



HAL
open science

Auralisation d'œuvre in situ : entre enjeux techniques et musicaux

Paul Goutmann, Adrien Zanni

► **To cite this version:**

Paul Goutmann, Adrien Zanni. Auralisation d'œuvre in situ : entre enjeux techniques et musicaux. Journées d'Informatique Musicale, GRAME; Inria, Jun 2025, Lyon, France. ⟨hal-05102324v2⟩

HAL Id: hal-05102324

<https://hal.science/hal-05102324v2>

Submitted on 17 Jul 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

AURALISATION D'OEUVRE *IN SITU* : ENTRE ENJEUX TECHNIQUES ET MUSICAUX

Paul Goutmann^a, Adrien Zanni^{ab}

^aCICM, Université Paris 8

^bHOLOPHONIX

RÉSUMÉ

L'usage des outils d'auralisation binaural se démocratise progressivement dans les domaines de la conception, de la production et de la pré-production de dispositifs de spatialisations sonore. Ces technologies permettent d'optimiser les processus en amont et d'intégrer les complexités acoustiques de certains environnements difficiles à simuler. Cet article s'appuie sur la réalisation par P. Goutmann d'une version binaurale et interactive de « Libre comme » de Jean-Yves Bernhard au moyen d'outils du package *az* d'A. Zanni afin d'explorer les enjeux musicaux et techniques de l'auralisation d'œuvres musicales *in situ*.

1. INTRODUCTION

L'utilisation d'outils d'auralisation binaural se démocratise pour répondre aux problématiques de conception, de production ou de pré-production de dispositifs spatialisés. Ces outils permettent de gagner en efficacité en travaillant en amont des productions et de leurs mises en œuvre. Ils permettent d'intégrer par l'écoute les problématiques complexes et parfois difficilement simulables de certains dispositifs spatialisés. Les outils d'auralisation du package *az* présentés ici sont issus du travail de recherche d'A. Zanni [15] sur la conception de dispositifs spatialisés, notamment pour la réalisation de trois projets artistiques : la création de la pièce « In Nomine Lucis » de Pascal Dusapin [13] au Panthéon de Paris, la conception d'un dispositif de renfort sonore spatialisé pour la cour d'Honneur du Palais des Papes d'Avignon [9] et la conception d'un dispositif expérimental d'acoustique active au théâtre de l'Archevêché pour les représentations d'opéra du festival d'Aix-en-Provence [11]. Ces projets ont donné naissance à la bibliothèque logicielle *az* pour le cadrage (*framework*) *Max*. Cette bibliothèque inclut des outils logiciels émergents d'expérimentations pour le monitoring spatialisé : *az.holo.monitoring~*, *az.stereo.ab~*, *az.stereo.binaural~*. Le retour d'expérience sur le développement et l'utilisation de ces outils nous a permis de relever plusieurs problématiques :

1. Les techniques d'auralisation sont bien connues, mais restent peu utilisées pour la diffusion, ce qui complique leur mise en œuvre en production.
2. L'enregistrement de musique spatialisée pour un rendu stéréophonique ou binaural peut être décevant

et ne reflète pas toujours le rendu acoustique du lieu ¹.

3. Il peut être difficile de mettre en place une restitution qui simule un parcours au sein d'acoustiques complexes comme le cas de l'abbaye royale de Fontevraud (simulation de chaque acoustique, interactions et couplages, masquage acoustique lié à la géométrie du lieu, etc.).

Ainsi, nous interrogeons les enjeux artistiques et techniques de la restitution de versions interactives d'œuvres *in situ*. Nous prendrons pour exemple la réalisation d'une version binaural 6 *degrees of freedom* (DoF) d'une œuvre déambulatoire qui place la spatialité du son au centre de son écriture.

2. VERS UNE VERSION INTERACTIVE DE « LIBRE COMME »

2.1. Contexte artistique

Dans le cadre du projet « Voix, Musique, Espace » (2021-2023) du Collegium Musicæ, P. Goutmann a réalisé l'enregistrement et le mixage de « Libre comme » de Jean-Yves Bernhard interprétée par le COSU à l'abbaye Royale de Fontevraud. La captation de cette œuvre déambulatoire ² pour chœur, huit solistes, cloches et électronique a soulevé de nombreuses interrogations aussi bien sur le plan technique qu'esthétique. « Libre comme » est une œuvre *in situ*, dans laquelle les chanteurs et le public sont en mouvement. Le jeu avec les différentes acoustiques de l'abbaye y est central avec une volonté particulière du compositeur de « faire sonner » ces espaces. Transmettre les sensations de la création au travers d'un support audiovisuel stéréophonique dépasse le défi technique et pose la question de la trace que cet objet laissera de l'œuvre *in situ*. Les techniques de captations périphoniques sont aujourd'hui bien documentées [7], néanmoins elles ne sont pas simples à mettre en œuvre notamment confronté aux

1 . Par exemple, si la prise de son n'a pas été pensée pour une restitution spatialisée, cela complique son auralisation. De plus, la prise de son implique généralement des mesures en des points fixes dont il ne sera pas trivial de limiter les effets de précedence liés à la discrétisation de l'espace induite par le dispositif microphonique

2 . Cet enregistrement accompagne une captation vidéo de la création qui s'est tenue le 23 avril 2023. Lien : <https://youtu.be/3pC0KcC4wbM?si=EZdT91hr97QMtH9N> [consultée le 31 mars 2025]

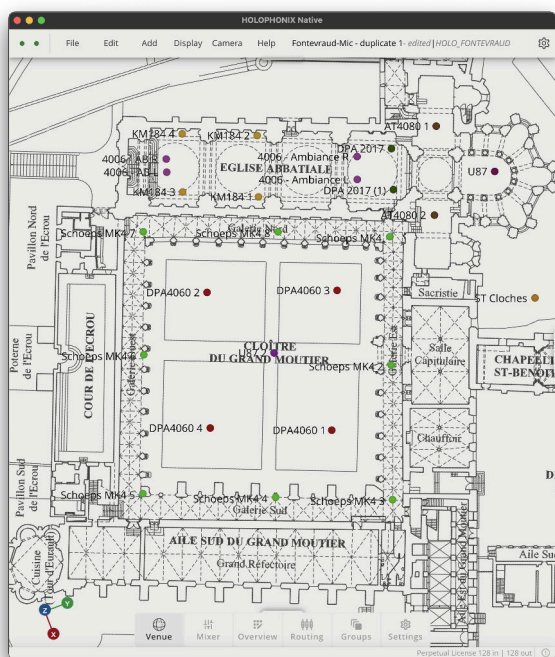


Figure 1. Plan d'implantation du dispositif de captation dans *HOLOPHONIX*.

contraintes de production (installation, coût, diffusion). En effet, le dispositif de captation étalé dans les différents lieux de l'abbaye (cloître, galeries, transepts, chœur, abside et nef de l'abbatiale) a supposé de nombreux choix que nous ne pourrions que survoler dans cet article. Proposer une réduction stéréophonique adaptée au contexte audiovisuel relève d'une lecture subjective de l'œuvre. Celle-ci émane d'un processus d'analyse de la pièce, d'interactions avec le compositeur ainsi que d'expérimentations durant les périodes de résidences et répétitions. Plusieurs hypothèses de dispositifs ont été évoquées pour souligner la dimension *in situ* et l'expérience singulière à chaque personne du public³. Bien que le dispositif n'ait finalement pas été pensé pour cela, quels sont les enjeux techniques et musicaux de la réalisation d'une version auralisée de cette création ?

2.2. Partition spatiale

La pièce est composée de cinq mouvements dont trois déambulatoires. Le premier mouvement (*1. murmures*) était donné dans le cloître (voir fig.1), le chœur était divisé en quatre, chacun des groupes était réparti dans les galeries (est, ouest, sud, nord). Le public se situait au centre du cloître dans les allées. Une soliste se tenait à chacun des quatre parterres entourant le public. Au centre, le chef était sur une estrade. Dans les galeries se trouvaient des enceintes pour la diffusion indirecte d'une bande essentiellement constituée de sons de cloche synthétisés à partir d'analyses réalisées par le Collegium et un texte écrit,

3. Mixage P.O.V, enregistrement et mixage binauraux, production de différentes versions correspondant à différents trajets.



Figure 2. Photographie prise lors de la création (cinquième mouvement), crédit photo : Tom Gachet

et lu par l'écrivaine Sereine Berlotier. Des sonneurs de cloche étaient situés à plusieurs centaines de mètres et étaient dirigés à distance. À la fin du premier mouvement, chaque soliste conduisait une des quatre parties du public vers l'abbatiale en passant par les travées (*2. chemins de croix*) puis les galeries. Progressivement, chaque portion de chœur arrivant dans l'abbatiale allait se répartir dans des zones définies en avance. Les zones correspondaient aux pupitres : dans les deux transepts, puis un au niveau du chœur. Les solistes se plaçaient au niveau des gisants et lisaient des textes. Le public circulait libre dans l'abbatiale (*3. ruche*). Progressivement, des choristes venaient se déplacer et transmettre une note à un groupe, tout en se déplaçant autour du public. Puis tous les pupitres se mettaient en mouvement pour finir par se trouver tous sur la scène située à l'entrée de l'abbatiale (*4. libre*). Durant le cinquième mouvement (*5. Inconsolabilis*), le public était réparti en quatre zones divisées par des allées, les quatre solistes se plaçaient au bout de chaque allée. Quatre chanteurs par pupitre allaient se placer aux quatre coins de l'auditoire (voir fig.2).

2.3. Dispositif de captation

Pour le cloître, nous avons utilisé huit appoints (Schoeps MK4) distribuées dans les galeries, un microphone omnidirectionnel (Neumann U87) au-dessus du chef et des DPA4060 en *headset* avec transmission HF sur chaque soliste⁴. Pour les transepts de l'abbatiale et l'abside, nous avons un cardioïde à chacune des trois zones d'arrêt des pupitres (AT4050/Neumann U87) ainsi que deux hypercardioïdes (DPA 2017) pointés vers des récitantes autour des gisants. Un couple AB large (DPA 4006) surplombait les gisants dans la nef. Pour le narthex, nous avons un couple AB (DPA 4006) dirigé vers le chœur, un microphone car-

4. Du fait des distances et de l'épaisseur des murs, nous utilisons différents récepteurs pour l'intérieur et l'extérieur. Par ailleurs, nous avons initialement prévu de faire quatre couples ORTF positionnés dans le cloître pointant vers les couloirs. Plusieurs éléments nous ont amené à changer de stratégie : fort vent - audible malgré des boules anti-vent avec bonnette à poil long -, le risque de pluie, et le manque de proximité perçu avec les chanteurs.



Figure 3. Couple stéréophonique pointant vers les trois cloches *Pétronille*, *Richard* et *Aliénor*.

dioïde (Neumann KM184) à chaque angle de l'auditoire dans les bas-côtés ainsi que des DPA4060 sur chacune des solistes. Un couple stéréophonique était positionné à une centaine de mètres des cloches en extérieur (voir fig.3).

2.4. Réalisation

Pour interroger le potentiel de la dimension interactive, nous avons mis en place un premier prototype en nous concentrant sur le premier mouvement de l'œuvre. Une capture vidéo lors d'une utilisation du dispositif est disponible sur la plateforme HAL⁵. Le premier mouvement est intéressant pour cette expérimentation, car il y a une superposition de deux acoustiques très différentes (les galeries, et le plein air). De plus, la position des quatre solistes autour desquels nous pouvons circuler permet de confronter des sources très localisables avec le chœur. Lors de la captation, plusieurs hypothèses ont été évoquées pour réaliser des versions binaurales ou stéréophoniques centrées sur le parcours. L'idée de ces tests est de permettre la simulation de différents parcours, libre, en binaural. L'objectif pour nous est de positionner chacun des signaux issus des microphones comme des sources virtuelles, à l'échelle, dans un espace virtuel, ajouter des facteurs de gain et retards proportionnels à la distance entre ces sources virtuelles et le point d'écoute, pouvoir bouger ce point d'écoute puis rendre le tout en binaural. La bibliothèque *az* comprenait déjà le calcul automatique des gains et délais ainsi que la rotation de champs sonore contrôlé par un gyroscope en OSC. Nous avons proposé l'ajout du contrôle de la position du point d'écoute au moyen d'un joystick avec un contrôle direct (le point d'écoute se déplace dans la direction du joystick). Nous envoyons le signal issu de notre multipiste *Reaper* au moyen d'une carte son virtuelle

5. Extrait audio (binaural)/vidéo : <https://hal.science/hal-05083513>. Nous y entendons un extrait du premier mouvement, dans lequel nous avons déplacé le point d'écoute au moyen d'une manette de PS4 ainsi qu'un *headtrack* *Supperwar*. Nous pouvons y voir sur la gauche de l'écran la disposition des microphones sur *HOLOPHONIX*, les outils d'auralisation de la bibliothèque *az* utilisant le *Spat* de l'*Ircam*[4].

vers *HOLOPHONIX* qui s'occupe de prendre en charge la visualisation 3D de notre dispositif de microphone et l'éditer, puis le flux multicanal est envoyé vers *Max* qui fait le rendu binaural et la compensation en gain et délai. Les informations de position sont envoyées par OSC depuis le gyroscope et un joystick vers *Max* (voir fig.4).

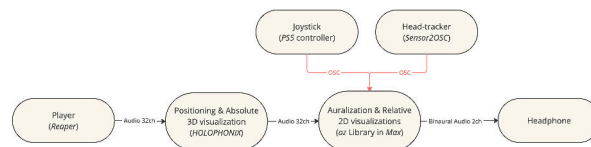


Figure 4. Diagramme représentant le *workflow* de post-production.

2.5. Implications

Les premiers tests ont montré la nécessité d'accorder les paramètres des délais en fonction du matériau sonore en jeu et la vitesse de déplacement de l'auditeur. Ces déplacements changent la valeur des temps de retard, ce qui peut engendrer des artefacts ([1], [5]). Nous avons trouvé que l'utilisation d'une transition linéaire en mode *vdelay*, pour une durée de 30 ms, était satisfaisante pour les sons tenus. Cette version a eu tendance à nous engager dans l'exploration, cela nous a donné envie d'aller écouter comment les choristes entendaient depuis les galeries, de tourner autour des solistes pour essayer de percevoir leur point d'écoute. De ce point de vue, le résultat est très efficace. Bien que le résultat soit une troncature de la situation acoustique réelle, cela a réactivé des souvenirs auditifs du lieu, notamment chez le compositeur. Ces premiers tests ont souligné l'intérêt de ce type de support, mais aussi la nécessité d'un travail adaptée. En effet, l'auralisation directe de la scène sonore enregistrée semble manquer d'une cohérence globale, d'éléments liants les différentes sources virtuelles. Par ailleurs, la transition entre les acoustiques (microphones dans les galeries – microphones des solistes), devrait être accompagnée de traitements adaptés. Ce type de version nécessite un mixage particulier, comprenant des stratégies temps réels, à l'instar du mixage pour le jeux-vidéo. Nous faisons l'hypothèse que l'ajout d'éléments sonore au moyen de technique de *sounddesign* permettrait d'accompagner cette cohérence globale. Ces essais ont soulevé de nombreuses questions : comment créer une cohérence globale ? comment gérer les obstacles ? que faire lorsque l'auditeur se situe sur une source ? comment diffuser ce type de support ? Pour cette dernière question, nous prototypes actuellement une version en webaudio du moteur sonore [3] en utilisant le code *Faust* du décodeur binaural de P. Lecomte [8] basé sur la réponse impulsionnelle liée à la tête du Neumann KU 100[2].

3. OUTILS D'AURALISATION DANS LA BIBLIOTHÈQUE AZ

Nous présentons ici trois outils émergeant d'une méthodologie de conception de dispositif spatialisé [15] : *az.holo.monitoring~*, *az.stereo.ab~* et *az.stereo.binaural~*. Ceux-ci concernent principalement la dernière étape d'analyse du dispositif : la virtualisation avant sa réalisation en maquette ou *in situ*. Une validation par l'écoute en aval des étapes de simulation mathématique permet de révéler d'éventuelles problématiques difficilement simulable et ainsi, gagner en confiance avant la mise en place du dispositif dans des conditions réelles. Ces outils présentent trois approches du *monitoring* spatialisé.

3.1. Monitoring binaural d'enceintes virtuelles

az.holo.monitoring~ est un prototype de *monitoring* binaural 6 DoF, destiné à simuler la perception d'un dispositif de diffusion spatialisé tel qu'il serait entendu dans un espace réel. L'outil utilise une approche de projection en binaural d'enceintes virtuelles. Il récupère dans *Max* les signaux audio issus des enceintes virtuelles d'*HOLOPHONIX* (post traitement de spatialisation) via une carte son virtuelle (voir fig. 5). Il applique ensuite une simulation acoustique simplifiée (délai de propagation, atténuation par la distance), et réalise enfin la synthèse binaurale selon la position et l'orientation d'un point d'écoute mobile. L'interaction avec le point d'écoute peut se faire par déplacement et rotation en *OSC*, permettant une exploration virtuelle des scènes sonores. Cette méthode de validation perceptive intervient en complément des analyses algorithmiques et acoustiques, pour détecter des problématiques difficilement simulables.

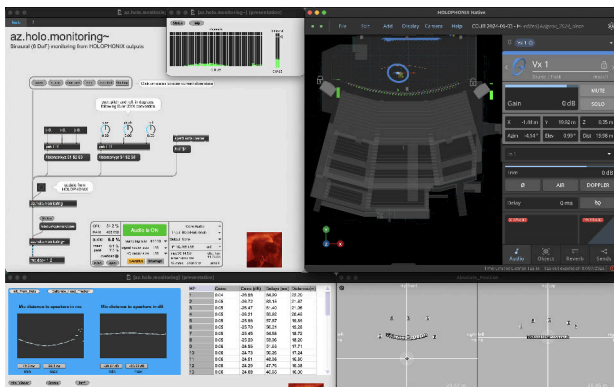


Figure 5. Exemple d'utilisation d'*az.holo.monitoring~* pour simuler en binaural le dispositif de la cour d'Honneur d'Avignon.

3.2. Monitoring binaural d'une synthèse ambisonique de signaux stéréophoniques

az.stereo.binaural~ permet de projeter un signal stéréophonique en binaural via une étape intermédiaire dans le domaine ambisonique, facilitant notamment la rotation du

champ sonore[10][6]. L'outil utilise la méthode *magls*, afin d'améliorer l'externalisation, la réponse en fréquence et de diminuer des artefacts liés à l'utilisation d'un ordre fini ambisonique [12][14]. Le signal stéréophonique est encodé, transformé selon les mouvements de tête (*head-tracking*), puis synthétisé en binaural sans passer par une étape de décodage vers des enceintes virtuelles. Cet outil offre une alternative aux plugiciels de *crossfeed* couramment utilisés en prise de son classique pour simuler une écoute stéréophonique prenant en compte les mouvements de la tête. Il est conçu comme une aide au *monitoring* professionnel, mais aussi comme un outil de comparaison entre rendus stéréophoniques et binauraux dans une démarche exploratoire (voir fig. 6).

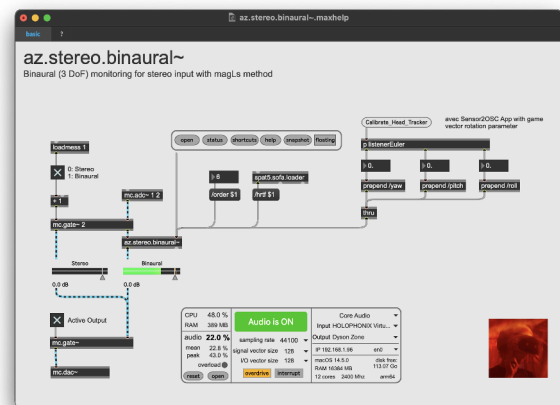


Figure 6. Exemple d'utilisation d'*az.stereo.binaural~* pour projeter en binaural une stéréo avec la méthode *magls*.

3.3. Simulation de microphonie virtuelle pour la restitution sur un dispositif multicanal d'enceintes

L'outil *az.stereo.ab~* permet de simuler un dispositif de captation multimicrophonique en trois dimensions, offrant un *monitoring* spatial pour des dispositifs multicanaux sur enceintes à partir de sources virtuelles positionnées dans l'espace. Inspiré du bus "Stéréo AB" du *Spat*, l'outil étend cette logique à un nombre libre de microphones, chacun paramétrable en position, orientation et directivité (voir fig. 7). Il s'adresse à la fois aux besoins de *monitoring* pour la spatialisation en concert (notamment dans le cadre de réductions stéréophoniques pour des diffusions radio ou TV), et au mixage en prise de son classique, notamment pour harmoniser les appoints avec une prise de son globale. Le traitement proposé inclut des calculs de délais relatifs ou absolus, et de gains, permettant de reproduire les effets d'atténuation et de propagation. La souplesse de ce dispositif permet aussi des manipulations artistiques, tout en garantissant une cohérence temporelle et spatiale entre les différentes sources virtuelles et leur restitution.

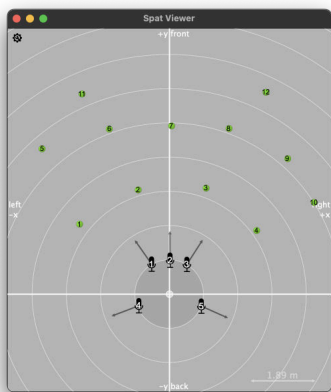


Figure 7. Exemple d'utilisation d'*az.stereo.ab* pour simuler une captation multimicrophonique virtuelle en 5.0 avec 12 appoints, visualisation dans le *spat5.viewer*

4. BILAN ET PERSPECTIVES

La réalisation d'une version interactive binaurale de la représentation de « Libre comme » a relevé des problématiques que nous discutons dans cette section comme autant de points de départ pour nos futurs travaux.

4.1. Simulation d'acoustiques complexes et effets de masquage, interactions artistiques

La complexité des environnements acoustiques, notamment dans des espaces tels que l'abbaye Royale de Fontevraud, rend indispensable une gestion fine des différentes zones et de leurs interactions. Nous souhaiterions pour cela concevoir des outils qui permettraient de définir et d'articuler des zones acoustiques indépendantes, en prenant en compte leurs effets de masquage ou de chevauchement. Une telle approche offrirait une maîtrise plus précise de la transition entre les espaces sonores, mais suppose le développement de systèmes adaptés à la fois à la perception humaine et aux contraintes spatiales réelles. Pour simplifier l'édition de zones d'acoustiques dans des géométries complexes, nous souhaitons approfondir nos travaux [15] sur l'utilisation d'algorithmes d'enveloppes (convexes, concaves ou contours dynamiques, voir fig. 8) pour le contrôle de modèles perceptifs de distance basés sur la géométrie du lieu ou des points d'intérêts (microphones, enceintes). L'objectif serait ensuite de permettre à l'utilisateur d'ajuster dynamiquement les paramètres d'interactions des zones d'acoustique (couplage, atténuation, filtrage, etc.). Cette approche opérationnelle vise à rendre le mixage et le *monitoring* d'environnements complexes plus intuitif.

4.2. Production binaurale en 6 DoF abordable

L'accessibilité des systèmes interactifs 6 DoF reste un enjeu majeur pour la diffusion d'œuvres auralisées, notamment lors des étapes de post-production. En effet, les



Figure 8. Comparaison des résultats d'enveloppe 2D à partir des positions des enceintes du Panthéon. À gauche, utilisation de l'algorithme *Convex Hull*. Au centre, utilisation d'une implémentation de l'algorithme *alpha shape*. À droite, algorithme proposé « Contour ».

systèmes externalisés restent encore onéreux, complexes et peu répandus tandis que les outils de VR/AR sont perçus comme invasifs dans le *workflow* des ingénieurs du son. Nous souhaitons développer un prototype d'outil de contrôle 6 DoF à très faible coût, reposant sur une caméra et intégrée dans un environnement web. Ce système permettrait, via la webcam d'un ordinateur portable, de suivre en temps réel la position et l'orientation de l'utilisateur dans un espace restreint. Une approche potentielle serait d'utiliser des systèmes de tracking tel que *Mediapipe*. De nombreuses problématiques restent encore à explorer sur l'ergonomie et l'interface de cet outil pour des scènes et acoustiques complexes.

5. CONCLUSION

Faire trace d'œuvres musicales *in situ* comportant une forte dimension spatiale constitue un enjeu central des techniques du son. Si les approches de captation périphonique sont désormais bien documentées, leur mise en œuvre peut s'avérer complexe et peu compatible avec les contraintes de production. Par ailleurs, les dispositifs immersifs multicanaux demeurent difficilement accessibles en dehors des centres spécialisés. Dans ce contexte, les technologies d'auralisation binaurale en 6 DoF apparaissent comme une piste prometteuse autant pour la pré-production, la distribution et l'archivage d'œuvres spatiales. En expérimentant la réalisation d'une version auralisée en 6 DoF de *Libre comme* de J.-Y. Bernhard à l'aide des outils du package *Max az*, nous avons identifié un ensemble d'avantages, de contraintes, de problématiques et de perspectives que ce genre de support engendre.

L'interactivité du support – la possibilité de se déplacer librement dans l'espace sonore – s'est notamment révélée particulièrement pertinente pour renforcer l'engagement de l'auditeur. Proposée au compositeur, à l'ingénieur du son, et à des auditeurs ayant assisté au concert, cette expérience ravive la mémoire sensorielle de la performance *in situ*, dans un rapport d'écoute en déplacement analogue à celui du concert.

Cette expérience nous a permis de souligner la nécessité

d'adapter les pratiques de mixage. Il s'agit d'imaginer des stratégies dynamiques en temps réel, bien connues dans le domaine du jeu vidéo : traitements évolutifs, transitions inter-acoustiques cohérentes, gestion du couplage entre zones. Ce type de support pose également des défis en matière de distribution et d'accessibilité. Ainsi, ces premiers prototypes nous engagent pour l'avenir à rendre les formes d'auralisation plus intuitives et plus largement diffusables : édition simplifiée de zones acoustiques, ajustement des interactions en fonction de l'auditeur, intégration d'outils légers compatibles avec des environnements *web*.

6. REFERENCES

- [1] Franck Andreas, Graefe Andreas, Korn Thomas, and Strauss Michael. Reproduction of moving sound sources by wave field synthesis : an analysis of artifacts. *Journal of the Audio Engineering Society*, (10), September 2007.
- [2] Benjamin Bernschütz. Spherical far-field hrir compilation of the Neumann KU100. 2020.
- [3] Michel Buffa, Shihong Ren, Tom Burns, Antoine Vidal-Mazuy, and Stéphane Letz. Evolution of the Web Audio Modules Ecosystem. In *WAC 2024 - Web Audio Conference 2024*, Lafayette, Indiana, United States, March 2024. Purdue University / Tae Hong Park.
- [4] Thibaut Carpentier. Spat : a comprehensive toolbox for sound spatialization in Max. *Ideas Sonicas*, 13(24) :12 – 23, 2021. Publisher : João Pedro Oliveira.
- [5] Thibaut Carpentier. Implementation of a continuously variable delay line by crossfading between several tap delays. In *Sound and Music Computing (SMC)*, Porto, Portugal, July 2024.
- [6] Isaac Engel, Dan Goodman, and Lorenzo Picinali. Improving binaural rendering with bilateral ambisonics and MagLS. In *Annual German Conference on Acoustics*, volume 99, page 10, 2021. Issue : 1.
- [7] Lee Hyunkook and Johnson Dale. 3d microphone array comparison : Objective measurements. *Journal of the audio engineering society*, 69 :871–887, november 2021.
- [8] Pierre Lecomte. Ambitools : Tools For Sound Field Synthesis Using Higher Order Ambisonics - V1.0. In *1st International Faust Conference (IFC-18)*, Mainz, Germany, July 2018.
- [9] Christophe Masson. Holophonix et Amadeus pour la Cour d'Honneur du Palais des Papes, September 2023.
- [10] Markus Noisternig, Thomas Musil, Alois Sontacchi, and Robert Holdrich. 3d binaural sound reproduction using a virtual ambisonic approach. In *IEEE International Symposium on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, 2003. VECIMS '03. 2003*, pages 174–178, 2003.
- [11] Markus Noisternig and Adrien Zanni. Continuum - acoustique active : Réalisations et perspectives. In *JTSE 2022 : Acoustique active : genèse, réalisations et perspectives*, 2022.
- [12] Christian Schörkhuber, Markus Zaunschirm, and Robert Höldrich. Binaural rendering of ambisonic signals via magnitude least squares. In *Proceedings of the DAGA*, volume 44, pages 339–342, 2018.
- [13] David Segalen. In Nomine Lucis. In *AS n°247 – Février 2023*. Edition AS, February 2023.
- [14] Lübeck Tim, Helmholtz Hannes, Johannes M. Arend, Pörschmann Christoph, and Ahrens Jens. Perceptual evaluation of mitigation approaches of impairments due to spatial undersampling in binaural rendering of spherical microphone array data. *Journal of the Audio Engineering Society*, 68(6) :428–440, June 2020.
- [15] Adrien Zanni. *Création d'outils d'écritures de l'espace sonore pour l'interface d'un spatialisateur*. PhD thesis, Université Paris 8 - Vincennes Saint-Denis, 2024.