

Optimisation des zones d'écoute personnalisée à l'aide de microphones ambisoniques : vers une utilisation simplifiée et adaptative.

Contexte

Ces dernières années, le LAUM a largement développé des activités en synthèse de champs sonores, que ce soit pour des activités liés à la mesure (création de champs acoustiques cibles, onde plane ou champ diffus) ou encore sur la réalisation de zones d'écoute personnalisée (ou *sound zones*), avec notamment des collaborations avec Stellantis et Orange labs. C'est sur ce dernier axe que porte le sujet de thèse proposé.

La réalisation de zones d'écoute personnalisée (ZEP) s'effectue le plus couramment à l'aide d'un réseau de haut-parleurs (contigus ou distribués), dont les signaux d'entrée sont filtrés afin de produire une différence de niveau sonore, appelée contraste, entre différentes zones. Une ZEP permet de proposer plusieurs expériences ou contenus sonores simultanément dans le même local, et ce sans interférence. On considère généralement qu'une différence de 30 dB permet à un utilisateur présent dans une zone de ne pas être distrait par le programme diffusé dans une autre zone. Par contre, étant donné la complexité des environnements acoustiques réels, le calcul des filtres à appliquer aux haut-parleurs s'effectue à partir de mesures des fonctions de réponses en fréquences (FRF) entre sources sonores et zones de contrôle, ces dernières étant discrétisées à l'aide d'un réseau de microphones. Cette mesure du champ sonore est fastidieuse et ne permet de connaître le champ sonore qu'aux points de mesure (**estimation ponctuelle et fixe**). Cela rend le déploiement des ZEPs encore complexe dans des applications hors laboratoire. L'utilisation d'un microphone ambisonique permettrait, grâce aux projections sur des bases d'harmoniques sphériques, d'extraire le champ sonore en toutes positions et prendre en compte les mouvements de la tête lors de l'écoute (**estimation en 3D et ajustable**). De telles avancées permettraient de mettre en place des zones d'écoute personnalisées robustes, avec des retombées envisagées dans de nombreux domaines (musique, expositions en musées, environnement sonore dans les lieux recevant du public, hôpitaux).

Travail de thèse

Les 5 étapes principales de ce travail de thèse sont les suivantes :

1. Validation de la captation par microphone ambisonique : impact des paramètres du microphone (nombre de capsules, ordre, rayon et type de microphone).
2. Prise en compte de la diffraction de l'auditeur à l'aide de fonctions HRTF (Head Related Transfer Functions) issues de simulateurs de tête et de torse (par exemple le mannequin HATS de Bruel & Kjaer) ou d'un calcul par modèle numérique (FEM ou BEM). La validation des résultats obtenus se fera tout d'abord en salle anéchoïque puis en salle quelconque (petite salle de réunion et local de type amphithéâtre).
3. Prise en compte des mouvements de la tête (rotation ou translation). Pour la translation, les coefficients ambisoniques sont recalculés pour la nouvelle position (voir figure 1). En se basant sur ces premières simulations en champ libre et sans auditeurs, on remarque que pour des translations de l'ordre de quelques dizaines de centimètres, le champ reconstruit est proche du champ cible autour sur une zone relativement large.
4. Recalcul des filtres en temps réels afin de prendre en compte les mouvements de la tête, validation numérique puis expérimentale dans des contextes de laboratoire.
5. Participation au développement de plugin VST permettant l'utilisation des algorithmes développés par la communauté des ingénieurs du son en collaboration avec le [CIRMMT](#) (Montréal), incluant des tests dans les locaux du CIRMMT et des présentations lors de workshop.

Résultats attendus

Les objectifs de la thèse sont de proposer une méthode qui non seulement facilite l'implémentation pratique des ZEPs, mais qui permet également d'améliorer les performances des algorithmes liés aux ZEPs en proposant des fonctionnalités innovantes (prise en compte de la diffraction du corps de l'auditeur, optimisation des filtres aux positions exactes des oreilles, suivi du mouvement de la tête).

Gauche – Champ cible.

Milieu – Champ sonore extrapolé à partir de la décomposition en harmonique sphérique de la mesure ambisonique du champ cible au point A (croix bleue).

Droite – Champ sonore extrapolé à partir de la même mesure (au point A), mais en centrant la décomposition en harmonique sphérique au point B (croix rouge).

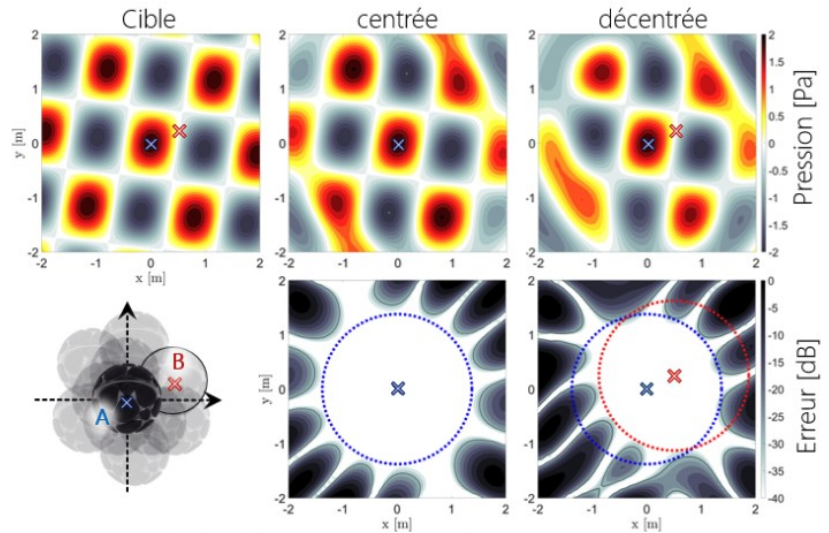


Figure 1 : Exemple de translation du centre de la décomposition en harmonique sphérique.

Encadrement

Directeur de thèse : Manuel Melon (LMU) manuel.melon@univ-lemans.fr

Co-directeur de thèse : Olivier Robin (UdeS)

Co-encadrant : Bruno Gazengel (LMU)

Pierre Grandjean, professionnel de recherche au CRASH, participera également aux travaux de recherche en tant que spécialiste de l'ambisonie d'ordres supérieurs.

Mobilité

Un séjour long au [CRASH UdeS](#) est prévu afin de disposer de leur salle *Wave Field Synthesis* (réseau de 96 haut-parleurs). Ce séjour permettra également de renforcer les activités de l'IRP Jacques Cartier qui lie le CRASH-UdeS et le LAUM (renouvelé récemment pour la période 2023-2028). Une collaboration avec le [CIRMMT](#) est également prévue afin de tester les algorithmes développés en environnement réel, ce qui permet d'augmenter les retombées potentielles de ce travail et de créer un nouveau partenariat pour le LAUM (O. Robin est co-responsable de l'axe de recherche 1 du CIRMMT Instruments, appareils et systèmes).

Publications

Au moins une conférence internationale sera présentée par le doctorant ou la doctorante. La soumission de deux articles dans des revues telles que le JASA ou le JAES est également prévue.

Références

1. L. Vindrola, M. Melon, J.-C. Chamard & B. Gazengel, "Pressure matching with forced filters for Personal Sound Zones application" *J. Audio Eng. Soc.* 68(11) 832-842 (2020)
2. L. Vindrola, M. Melon, J.-C. Chamard & B. Gazengel, "Use of the filtered-x algorithm to adapt Personal Sound Zones in a car cabin", *J. Acoust. Soc. Am.* 150(3) 1779-93 (2021).
3. P Grandjean, A Berry, PA Gauthier, "Sound field reproduction by combination of circular and spherical higher-order ambisonics: Part I—A new 2.5-D driving function for circular arrays", *J. Audio Eng. Soc.* 69 (3), 152-165 (2021)
4. P Grandjean, A Berry, PA Gauthier, "Sound field reproduction by combination of circular and spherical higher-order ambisonics: Part II—hybrid system" *J. Audio Eng. Soc.* 69 (3), 166-181 (2021)