



**HAL**  
open science

## HeSoAN : un projet archéoacoustique

Julien Ferrando, Julien De Muynke, Brian F. G. Katz

► **To cite this version:**

Julien Ferrando, Julien De Muynke, Brian F. G. Katz. HeSoAN : un projet archéoacoustique. RÉSONANCES GOTHIQUES, Collegium Musicae, pp.281-306, 2024, 10.5281/zenodo.14163429 . hal-04817835

**HAL Id: hal-04817835**

**<https://hal.science/hal-04817835v1>**

Submitted on 4 Dec 2024

**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.

# RÉSONANCES GOTHIQUES



Actes du colloque d'archéoacoustique et musicologie  
(Avignon, 7-9 septembre 2023)

# INSTITUT COLLEGIUM MUSICÆ DE L'ALLIANCE SORBONNE UNIVERSITÉ

Collection MusiqueS & Interdisciplinarité

## Direction scientifique du volume

Béatrice CASEAU

Frédéric BILLIET

## Comité Scientifique

Frédéric BILLIET (Sorbonne Université)

Susan BOYNTON (Columbia University)

Béatrice CASEAU (Sorbonne Université)

Achille DAVY-RIGAUX (CNRS)

Mark EVERIST (University of Southampton)

Brian F.G. KATZ (Sorbonne Université)

Lucia ORLANDI (École française de Rome)

Théodora PSYCHOYOU (Sorbonne Université)

## Coordination des publications du Collegium Musicæ

Achille DAVY-RIGAUX

## Direction du Collegium Musicæ

Théodora PSYCHOYOU

## Coordination d'édition

Nancy HACHEM

## Secrétariat de rédaction

Lucia Maria ORLANDI

## Design graphique

Adeline GOYET

## Design graphique, mise en page et illustration de couverture

Fabien TESSIER

Novembre 2024

DOI → <https://doi.org/10.5281/zenodo.14163436>

Disponible en versions PDF et E PUB

Avec le soutien de l'ANR pour le projet PHEND (The Past Has Ears at Notre-Dame) et  
de l'European Union's Joint Programming Initiative on Cultural Heritage pour PHE (The Past Has Ears)



# HeSoAN : un projet archéoacoustique

Reconstruire les conditions acoustiques de la chapelle pontificale du Palais des Papes d'Avignon au XIV<sup>e</sup> siècle

## Julien FERRANDO

Aix Marseille Univ, CNRS, IDEAS , Aix en Provence France.  
julien.ferrando@univ-amu.fr

## Julien DE MUYNKE

Institut Jean Le Rond d'Alembert, CNRS, Sorbonne Université, France  
Eurecat, Technology Center of Catalonia, Multimedia Technologies, Espagne  
julien.de\_muyne@dalembert.upmc.fr

## Brian F.G. KATZ

Institut Jean Le Rond d'Alembert, CNRS, Sorbonne Université, France  
brian.katz@sorbonne-universite.fr

DOI → <https://doi.org/10.5281/zenodo.14163429>

## RÉSUMÉ

Entre 2016 et 2019, plusieurs séries de concerts de musique vocale médiévale ont été organisées dans la Grande Chapelle du Palais des Papes. Cette chapelle était considérée au <sup>xiv</sup><sup>e</sup> siècle comme l'un des lieux importants pour la pratique de la musique polyphonique. Cependant, son acoustique a probablement évolué depuis l'époque où les chœurs y chantaient pendant les messes papales. Bien que son architecture médiévale ait largement été préservée au fil des siècles, la Grande Chapelle a perdu, avec sa fonction originale, sa décoration et son mobilier d'époque. Cette évolution historique a motivé le travail de reconstruction des conditions acoustiques historiques d'une performance vocale dans ce lieu. La modélisation numérique d'acoustique des salles et les techniques d'auralisation ont été utilisées pour étudier les interprétations de performance d'un ensemble vocal spécialisé en musique médiévale dans l'acoustique reconstituée de la Grande Chapelle du Palais des Papes du <sup>xiv</sup><sup>e</sup> siècle.



<b>PRÉSENTATION</b> .....	<b>283</b>
<b>LE PALAIS DES PAPES</b> .....	<b>284</b>
<b>L'OPUS NOVUM</b> .....	<b>285</b>
<b>ARCHITECTURE ET DÉCORATION DE LA GRANDE CHAPELLE</b> .....	<b>286</b>
<b>LA GRANDE CHAPELLE : UN LIEU POUR LE CHANT POLYPHONIQUE</b> .....	<b>289</b>
INTERACTION ENTRE L'ACOUSTIQUE ET L'INTELLIGIBILITÉ .....	290
<b>RECONSTRUCTION ACOUSTIQUE DE LA GRANDE CHAPELLE</b> .....	<b>291</b>
MESURES ACOUSTIQUES <i>IN SITU</i> .....	292
MODÉLISATION GÉOMÉTRIQUE .....	292
CALIBRATION ACOUSTIQUE DU MODÈLE GA .....	293
RÉGRESSION TEMPORELLE DU MODÈLE GA .....	294
CARACTÉRISTIQUES ACOUSTIQUES DE LA GRANDE CHAPELLE .....	294
<b>EXPÉRIMENTATION AVEC LES CHANTEURS :</b>	
<b>UN ENVIRONNEMENT ACOUSTIQUE VIRTUEL</b> .....	<b>295</b>
<b>CONFIGURATION EXPÉRIMENTALE</b> .....	<b>298</b>
<b>PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL</b> .....	<b>299</b>
<b>RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DU QUESTIONNAIRE</b> .....	<b>300</b>
<b>LE PROJET HeSoAN</b> .....	<b>301</b>
LE MODULE EXPÉRIMENTATION / ENREGISTREMENT .....	302
LE MODULE MUSÉAL .....	302
LE MODULE PLATEFORME .....	304

## HeSoAN : UN PROJET ARCHÉOACOUSTIQUE

Reconstruire les conditions acoustiques de la chapelle pontificale du Palais des Papes d'Avignon au XIV<sup>e</sup> siècle

Julien FERRANDO, Julien DE MUYNKE et Brian F.G. KATZ

### PRÉSENTATION

Le projet HeSoAN (Hear the Sound of Ars Nova) est un projet interdisciplinaire qui a pour objectif d'étudier les conditions acoustiques des performances de musique chantée de l'*Ars Nova* au sein de la chapelle pontificale au XIV<sup>e</sup> siècle. Il est soutenu par la SATT Sud-Est et Avignon Tourisme, avec le partenariat de l'UMR IDEAS (Aix-Marseille Université/CNRS) et de l'Institut Jean Le Rond d'Alembert (Sorbonne Université/CNRS). Il prolonge le projet IMAPI<sup>1</sup> réalisé entre 2021 et 2023. HeSoAN se décline en deux modules complémentaires : module (1) Expérimentation-Recherche (étude du geste vocal dans l'espace sonore médiéval reconstitué) ; module (2) Valorisation patrimoniale sensorielle (création du parcours de visite immersif sur la musique pour appréhender par une approche sonore et sensible l'histoire musicale du Palais des Papes). Ainsi dès octobre 2024, les expérimentations (enregistrements de musique vocale, étude des impacts de l'acoustique sur l'interprétation, interactions entre l'acoustique et les techniques de compositions) seront menées en collaboration avec le projet PHE (The Past Has Ears) et dans le cadre d'EVAA (Experimental Virtual Archaeological-Acoustics)<sup>2</sup>, sous la direction de Brian F.G. Katz et avec la participation de deux ensembles de musique : Diabolus in Musica (Direction Nicolas Sansarlat) et Musica Nova (Direction Lucien Kendel).

Les travaux réalisés dans le projet précédent IMAPI<sup>3</sup> ont mené à la réalisation d'un modèle acoustique de la Grande Chapelle dans différents états historiques, permettant de sélectionner différents emplacements hypothétiques du chœur des chanteurs dans la chapelle, d'immerger les musiciens dans l'acoustique

1 Le projet d'archéoaoustique IMAPI (Interprétation Musicale dans l'Acoustique du Patrimoine Immersif) a vu le jour en 2020, animé par le désir d'explorer les liens entre les lieux de production historiques et les productions musicales patrimoniales. Ce projet interdisciplinaire a réuni des musicologues et des acousticiens du laboratoire PRISM de l'Université d'Aix-Marseille, ainsi que des spécialistes en reconstruction virtuelle de l'acoustique des salles de l'Institut d'Alembert de Sorbonne Université. Plus largement, IMAPI s'inscrit dans le méta-projet EVAA (Experimental Virtual Archaeological-Acoustics) aux côtés d'autres projets expérimentaux en archéoaoustique, tels que le projet PHEND (The Past Has Ears at Notre-Dame) axé sur l'identité sonore de la cathédrale Notre-Dame de Paris à travers les siècles. L'objectif principal d'IMAPI fut de mener des recherches expérimentales sur l'interprétation de la musique patrimoniale dans les espaces virtuellement reconstruits.

2 <http://phe.pasthasears.eu>, <http://evaa.pasthasears.eu> (consulté le 15/06/2024).

3 <https://imapi.hypotheses.org> (consulté le 15/06/2024).

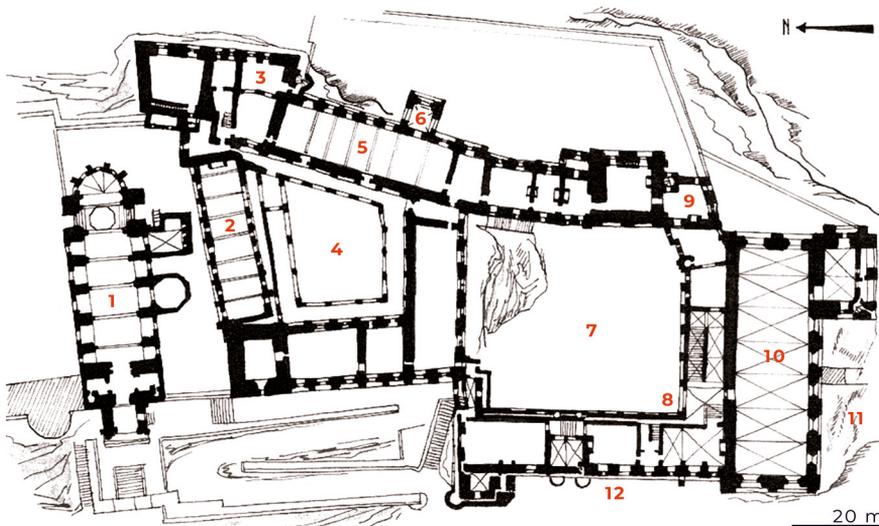
correspondant à ces positions choisies, et de comparer à l'écoute la performance vocale des chanteurs en fonction de ces positions. Ces réalisations ont fait l'objet d'une expérimentation dans la chambre anéchoïque du laboratoire de l'UMR PRISM à Marseille en décembre 2021. Une série de données a été récoltée et a fait apparaître des éléments prometteurs sur la qualité offerte par l'acoustique médiévale (De Mynke, *et al.*, 2022), des nouvelles manières de considérer l'interprétation de la monodie dans un contexte moins réverbérant. Ce fut également un moyen d'ouvrir la réflexion sur l'importance des positionnements en demi-cercle et en quinconce tel qu'ils apparaissent dans certains éléments iconographiques de cette époque (Ferrando, 2020, 2022).

Nous proposons à travers cet article de présenter l'expérimentation réalisée ainsi que le projet futur HeSoAN, et plus précisément le module (2) du parcours de visite immersive du Palais des Papes développée en collaboration avec Talkartive et dont le déploiement est prévu pour 2025.

## LE PALAIS DES PAPES

Le Palais des Papes est la plus grande structure gothique jamais construite. En 1309, sous le pontificat du Pape Clément V, le Saint-Siège déménagea à Avignon, France, et y demeura jusqu'en 1403 (Poisson, 2004). La construction du Palais des Papes débuta en 1335 pendant le pontificat de Benoît XII (appelé le Palais Vieux). Celui-ci fut ensuite agrandi par le Pape Clément VI à partir de 1342 (connu sous le nom de Palais Neuf, comprenant la magnifique chapelle Clémentine, également appelée la Grande Chapelle). Sa structure intrinsèque évolua au cours du *xiv<sup>e</sup>* siècle avec la création ou la destruction d'espaces où la musique liturgique était présente. En particulier, le nombre de chapelles, où la musique accompagnait divers services (matines, messes, vêpres), continua d'évoluer tout au long du *xiv<sup>e</sup>* siècle. L'établissement de la papauté à Avignon à cette époque a conféré à la cité une stature de centre éminent du monde chrétien, constituant par ailleurs un terreau propice à l'épanouissement de l'art musical. Cet art s'est trouvé ainsi au service non seulement de la politique papale et de l'Église, mais également de l'ensemble des citoyens. Dans un contexte culturel médiéval caractérisé par une diversité manifeste, où la transmission du savoir s'opérait principalement de manière orale, les émanations sonores issues de la musique et de la parole revêtaient une importance cruciale dans l'exercice du pouvoir pontifical et dans les diverses activités quotidiennes des citoyens. Le pontife Clément VI, l'instigateur incontesté de l'expansion du palais pontifical, a propulsé cet édifice vers une fonctionnalité inégalée. Cela s'est notamment concrétisé par l'érection de nouveaux édifices dans la partie sud du palais, désignés sous l'appellation *opus novum*, et par la réalisation marquante

de la Grande Chapelle. Par ailleurs, certaines productions musicales à connotation politique, conçues durant son pontificat, semblent intrinsèquement liées à la configuration architecturale des lieux, tel le motet, dont l'entrelacement structurel présente des similarités avec l'agencement en baies successives de la Grande Chapelle (Ferrando, 2014a). La Salle de la Grande Audience abritant le Tribunal de la Rote et la Fenêtre de l'Indulgence surplombant la cour fermée, désormais dénommée la Cour d'Honneur (Fig. 1), illustrent d'autres exemples de sites au sein du Palais des Papes où l'architecture facilite la diffusion de la parole, de la liturgie et de l'art musical. Cette relation significative entre le son et l'architecture se concrétise par une évolution constante, au cours du xiv<sup>e</sup> siècle, des espaces dévolus à la création musicale au sein du Palais des Papes, tant d'un point de vue esthétique que technique.



**1.** Cathédrale Notre-Dame des Doms ; **2.** Chapelle Saint-Étienne ; **3.** Tour des Cuisines ; **4.** Cloître de Benoît XII ; **5.** Rez-de-chaussée : Consistoire ; 1<sup>er</sup> étage : Grand Tinel ; **6.** Tour Saint-Jean. Rez-de-chaussée : chapelle Saint-Jean ; 1<sup>er</sup> étage : chapelle Saint-Martial ; **7.** Cour d'Honneur ; **8.** Fenêtre de l'Indulgence ; **9.** Tour de la Garde-Robe : chapelle Saint-Michel ; **10.** Rez-de-chaussée : Grande Audience ; 1<sup>er</sup> étage : Grande Chapelle ; **11.** Roche de la Peyrolerie ; **12.** Façade principale

**Figure 1.** Palais des Papes, plan du premier étage  
(dessin : Joseph Rosier d'après Viollet-le-Duc, 1858, vol. 7, 32).

## L'OPUS NOVUM

Clément VI fut le pape de l'expansion du palais. Alors que le peuple romain s'impatientait et commençait à réclamer le retour du pontife au siège de Saint-Pierre à Rome, Clément VI, successeur de Benoît XII à partir de 1342, souhaitait

rester définitivement dans la cité provençale. Cependant, le palais papal laissé par son prédécesseur souffrait d'un manque d'espace par rapport à la splendeur de la cour papale. De plus, les édifices liturgiques n'étaient pas, selon Clément VI, à la hauteur de la tâche de représenter et de perpétuer l'action de saint Pierre sur terre. Il ordonna donc la construction du Palais Neuf en complément du Palais Vieux. Les travaux de construction du Palais Neuf furent colossaux et techniquement complexes, surtout avec l'excavation de la roche de la Peyrolierie. La Cour d'Honneur fut fermée par la construction de l'aile ouest, reliant le Palais Vieux au nord au Palais Neuf au sud. Ces nouvelles extensions – *l'opus novum* – comprenaient notamment la chapelle Saint-Michel dans la Tour de la Garde-Robe, ainsi que la Salle de la Grande Audience (chambre judiciaire), surmontée à l'étage d'un nouvel espace pour les activités liturgiques : la Grande Chapelle. Ces deux nouvelles pièces étaient dotées d'un plafond en voûtes d'ogives. Initialement appelée *capella nova* et plus tard rebaptisée *capella clementina*, la Grande Chapelle fut construite entre 1346 et 1351, et consacrée aux apôtres saint Pierre et saint Paul. Sa construction, l'une des principales préoccupations de Clément VI, fut lente et laborieuse, et les dernières retouches durent être accélérées pour que le pontife puisse l'inaugurer quelques mois avant sa mort (Vingtain, 1998, p. 220-222).

Clément VI fut le dernier pape à avoir construit de nouveaux édifices religieux, ses successeurs se contentant des structures existantes. Le résultat de l'expansion qu'il entreprit est encore visible aujourd'hui : un palais à l'architecture complexe et monumentale. Avec le temps, le Palais des Papes est devenu une référence, avec ses acoustiques, notamment celle de la Grande Chapelle, diffusant le son du chant polyphonique.

## ARCHITECTURE ET DÉCORATION DE LA GRANDE CHAPELLE

Contrairement à son mobilier et à sa décoration, l'architecture de la Grande Chapelle a peu changé depuis sa construction. Comme le montre la **Fig. 2**, il s'agit d'une vaste chapelle de forme parallélépipédique, composée d'une seule nef mesurant 52 m de long, 15 m de large et 20 m de haut (volume total de 14 400 m<sup>3</sup>). La chapelle ne possède pas de colonnes ni de galeries, et toutes ses surfaces, y compris les murs, le sol et le plafond, sont en calcaire dense. Elle est divisée en sept travées successives à voûtes gothiques quadripartites : six travées identiques, et une travée supplémentaire plus petite du côté est. Certaines des travées ont des fenêtres du côté sud, initialement scellées avec de la toile cirée pendant la phase de construction, remplacée ultérieurement par des vitraux. Des colonnes engagées s'alignent avec les nervures des voûtes, séparant chaque travée de ses travées voisines des deux côtés. Adjacente à



**Figure 2.** La Grande Chapelle, aussi appelée chapelle Clémentine (cliché par les auteurs).

la deuxième travée à partir de l'est, se trouve une salle latérale connue sous le nom de revestiaire. Cette salle servait de vestiaire où le pape se revêtait des vêtements liturgiques avant les services religieux. Le chœur de la chapelle, l'espace sacré composé des trois travées les plus à l'est, était séparé du reste de la nef par une grille métallique appelée le *cancel*, et son sol était surélevé de deux marches. La première travée présentait un autel surmonté d'un baldaquin, et le mur est avait deux grandes fenêtres encastrées, tout comme le mur ouest de la chapelle. La deuxième travée à partir de l'est contenait le trône du pape, positionné contre le mur nord et accompagné d'un autre baldaquin. Adjacent au trône se trouvaient deux sièges individuels pour les cardinaux assis aux côtés du pape. La troisième travée était connue sous le nom de *parcus cantorum* (Colombe, 1935). Cet espace, où les chantres se produisaient, était doté de stalles en bois contre les deux murs latéraux, qui accueillait également douze cardinaux de chaque côté. Il abritait également des lutrins décorés des armoiries de Clément VI et des tabourets pour les chantres et les laïcs devant les stalles.

La configuration globale de la Grande Chapelle demeura globalement inchangée à travers les siècles, préservant ainsi son intégrité architecturale originale du <sup>xiv</sup>e siècle. Quelques modifications mineures ont été apportées, telles que le léger déplacement de l'autel par rapport au mur est contre lequel il était originellement adossé, et la transformation du sol de la chapelle qui était initialement agencé sur deux niveaux, aujourd'hui réduit à un niveau unique. Contrairement à la Grande Chapelle actuelle, la chapelle médiévale présentait de nombreux éléments décoratifs. Les inventaires témoignent de l'achat d'une grande quantité de tapis et de tapisseries de Paris et probablement d'Arras et de Valenciennes. Ces tapisseries colorées en vert, rouge et or ornaient les murs de la Grande Chapelle sur une superficie totale de 360 m<sup>2</sup>, en particulier le mur derrière le trône papal (Fig. 3). Le sol était recouvert de tapis en laine et de



**Figure 3.** Reconstruction partielle du mobilier et des tapisseries autour du trône papal, situé dans la deuxième travée (Histopad/Palais des Papes).

nattes tissées en paille et en jonc. Les tapisseries étaient suspendues sur des cadres en bois appelés planchettes. Ces caractéristiques architecturales et décoratives de la Grande Chapelle du <sup>xiv</sup><sup>e</sup> siècle ont probablement eu un impact sur son acoustique et, par conséquent, sur la production et la diffusion du chant polyphonique pratiqué entre ses murs.

## LA GRANDE CHAPELLE : UN LIEU POUR LE CHANT POLYPHONIQUE

Dès son élection, Clément VI établit un faste sans précédent au sein de sa cour, et l'agrandissement du palais papal qu'il ordonna lui permit de s'adapter à de nouveaux besoins théologiques et politiques. Le bâtiment devint alors une justification visible de la légitimité papale pour résider à Avignon. En particulier, la nouvelle chapelle papale qu'il fit construire, la Grande Chapelle, accueillait des services de grande envergure, la *missa magna*, destinés à accueillir de nombreux célébrants et une importante congrégation. De plus, elle revêtait une grande importance dans les activités musicales du palais, attirant des compositeurs, des chantres et des musiciens associés au mouvement *Ars Nova*. Les chantres, formant le célèbre corps des *capellanus capelle* sous la direction du *magister capelle* et véritables spécialistes de la *musica mensurata* (musique mesurée) et polyphonique (construite selon les principes de l'*Ars Nova* à partir de 1320), y étaient mis en valeur et contribuaient à la large diffusion du message papal (Ferrando, 2014b).

Les répertoires chantés dans ces espaces se composaient soit de la liturgie grégorienne monodique, soit de polyphonies politiquement plus ambitieuses, telles que les motets et les mouvements de messe. Les chants polyphoniques étaient considérés comme des outils précieux pour louer les mécènes ou démontrer la légitimité du pape. Le discours mis en musique servait de message public diffusé aux audiences à travers l'acoustique du bâtiment. À cette époque, le motet était un médium éminent – une forme de communication quintessentielle qui atteignait un grand nombre de destinataires et jouait un rôle central dans diverses cours européennes. C'est une forme musicale à voix multiples composée d'une voix de teneur (la plus basse), d'un duplum (voix juste au-dessus de la teneur) et d'un triplum (voix la plus aiguë), la musique et le texte étant étroitement imbriqués. Chaque voix pouvait s'adresser à un destinataire spécifique : la voix de teneur était destinée au monde séculier, la voix de duplum au monde ecclésiastique (intermédiaire entre le Ciel et la terre) et la voix de triplum au domaine céleste (le Divin). Selon le sujet de l'œuvre, le compositeur construisait la teneur en réutilisant un chant grégorien existant, choisi pour son adéquation avec le calendrier liturgique afin de légitimer le nouveau discours. Les voix supérieures – musique et texte – étaient alors élaborées à

partir de la teneur. Lors de l'exécution d'un motet, plusieurs textes étaient chantés simultanément, créant une certaine complexité d'écoute pour l'auditeur moderne. De plus, grâce à des techniques subtiles de composition musicale, le compositeur pouvait faire « voyager » certains motifs musicaux d'une voix à une autre. L'art d'organiser le discours du motet selon des structures argumentatives à la fois musicales et textuelles découle d'une technique d'écriture connue sous le nom d'*Ars Rhetorica Musicalis* (Ferrando, 2006), qui a vu le jour dans le répertoire polyphonique de l'organum de Notre-Dame de Paris vers l'an 1200. Le motet est donc une forme discursive et argumentative qui offrait une approche unique de la diffusion grâce à sa performance simultanée de différents textes musicaux et littéraires. Les mouvements de messe polyphoniques adoptaient la même approche de construction que les motets : se basant sur une messe grégorienne (Kyrie, Gloria, Credo, Agnus Dei, Ite Missa Est), un texte contemporain, appelé trope, était écrit afin de refléter le sujet abordé dans cette nouvelle version polyphonique, comme on peut le voir dans le manuscrit *F-APT 16 bis* et le manuscrit *Ivrea I-IV MS CXV 115* (Kügler, 2019). Ces tropes visaient souvent à rendre hommage à une figure puissante, comme c'est le cas avec le *Kyrie Rex Angelorum / Clemens Pater* conservé dans le manuscrit *16 bis d'Apt* et dédié à Clément VI. En essence, la forme du motet, ainsi que les mouvements de messe polyphoniques, témoignent d'un monde politique unique qui, par l'art de la persuasion, contribuait à servir sa cause.

#### INTERACTION ENTRE L'ACOUSTIQUE ET L'INTELLIGIBILITÉ

L'environnement acoustique de la Grande Chapelle médiévale influençait l'intelligibilité des répertoires polyphoniques interprétés par les chanteurs musiciens. Aujourd'hui, la chapelle est bien différente, avec des murs nus et une absence totale de décoration et de mobilier. Le lien entre l'architecture d'un espace et son acoustique – une caractéristique cruciale des espaces de création musicale – a suscité un fort intérêt depuis l'Antiquité (Katz et Wetherill, 2005 ; De Mynke, *et al.*, 2024).

Les premières notions d'acoustique architecturale remontent aux écrits de Vitruve (*Vitruvius*, p. 132), qui affirmait que le son se propage de manière circulaire, comme les vagues causées par une pierre jetée dans l'eau calme (appelée acoustique « ondulatoire » par Barbieri, 2006). Sur la base de ce concept, en se référant aux anciens auteurs grecs, Vitruve, au 1<sup>er</sup> siècle av. J.-C., a catégorisé les sites réfléchissants en quatre comportements acoustiques distincts (Vassilantonopoulos et Mourjopoulos, 2003) :

- acoustiquement dissonant (« kat-echountes »). Cela serait associé à une diffusion ou une dispersion prédominante ;
- réverbérant (« peri-echountes ») ;

- échoïque (« anti-échouttes »). Cela serait associé à des échos indésirables et perceptibles ;
- acoustiquement consonant (« syn-échouttes »). Cela serait associé à une acoustique favorable, des réflexions bénéfiques, souhaitables pour les théâtres.

Des discussions supplémentaires sur les évolutions de la conception acoustique peuvent être trouvées dans Postma, *et al.*, 2021.

Mainoldi, 2001 a exploré comment les érudits du Moyen Âge comprenaient la physique du son et l'art musical en général. Comme Vitruve, Boèce (dans *De Musica*) considérait le son comme une vibration mécanique se propageant dans l'air, produite par un objet frappé, comme un « battement continu de l'air jusqu'à l'oreille »<sup>4</sup>. De plus, la notion de « résonance » pour les érudits médiévaux, influencée par les idées aristotéliennes et platoniciennes, aurait pu conceptualiser le mélange harmonieux ou l'amplification des ondes sonores, en l'attribuant éventuellement aux vibrations sympathiques des éléments ou à l'ordre divin inhérent à la création : « Un timbre clair et fort, accompagné de résonance, exprimera dans une plus grande mesure la qualité éthérée et ascendante du son », c'est-à-dire vers le divin, « tandis qu'un ensemble multiple et confus de timbres différents évoquera le chaos de la matière brute et donc sa tendance descendante et disharmonieuse »<sup>5</sup>. La résonance reflète l'harmonie et l'intelligibilité des textes chantés, contrastant avec le « chaos informe » de la disharmonie. La polyphonie et l'effort requis pour assurer l'intelligibilité, compte tenu de l'acoustique d'un espace, représentaient un véritable art sonore au service de la compréhension, reflétant le sens étymologique original de l'intelligence, *intelligere* – comprendre.

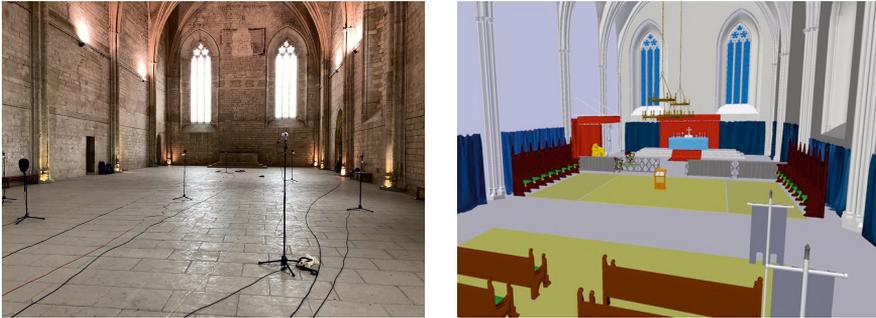
## RECONSTRUCTION ACOUSTIQUE DE LA GRANDE CHAPELLE

Dans le cadre du Module de Modélisation du projet précédent, l'acoustique de la Grande Chapelle a été reconstruite à travers un modèle géométrico-acoustique calibré (modèle GA). Un modèle GA est défini comme un maillage représentant les surfaces et dans lequel chaque surface est caractérisée par un matériau acoustique.

4 « Aeris percussio indissoluta usque ad auditum » (Mainoldi, 2001, p. 217).

5 « Un timbro chiaro, forte e accompagnato da risonanza, esprimerà in maggior grado la qualità eterica e ascendente del suono, mentre un insieme molteplice e confuso di timbri diversi richiamerà la caoticità della materia prima e dunque la tendenza discendente e disarmonica di quello. » (Mainoldi, 2001, p. 222).

Le modèle GA de la Grande Chapelle a permis de générer des réponses impulsionnelles de la salle (RIR, pour *Room Impulse Response*), qui caractérisent la transformation acoustique que la salle exerce sur un son produit depuis une position donnée et capturé dans une autre position donnée. Des RIRs, mesurées ou simulées dans différentes conditions y compris deux états historiques de la chapelle (états moderne et médiéval, **Fig. 4**), ont été utilisées pour créer un environnement sonore immersif pour les chanteurs qui ont participé à l'expérience.



**Figure 4.** Grande Chapelle dans l'état moderne (à gauche : cliché par les auteurs pendant la campagne de mesures acoustiques) et l'état médiéval (à droite : modèle visuel tiré de Histoverly-Histopad du Palais des Papes/Avignon Tourisme/IMAPI).

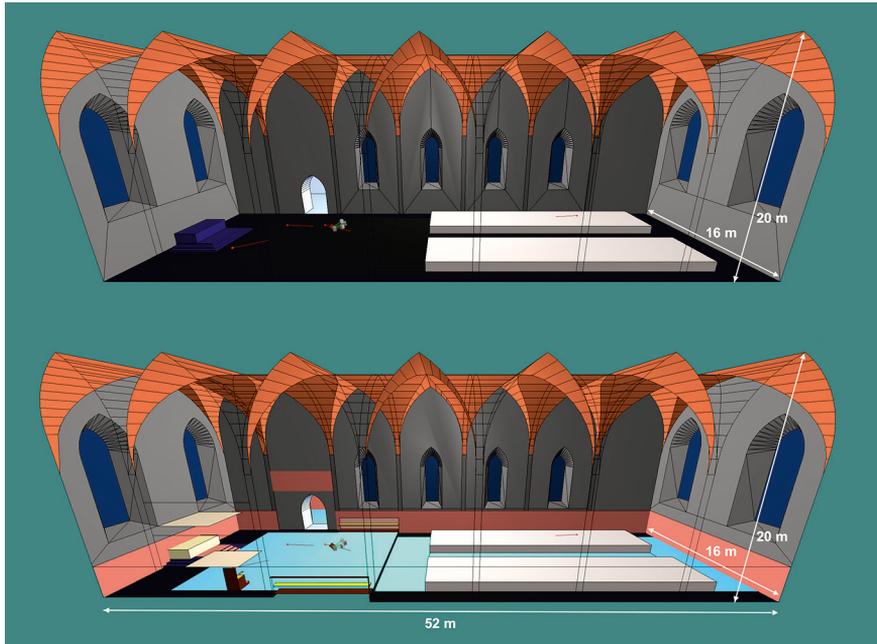
#### MESURES ACOUSTIQUES *IN SITU*

Tout d'abord, une campagne de mesure de RIRs a été menée dans la Grande Chapelle moderne. Celles-ci permettent de capturer l'empreinte acoustique de la salle à partir de plusieurs positions de récepteur et de source, car la réponse acoustique d'une salle dépend de ces positions. Un total de 64 combinaisons source/récepteur a été réparti le long d'une grille dans la Grande Chapelle. Ces RIRs ont servi à l'analyse des caractéristiques acoustiques de la Grande Chapelle moderne comme cela sera détaillé plus tard, mais pourraient également servir à des auralisations *post hoc* à partir des mêmes positions, même si ce n'était pas leur objectif principal.

#### MODÉLISATION GÉOMÉTRIQUE

Ensuite, le modèle géométrique de la Grande Chapelle moderne a été conçu dans le logiciel de simulation acoustique CATT-Acoustic en référence à un modèle 3D existant de la chapelle, utilisé dans l'Histopad (un outil de médiation offrant une expérience de visite en réalité augmentée déployée au Palais des Papes) et à un nuage de points obtenu par balayage laser 3D réalisé lors de

la campagne de mesure des RIRs. Le modèle GA de la Grande Chapelle moderne (Fig. 5) est moins détaillé géométriquement qu'un modèle visuel. Un modèle paramétrique d'une voûte gothique quadripartite a été conçu pour faciliter la génération des coordonnées des sommets et des polygones associés.



**Figure 5.** Modèle GA de la Grande Chapelle dans ses états moderne (en haut) et médiéval (en bas), dont les différentes couleurs représentent des matériaux différents. Les blocs blancs représentent l'audience.

#### CALIBRATION ACOUSTIQUE DU MODÈLE GA

La calibration acoustique consiste à ajuster les propriétés acoustiques de chaque surface jusqu'à ce que les caractéristiques acoustiques des RIRs simulées à travers le modèle GA correspondent à celles des RIRs mesurées sur place. Les propriétés acoustiques de chaque matériau appliqué aux surfaces sont d'abord extraites d'une base de données de matériaux publique, puis ajustées manuellement jusqu'à ce que les métriques acoustiques considérées tombent dans une plage de  $\pm 1$  JND<sup>6</sup> autour des valeurs mesurées. La calibration

6 Le seuil différentiel d'une mesure, désignée par JND (« Just Noticeable Difference » en anglais), est la plus petite variation détectable par un individu. Il est basé sur des études antérieures de la littérature en psycho-acoustique, et est rapporté dans les normes.

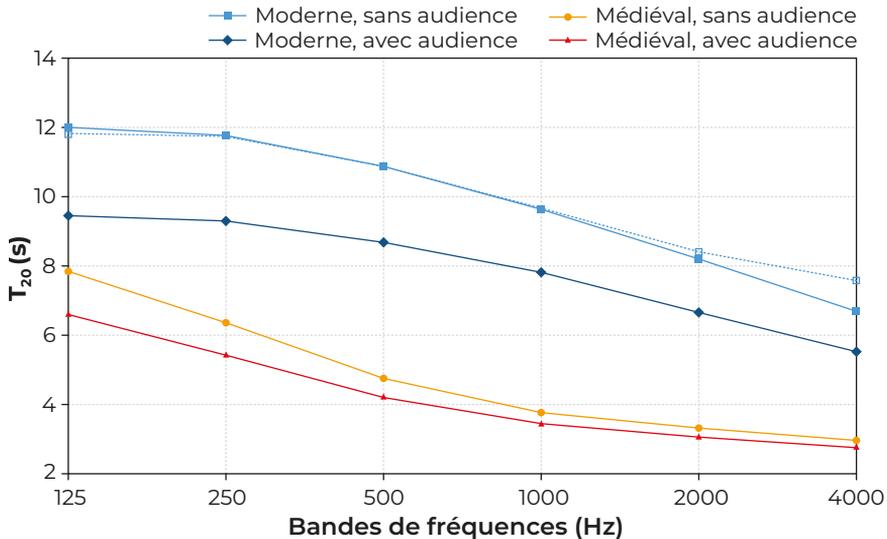
acoustique a été réalisée en comparant les RIRs simulées (800 000 rayons et durée de RIR de 5 secondes) aux RIRs mesurées sur place, suivant la procédure de calibration décrite dans une étude antérieure (Postma et Katz, 2015).

### RÉGRESSION TEMPORELLE DU MODÈLE GA

La Grande Chapelle médiévale a été reconstruite à partir du modèle calibré moderne, en y appliquant les modifications correspondant à la configuration médiévale, sur la base des archives historiques des aménagements intérieurs et des décorations de cette période (Colombe, 1935).

### CARACTÉRISTIQUES ACOUSTIQUES DE LA GRANDE CHAPELLE

En raison de l'absence de surfaces absorbantes significatives, la Grande Chapelle moderne présente un niveau élevé de réverbération. Lorsqu'aucune audience n'est présente,  $T_{20}$ <sup>7</sup> approche environ 12 secondes dans les gammes de fréquences les plus basses (Fig. 6).



**Figure 6.** Estimation du  $T_{20}$  dans différentes bandes de fréquences, calculée en moyennant les mesures de seize positions uniformément réparties dans la Grande Chapelle. Le graphique affiche les valeurs de  $T_{20}$  pour l'état moderne, non occupé, avec les valeurs mesurées représentées par la ligne en pointillés (- -) et les valeurs modélisées représentées par la ligne continue (—).

7  $T_{20}$  est une mesure du temps de réverbération d'une salle, en secondes. Il indique le temps nécessaire à un son impulsionnel pour décroître d'un facteur de 1000 (c'est-à-dire 60 dB). Il est extrapolé à partir d'une décroissance de 20 dB à partir de 5 dB en dessous du son direct. JND = 5 %.

En revanche, la Grande Chapelle médiévale, bien que sa géométrie soit restée largement inchangée au fil des siècles, présentait une réverbération moindre en raison de divers éléments d'ameublement et de décoration. Ces éléments comprenaient de vastes tapisseries murales, des nattes de jonc au sol, des baldaquins au-dessus de l'autel et du trône du pape, des éléments de sièges en bois tels que les stalles dans le chœur et les bancs dans la nef pour la congrégation, ainsi que différentes pièces de tissu ornant l'autel, les escaliers de l'autel, le trône et les stalles. Certains de ces éléments peuvent être observés dans la **Fig. 4** tandis que la Grande Chapelle moderne est essentiellement un espace vide. L'acoustique d'une salle peut être significativement influencée par la présence d'un public et la densité d'occupation. Pour cette étude, la présence d'un public relativement important assis sur des bancs dans la nef, ce qui aurait probablement été le cas lors des messes papales, a été simulée. Le public occupe la même superficie et possède le même taux d'occupation dans les deux états historiques modélisés du bâtiment. Cela tend à réduire le temps de réverbération par rapport à une configuration vide. La **Fig. 6** illustre les temps de réverbération simulés dans les deux états du bâtiment, avec et sans l'inclusion d'un public.

### EXPÉRIMENTATION AVEC LES CHANTEURS : UN ENVIRONNEMENT ACOUSTIQUE VIRTUEL

L'objectif de ces expériences scientifiques était d'évaluer comment l'acoustique d'une salle influence la performance musicale du répertoire chanté d'*Ars Nova*. La recherche impliquait la participation de Diabolus in Musica, ensemble vocal professionnel et expérimenté dans l'interprétation des musiques médiévales depuis trente ans<sup>8</sup>. Il était composé de quatre chanteurs (deux barytons

8 *Diabolus in Musica* a été initialement formé par Dominique Touron puis Antoine Guerber, qui devient très rapidement le chef et directeur artistique de l'ensemble de 1991 à 2021. Il s'est progressivement constitué autour d'un groupe de chanteurs principaux, pour la plupart issus d'ensembles tels qu'*Organum* (Marcel Pères) ou *Gilles Binchois* (Dominique Vellard). Cet ensemble a gagné en reconnaissance grâce à des enregistrements, se forgeant progressivement une réputation significative. Cependant, l'ensemble n'avait aucune expérience de l'enregistrement en studio, car il n'est pas habituel pour ce type de répertoire d'enregistrer en dehors d'environnements acoustiques naturels. Ainsi, les chanteurs n'étaient pas familiers avec l'utilisation de casques de monitoring lors des sessions d'enregistrement. Les enregistrements sont généralement planifiés en cohérence avec le programme sélectionné. Par exemple, le choix de l'abbaye de Fontevraud et de son église abbatiale a été fait pour l'enregistrement du répertoire religieux. Pour le répertoire séculier, tel que les chansons de Guillaume Dufay et le programme *Mille Bonjours* (Alpha 116), la grange de Villefavard, avec son acoustique plus sèche, a été sélectionnée. En 1999, l'ensemble a enregistré le programme *Missa Magna* (Studio SM-D2819) basé sur des pièces associées à la Grande Chapelle d'Avignon. En plus de reconstituer les partitions des codex d'Ivréa et d'Apt, la prononciation du latin « à la française » était un aspect novateur de cette interprétation. L'enregistrement s'est déroulé à Fontevraud. Le programme a également été joué en concert au Palais des Papes en mai 2002.

et deux altos) et d'un chef, formés aux techniques de performance médiévales et familiers avec l'acoustique de la Grande Chapelle dans son état moderne.

L'acoustique de la Grande Chapelle fut recrée à travers des RIRs simulées via des Environnements Acoustiques Virtuels (VAEs), c'est-à-dire via le modèle GA de la Grande Chapelle dans différentes conditions. Considérant que les chanteurs dans un ensemble dirigé se concentrent généralement sur leur chef de chœur pendant les performances et ne tournent pas beaucoup la tête, la décision a été prise de rendre les VAEs avec une orientation fixe de la tête, en ignorant les mouvements de rotation de la tête des chanteurs. Par conséquent, les VAEs ont été auralisés en utilisant des Binaural RIRs (BRIRs) génériques, c'est-à-dire des réponses impulsionnelles d'une position source aux oreilles gauche et droite de l'auditeur avec une orientation fixe de la tête. En pratique, certaines décisions ont dû être prises sur la position du chœur ainsi que sur la distribution physique des chanteurs. Des positions et des arrangements possibles des chanteurs dans la Grande Chapelle à l'époque médiévale ont été étudiés avant les simulations acoustiques, grâce à un travail interdisciplinaire entre des spécialistes de la musicologie médiévale, des historiens et des acousticiens.

Deux arrangements ont été envisagés en se basant sur des collections iconographiques de fresques de Matteo Giovanetti de la chapelle Saint-Martial : le long d'un arc de cercle comme les anges (**Fig. 7**, gauche), et en quinconce, c'est-à-dire en deux rangées décalées (**Fig. 7**, droite).



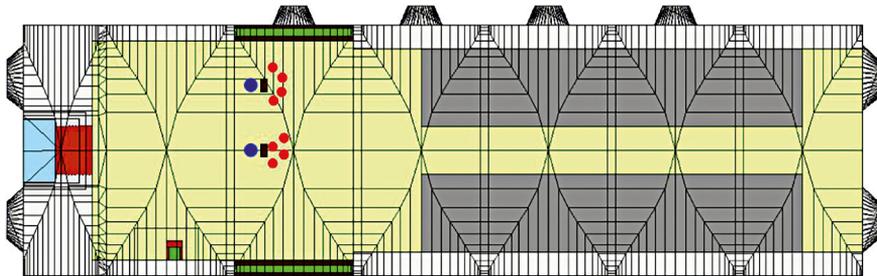
**Figure 7.** Anges disposés en arc (à gauche) et chanteurs disposés en quinconce (à droite). Fresques de Matteo Giovanetti dans la chapelle Saint-Martial (clichés par les auteurs).

Deux positions du chœur dans la chapelle ont été simulées, toutes deux dans le *parcus cantorum*, c'est-à-dire entre les stalles. La position la plus évidente est sur l'axe de symétrie de la chapelle, c'est-à-dire à égale distance de chaque stalle, juste en dessous du centre de la voûte. Cependant, cette hypothèse historique concernant cette position peut être discutée car les chanteurs obstrueraient alors la vue depuis l'assemblée du célébrant à l'autel. Nous sommes, il est vrai, dans un cérémonial de chapelle pontificale et non dans un dispositif de cathédrale.

En résumé, l'acoustique de la Grande Chapelle a été reproduite avec les conditions variables suivantes :

- *Salle* : soit l'état moderne actuel de la Grande Chapelle (moderne), soit l'état médiéval (médiéval), c'est-à-dire vers 1362 ;
- *Position* de l'ensemble dans la chapelle : dans le *parcus cantorum*, soit sur l'axe de symétrie de la chapelle (on-axis), soit déplacé vers les stalles du sud (off-axis ; **Fig. 7**) ;
- *Disposition* des chanteurs : soit disposés le long d'un arc de cercle (arc), soit en deux rangées décalées (en quinconce ; **Fig. 7**).

Pour les expériences en temps réel avec les chanteurs, des BRIRs ont été calculées (1000 000 de rayons, algorithme 1). La longueur des BRIRs était limitée en fonction des valeurs de  $T_{20}$  présentées dans la **Fig. 6** ce qui a donné une durée maximale de la réverbération de 10 secondes pour la salle moderne et de 8 secondes pour la salle médiévale.



**Figure 8.** Vue en plan de dessus du modèle dans l'état médiéval illustrant les positions des chanteurs (points rouges), du chef de chœur (points bleus) et du lutrin (rectangles marrons). L'image met en évidence deux combinaisons spécifiques de position/disposition : off-axis/arc (en haut) et on-axis/quinconce (en bas).

Dans la *disposition* arc, les chanteurs étaient positionnés de manière uniforme le long d'un arc de cercle de  $120^\circ$  et d'un rayon de 1,2 m. Dans la *disposition* quinconce, les chanteurs étaient répartis en deux rangées décalées, avec deux chanteurs dans la rangée avant et deux chanteurs dans la rangée arrière, décalés latéralement de la moitié de la distance entre deux chanteurs consécutif (**Fig. 8**). Tout au long de l'expérimentation, le placement physique des chanteurs correspondait à la condition de disposition simulée. Par conséquent, pour chaque VAE testé, leur position réelle dans la salle d'expérimentation correspondait toujours à la distribution virtuelle simulée dans le VAE correspondant, qu'il s'agisse de la *disposition* arc ou quinconce.

Les sources ont été simulées avec une directivité de voix chantée, dirigée vers un lutrin virtuel positionné entre les chanteurs et le chef de chœur – comme si tous les chanteurs regardaient une partition collective placée sur le lutrin (Fig. 8). Le chef de chœur faisait face aux chanteurs, se tenant de l'autre côté du lutrin. Les BRIRs pour les chanteurs ont été simulées pour faire face au mur est de la Grande Chapelle, tandis que les BRIRs du chef de chœur ont été orientées vers le mur ouest de la Grande Chapelle.

### CONFIGURATION EXPÉRIMENTALE

L'expérience visait à capturer le chant naturel de chaque chanteur dans une configuration d'ensemble réaliste au sein de l'acoustique virtuelle de la Grande Chapelle. Pour y parvenir, l'expérience s'est déroulée dans une salle anéchoïque afin d'éliminer toute influence acoustique directe et indirecte de la salle (Fig. 9). Chaque chanteur portait un microphone de proximité (DPA 4088, microphone serre-tête, cardioïde) pour réduire au minimum les interférences des autres chanteurs, ainsi qu'un casque ouvert (Sennheiser HD650) qui leur permettait d'entendre leurs voix au sein de l'acoustique virtuelle de la Grande Chapelle. Cette configuration a été conçue pour combiner les signaux vocaux réverbérés avec le son direct naturel passant à travers le casque ouvert. En plus du chant capturé par les microphones de proximité, les mouvements de tête des chanteurs pendant la performance étaient enregistrés pour une analyse future, grâce à un système de capture de mouvement.



**Figure 9.** Les chanteurs de *Diabolus in Musica* durant l'expérimentation dans la salle anéchoïque de PRISM, dans la *distribution arc* (clichié par les auteurs).

Des BRIRs ont été calculées pour chaque paire de chanteurs impliqués dans le système d'auralisation, car elles sont spécifiques à la position et à l'orientation de la source et du récepteur. Cela a résulté en une matrice 4×4 de BRIRs. Comme des casques ouverts étaient utilisés, les BRIRs n'incluaient pas le son direct.

Une étroite collaboration avec l'ensemble *Diabolus in Musica* et son chef d'orchestre Antoine Guerber a conduit à la sélection d'un corpus de cinq pièces pour l'expérience, certaines polyphoniques et d'autres monodiques. Ces pièces représentent un répertoire contemporain de la période historique considérée de la Grande Chapelle (vers 1362) et sont suffisamment diverses dans leurs techniques compositionnelles et leurs liens avec la papauté et les événements cérémoniels. Les pièces sélectionnées ont été tirées de deux programmes musicaux de l'ensemble vocal : *Missa Magna* et *Cantores*, qui ont déjà été interprétés lors de concerts à la Grande Chapelle du Palais des Papes lors de festivals de musique. Plus précisément, les pièces suivantes ont été choisies : le motet *Petre Clemens* de Philippe de Vitry, *Kyrie Rex Angelorum*, *Kyrie de Fronciaco*, *Credo Bombarde*, *Aurea Luce*, et l'intonation *Dominus Vobiscum*. Les morceaux de musique choisis étaient déjà maîtrisés par l'ensemble vocal depuis un certain temps et avaient déjà été testés dans l'acoustique moderne de la Grande Chapelle, spécifiquement dans la troisième travée contre le mur sud du bâtiment.

## PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL<sup>9</sup>

L'expérimentation a été organisée en sessions successives, chacune simulant une combinaison particulière des conditions variables *salle*, *position*, et *disposition*. Au cours de chaque session, les trois morceaux de musique étaient alternés, créant ainsi un groupe de morceaux répété trois fois consécutivement. La durée de chaque session était d'environ 30 minutes. Après chaque session, les participants (chanteurs et chef) étaient invités à remplir un questionnaire, afin de fournir leurs impressions lors de cette session particulière. Il est important de noter que les chanteurs n'ont pas été informés des conditions spécifiques des VAEs, garantissant ainsi que leurs réponses étaient basées uniquement sur leurs perceptions. L'objectif du questionnaire était d'évaluer comment les différentes conditions des VAEs (*salle*, *position*, et *arrangement*) affectaient leur perception de leur propre performance et de l'espace de performance. Le questionnaire se composait de questions explicites accompagnées d'un système de

9 Le protocole a été mis en place par l'équipe acoustique du laboratoire PRISM dans le cadre du projet IMAPI, Richard Kronland-Martinet, Solvi Ystad, Mitsuko Aramaki, Jocelyn Roze, Adrien Vidal.

notation pour fournir des évaluations. De plus, les participants avaient la possibilité de laisser des commentaires spontanés et des retours d'expérience. Après avoir effectué une analyse préliminaire du questionnaire, certaines tendances ont été identifiées. Cependant, il convient de noter qu'un chanteur n'a pas correctement rempli le questionnaire, ce qui a entraîné l'inclusion des réponses de seulement quatre participants (trois chanteurs et le chef) dans les résultats rapportés dans la section suivante.

## RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DU QUESTIONNAIRE

Les résultats fournis dans les questionnaires ont révélé les éléments suivants :

- *Salle* : Les quatre participants ont unanimement convenu que la salle moderne avait un temps de réverbération significativement plus long par rapport à la salle médiévale, quelle que soit les autres conditions variables. Ce constat correspondait également à leur perception de la taille de la salle, à savoir que la salle moderne leur paraissait plus grande que la salle médiévale, probablement en raison du temps de réverbération plus important ;
- *Position* : Dans plusieurs conditions, un certain nombre de chanteurs ont exprimé une préférence pour la *position off-axis* (près des stalles) par rapport à la *position on-axis* (sous la voûte) en termes de facilité de chant en ensemble. Cette préférence est probablement liée à la capacité à s'entendre plus distinctement. Plus précisément, trois participants sur quatre préféraient la *position off-axis* dans la *salle* médiévale, tandis que deux sur quatre la préféraient dans la *salle* moderne. Les autres participants n'avaient pas de préférence claire.

Les commentaires spontanés ont révélé les éléments suivants :

- *Disposition* : Deux participants ont exprimé une préférence pour la *disposition* quinconce par rapport à la *disposition* arc lors de l'exécution de pièces grégoriennes, affirmant qu'ils pouvaient mieux s'entendre dans cette condition. Cette préférence peut être attribuée au fait que, en moyenne, les participants étaient plus proches les uns des autres dans la *disposition* quinconce par rapport à la *disposition* arc, entraînant un niveau plus élevé d'intelligibilité perçue. La distance moyenne entre les chanteurs était de  $0,73 \pm 0,21$  m avec la *disposition* quinconce et de  $1,27 \pm 0,51$  m avec la *disposition* arc ;
- *Salle* :
  - Deux participants ont suggéré que l'acoustique de la *salle* médiévale était plus adaptée à l'interprétation de pièces polyphoniques complexes par rapport à la *salle* moderne ;
  - Un participant a mentionné que chanter dans la *salle* moderne était moins exigeant que dans la *salle* médiévale. Sur la base de ses expériences passées,

cet individu a noté qu'il se produisait avec moins de minutie dans la *salle* moderne, attribuant cela au temps de réverbération plus long qui pardonnait certaines petites imprécisions et défauts d'interprétation, tels que perçus par le public. De plus, le participant a suggéré qu'en tant que membre du public, il préférerait probablement la *salle* médiévale car elle était « musicalement plus satisfaisante » ;

- *Divers* : Deux participants ont exprimé leur insatisfaction quant à l'effet de « filtrage » des casques lorsqu'ils chantaient, malgré leur conception ouverte. Cela a entraîné des conditions expérimentales moins confortables que dans une situation de chant normale. Malgré la conception du casque ouvert permettant le passage des sons externes, ce modèle particulier de casque atténuait légèrement les fréquences plus élevées, affectant le son de sa propre voix et le son direct des autres chanteurs.

De plus, des discussions informelles qui ont eu lieu entre les sessions ont permis d'identifier d'autres tendances. Tout d'abord, le port du casque par les chanteurs rendait la situation de chant différente des conditions de performance habituelles, ce qui leur a demandé un certain temps pour s'adapter à ce dispositif. De plus, l'orientation fixe des BRIRs les empêchait de pouvoir « jouer » avec certains aspects de l'acoustique de la salle, c'est-à-dire de changer la façon dont leur voix sonnait en fonction de l'orientation de leur tête, ce qui rendait la condition expérimentale encore plus différente des conditions normales de performance.

Dans l'ensemble, les chanteurs ont davantage apprécié la *salle* médiévale que la *salle* moderne car elle laissait plus de place aux détails dans leur interprétation, ce qui est en accord avec le commentaire spontané rapporté ci-dessus sur la *salle* médiévale étant « musicalement plus satisfaisante ». Cette caractéristique de la *salle* médiévale a également permis aux chanteurs de mieux s'entendre, conduisant ainsi à un niveau plus équilibré entre les deux voix les plus aiguës, et donc à une meilleure interprétation de l'ensemble. Ces témoignages ouvrent des pistes d'investigation sur de nouvelles approches esthétiques pour la production de chant médiéval, qui est habituellement réalisé dans des acoustiques très réverbérantes. Une analyse objective supplémentaire des enregistrements de performance est actuellement en cours.

## LE PROJET HeSoAN

En avril 2024, le lancement du projet HeSoAN, financé par la SATT Sud-Est (Benjamin Ruiz, chargé de projets en Science Humaines et Sociales), marque une étape significative dans la continuité du projet présenté précédemment.

Structuré en plusieurs modules – (1) expérimentation/enregistrement, (2) Muséal, (3) Plateforme immersion) –, il entame son exploration par un premier volet qui utilisera un système d’auralisation amélioré (Mullins et Katz, 2023).

#### LE MODULE EXPÉRIMENTATION / ENREGISTREMENT

Ce module initial vise à étudier l’influence des conditions acoustiques médiévales sur l’interprétation musicale, en se penchant spécifiquement sur l’interaction entre les techniques de composition de l’*Ars Nova* et les caractéristiques acoustiques de l’époque. De plus, HeSoAN ambitionne d’approfondir la compréhension des œuvres polytextuelles dans leur contexte de diffusion originel. Tel qu’indiqué précédemment, les ensembles Diabolus in Musica et Musica Nova ont été désignés pour mener à bien les expérimentations et contribuer à la dimension artistique du projet. Ils auront également la tâche d’enregistrer un programme musical tiré des manuscrits d’Apt et d’Ivréa, en utilisant une technologie d’auralisation en 3D, et de fixer des interprétations musicales historiquement informées dans le contexte acoustique médiéval. Ces extraits seront intégrés dans un futur parcours de visite du Palais des Papes qui sera inauguré en 2025. Le second module consistera donc à créer à partir des éléments scientifiques récoltés un contenu de médiation culturelle sur la musique médiévale au temps des papes et déployé sur un parcours de visite au Palais des Papes intitulé *Ars Musica*.

#### LE MODULE MUSÉAL

L’opportunité de reconstruire virtuellement l’acoustique des espaces patrimoniaux dans différents états historiques ouvre une voie pour l’interprétation de la musique ancienne et offre de nouveaux environnements sonores pour la médiation culturelle, permettant au passé d’être entendu (Peichert et De Muyne, 2024). Par exemple, les enregistrements vocaux pourraient être spatialisés dans l’acoustique médiévale de la Grande Chapelle et utilisés dans le parcours de visite *Ars Musica*. Le contenu musical de cette visite pourrait être enrichi par une reconstruction partielle d’un événement cérémoniel de l’époque de Clément VI et Innocent VI. Cela pourrait offrir une nouvelle expérience de médiation sensorielle pour les visiteurs du Palais des Papes, permettant à un public plus large de découvrir l’histoire du Palais des Papes à travers une approche vivante de la musique de l’*Ars Nova*.

Le projet *Ars Musica* sera un élément de médiation clef dans la future refonte du parcours de visite du Palais des Papes. Son objectif principal est de valoriser le patrimoine culturel et de renouveler l’offre de médiation existante afin de permettre une réappropriation par les publics de l’histoire musicale du

palais au <sup>xiv</sup><sup>e</sup> siècle. C'est également le moyen d'offrir pour la première fois la possibilité d'appréhender par le son et une approche sensorielle le patrimoine musical médiéval avignonnais.

*Ars Musica* sera organisé autour d'un parcours spécifique lié à la chronologie des lieux (Palais Vieux de Benoît XII et Palais Neuf de Clément VI). Le périmètre d'action concernera le bâti en lui-même, mais également la vie musicale en dehors des murs et notamment dans les rues d'Avignon. Ainsi, les visiteurs suivront l'évolution musicale suivant les stations d'écoute : la reconstitution des sons des Gaytchatores (les joueurs de trompette en haut des tours du Palais) depuis la Cour d'Honneur permettra de faire entendre une ville médiévale et les musiciens des rues. Le Cloître de Benoît XII permettra d'introduire et présenter l'histoire de la chapelle Saint-Étienne ainsi que l'édification de la Grande Chapelle pontificale. Par la suite au premier étage, le Grand Tinel (lieu des repas de la cour pontificale) permettra de présenter la reproduction d'un banquet accompagné par des musiciens. Plus loin dans le parcours, les chambres comportant des peintures et notamment la Chambre du Cerf, permettront d'évoquer le contexte spécifique des jardins et de la chasse, présent dans les répertoires musicaux du milieu du <sup>xiv</sup><sup>e</sup> siècle. Le point d'orgue de ce parcours sera consacré à la Grande Chapelle. Son histoire musicale complète permettra d'inclure les enregistrements réalisés en 3D afin de permettre aux visiteurs d'entendre une messe polyphonique redéployée dans les conditions acoustiques médiévales, d'entendre une même source sonore depuis différents endroits, guidés par les explications du maître de chapelle Ricardus de Bozonvillla. Par cette médiation il sera possible d'offrir des explications poussées sur la manière dont sont élaborées ces musiques et leurs conditions d'interprétation et de diffusion. Cette visite spécifique autour de la musique médiévale sera proposée via une application mobile qui permettra à chacun, muni d'un casque audio de qualité, de profiter de l'expérience immersive dans son ensemble. Soulignons que l'histoire musicale sera également évoquée brièvement dans le parcours *Musique Classique* et permettra à tout visiteur qui n'aurait pas la possibilité de faire le parcours *Ars Musica* d'obtenir malgré tout une connaissance de base sur l'histoire musicale du lieu. L'équipe sera constituée par les partenaires académiques du projet (musicologues, acousticiens, développeurs, historiens), et Talkartive<sup>10</sup>, une entreprise spécialisée en médiation sonore immersive. Un travail de conception artistique basé sur les recherches scientifiques les plus récentes permettra d'offrir une médiation singulière pour l'un des monuments historiques les plus visités de France.

10 <https://talkartive.com> (consulté le 15/06/2024).

## LE MODULE PLATEFORME

À la suite de ce projet, il est envisagé de mettre en place une plateforme d'immersion conçue pour accueillir des ensembles musicaux professionnels désireux de préparer leur répertoire dans des conditions acoustiques historiquement informées. Cette plateforme sera intégrée au sein du Palais des Papes et utilisera les acoustiques reconstituées de Notre-Dame de Paris à différentes périodes, allant du <sup>xii</sup>e au <sup>xxi</sup>e siècle, (Mullins, Canfield-Dafilou et Katz, 2022) ainsi que de celles de la Grande Chapelle du Palais des Papes du <sup>xiv</sup>e siècle jusqu'à nos jours. Il est à noter que la Grande Chapelle est régulièrement occupée par des expositions de grande envergure, ce qui limite son utilisation tout au long de l'année. En plus des diverses reconstructions historiques des acoustiques médiévales, les ensembles auront également la possibilité de se préparer pour des concerts in situ.



Ce programme de recherche permettra d'ouvrir des collaborations étroites avec des musiciens professionnels, des chercheurs spécialisés dans l'interaction entre les arts et les sciences, ainsi que des acteurs des industries culturelles et créatives. Ces expérimentations seront axées sur des analyses approfondies et des expérimentations scientifiques dans le domaine de l'archéoacoustique.

## RÉFÉRENCES

- BARBIERI Patrizio. «The state of architectural acoustics in the late Renaissance», *Architettura e Musica Nella Venezia del Rinascimento*, éd. Deborah Howard, Laura Moretti, Milan, Bruno Mondadori, 2006, p. 53-78.
- COLOMBE Gabriel. «Au Palais des Papes : la chapelle Clémentine vue de l'intérieur», *Mémoires de l'Académie de Vaucluse*, vol. 35, 1935, p. 3-4.
- De MUYNKE Julien, Marie BALTAZAR, Martin MONFERRAN, Claudine VOISENAT, Brian F.G. KATZ. «Ears of the past, an inquiry into the sonic memory of the acoustics of Notre-Dame before the fire of 2019» (2022), *Journal of Cultural Heritage*, vol. 65, 2024, p. 169-176, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.09.006>.
- DE MUYNKE Julien, Nolan ELEY, Julien FERRANDO, Brian F.G. KATZ. «Preliminary analysis of vocal ensemble performances in real-time historical auralizations of the Palais des Papes», *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Symposium: The Acoustics of Ancient Theatres*, Vérone, Associazione Italiana di Acustica, 2022, <https://hal.science/hal-03724967>.

- FERRANDO Julien. « *L'ars Rhetorica musicalis* en Avignon au temps des papes : L'exemple du motet 'Petre Clemens' de Philippe de Vitry (1342) », *Music and the Arts, part 2, proceedings from ICMS 7*, éd. Eero Tarasti, Paul Forsell, Richard Littlefield, Imatra/Helsinki, Finnish Network University of Semiotics, International Semiotics Institute/Semiotic Society of Finland, 2006, p. 803-811 [Acta Semiotica Fennica, 23/Approaches to musical semiotics, 10].
- FERRANDO Julien. « '...Semper favenant operi', Le motet *Petre Clemens / Lugentium siccentur / Non est inventus* : une production musicale au service de la légitimité pontificale », *Roda da Fortuna. Revista Eletrônica sobre Antiguidade e Medievo*, vol. 3, n° 2, 2014a, p. 170-190.
- FERRANDO Julien. « 'Solus Deus creat nullum corpus potest creare'. La Chapelle Saint-Pierre et Saint-Paul du Palais des Papes, une projection architecturale du motet *Petre Clemens* ? », *Ontologie de la création en musique*, vol. 3, *Des lieux en musique*, éd. Christine Esclapez, Paris, L'Harmattan, 2014b, p. 87-89.
- FERRANDO Julien. « Comprendre le geste musical patrimonial : le projet IMAPI », *Scénographies numériques du patrimoine*, éd. Julie Deramond, Jessica De Bideran, Patrick Fraysse, Avignon, Éditions Universitaires d'Avignon, 2020, p. 67-98.
- FERRANDO Julien. « Interprétation Musicale en Acoustique Patrimoniale Immersive (IMAPI), Patrimoines en Médiation », *Actes des Rencontres Nationales sur les Recherches en musique*, éd. Christophe d'Alessandro, *et al.*, Paris, Collegium Musicae, 2022, p. 101-108.
- KATZ Brian F.G., Ewart A. WETHERILL. « Fogg Art Museum lecture room, a calibrated recreation of the birthplace of room acoustics », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 120, 2005, <https://doi.org/10.1121/1.4787033>.
- KÜGLE Karl. *The Manuscript Ivrea, Biblioteca Capitolare 115. Introductory Study and Facsimile Edition*, Lucques, Libreria Musicale Italiana, 2019 [Ars Nova N.s., 5].
- MAINOLDI, Ernesto S. *Ars musica. La concezione della musica nel Medioevo*, Milan, Rugginenti, 2001.
- MULLINS Sarabeth S., Elliot K. CANFIELD-DAFILOU, Brian F.G. KATZ. « The development of the early acoustics of the chancel in Notre-Dame de Paris: 1160-1230 », *Proceedings of the Symposium on The Acoustics of Ancient Theatres*, Vérone, Associazione Italiana di Acustica, 2022, <https://hal.science/hal-03724923>.
- PEICHERT Stéphanie, Julien DE MUYNKE. "Whispers of the Past at Notre-Dame: a geo-localised immersive walk through the sonic memory of Notre-Dame de Paris cathedral", *Résonances Gothiques*, Actes du colloque d'archéoaoustique et musicologie (Avignon, 7-9 septembre 2023), Paris, Collegium Musicae, 2024, p. 105-128.
- POISSON Jean-Michel. « Le palais des papes d'Avignon : structures défensives et références symboliques », *Les Palais dans la ville*, éd. Patrick Boucheron, Jacques Chiffolleau, Lyon, Presses universitaires de Lyon, 2004, p. 213-228, <https://doi.org/10.4000/books.pul.19345>.
- POSTMA Barteld N.J., Evan GREEN, Eckhard KAHLE, Brian F.G. KATZ. « Pre-Sabine Room Acoustic Guidelines on Audience Rake, Stage Acoustics, and Dimension Ratios », *Acoustics*, vol. 3, n° 2, 2021, p. 235-251, <https://doi.org/10.3390/acoustics3020017>.

POSTMA Barteld N.J., Brian F.G. KATZ. «Creation and calibration method of acoustical models for historic virtual reality auralizations», *Virtual Reality*, vol. 19, nos 3-4, 2015, p. 161-180, <https://doi.org/10.1007/s10055-015-0275-3>.

VASSILANTONOPOULOS Stamatis L., John N. MOURJOPOULOS. «A Study of Ancient Greek and Roman Theater Acoustics», *Acta Acustica United with Acustica*, vol. 89, 2003, p. 123-136.

VINGTAIN Dominique. *Avignon : le Palais des Papes*, Paris, Zodiaque, 1998.

VIOLET-LE-DUC Eugène. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI<sup>ème</sup> au XVI<sup>ème</sup> siècle*, Paris, B. Bance, 1858.

*Vitruvius, The Ten Books on Architecture*, trad. Morris H. Morgan, Cambridge / Londres / Oxford, Harvard University Press / Humphrey Milford / Oxford University Press, 1914.



De nombreux musicologues ont cherché à démontrer le lien et les interactions entre l'espace acoustique et la pratique et l'évolution des répertoires musicaux. Comment ne pas lier, par exemple, la nouvelle construction du chœur de Notre-Dame à la fin du XII<sup>e</sup> siècle et ce foisonnement d'expérimentations polyphoniques désigné par l'expression « École Notre Dame de Paris » ? D'autres lieux, comme la Chapelle Saint-Pierre Saint-Paul du Palais de Papes en Avignon amènent les chercheurs à se poser les mêmes questions sur une interaction forte entre architectures, interprétations musicales et techniques de composition. Il en est de même dans le cadre des études, toutes périodes confondues, sur les saintes chapelles ou les grandes églises à coupole de tradition architecturale orientale.

Cet ouvrage rassemble des études présentées au colloque international *Résonances gothiques*. Colloque d'archéoacoustique, organisé du 7 au 9 septembre 2023 au Palais des Papes Convention Center d'Avignon, à l'initiative des projets de recherche The Past Has Ears (PHE) et The Past Has Ears at Notre-Dame (PHEND), avec Sorbonne Université (IReMus et Institut Jean le Rond d'Alembert), l'IUF, le PRISM, et Aix Marseille Université, en collaboration avec Avignon Tourisme, pour faire le point sur les recherches dans les domaines de l'archéoacoustique en lien avec la musicologie, l'histoire et l'histoire de l'art, tout en interrogeant le point de vue des interprètes de chant sacré médiéval qui expérimentent l'acoustique des salles de concert pour trouver des résonances favorables sous les voûtes gothiques.



PHE



PHEND

