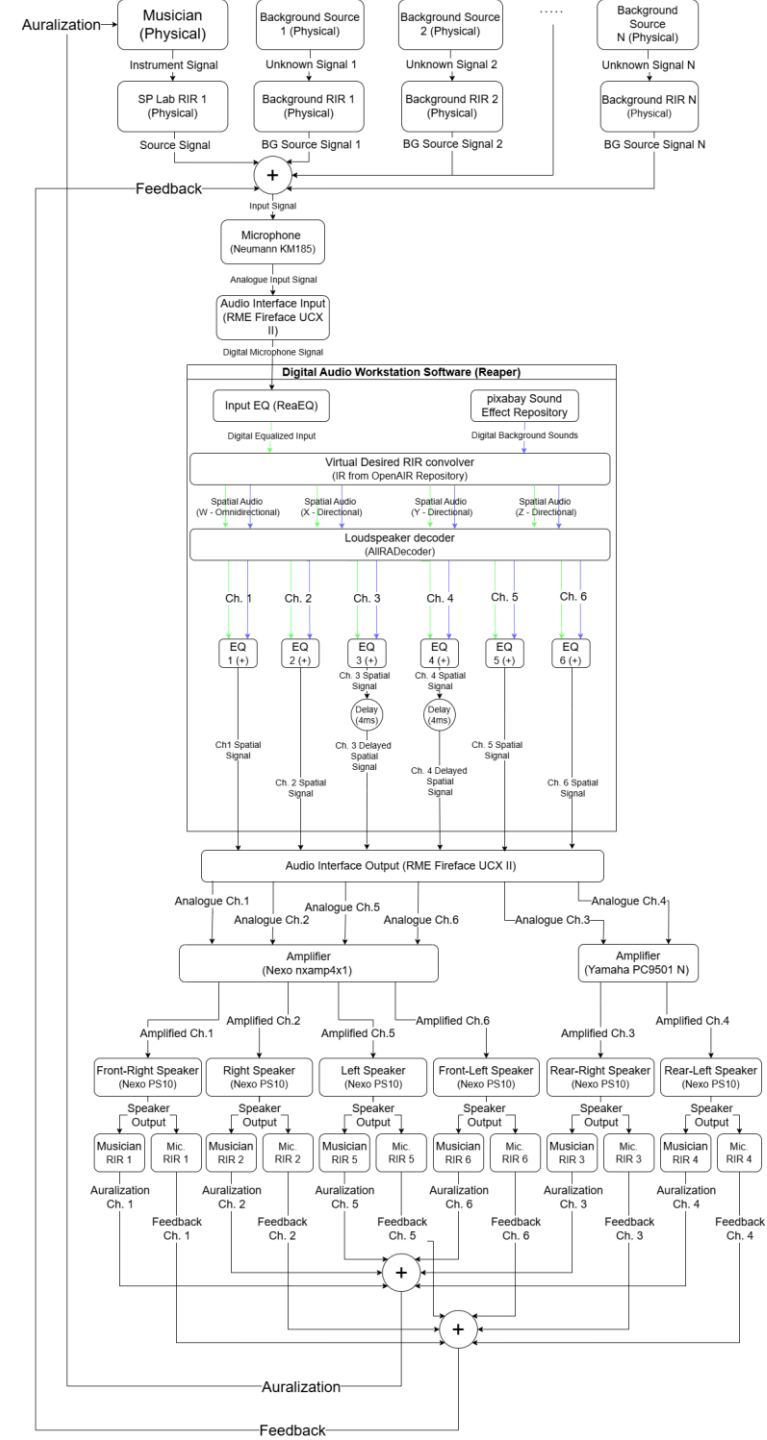


# Linéarisation du chemin enceinte-musicien·ne



# Traitement de signaux

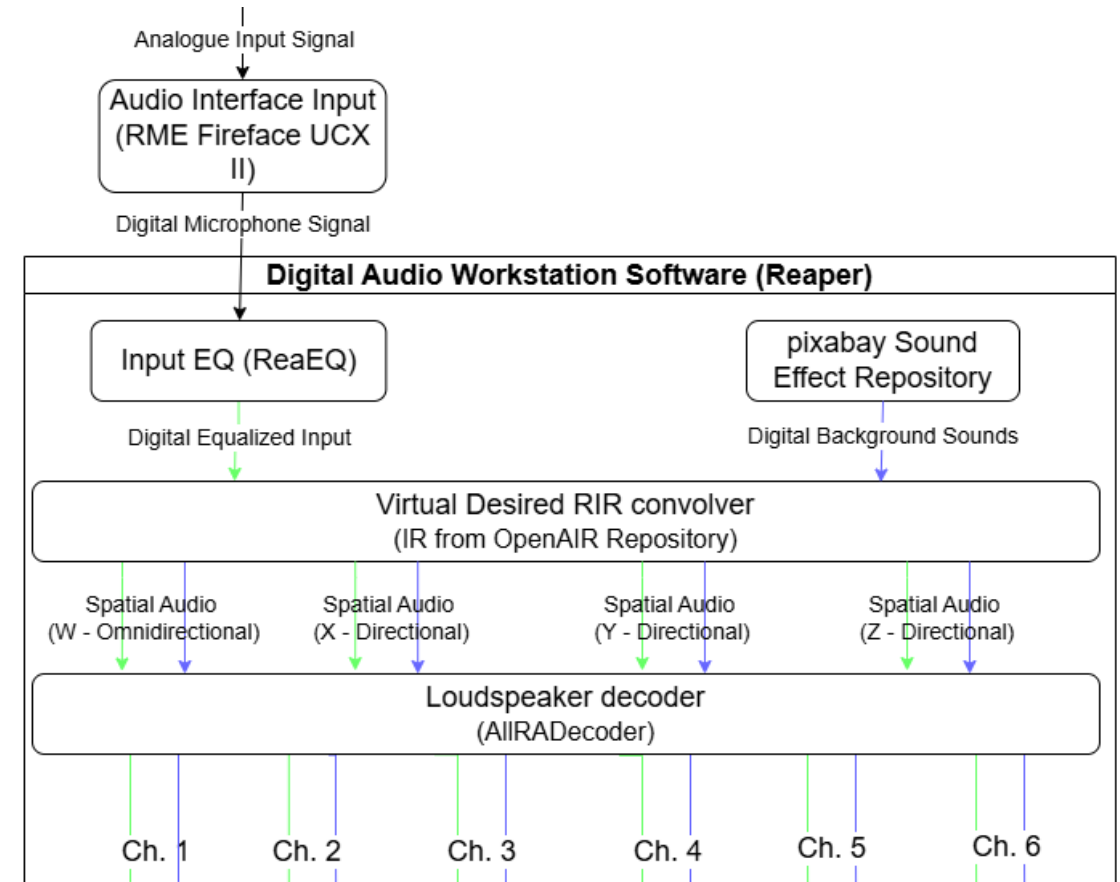
- Système SIMO (Single In Multiple Out)



# Traitement de signaux

- Système SIMO (Single In Multiple Out)

1. Digitalisation
2. Ajout de signaux synthétiques
  - OpenAIR library, Ambisonic B-format
3. Convolution
4. Décodage pour enceintes
  - IEM AllRADecoder

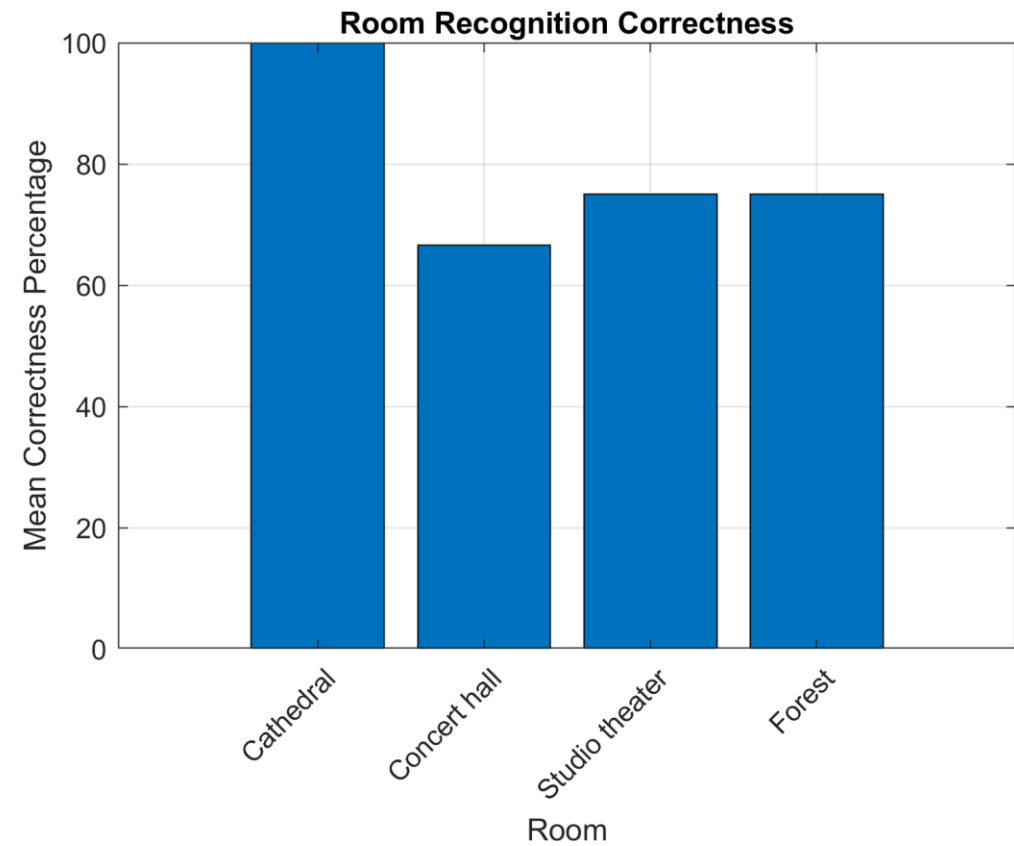
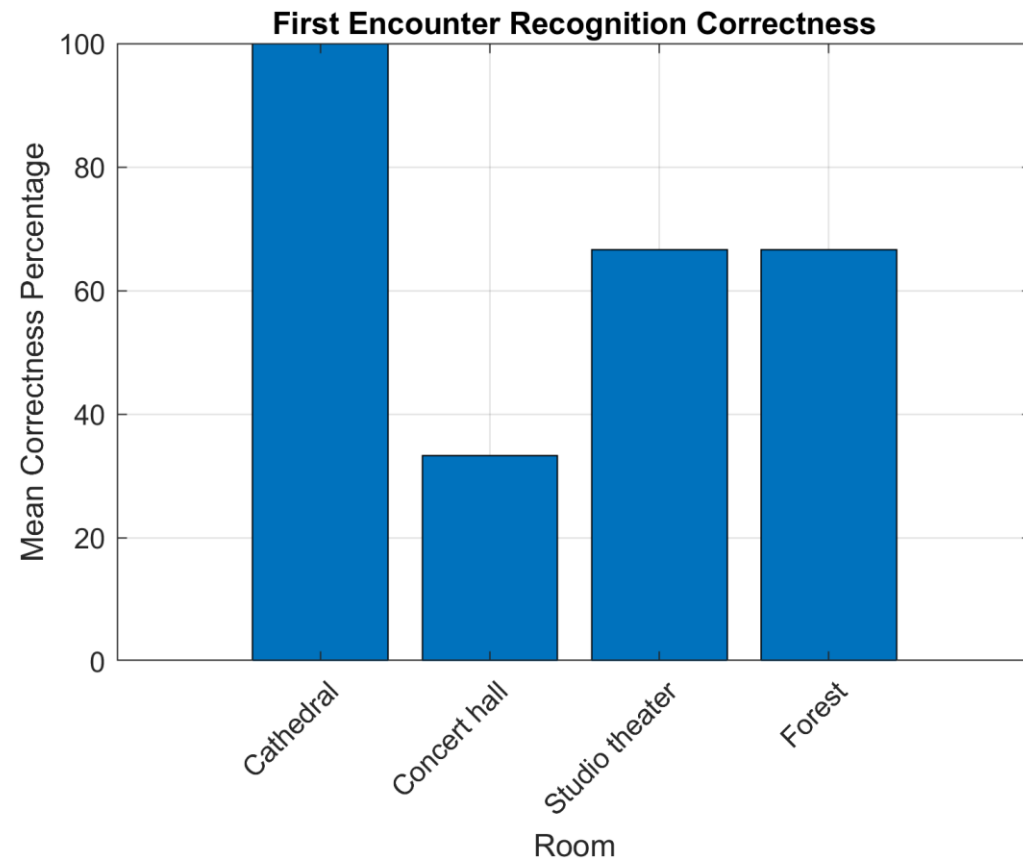


# Démonstration

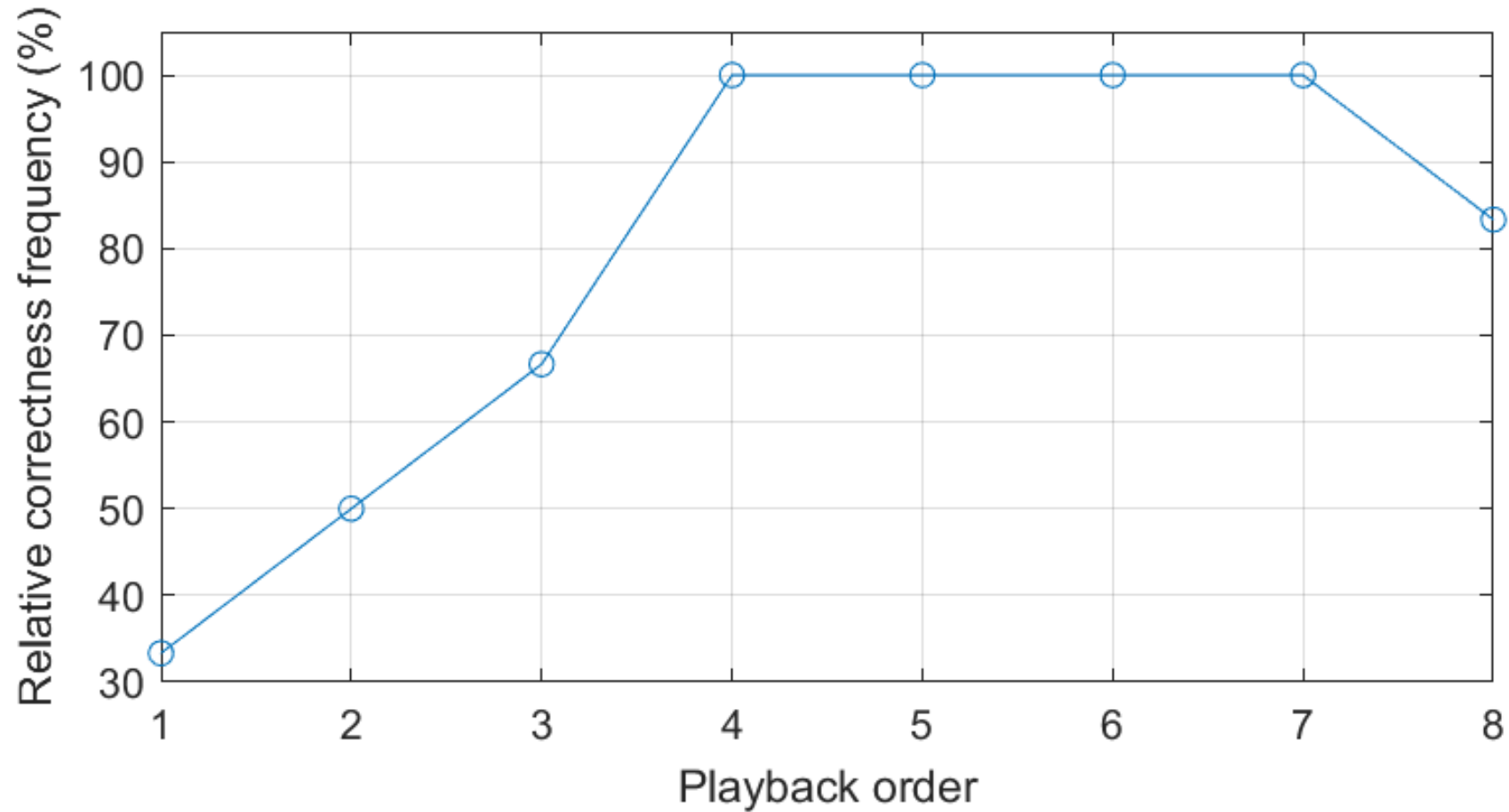
# Expérience psychoacoustiques - Méthodologie

- **Perception** du système par des musicien·ne·s
- Quatre blocs
  1. Capacité des participant·e·s à **distinguer** différentes simulations acoustiques
    - i. avec informations préliminaires et phase d'entraînement
  2. Perception du **réalisme**
  3. L'influence des **bruits de fond supplémentaires** sur la perception
  4. **Entretien** avec réponses libres
- **6 Musicien·ne·s** de l'haute école de musique de Lucerne de divers horizons instrumentaux
  - Instruments à vent (saxophones, cor d'harmonie, trompette naturelle/baroque)
  - Chanteurs·euses

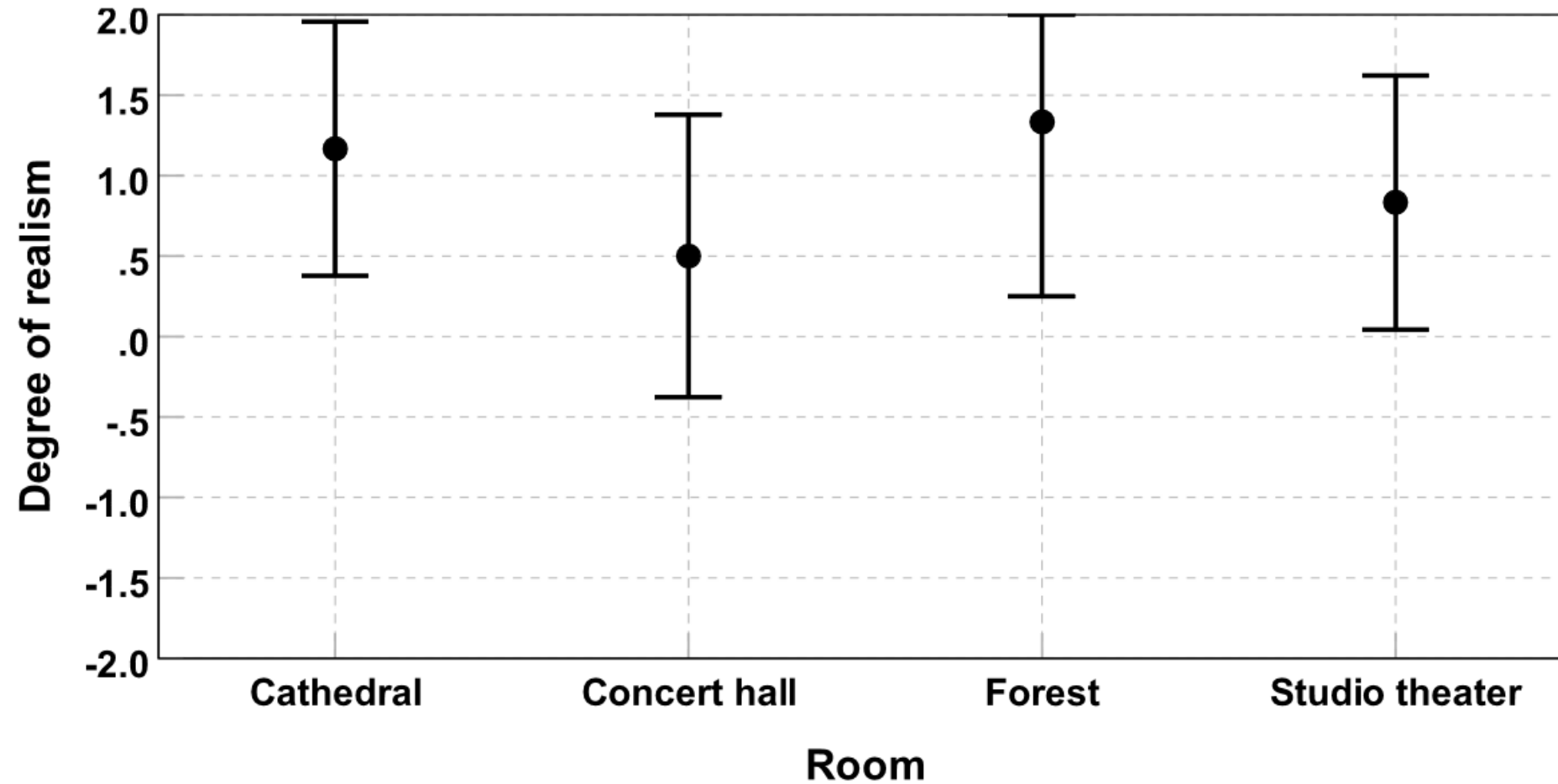
# Expérience psychoacoustiques - Résultats



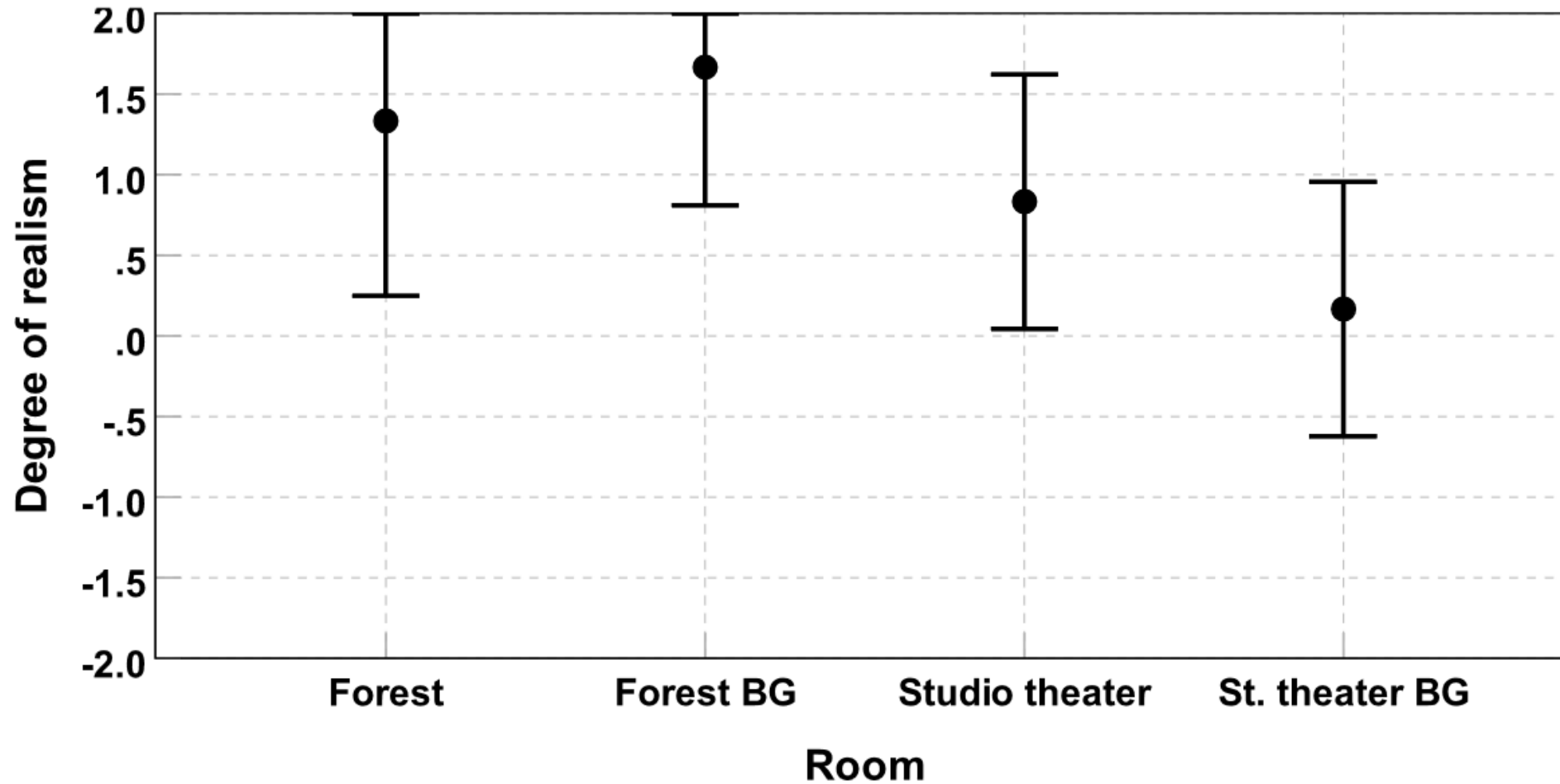
# Expérience psychoacoustiques - Résultats



# Expérience psychoacoustiques - Résultats



# Expérience psychoacoustiques - Résultats



# Expérience psychoacoustiques - Résultats

- Réponses de l'entretien:
  - *L'auralisation offre le potentiel d'**améliorer l'adaptabilité musicale***
    - *En particulier grâce à l'exposition à divers scénarios acoustiques*
  - *Ils restent des inquiétudes concernant la **complexité technique** dans l'utilisation et les **restrictions de mouvement** pendant la performance*
  - *Le **placement inflexible du microphone** (à cause de la linéarisation).*



# Questions

# Références (1)

- (1) HSLU, "Exploring the effects of room acoustics on the physical and psychological health of musicians." <https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/forschung/projekte/detail/?pid=6835>, Accessed: March 2025.
- (2) Valimaki, Vesa, et al. "Fifty years of artificial reverberation." *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing* 20.5 (2012): 1421-1448.
- (3) Davis, Gary, and Gary D. Davis. "The sound reinforcement handbook." *Hal Leonard Corporation*, 1989.
- (4) Rubak, Per, and Lars G. Johansen. "Artificial reverberation based on a pseudo-random impulse response." 1998.
- (5) Barré, Sébastien, and Natalia Manrique Ortiz. "Room impulse response measurement and delay-and-sum beamforming, application to room and building acoustics." *Proc. Euronoise*. Vol. 2015. 2015.

# Références (2)

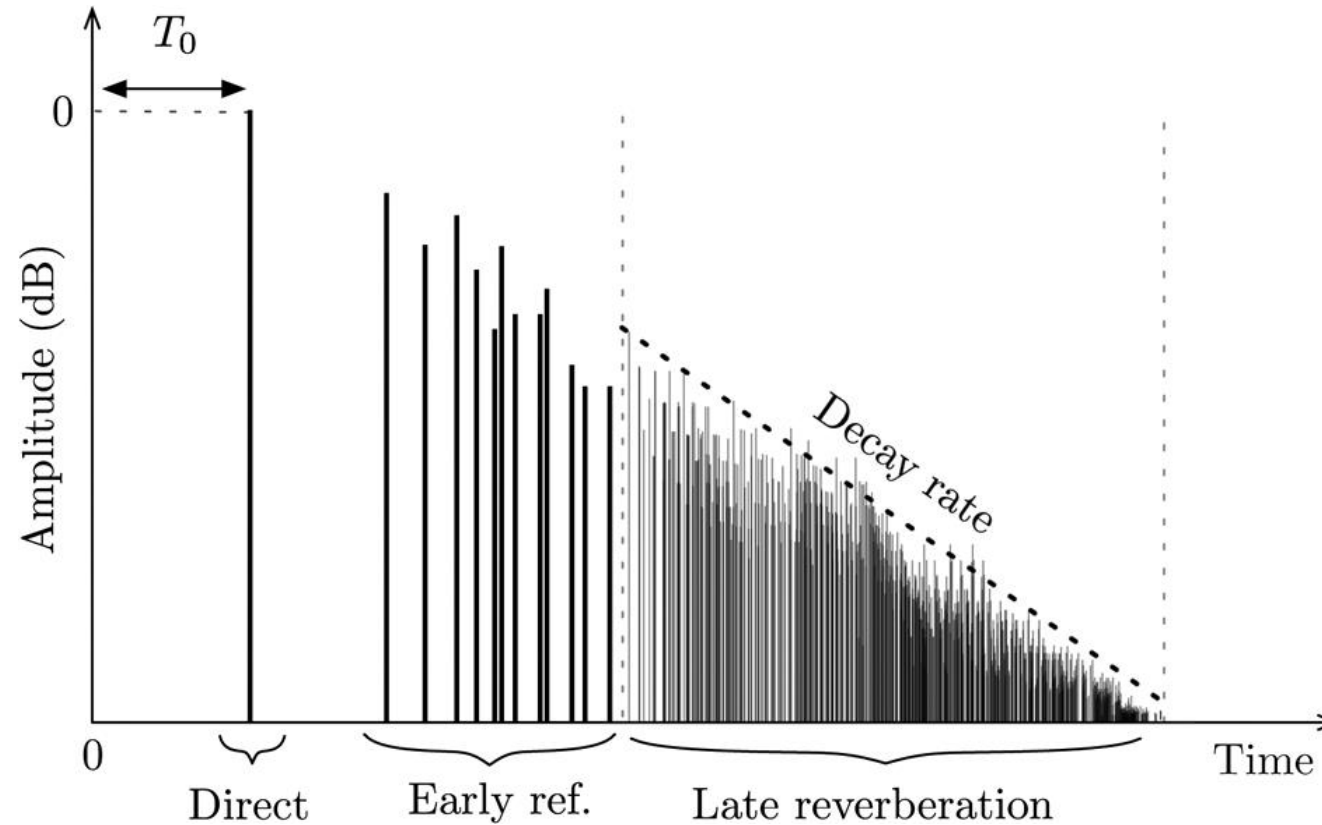
- (6) Royal College of Music London, “Immersed in sound: Inside the Digital Innovation Lab” <https://www.rcm.ac.uk/upbeat/articles/featureinsidethenewdolbystudio.aspx>, Accessed: March 2025
- (7) Arup, “Soundlab: Immersive auralization environment.” <https://www.arup.com/services/digital-solutions-and-tools/soundlab/>, Accessed: March 2025.
- (8) Pieren, Reto, Kurt Heutschi, Roalt Aalmoes, and Dick G. Simons. "Evaluation of auralization and visualization systems for railway noise sceneries." *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, vol. 255, no. 7, pp. 168-179. Institute of Noise Control Engineering, 2017.
- (9) Virginia Tech, “The Cube at Virginia Tech.” <https://icat.vt.edu/studios/mac/the-cube.html>, Accessed: March 2025.
- (10) University of Sydney, “Spatial audio and acoustics lab – the dome.” <https://www.sydney.edu.au/architecture/our-research/research-labs-and-facilities/spatial-audio-and-acoustics-lab.html> , Accessed: March 2025.
- (11) Meyer Sound, “Constellation by Meyer Sound.” <https://meyersound.com/product/constellation/>, Accessed: March 2025.
- (12) L-Acoustics, «Ambiance™ – Connecting Sound & Space» <https://www.l-acoustics.com/products/ambiance/>, Accessed: March 2025
- (13) Amadeus, «Amadeus Active Acoustics» <https://amadeus-acoustics.com/active-acoustics>, Accessed: March 2025

# Références (3)

- (14) OpenAIR, “Open acoustic impulse response (openair) library,” 2025. Accessed: 2025-03-21.
- (15) Institute of Electronic Music and Acoustics (IEM), “Allradecoder guide - iem plug-in suite,” 2023. Accessed: 2025-03-21.
- (16) Cockos Incorporated, “Reaeq equalizer plugin,” 2025. Accessed: 2025-03-24.
- (17) Room EQ Wizard, “REW - Room EQ Wizard Room Acoustics Software,” 2024. Accessed: 2025-03-24

# Annex

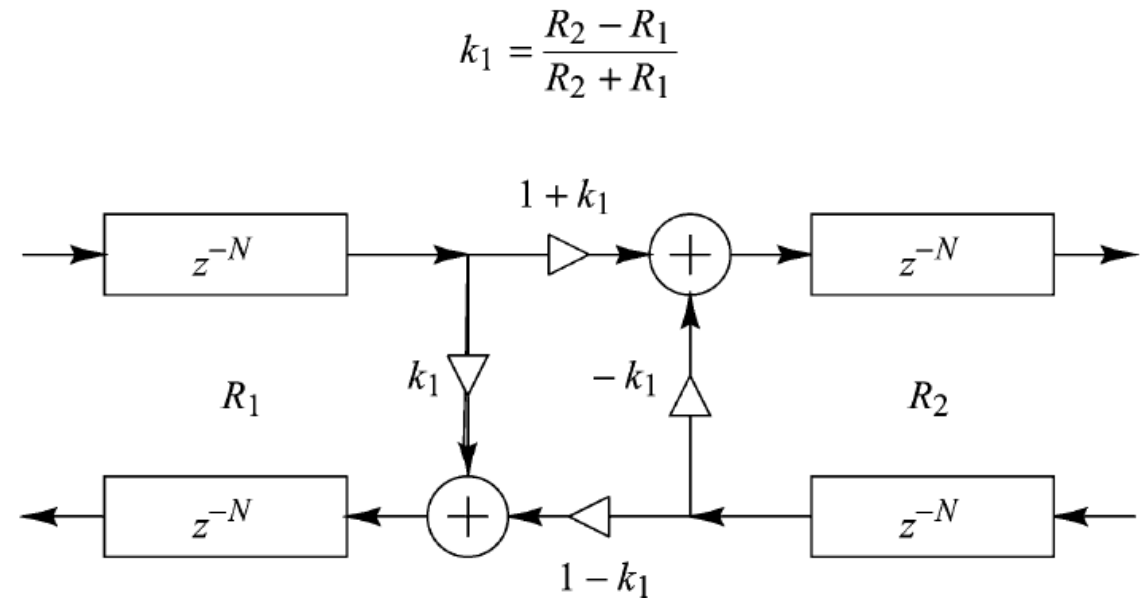
# Petit rappel du phénomène «réverbération»



Source d'image: Välimäki (2012)

# Possibilités de réverbération artificielle (réseaux de délai)

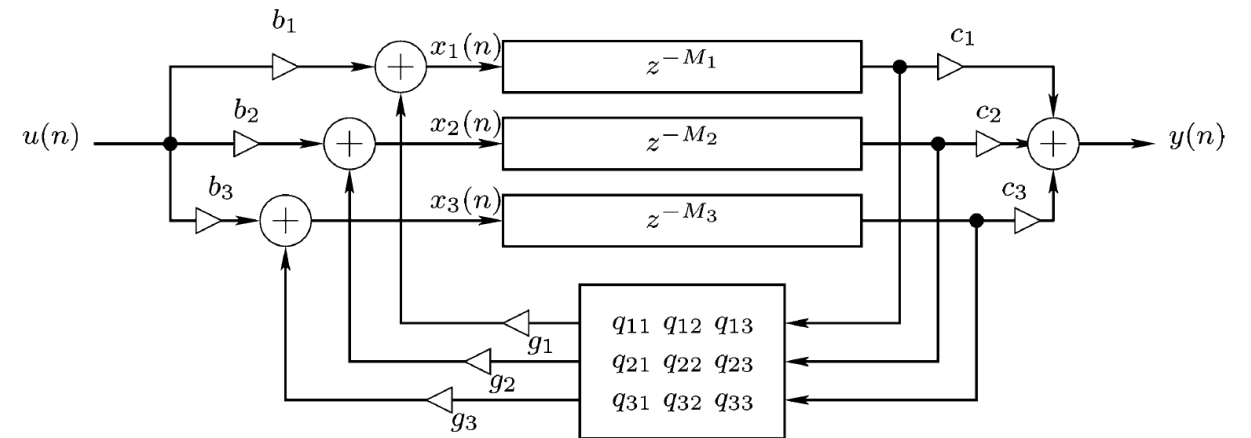
- Filtre en peigne
- Filtre passe-tout
- Réseaux numérique à guide d'onde (Digital Waveguide Networks)



Source d'images: Välimäki et. al (2012)

# Possibilités de réverbération artificielle (réseaux de délai)

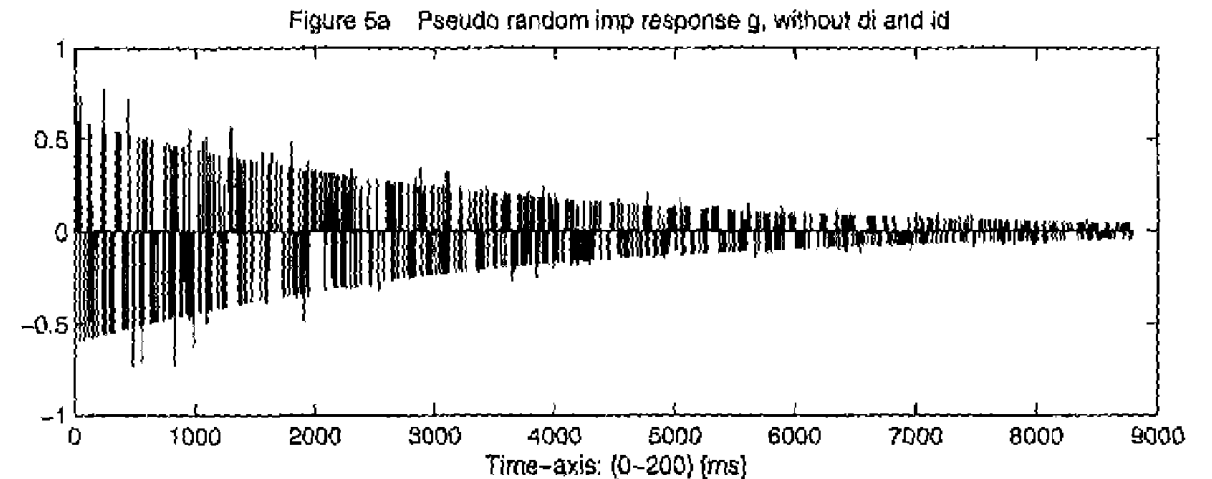
- Filtre en peigne
- Filtre passe-tout
- Réseaux numérique à guide d'onde (Digital Waveguide Networks)
- Réseaux de retards rebouclés (Feedback Delay Networks FDN)



Source d'images: Välimäki et. al (2012)

# Possibilités de réverbération artificielle (réseaux de délai)

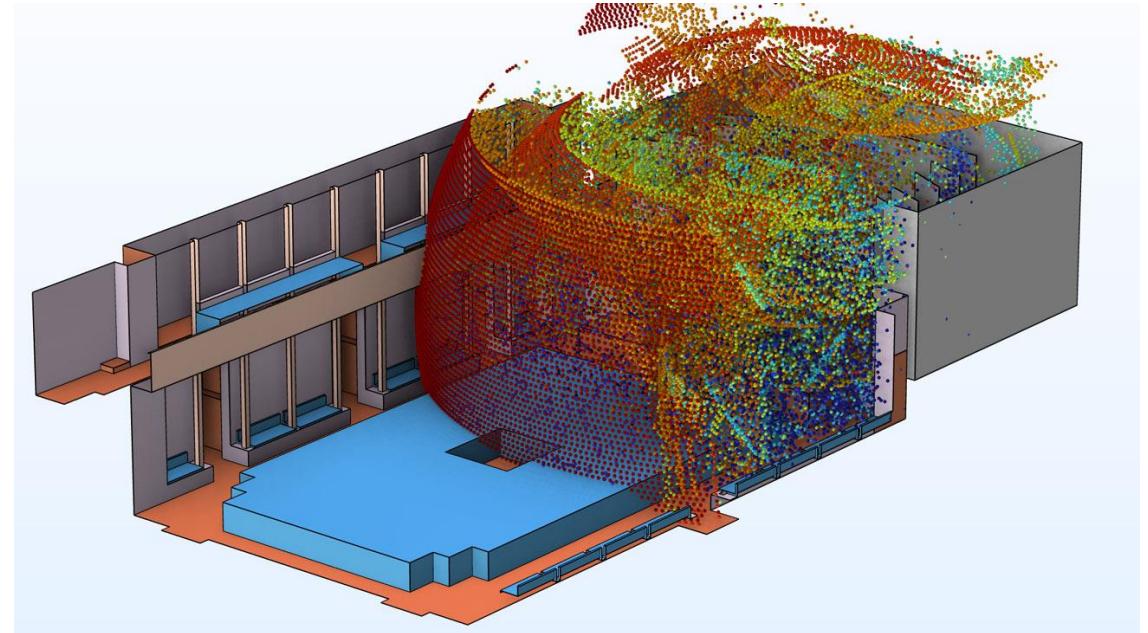
- Filtre en peigne
- Filtre passe-tout
- Réseaux numérique à guide d'onde (Digital Waveguide Networks)
- Réseaux de retards rebouclés (Feedback Delay Networks FDN)
- Algorithmes de réverbération tardive pseudo-aléatoires



*Source d'images: Rubak et. al (2012)*

# Possibilités de réverbération artificielle (Modèles de salle basés sur des caractéristiques physiques ou mesurés)

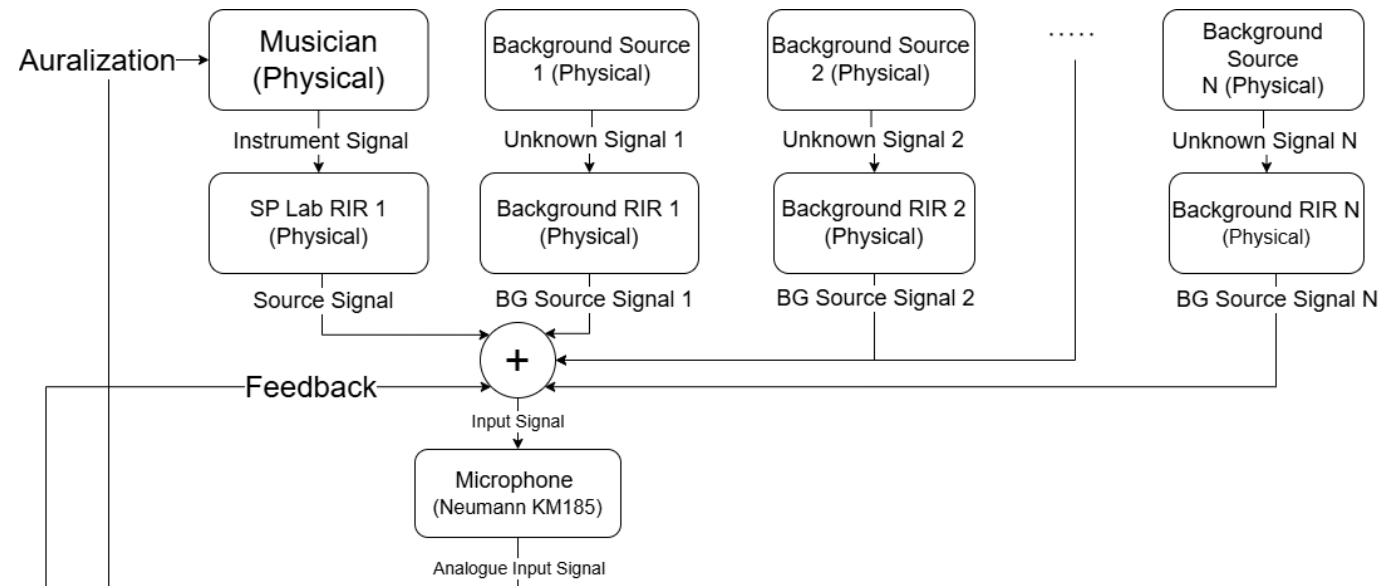
- Convolution avec réponse(s) impulsionnelle(s)
- Différents résultats des modèles:
  - Réponse impulsionnelle
    - Par simulation d'onde (p.ex.: FDTD, BEM, MEF)
  - Réponses temporelles-énergétiques qui doivent être converties en réponse impulsionnelle avant la convolution
    - Typiquement par lancer de rayons
  - Liste des chemins de réflexion qui peuvent être auralisés par une structure de filtre ou convertis en réponse impulsionnelle.
    - Typiquement par lancer de rayons



Source d'images: <https://www.comsol.com/blogs/validating-an-acoustic-ray-tracing-simulation-of-a-chamber-music-hall>

# Traitement de signaux

- Système SIMO (Single In Multiple Out)
- Signal des musicien·ne·s, signal de retour et des bruits présents dans la salle



# Traitement de signaux

- Système SIMO (Single In Multiple Out)
- Signal des musicien·ne·s, signal de retour et des bruits présents dans la salle
- Digitalisation, ajout de signaux synthétiques, convolution et décodage pour enceintes
- Linéarisation, délais et amplification



# Traitement de signaux

- Système SIMO (Single In Multiple Out)
- Signal des musicien·ne·s, signal de retour et des bruits présents dans la salle
- Digitalisation, ajout de signaux synthétiques, convolution et décodage pour enceintes
- Linéarisation, délais et amplification
- Reproduction par enceintes dans la salle

