

# Groupe de Travail

## « Acoustique »

### Chantier scientifique

MSH-LSE/UAR 2000  
Sorbonne Université, Institut d'Alembert

# L'équipe



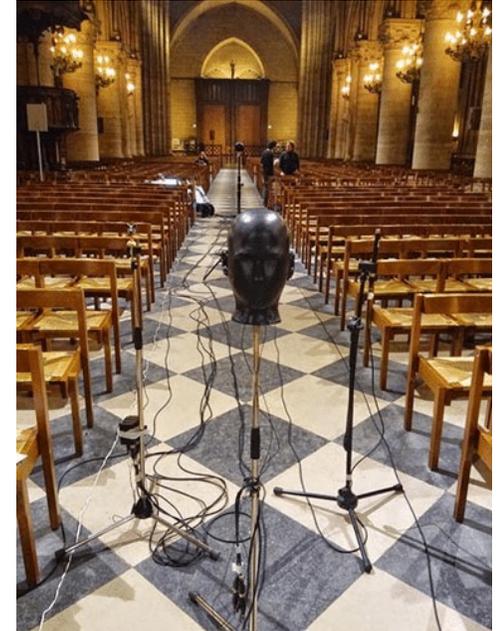
## ■ Acoustique

- **Brian F.G. Katz** (DR, CNRS, Institut d'Alembert/LAM) – Co-coordonateur
- LAM (Christophe d'Alessandro, Sarabeth S. Mullins, Julien DeMyunke...)
  - CNSMDP (J-M. Lyszwa)
  - American University Washington DC/USA (B. Boren)
  - Università di Parma/IT (A. Farina)
  - University of York/UK (D. Murphy)



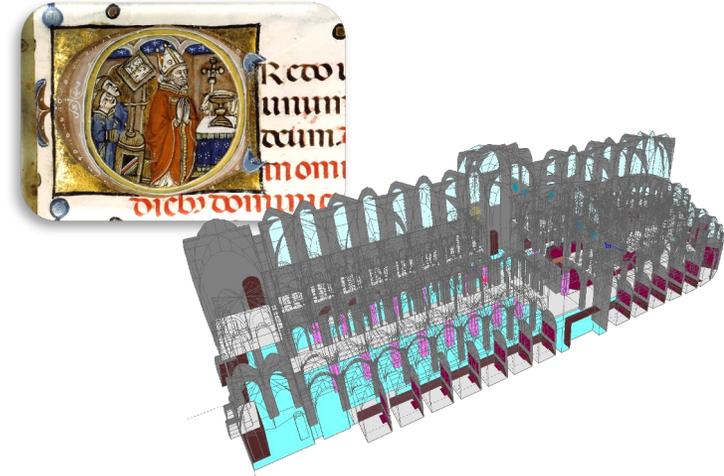
## ■ Paysage sonore

- **Mylène Pardoën** (IR, CNRS, MSH-LSE/PI2A) – Co-coordonateur
- Noé Faure (CDD IE, CNRS, MSH-LSE/PI2A)

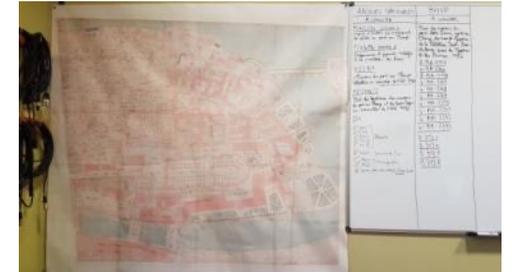


# Les travaux s'articulent autour de 3 grands axes

1. L'acoustique : passé, présent & future (B. Katz – Sorbonne Univ./IJLRDA)



2. Les paysages sonores du présent et du passé (M. Pardoën – MSH-LSE/UAR2000/CNRS)



3. Le patrimoine culturel immatériel (M. Pardoën – MSH-LSE/UAR2000/CNRS)





# L'acoustique: passé, présent & futur

## Sorbonne Université, Institut d'Alembert

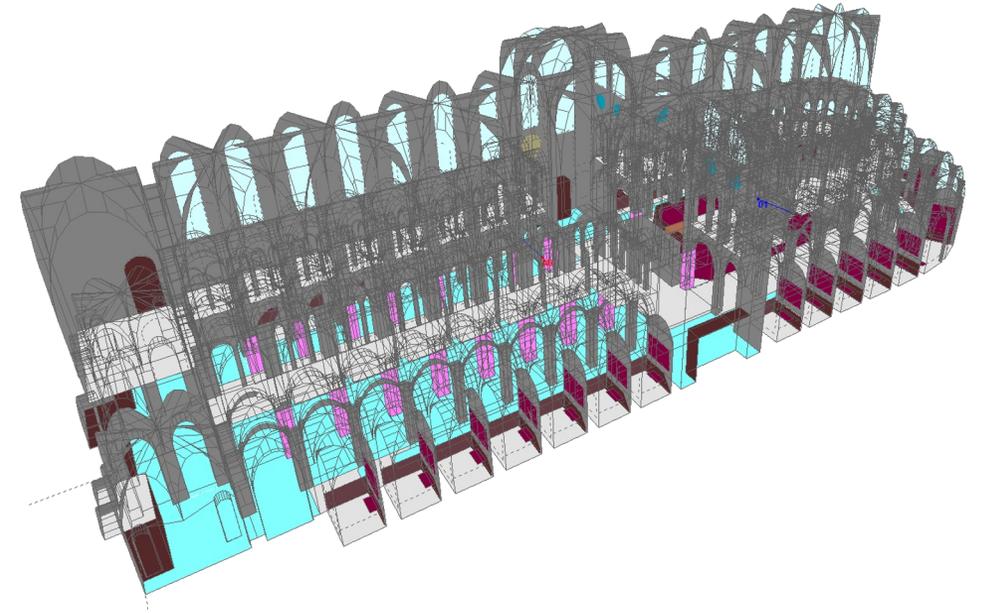


# Jumeaux numériques acoustiques

## Calibrés via 2 relevés acoustiques – 1987 & 2013

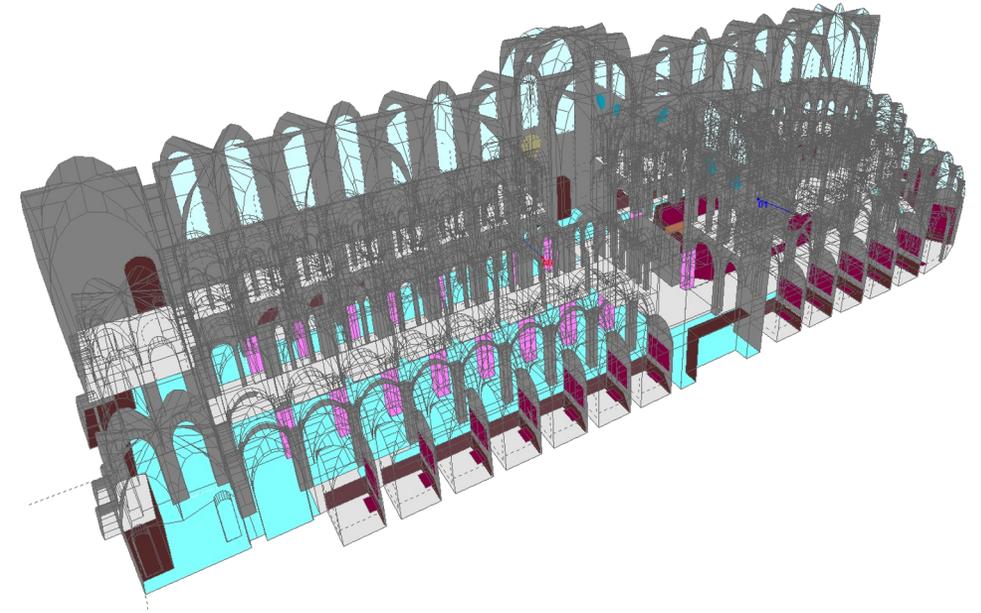
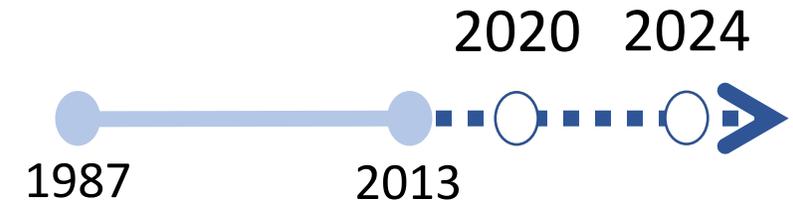


1987 ————— 2013



- Modèle numérique calibré avec des données acquies
- Renforce la confiance dans la qualité du modèle

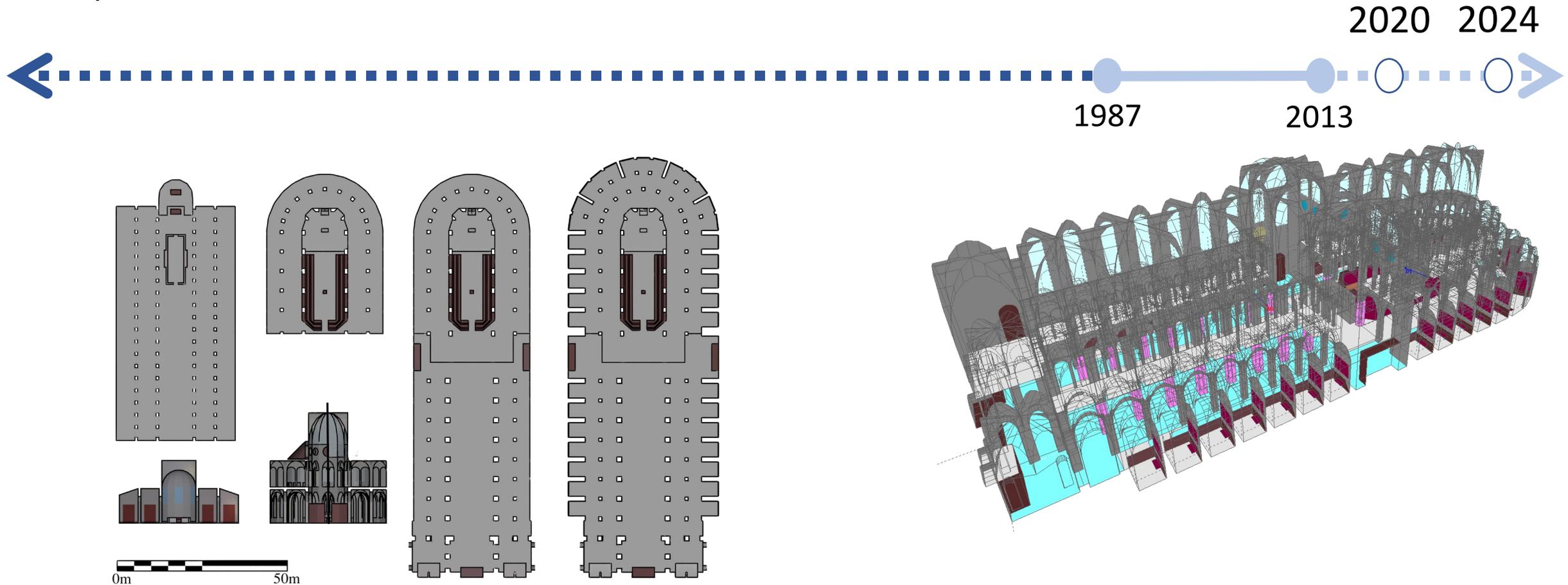
# Reconstitutions du futur



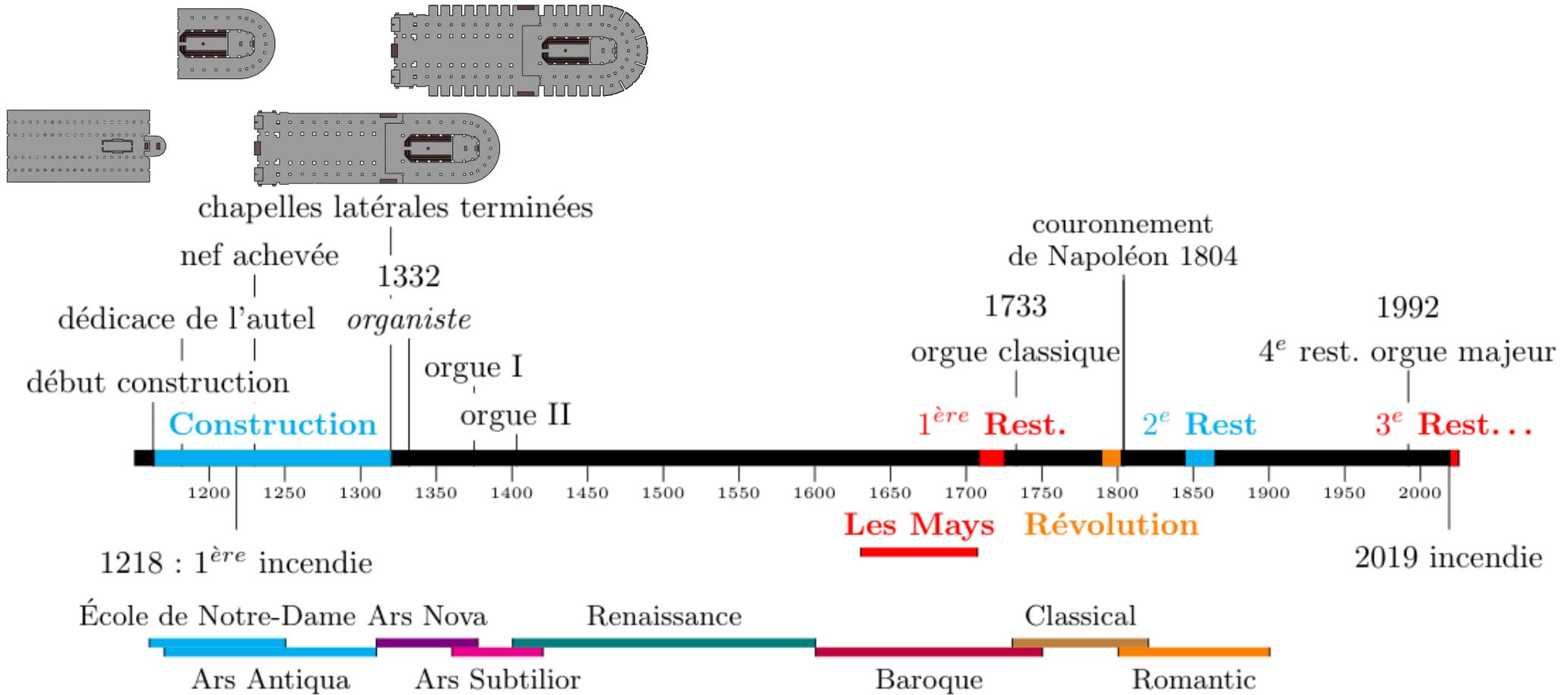
- Évaluer l'évolution de l'acoustique depuis l'incendie, avec des relevés aux cours de la reconstruction
- Employer les jumeaux numériques acoustiques comme outil pour évaluer le processus de restauration et réaménagement de la cathédrale
- Écoutez l'impact possible sur la sonorité de l'orgue, chœur, etc.
- Écoutez les solutions possibles pour atténuer le bruit des touristes futures.

# Reconstitutions du passé

- Étudier l'évolution de l'acoustique de Notre-Dame pendant des siècles



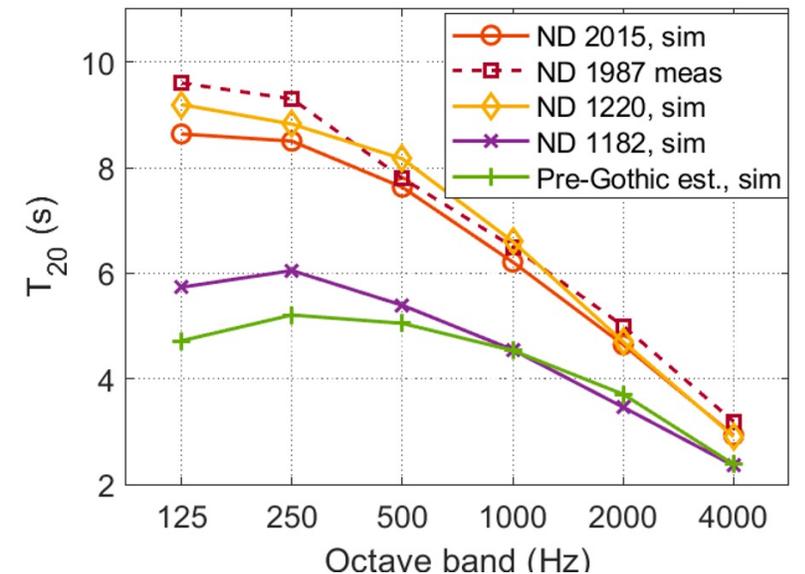
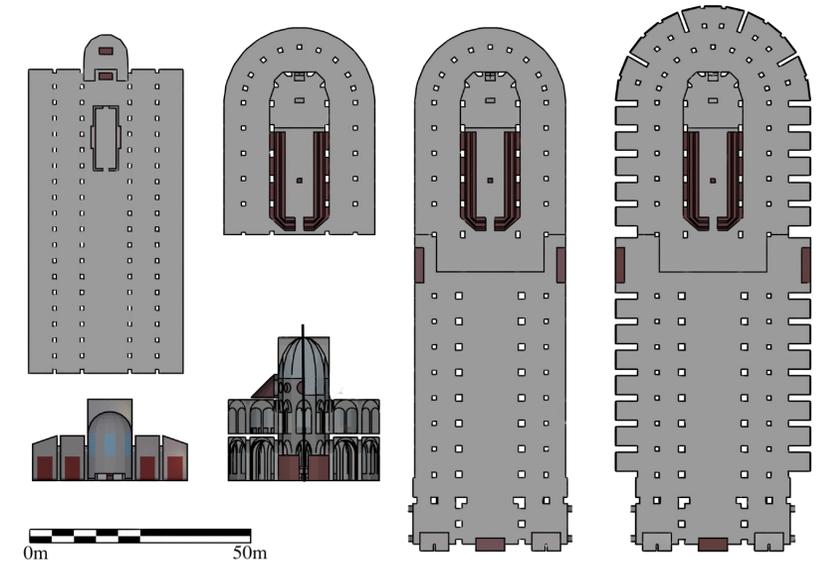
# Reconstructions contextualisées



- En collaborations avec des historiens, architectes, musicologues, ...
- Projets de recherche **PHE & PHEND** : [pasthasears.eu](http://pasthasears.eu)

# Architecture et Acoustique

- L'architecture de Notre-Dame a évolué de manière significative entre 1163 et le milieu du XIVe siècle.
- Des jumeaux acoustiques numériques, basés sur les modèles contemporains calibrés, ont été modifiés pour reconstruire les états historiques de la cathédrale.
- Des efforts supplémentaires ont été faits pour inclure des changements dans la **décoration** et le **meublier** ayant des propriétés acoustiques différentes (chaises, tapisseries, tableaux, revêtements de sol, etc.)
- Ces simulations nous permettent d'étudier les changements acoustiques qui en résultent.



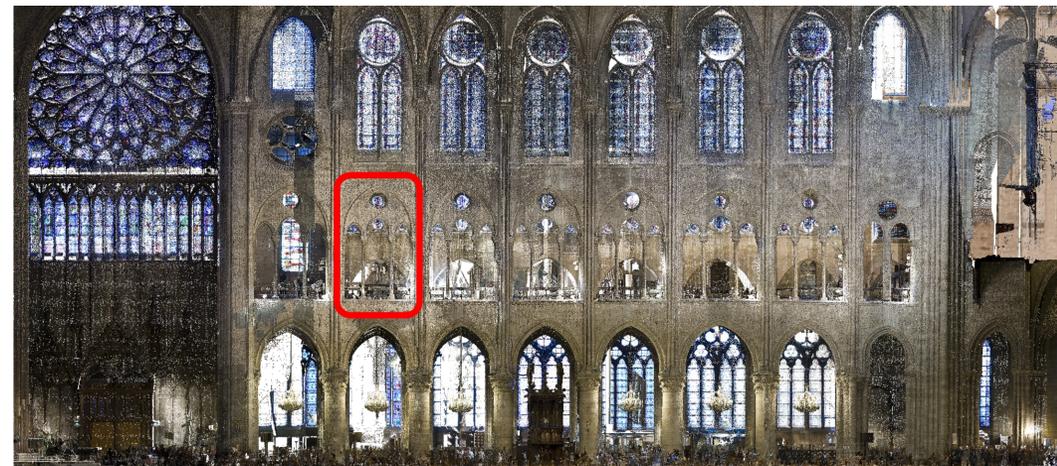
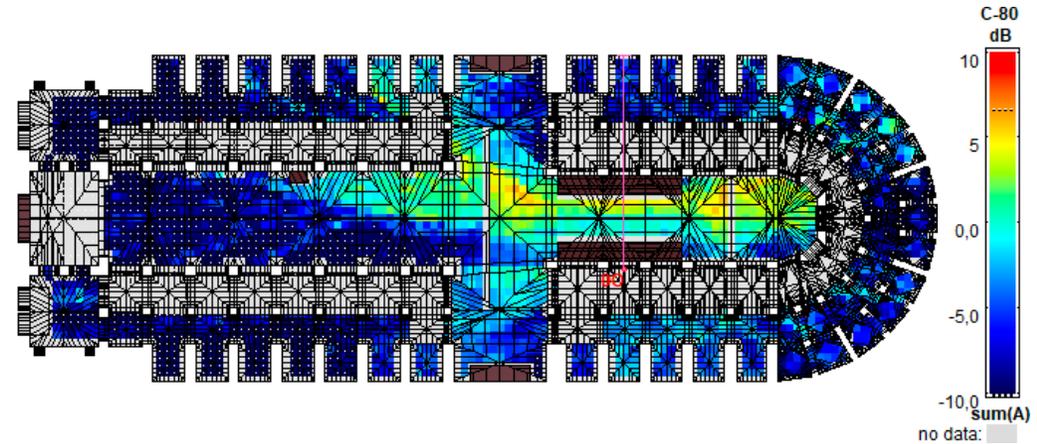
# L'acoustique des Mays

- À partir de 1630, les orfèvres parisiens ont offert une série de grands tableaux à des fins religieuses, connue sous le nom collectif de "les Mays".
- Ces peintures sont souvent représentées le long de l'allée centrale de manière incohérente dans leur accrochage.
- Nous avons investigué pour savoir comment les matériaux et les méthodes d'accrochage affectaient l'acoustique de ces tableaux depuis leur installation dans la cathédrale jusqu'à la Révolution française.
- Certains craignaient que réinstaller les peintures puisse nuire à l'orgue et à la musique vocale, mais nos simulations n'ont pas confirmé ces préoccupations.



# Les orgues

- Remplacement de l'orgue de chœur après l'incendie
  - Etude acoustique des propositions des facteurs d'orgue via les jumeaux numériques acoustiques
  - Proposition d'agrandissement et de changement de position pour élargir la gamme musicale et améliorer la projection sonore
- Recherche sur les orgues historiques de Notre-Dame
  - Traces de réparation très suggestives retrouvées sur une seule baie pour l'orgue médiéval du XIV<sup>e</sup>
  - Etude acoustique/musicale sur l'impact des différents placements des orgues



# Archéoaoustique et Musicologie

- Evolution entre de la musique et de l'architecture de Notre-Dame
- Au cours des deux premiers siècles de son existence, quelle était la relation entre les changements architecturaux importants et les compositeurs travaillant dans la cathédrale ?
  - Ces changements de la cathédrale ont-ils influencé le développement du style de l'*Organum Notre-Dame* ?
  - Était-il plus facile de jouer l'*Organum Notre-Dame* à Notre-Dame, plutôt que dans la cathédrale précédente sur le site ?
- Système interactif et immersif mis au point pour placer les chanteurs dans des conditions acoustiques réalistes afin d'étudier l'impact d'une acoustique historiquement variée.

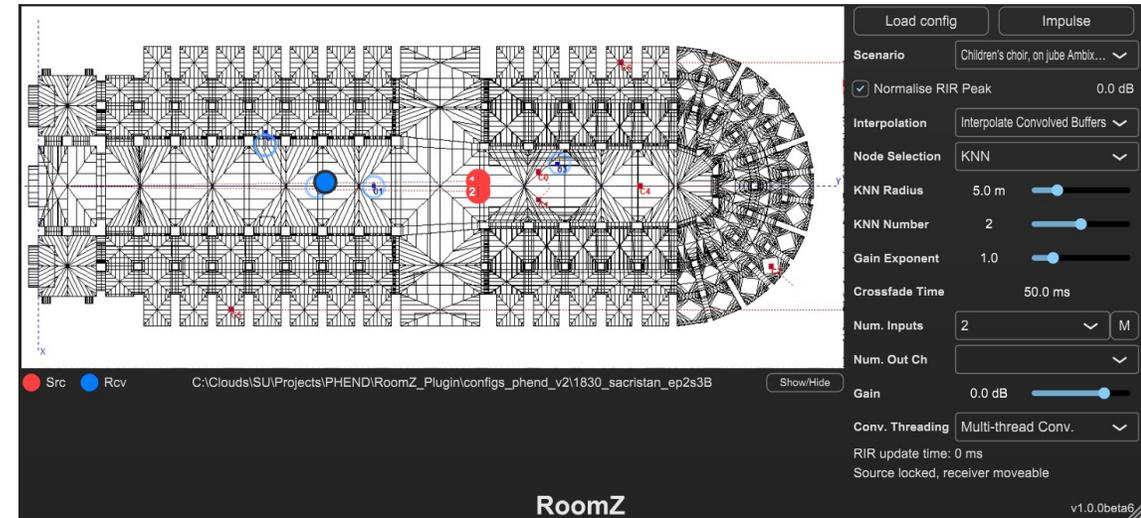


# Outils et contenu de Reconstitution

- Des outils de rendu en temps réel ont été développés pour recréer des expériences de performance en direct dans des environnements virtuels de Notre-Dame issus de simulations numériques.

[RoomZ.pasthasears.eu](http://RoomZ.pasthasears.eu)

- Plusieurs ensembles (adulte et enfants) enregistrés en situation contrôlée avec les acoustiques simulées



# Vulgarisation

## Communication au grand publique (I)

- « Ghost Orchestra » : Un tour virtuel dans le jumeau numérique (2013) avec image et son 360° qui montre les variations de l'acoustique dans l'espace sur un tapis magique

[www.lam.jussieu.fr/Projets/GhostOrchestra](http://www.lam.jussieu.fr/Projets/GhostOrchestra)



- « La Vierge 2020 » : Concert entièrement reconstruit dans le jumeau numérique (2013) en son 3d à 4 positions d'écoute

[lavierge2020.pasthasears.eu](http://lavierge2020.pasthasears.eu)

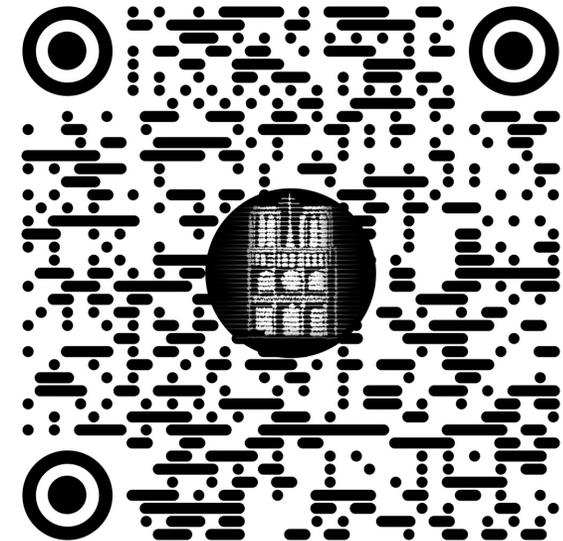
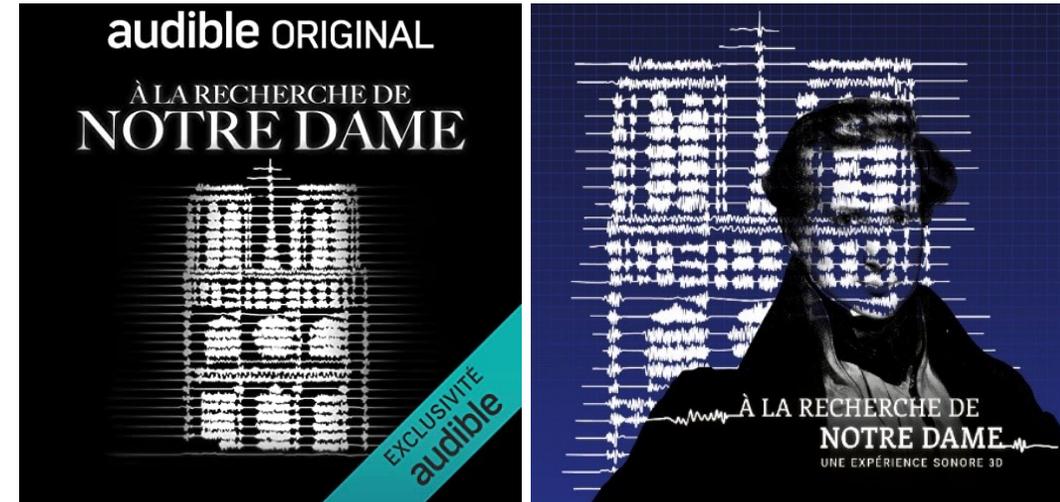


# Vulgarisation

## Communication au grand publique (II)

- « **A la Recherche de Notre-Dame** », Fiction radio en son binaural en 4 épisodes (FR/ENG)
- Dans la tête du jeune Victor Hugo lors de l'écriture de son "Notre-Dame de Paris. 1482".
- À travers diverses scènes imaginées, inspirées de faits historiques, Hugo est transporté dans l'histoire de Notre-Dame par sa nouvelle muse, où chaque scène de la cathédrale est restituée dans le jumeau numérique.
- En partenariat avec Audible et disponible gratuitement

[alarecherchedenotredame.pasthasears.eu](http://alarecherchedenotredame.pasthasears.eu)



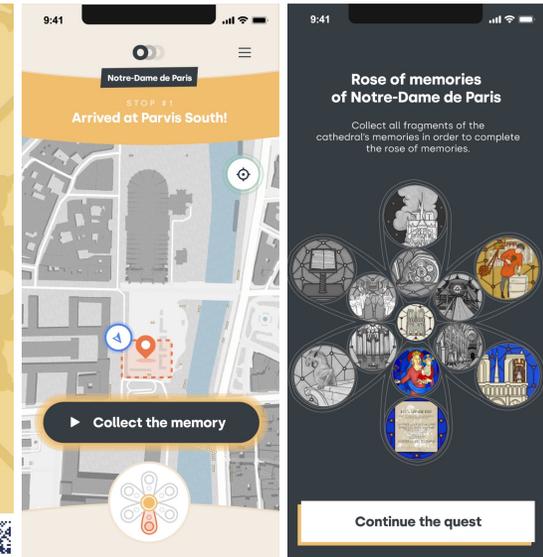
# Vulgarisation

## Communication au grand public (III)

- « Notre-Dame Whispers »  
« Murmures du Passé à Notre-Dame »
- Audio-guide binaurale géolocalisée, comme une expérience immersive
- L'histoire de la cathédrale est racontée par un personnage incarné, illustrant les liens entre l'acoustique, l'architecture, la décoration, la musique et les pratiques liturgiques.
- Télécharger gratuitement sur App Store et Android (FR/ENG/ESP fin avr-2024)
- Lancement officielle sur le parvis de Notre-Dame la semaine du 6-mai :

***Venez nous rejoindre avec vos écouteurs !!***

[ndwhispers.pasthasears.eu](https://ndwhispers.pasthasears.eu)



# L'archéologie du paysage sonore

## Maison des sciences de l'Homme de Lyon St-Etienne



## Les captations sonores avec 3 axes forts

1. Historique : archéologie du paysage sonore
  - Restitution des ambiances sonores du chantier de construction sur des périodes phare de la vie de la cathédrale
2. Patrimonial : patrimoine culturel immatériel
  - Archives sonores des métiers du patrimoine (le bâti, les métiers d'art)
3. Mémoriel :
  - Enregistrements des activités actuelles du chantier de restauration

# Définitions

- Archéologie du patrimoine sonore  
cherche/piste les traces du sonore dans
  - les écrits
  - les visuels

➤ Propose des restitutions (un modèle virtuel).
- Strates composant une ambiance sonore



## Géophonie

Tous les sons liés aux lieux, à la météo...

## Biophonie

Les sons des animaux, des insectes...

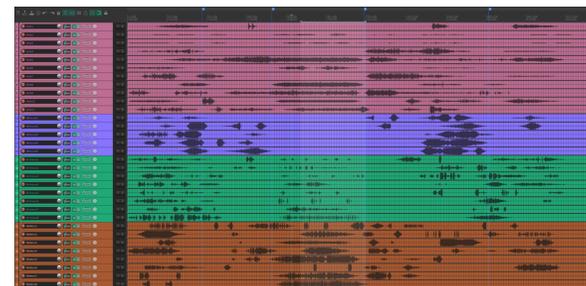
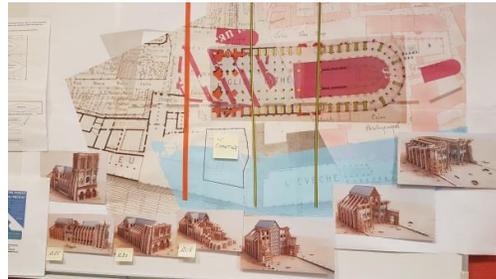
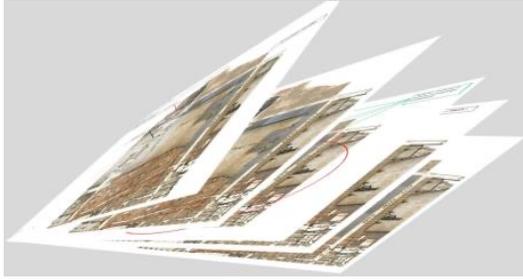
## Anthropophonie

Les sons des humains et de leurs activités



# 1 - L'axe historique

## Les périodes étudiées dans le cadre des projets PHE et PHEND



- **1170** : Début de la construction de Notre-Dame
- **Vers 1850** : durant les importantes restaurations de Viollet-le-Duc

MINISTÈRE DE LA CULTURE  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

Établissement public chargé de la conservation et de la restauration de la cathédrale Notre-Dame de Paris

cnrs

msh  
Lyon St-Étienne

SCIENCES SORBONNE UNIVERSITÉ

# Les enregistrements

## Pour des prises d'objets et les ambiances sonores

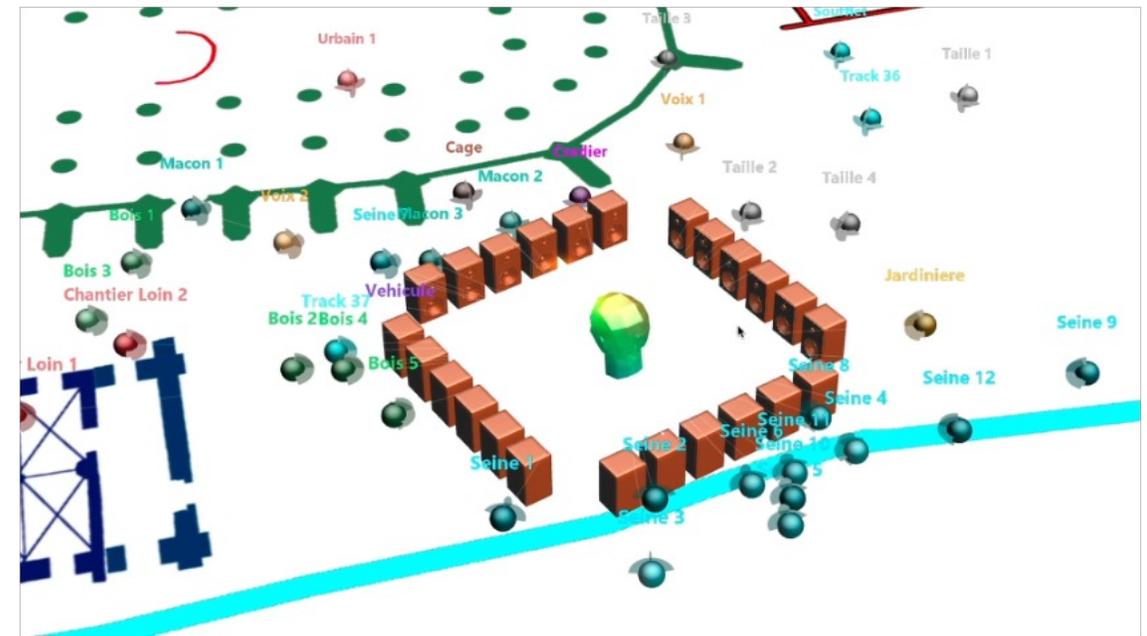
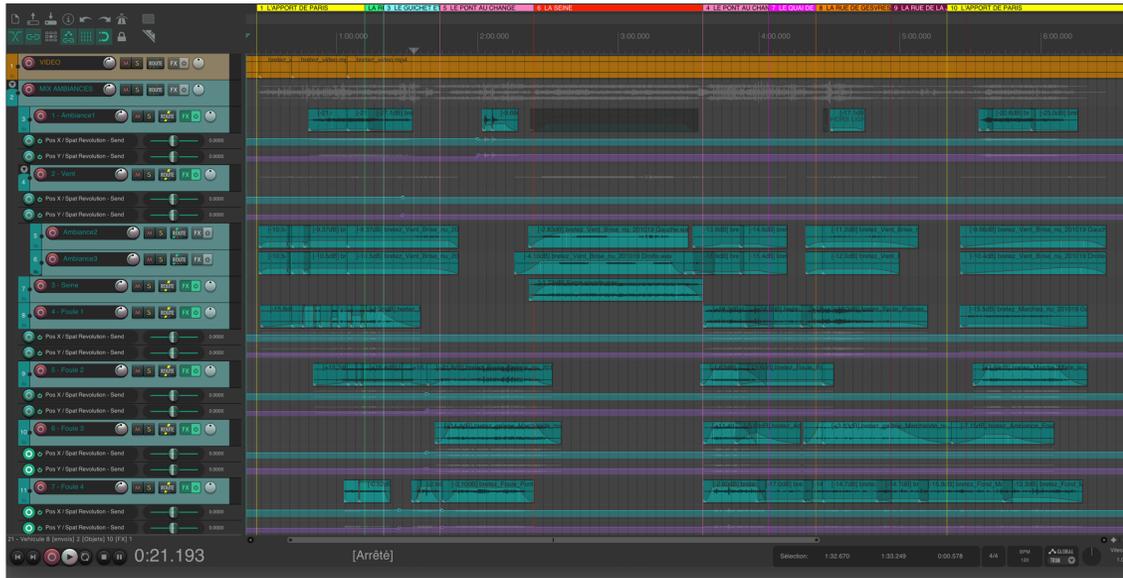


Captation ambisonique  
pour les ambiances sonores et les  
prises « larges »  
(Guédelon, le 31/08/2021)

Captation de gestes et  
d'objets sonores  
(Guédelon, le 31/08/2021)

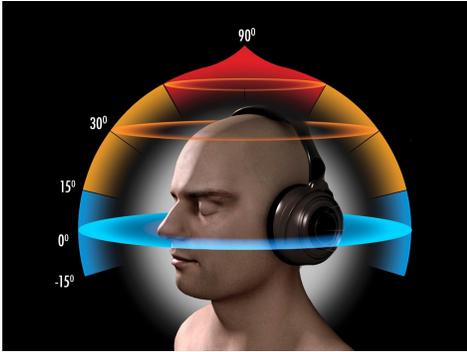


# La restitution



Travail de **spatialisation** du son sur SpatRevolution (Flux:: et IRCAM)

# L'archéologie du paysage sonore : Faire entendre l'Histoire !



Ecoute **binaurale** au casque

Possibilité de placer des sons autour de l'auditeur  
(latéralisation + élévation)



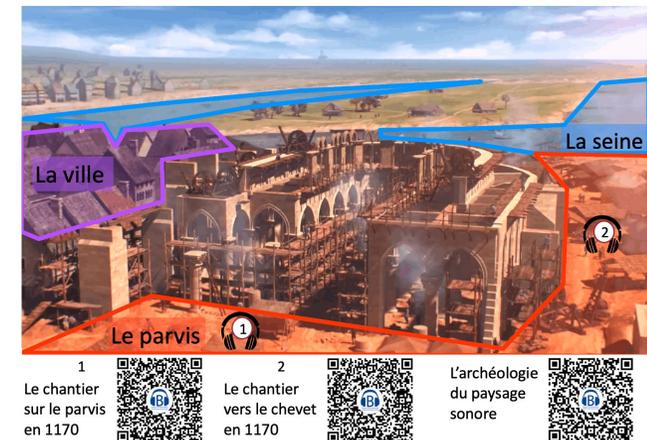
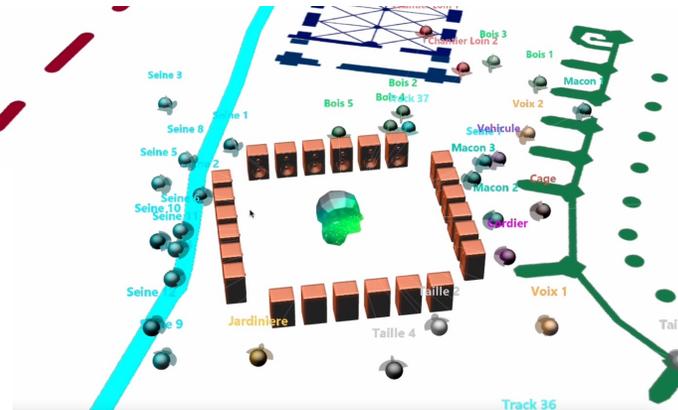
Couronne de 46 enceintes – MSH-LSE  
Latéralisation et élévation en collectif

Ecoute **WFS** sur enceintes

Reproduction d'un **champ** sonore réel

Ecoute **collective** avec possibilité de **déambulation**

## Les restitutions (en écoute lors des pauses)



# 2 - L'axe patrimonial : Volet patrimonial

## ESPHAISTOSS

Étude et analyse Sensorielle des métiers  
du Patrimoine Historique (bÂti et artISanat d'arT), leur restitutiOn Sonore,  
leur Sauvegarde numérique à des fins de transmission et de médiation



- 3 étapes :
- 1 – La captation :
  - 2 – La documentation de notre travail
  - 3 – La diffusion



Pour valoriser les métiers de la restauration  
et du patrimoine par leur sensorialité  
Pour valoriser le travail de restauration  
dans le cadre du chantier de restauration de  
**Notre-Dame**  
Pour participer à leur sauvegarde

- 3 volets :
- 1 – Un volet mémoriel
  - 2 – Un volet pédagogique
  - 3 – Un volet scientifique

- 3 volets :
- 1 – Création de méthodologies adaptées
  - 2 – Création d'outils de médiation pour les praticiens et les artisans
  - 3 – Création d'outils de médiation

DIFFUSION



- Une innovation au service :
- ⇒ de la captation
  - ⇒ de la diffusion
  - ⇒ des outils de médiation





Captation à Sens – 10/09/2020



Captation à Gerberoy – 26/09/2020



Captation de la simandre  
à Bourges – 01/07/2021



Captation  
21/04/2023

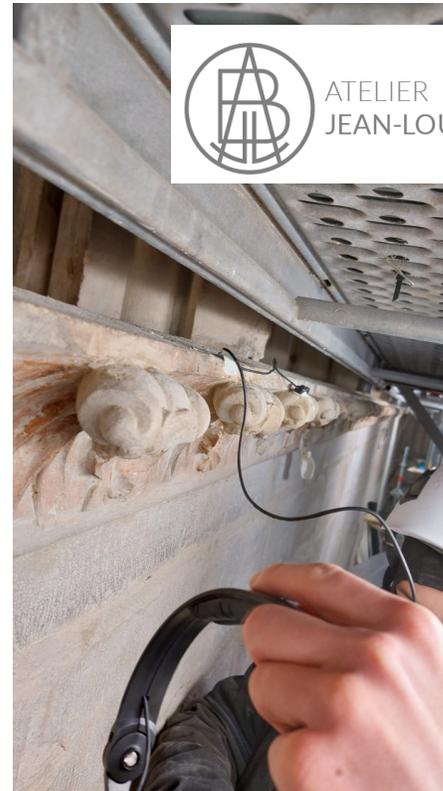


Captation  
23/06/2023

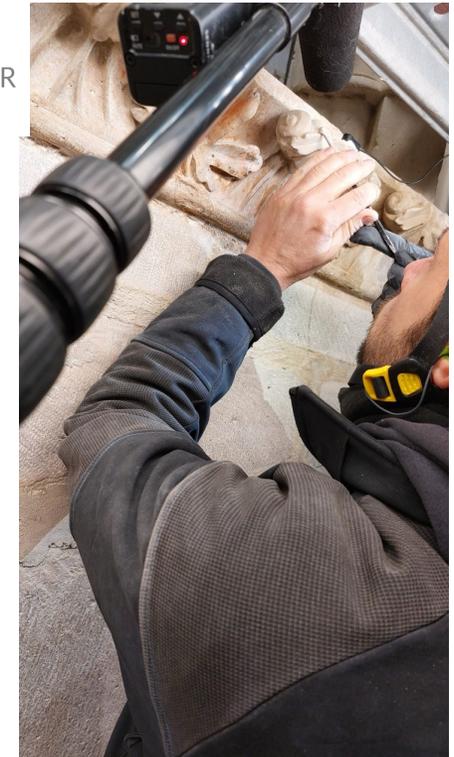


# Capter les gestes au plus près et dans les conditions réelles : Le chantier de restauration Notre-Dame de Paris

Campagne d'avril 2023



ATELIER  
JEAN-LOUP BOUVIER



# Retrouver nos travaux:



## Le carnet de recherche Archeoson :

[archeoson.hypotheses.org](https://archeoson.hypotheses.org)

# Les programmes Financiers de Recherche

## 1 – Projet **PHE** ( The Past Has Ears / Phoenix)

- EU JPI CH (n°20-JPIC-0002-FS, fin déc. 2023)
- impliquant nos partenaires anglais, états-uniens et italiens).
- 3 cas d'études : Notre-Dame de Paris (FR), House of Commons (UK), Le théâtre de Tindari (IT)
- EU's Joint Programming Initiative on Cultural Heritage.



## 2 – Projet **PHEND** (The Past Has Ears at Notre-Dame)

- ANR (fin mars 2025, n°ANR-20-CE38-0014)
- approfondissement et développement du programme PHE sur Notre-Dame avec une équipe très interdisciplinaire



## 3 – Thèse 80 PRIME MITI (soutenance anticipée sep 2024)



# Remerciements

- Financement assuré par le Chantier Scientifique CNRS/MC Notre-Dame et les projets PHE et PHEND
  - [phe.pasthasears.eu](http://phe.pasthasears.eu)
  - [phend.pasthasears.eu](http://phend.pasthasears.eu)
  - [acoustic-task-force-notre-dame.dalembert.upmc.fr](http://acoustic-task-force-notre-dame.dalembert.upmc.fr)

## Nous remercions également

- L'EPA Notre-Dame
  - Le chantier d'expérimentation de Guédelon
  - Les artisans présents sur le chantier de restauration de Notre-Dame
  - Et plus particulièrement les ateliers Vermorel et Jean-Loup Bouvier
- 
- Crédits photos : SU/IJLRDA/LAM et MSH-LSE/UAR 2000/PI2A-Audio



