



HAL
open science

Archéologie acoustique par reconstruction virtuelle pour l'analyse in situ

Brian F. G. Katz, David Poirier-Quinot

► **To cite this version:**

Brian F. G. Katz, David Poirier-Quinot. Archéologie acoustique par reconstruction virtuelle pour l'analyse in situ. Culture et recherche, 2020, 141, pp.25-26. hal-02940162

HAL Id: hal-02940162

<https://hal.science/hal-02940162>

Submitted on 7 Oct 2020

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.



Cinéma, audiovisuel, son

Archéologie acoustique par reconstruction virtuelle pour l'analyse *in situ*

Les recherches en acoustique architecturale de l'équipe Lutheries-Acoustique-Musique (LAM) de l'Institut Jean-Le-Rond-d'Alembert portent sur l'analyse et la re-création d'un patrimoine discret et immatériel : les environnements sonores. S'appuyant sur des outils d'un nouveau genre, les reconstitutions sonores virtuelles historiquement authentiques offrent une perspective intimiste permettant de revivre le passé pour mieux le comprendre et l'interpréter.

Avec l'adoption récente de la résolution de l'UNESCO sur l'importance du son¹, venant s'ajouter à la convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel, une prise de conscience s'opère aujourd'hui quant à l'intérêt de préserver et d'étudier les environnements sonores et l'acoustique de sites historiques. En parallèle, l'évolution des puissances de calcul disponibles ouvre progressivement la voie aux simulations acoustiques de haute précision, désormais capables de traiter des édifices à la fois vastes et complexes dans lesquels l'acoustique joue souvent un rôle clé : théâtres, salles de concert, ou encore cathédrales. Ainsi, les recherches en acoustique architecturale s'appuient aujourd'hui de plus en plus sur l'*auralisation*, équivalent audio de la visualisation, qui permet de créer un rendu sonore simulant l'acoustique d'une scène, d'un espace ou d'un lieu. Souvent couplées à des rendus visuels en réalité virtuelle, ces auralisations permettent aux acousticiens de présenter leurs résultats de façon bien plus parlante aux chercheurs des autres disciplines. Ces simulations intéressent tout particulièrement les historiens et de façon plus générale les chercheurs étudiant le patrimoine culturel. En faisant eux-mêmes l'expérience de ces paysages sonores, ces nouveaux *archéo-acousticiens* sont désormais en mesure d'évaluer par les sens des hypothèses sur la perception et le rôle du son à travers l'histoire.

Dans ce contexte, notre équipe a travaillé sur la mise au point de méthodes permettant de calibrer ces auralisations pour s'assurer qu'elles sont bien représentatives des édifices étudiés. À l'issue de ces travaux, nous nous sommes penchés sur le rôle des sources sonores dans ces auralisations. Nous avons progressivement affiné nos simulations pour restituer fidèlement différents types de sources, de l'instrument de musique à la voix humaine, fixes ou mobiles, afin d'aboutir à des reconstitutions complètes *situées*, permettant par exemple d'étudier une performance dans son contexte de création ou d'exécution.

L'idée, derrière la méthode de calibrage mise au point², est de se baser sur un site existant pour valider le modèle nous permettant de produire des auralisations. On commence par créer un modèle acoustique 3D, avec lequel on simule une première auralisation grossière. On ajuste ensuite progressivement ce modèle jusqu'à ce qu'il permette de produire des auralisations indissociables, objectivement comme subjectivement³, de celles que l'on aura créées à partir d'enregistrements réalisés dans l'édifice étudié. Trois monuments parisiens à l'acoustique singulière ont ainsi été simulés et étudiés : l'abbaye de Saint-Germain-des-Prés⁴, la cathédrale Notre-Dame de Paris et le théâtre de l'Athénée.

L'étude la plus remarquable a peut-être été celle qui nous a amenés à la reconstruction virtuelle de Notre-Dame. Cette étude a été initiée dans le cadre du projet FUI-BiLi⁵, un projet sur la démocratisation de l'écoute binaurale, et s'est poursuivie à travers le projet ANR ECHO⁶, projet autour du patrimoine numérique et des auralisations historiques. En partenariat avec le Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris (CNSMDP), nous avons entrepris de produire une auralisation de la cathédrale dans le cadre d'un concert donné en l'honneur de son 850^e anniversaire. Cette simulation devait notamment offrir aux auditeurs la possibilité de se déplacer dans l'ensemble de la cathédrale pendant le concert, mettant en évidence ses multiples acoustiques et leurs influences sur notre perception de l'œuvre. Intitulé « Ghost Orchestra », ce projet nous a amenés à développer et à calibrer un modèle acoustique de Notre-Dame, plus tard couplé à un rendu visuel approximatif de la cathédrale pour créer une scène virtuelle complète servant de cadre à l'auralisation. Une vidéo d'une traversée du monument pendant ce concert virtuel est aujourd'hui disponible en ligne⁷.

Cette étude a pris une tout autre dimension à la suite du récent incendie qui a frappé Notre-Dame. Le modèle acoustique réalisé est à ce jour le seul moyen de recréer de façon précise l'acoustique de l'édifice

BRIAN F.G. KATZ

Directeur de recherche CNRS, Sorbonne Université, Institut Jean-Le-Rond-d'Alembert, équipe Lutheries-Acoustique-Musique

DAVID POIRIER-QUINOT

Post-doctorant, Sorbonne Université, Institut Jean-Le-Rond-d'Alembert, équipe Lutheries-Acoustique-Musique

1. The Importance of sound in today's world: promoting best practices, résolution 39 C/49, 2017.

2. B.N.J. Postma, B.F.G. Katz, "Creation and calibration method of acoustical models for historic virtual reality auralizations", *Virtual Reality*, 19, 2015, p. 161-180. doi.org/10.1007/s10055-015-0275-3

3. B.N. Postma, B.F. Katz, "Perceptive and objective evaluation of calibrated room acoustic simulation auralizations", *J. Acoust. Soc. Am.*, 140, déc. 2016, p. 4326-4337. doi:10.1121/1.4971422.

4. B. Postma, A. Tallon, B. Katz, "Calibrated auralization simulation of the abbey of Saint-Germain-des-Prés for historical study", *Int. Conf. Auditorium Acoustics*, 37, oct. 2015, p. 190-197.

5. Projet collaboratif BiLi (*Binaural Listening*, écoute binaurale) soutenu par le Fonds unique interministériel (Oseo et Région Île-de-France), piloté par France Télévisions ; ont collaboré : Radio France, Orange, l'IRCAM, le LIMSI (CNRS), le CNSMDP, Arkamys, Trinnov Audio, A-Volute.

6. ECHO (Écrire l'histoire de l'oral), financé par l'ANR, est porté par le laboratoire THALIM et réunit le CRIALT (université de Montréal), l'Université van Amsterdam Theaterwetenschap, le LIMSI (CNRS) et la BNF.

7. www.lam.jussieu.fr/Projets/GhostOrchestra.html

© Sorbonne Université - CNRS



© Sorbonne Université - CNRS



© Sorbonne Université - CNRS



Image conceptuelle du projet EVAA : interactions acoustiques entre le musicien et la salle, époque baroque (Château de Versailles)

Projet « Cloud Theatre » : pièce de théâtre virtuelle à l'Athénée.

Projet « Ghost Orchestra » : concert virtuel à Notre-Dame de Paris.

avant sa destruction partielle. Nous contribuons aujourd'hui au « Chantier CNRS Notre-Dame », en partenariat avec le ministère de la Culture, pour éclairer les choix qui seront faits pour sa rénovation en évaluant l'impact acoustique. Ce chantier est également l'occasion de collaborer avec des historiens de diverses époques pour tenter de recréer le paysage sonore acoustique à l'intérieur et autour de la cathédrale à travers les siècles. Au cours de ces travaux, l'ensemble de nos simulations ainsi que plusieurs enregistrements complets de concerts au sein de Notre-Dame seront mis à disposition des chercheurs et du public dans le but de mieux comprendre l'évolution de ce monument et de son empreinte acoustique.

Les outils mis en place pour la virtualisation de Notre-Dame nous ont servi au cours d'une seconde étude, également menée dans le cadre du projet ECHO et en collaboration avec des historiens des arts du spectacle. Nous avons examiné l'évolution acoustique du théâtre de l'Athénée, depuis sa construction à la fin du XIX^e siècle jusqu'à aujourd'hui. L'histoire de ce théâtre en fait un sujet d'étude idéal, car il a fait l'objet de nombreuses rénovations qui ont toutes eu un impact sur son acoustique. Dans le cadre de cette étude,

nous avons travaillé sur la simulation de sources acoustiques mobiles, pour prendre en compte les rotations et déplacements des acteurs sur scène. Nous avons également intégré la directivité de la voix des acteurs aux simulations – ce paramètre jouant un rôle important dans la création d'auralisations vraisemblables⁸. Comme pour le Ghost Orchestra, une scène visuelle de l'Athénée a été créée pour servir de cadre lors de l'écoute des auralisations. Le résultat est une pièce de théâtre virtuelle dont l'acte I est aujourd'hui disponible en ligne⁹.

Dans la continuité de ces études, l'équipe du LAM travaille aujourd'hui sur plusieurs projets exploitant le potentiel de l'*analyse immersive située* qu'offre l'archéo-acoustique virtuelle. Les salles et les contextes d'étude varient, allant de la musique de chambre baroque à Versailles, aux concerts classiques dans des salles de récital modernes. La thématique quant à elle est commune : après la salle et la source, l'objectif de ces projets est d'intégrer l'interprète aux auralisations pour mieux comprendre les interactions existantes entre sa performance et l'acoustique du lieu dans lequel elle s'inscrit¹⁰. ■

8. B. Postma, H. Demontis, B. Katz, "Subjective evaluation of dynamic voice directivity for auralizations," *Acta Acustica united Ac.*, 103, 2017, p. 181-184. doi:10.3813/AAA.919045.

9. www.lam.jussieu.fr/Projets/CloudTheatre.html

10. <https://evaa.lam.jussieu.fr>