

## Acoustique musicale : projet Raysalso

Ce livret décrit le projet Raysalso qui porte sur l'analyse et la modélisation du rayonnement des instruments de musique dans une salle ainsi que sur la prise de son.

**Evaluation :** l'évaluation repose sur le travail en séance de travaux pratiques, sur la restitution orale du projet lors de la dernière séance et sur une évaluation écrite lors de l'évaluation du module Raysalso.

**Déroulement :** la répartition en 3 groupes (A,B,C) est précisée plus bas.

29/11/2024	Cours intro prise de son	3h
2/12/2024	Cours intro acoustique des salles	3h
5/12/2024	Travaux pratiques	4h
12/12/2024	Projet tutoré	3h
18/12/2024	Rendu du rapport de projet – avant 18h	
19/12/2024	présentation orale	1h
19/12/2024	éval	1/2h

Benoît FABRE, Jean-Dominique POLACK

Automne 2024

Ce projet a pu être développé grâce au soutien de SU au travers du projet Forminov AMFI.

## Projet Raysalso : du rayonnement à la prise de son en passant par la synthèse de la réponse impulsionnelle d'une salle

Un projet destiné à permettre aux étudiants de :

- interpréter des mesures de son rayonné d'un cuivre à l'aide d'une modélisation simple du rayonnement, de type piston.
- décrire le lien entre la géométrie d'une salle et la réponse impulsionnelle connaissant les points d'émission et de réception, afin d'en extraire les caractéristiques dominantes du point de vue du rendu sonore.
- utiliser les concepts de distance critique et de directivité pour positionner un microphone dans une salle afin d'obtenir une prise de son raisonnable.

## Projet Raysalso : du rayonnement à la prise de son en passant par la synthèse de la réponse impulsionnelle d'une salle

L'enregistrement musical d'un instrument solo dans une salle permet à l'auditeur de ressentir les intentions musicales de l'instrumentiste, son interaction avec la salle, ou encore la manière qu'a l'instrumentiste de faire sonner, non seulement l'instrument mais aussi la salle. En complément du discours musical, l'auditeur perçoit des éléments caractéristiques de la salle, comme sa dimension, la plus ou moins grande proximité avec l'instrument etc.

Le projet proposé est de synthétiser la réponse impulsionnelle permettant, par convolution des enregistrements anéchoïques, d'obtenir un résultat comparable à la prise de son réalisée en salle. Le projet s'articule donc autour :

- d'une séance de travaux pratiques en chambre anéchoïque et dans un auditorium, permettant de mesurer la directivité de la source, de faire un enregistrement anéchoïque de la source ainsi qu'une prise de son en salle.
- d'un travail sur machine visant à synthétiser une réponse impulsionnelle et comparer la convolution de cette réponse impulsionnelle par le signal anéchoïque afin de le comparer à l'enregistrement réalisé dans l'auditorium.

### Découpage du travail

1	Travail préparatoire	personnel
2	Mesures de rayonnement	TP en groupe
3	Enregistrement d'un signal anéchoïque	TP en groupe
4	Prise de son en auditorium	TP en groupe
5	Synthèse de la réponse et convolution, comparaison	Projet en groupe
6	Présentation orale	Projet en groupe

NB : l'ordre des étapes 2+3 et 4 peut être interverti.

Séance de **travaux pratiques** du 5 /12/2024 : rendez-vous à 8h45 au pied de la tour 44.

- 8h45-10h40 : groupes A : chambre anéchoïque / groupes B & C : Amphi 15
- 10h55-12h45 : groupes B & DC : chambre anéchoïque / groupes A : Amphi 15

Chambre anéchoïque : tour 44, SB20 / SB22, niveau RC (attention, un étage en dessous de la dalle Jussieu)  
Amphi 15 : entrée niveau Jussieu au pied de la tour 15.

## Travail à réaliser

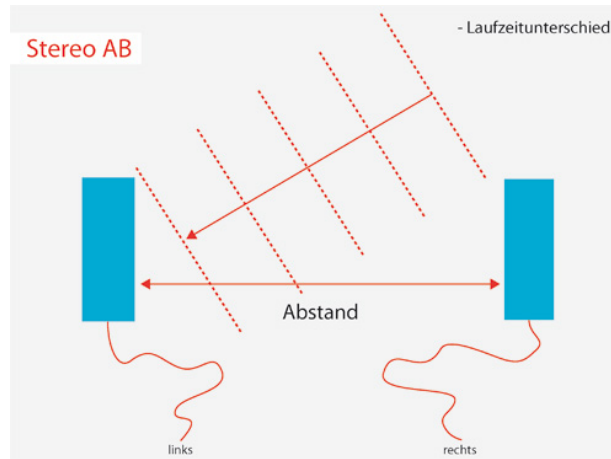
### En séance de travaux pratiques

La séance pratique fait appel à une source musicale reproductible : une trompette excitée par un moteur à compression. La seule ouverture rayonnante est le pavillon de la trompette, que l'on pourra assimiler, en première approximation, à un piston du même diamètre. Le signal émis pourra être soit un signal type (bruit ou sinus glissant), soit une séquence musicale pré-enregistrée. Cette source est déclinée en 2 exemplaires, dont l'un est installé dans la chambre anéchoïque et l'autre dans l'amphi. L'utilisation de la même séquence musicale pré-enregistrée permet de répéter à loisir l'expérience.

- Mesures de rayonnement
  - Compte-tenu de la symétrie de l'ouverture rayonnante, on pourra se limiter à quelques points de mesure, positionnés sur un cercle centré sur la source rayonnante.
  - Les diagrammes de directivité sont traditionnellement présentés sous la forme de l'amplitude rayonnée dans une direction donnée, rapportée à l'amplitude dans l'axe. Un microphone sera donc positionné dans l'axe pour référence.
  - Afin de faciliter la comparaison avec la théorie, on veillera à se rapprocher d'hypothèses de champ lointain.
- Enregistrement d'un signal anéchoïque
  - Ce signal servira pour la convolution. On veillera à placer les microphones de manière appropriée par rapport à la source.
- Prise de son en salle
  - Deux types de couples stéréophoniques seront utilisés : un couple XY et un couple AB
  - Le signal enregistré servira à la comparaison avec la convolution du signal anéchoïque et de la réponse impulsionnelle synthétique de salle. Placer, à l'écoute, les microphones dans une position offrant un résultat sonore plaisant, qui mette en valeur les caractéristiques de la salle.
  - Noter les éléments clefs de l'architecture de la salle, utiles pour la synthèse de la réponse impulsionnelle.
- Points de vigilance :
  - Les niveaux sonores peuvent être élevés, et devenir dangereux pour l'audition, notamment à proximité des sources.
  - Les amplificateurs de puissance peuvent générer des puissances électriques et acoustiques élevées, susceptibles d'endommager par échauffement les moteurs à compression. On veillera à ne pas appliquer de niveaux élevés en continu.
  - De manière générale, le matériel utilisé est fragile et couteux ... si vous avez un doute, une question, une inquiétude, adressez-vous à votre tuteur.

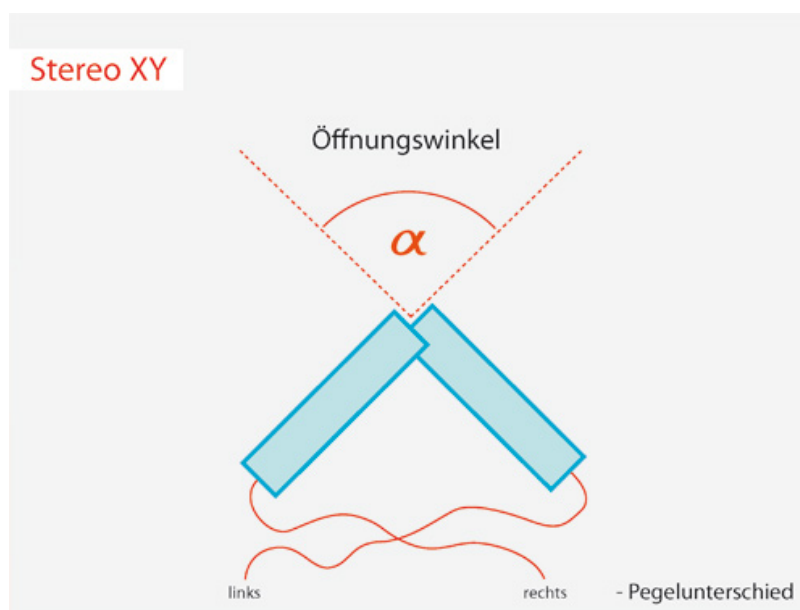
## A-B technique: time-of-arrival stereophony

This uses two parallel omnidirectional microphones some distance apart, capturing time-of-arrival stereo information as well as some level (amplitude) difference information — especially if employed in close proximity to the sound source(s). At a distance of about 60 cm (24 in), the time delay (time-of-arrival difference) for a signal reaching the first microphone and then the other one from the side is approximately 1.5 ms (1 to 2 ms). If you increase the distance between the microphones, you effectively decrease the pickup angle. At a 70 cm (28 in) distance, it is approximately equivalent to the pickup angle of the near-coincident ORTF setup.



## X-Y technique: intensity stereophony

Here, two directional microphones are at the same place, typically pointing at an angle between  $90^\circ$  and  $135^\circ$  to each other. The stereo effect is achieved through differences in sound pressure level between two microphones. A difference in levels of 18 dB (16 to 20 dB) is needed for hearing the direction of a loudspeaker. Due to the lack of differences in time-of-arrival/phase ambiguities, the sonic characteristic of X-Y recordings has less sense of space and depth when compared to recordings employing an A-B setup. When two figure-eight microphones are used, facing  $\pm 45^\circ$  with respect to the sound source, the X-Y setup is called a Blumlein Pair. The sonic image produced is realistic.



### En préparation

- Etudier l'analyse théorique du champ rayonné par un tuyau
- Calculer et dessiner au moyen de l'ordinateur (Matlab ou autre...) le diagramme de directivité du tuyau.

### Pour l'aboutissement du projet

- Synthétiser une réponse impulsionnelle qui intègre les éléments les plus significatifs de l'architecture de la salle.
- Générer un son « en salle » par convolution de l'enregistrement anéchoïque par la réponse synthétisée.
- Ecouter, analyser et comparer le son produit par la convolution et la prise de son réalisée dans l'auditorium. Au besoin, ajuster la réponse impulsionnelle pour une meilleure adéquation.
- Préparer une présentation orale (10 minutes par groupe) qui fasse état :
  - Des résultats des mesures de directivité
  - Des choix effectués pour l'enregistrement du signal anéchoïque
  - Des choix effectués pour la prise de son en auditorium
  - Des éléments architecturaux retenus pour la synthèse de la réponse impulsionnelle
  - Des résultats de la comparaison entre la prise de son en salle et le résultat de la convolution.

### Références bibliographiques :

- Sur le rayonnement : Acoustique des instruments de musique, Chaigne & Kergomard, Belin 2013, Chap. 12, sections 3, 4, 5, 6
- Sur la synthèse de réponse impulsionnelle : J.D. Polack, Playing billiard in the concert hall: the mathematical foundations of geometrical room acoustics. Appl. Ac. 38 (1993) 235-244

### Le matériel utilisé lors de la séance pratique comprend :

- Trompette Jupiter, pavillon de 12cm de diamètre.
- Chambre de compression RCF N850
- Amplificateur de puissance
- Microphones AT4022, Neumann KM184 **cardioid**
- Interface audio Presonus

Répartition en groupes :

NOM	Prénom	
Benjamin	Colas	C
Mathys	Daniel	A
Damien	Forgeot D'Arc	C
Simon	Jacquin	A
Aurélien	Jeanneau	B
Kang	Jiale	B
Azal	Le Bagousse	A
Marco	Meinzel	B
Alice	Pain	C
Robin	Wendling	A