



UMR Acoustique Environnementale  
(Ifsttar – Cerema)  
**PROPOSITION DE STAGE 2022**

Sujet de stage

---

**Modélisation et analyse de la densité de modes propres pour le confort acoustique de salles**

Niveau recommandé

---

Master (M2)

Master (M1)

Ingénieur

Licence

Bac + 2

Compétences requises

---

Niveau Master en Acoustique, ayant des compétences en programmation Python et maîtrisant l'environnement Linux

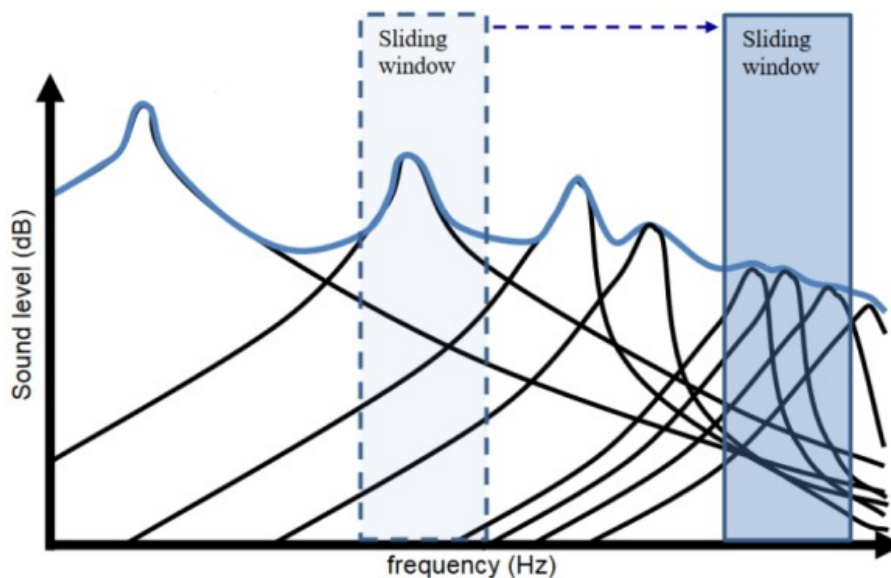
Description

---

*Il est désormais bien établi que le bruit constitue une préoccupation majeure tant à l'échelle du territoire national qu'à l'échelle européenne [OMS2018]. La réglementation et la normalisation évoluent et s'harmonisent entre pays de l'Union afin de prévenir et de limiter les nuisances sonores [Royal1992, Dir2002/49/CE]. Au sein des bâtiments, les nuisances sonores sont principalement dues aux basses fréquences (home cinéma, bruit de pas, bruits des équipements...) qui ont la capacité de pouvoir se propager sur de longues distances sans trop s'atténuer.*

*Théoriquement, tout champ sonore au sein d'une salle, explicité dans l'espace des fréquences, peut être décomposé comme une somme (théoriquement infinie) de modes propres de pression de la salle possédant une amplitude et une phase. Chacun de ces modes propres, dont la densité d'énergie est assimilable à celle d'un amortisseur mécanique, possède une fréquence propre (fréquence de résonance) et un amortissement propre (lié à l'absorption des parois). La densité fréquentielle de modes propres augmente avec la fréquence et les « pics » de résonance ne peuvent plus être distingués au-delà de la fréquence de Schroeder à partir de laquelle la phase moyenne peut être considérée comme nulle, autorisant alors le passage de la notion de pression acoustique (amplitude et phase) vers celle d'énergie acoustique (amplitude). Les modèles de prévision acoustique basés sur des méthodes énergétiques sont dits Hautes Fréquences (HF) dans la mesure où ils sont exploitables pour des fréquences supérieures à la fréquence de Schroeder. En-deçà, des modèles basés sur des approches ondulatoires (e.g. FDTD, TLM, etc.) peuvent être utilisés dont le coût de calcul est justement lié à la fréquence haute de simulation et aux dimensions du domaine de calcul, raison pour laquelle ces approches sont dites Basses Fréquences (BF). Les modèles ondulatoires sont à l'heure actuelle utilisés uniquement en laboratoire [GP2012].*

*Ainsi, les bureaux d'étude utilisent préférentiellement des logiciels de simulation basés sur des méthodes énergétiques plus rapides d'utilisation comme les méthodes de tir de particules ou de rayons sonores [N1993, D1995]. Dans la pratique, ces méthodes énergétiques (HF) sont souvent à utiliser avec précaution pour des fréquences inférieures à environ 500 Hz pour lesquelles il existe des phénomènes acoustiques basses fréquences potentiellement gênants (nœuds et ventres de pression, échos...).*



*Théoriquement, la limite inférieure d'utilisation d'un modèle énergétique (HF) est donc classiquement définie par la formule de Schroeder, définie en fonction du volume de la pièce et du temps de réverbération [S1996]. Malheureusement, même si son expression est simple d'utilisation, elle repose sur l'estimation du temps de réverbération qui suppose une forme linéaire de la décroissance temporelle de l'énergie (proportionnelle au carré de la pression) qui est difficilement rencontrée dans la pratique, excepté pour des salles bien spécifiques (salles cubiques, salles à réflexions diffuses et peu absorbantes).*

*De façon moins restrictive, mais moins connue, la fréquence de Schroeder peut également être définie à partir de l'étude du taux de recouvrement des modes propres dont la densité augmente avec la fréquence. Plus spécifiquement, Schroeder et Kuttruff proposent la condition suivante : lorsque l'espacement moyen entre deux modes propres correspond au tiers de la largeur moyenne à mi-hauteur d'un mode propre assimilable, alors la fréquence de Schroeder est supposée atteinte.*

*L'objectif principal du stage consiste à définir la fréquence de Schroeder à partir de ce critère pour différentes configurations de salles puis, à chercher à l'explicitier en fonction de la géométrie, de l'absorption des parois, voire des positions de la source et du récepteur. Dans la mesure du possible, cette fréquence de Schroeder pourra être également comparée à celle obtenue à partir du temps de réverbération.*

### **Étapes de déroulement du stage**

*Afin de répondre aux objectifs du stage, les étapes suivantes sont proposées :*

- *Bibliographie succincte concernant les modèles de prévisions HF et BF existants en acoustique du bâtiment ainsi que l'impact des modes propres sur le champ sonore ;*
- *Prise en main du modèle ondulatoire TLM (BF) développé par l'UMRAE. Pour cela, le(a) candidat(e) sera aidé(e) par deux chercheurs présents sur le site et utilisant l'approche TLM ;*
- *Développement d'un code (probablement en langage python) pour l'estimation du critère de recouvrement de modes ;*
- *Création d'une base regroupant diverses configurations de salles obtenue en modifiant entre les simulations certains paramètres d'entrée du modèle comme la géométrie, l'absorption des parois (ici modélisée par l'impédance acoustique), et la position des sources et récepteurs ;*
- *Estimation de la fréquence de Schroeder pour ces différentes configurations de salles ;*
- *Recherche d'une expression empirique reliant cette fréquence de Schroeder aux paramètres d'étude (géométrie, absorption, position).*

## Références bibliographiques

---

[Dir2002/49/CE] Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement.

[D1995] B.-I. Dalenback. "A new model for room acoustic prediction and auralization". Ph.D. thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 1995. <https://www.tib.eu/en/search/id/TIBKAT%3A196312906/A-new-model-for-room-acoustic-prediction-and-auralization/>

[GP2012] G. Guillaume and J. Picaut, "TLM modelling for room acoustics", 41e International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise), 2012.

[N1993] G. Naylor, "ODEON Another hybrid room acoustical model", Applied Acoustics, 38(2-4), 131-143, 1993. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0003682X9390047A>.

[OMS2018] Organisation Mondiale de la Santé, "Lignes directrices relatives au bruit dans l'environnement dans la Région européenne", 2018.

[Royal1992] Loi n° 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit (dite loi "Royal" ou loi "bruit").

[S1996] M.R. Schroeder, "The Schroeder frequency revisited", JASA, 99(5), 3240-3241, 1996, <https://doi.org/10.1121/1.414868>.

## Lieu du stage

---

- Ifsttar – Lyon-Bron** (25, avenue François Mitterrand, Case24, Cité des mobilités, F-69675 Bron Cedex)
- Ifsttar – Nantes** (route de Bouaye, CS4, F-44344 Bouguenais Cedex)
- Cerema – Strasbourg** (11, rue Jean Mentelin, Strasbourg-Koenigshoffen, F-67035 Strasbourg)

## Durée du stage (les dates et durée peuvent être adaptées)

---

Date de début :

Date de fin :

Durée : 6 mois

## Encadrement

---

**Cédric FOY – UMRAE – Cerema Strasbourg**

Tél. 03 88 77 79 26

Email : [cedric.foy@cerema.fr](mailto:cedric.foy@cerema.fr)

Site web : [www.umrae.fr](http://www.umrae.fr) ; <https://noise-planet.org/>

**Gwenaël GUILLAUME – UMRAE – Cerema Strasbourg**

Tél. 03 88 77 46 07

Email : [gwenael.guillaume@cerema.fr](mailto:gwenael.guillaume@cerema.fr)

Site web : [www.umrae.fr](http://www.umrae.fr) ; <https://noise-planet.org/>

**Antoine DELEFORGE – LORIA - MULTISPEECH - Inria Nancy**

Tél. 03 54 95 86 44

Email : [antoine.deleforge@inria.fr](mailto:antoine.deleforge@inria.fr)

Site web : <https://team.inria.fr/multispeech/>

## Gratification

---

Indemnité équivalente à 15% du plafond horaire de la Sécurité Sociale, pour un organisme public

<https://www.service-public.fr/simulateur/calcul/gratification-stagiaire>