



**“SOURD COMME UN POT ?
OU L’ENIGME DES POTS ACOUSTIQUES
DANS LES EDIFICES ANCIENS”**

Depuis le Moyen Age, les maçons placent dans les murs des édifices des poteries creuses destinées à améliorer la perception du son.

L'étude entreprise depuis une quinzaine d'années par une équipe de chercheurs rattachés à l'université de Poitiers, propose une lecture interdisciplinaire de ces dispositifs singuliers, du point de vue archéologique, acoustique, historique, musicologique et linguistique.

Une publication parue en 2012 sous le titre d'**Archéologie du son** a posé les bases des connaissances actuelles sur le sujet.

Dans le cadre de la conférence du 20 novembre 2021, deux chercheurs qui dirigent ces travaux ont présenté à deux voix leurs derniers résultats.

A la suite d'une présentation des dispositifs de pots acoustiques dans les églises anciennes, ils illustrent leurs résultats à partir d'exemples concrets étudiés ces dernières années en France.

Tout près de nous, l'exemple le plus évocateur est celui de l'église de Saint-Chef-en-Dauphiné. Plus à l'Ouest, la restauration de l'abbaye des Anges dans le Finistère a permis la restitution inédite d'un dispositif de plus de cent pots étudiés, puis restaurés en 2020 afin de rendre à l'église son allure initiale. Autre exemple passionnant présenté, l'église de Montivilliers en Normandie.

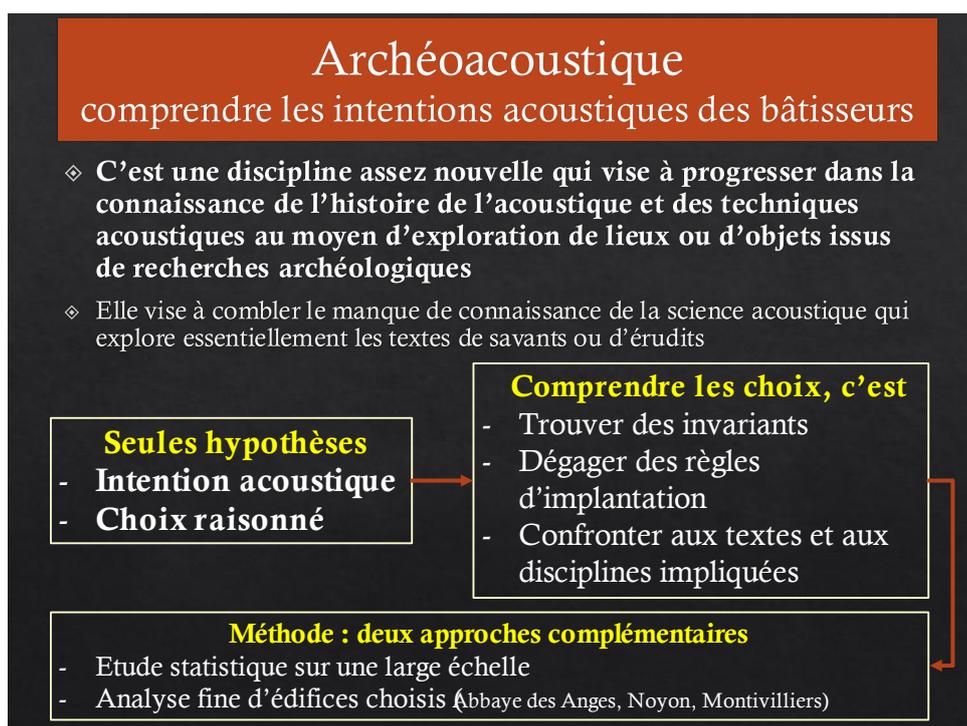
Cette présentation permet à chacun de découvrir ou d'approfondir les richesses techniques du patrimoine bâti ancien, souvent méconnu et parfois malmené lors des restaurations, bien souvent malheureusement, faute de connaissances.

Les conférenciers :

Bénédicte Bertholon, archéologue, chercheur associé au Centre d'Etudes Supérieures de Civilisation Médiévale de Poitiers.

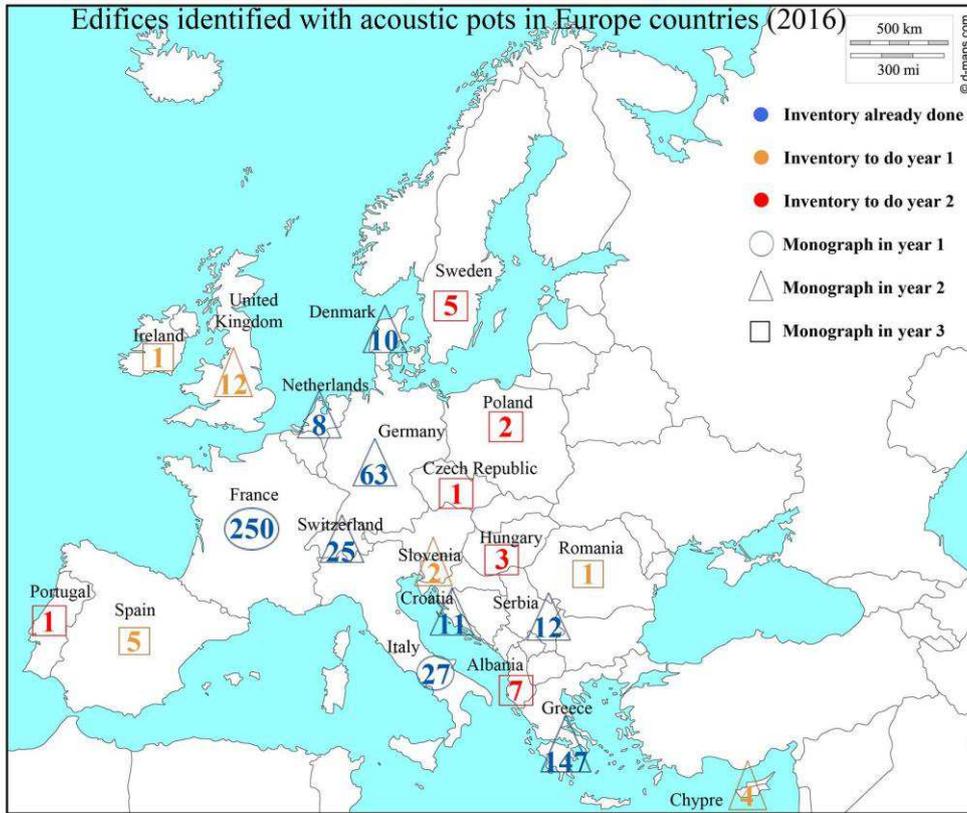
Jean-Christophe Valière, professeur, Institut Pprime (Unité propre du CNRS en recherche, ingénierie en matériaux, mécanique et énergétique pour les transports, l'énergie et l'environnement).

Je vous propose un retour sur la présentation de nos conférenciers le samedi 20 novembre 2021.

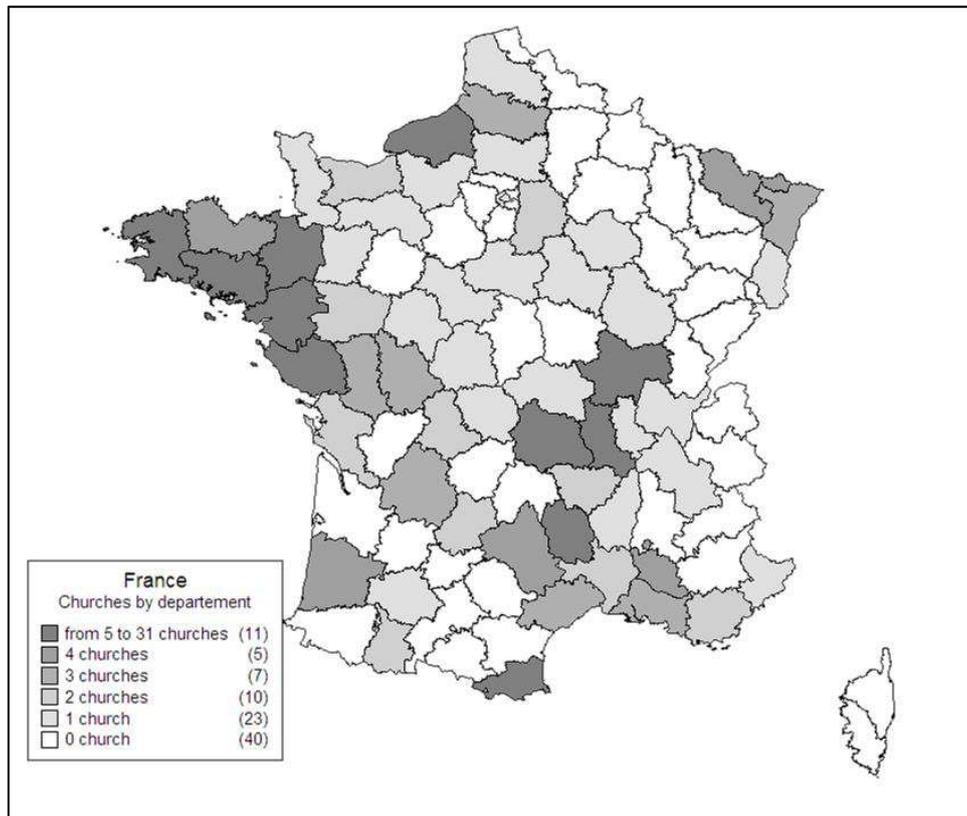


I. LA LOCALISATIONS DES POTS ACOUSTIQUES

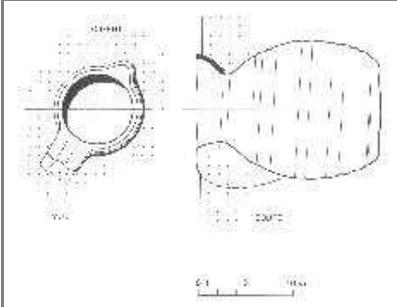
Les lieux identifiés en Europe



Où trouve-t-on des dispositifs de pots acoustiques en France ?



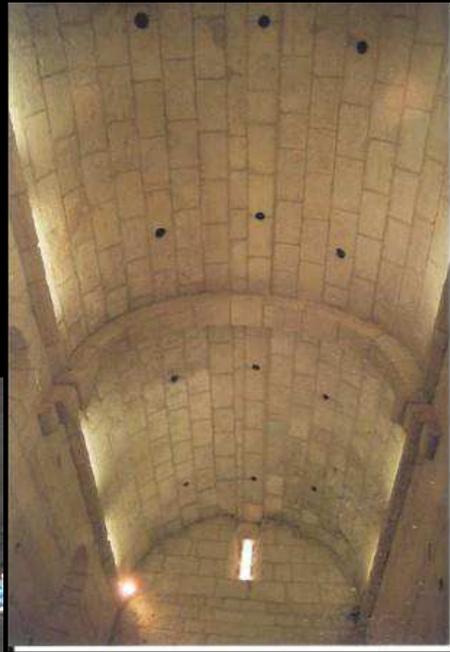
Les données archéologiques :
Qu'est-ce qu'un pot acoustique ?



Les pots acoustiques : des poteries insérées dans la maçonnerie, dont seul le col ouvert affleure à la surface du mur



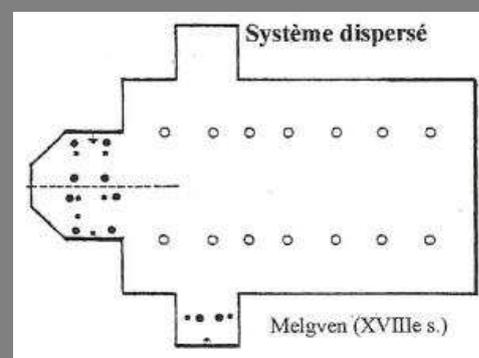
Saint-Chef-en-Dauphiné, Isère
Pots acoustiques insérés dans les murs de la nef



Beaulieu, Hérault
(fin XIIe-début XIIIe)
Pots insérés dans la voûte

La répartition spatiale des pots acoustiques dans l'espace de l'église

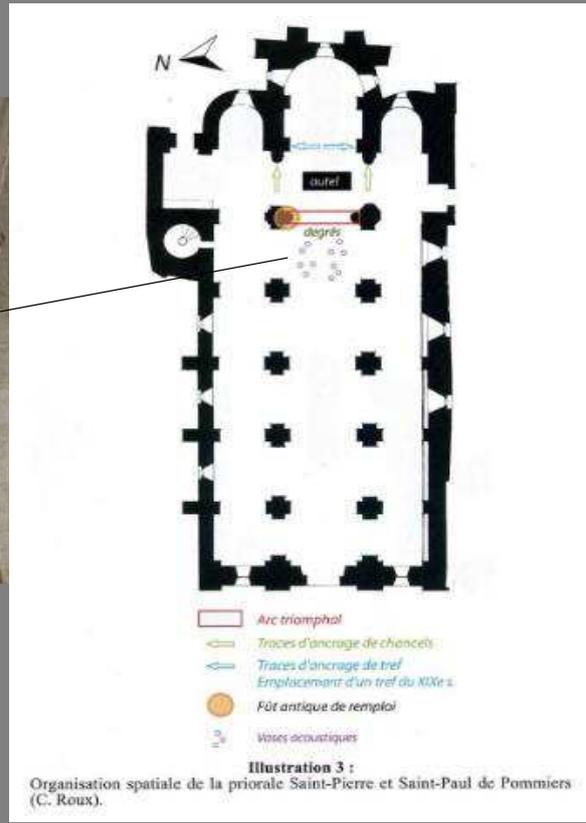
Église de Melgven, Finistère
14 pots sont regroupés dans le chœur et 4 sont conservés dans le bras nord du transept



La répartition spatiale des pots acoustiques dans l'espace de l'église



Pommiers- en-Forez : pots insérés dans la voûte, regroupés au dessus de la première travée de la nef



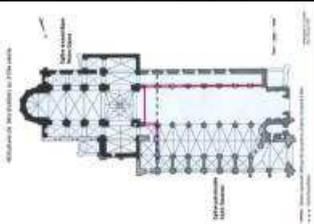
La répartition spatiale des pots acoustiques dans l'espace de l'église



Chapelle de Kersaint, Landunvez, Finistère. 32 pots disposés en lignes : relation avec l'aménagement liturgique.

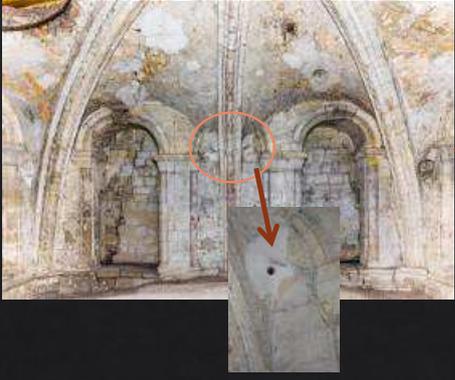
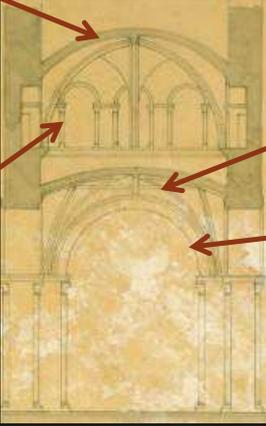
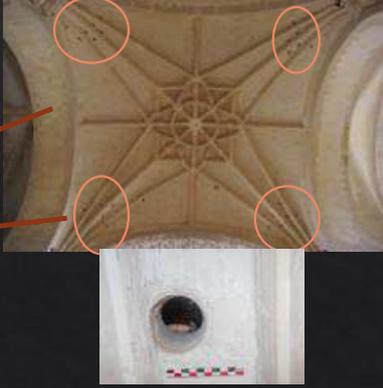


Montivilliers




XIe XIIIe 1626 1620-1640 1637-1643 1648

Début de la construction Construction de la voûte prégothique Cérémonial Mise en place des pots dans la voûte pré-gothisque (18 pots) Mentions dans le registre journalier (nuisances sonores) Construction de la voûte moderne avec 25 pots Citation dans RJ

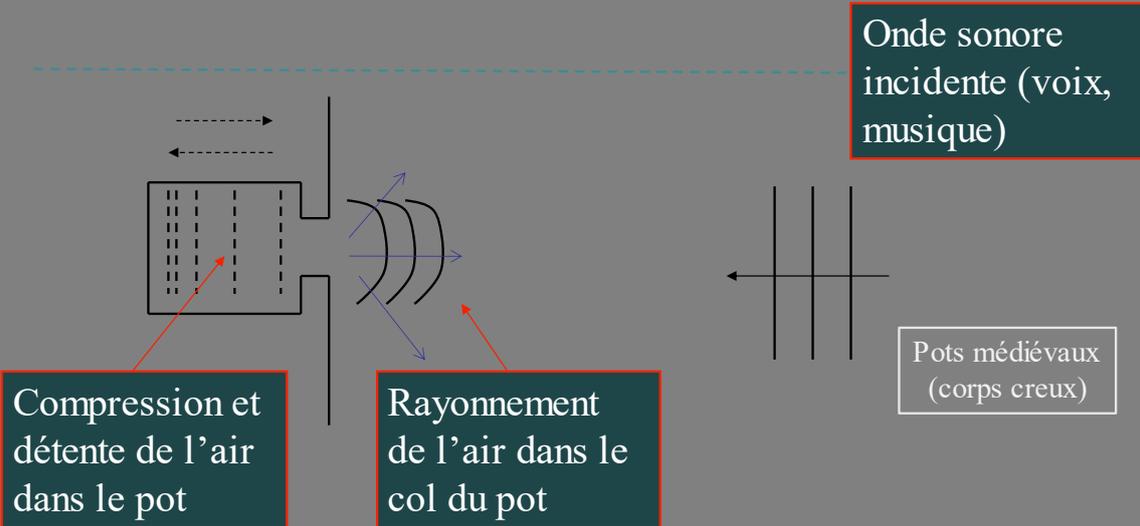




EN SYNTHESE

- La localisation spatiale des pots dans l'espace liturgique : relation constatée entre la localisation des officiants et l'implantation des pots.
- Règle générale : on trouve presque partout des pots dans le chœur liturgique des églises (abside, 1ère travée de la nef).
- Dans de nombreux cas, on en trouve aussi répartis dans la nef et dans le transept.
- Certains espaces liturgiques sont privilégiés pour implanter les pots :
 - dans les tribunes
 - au-dessus des stalles
 - autour et face à la chaire à prêcher
 - de part et d'autre du jubé

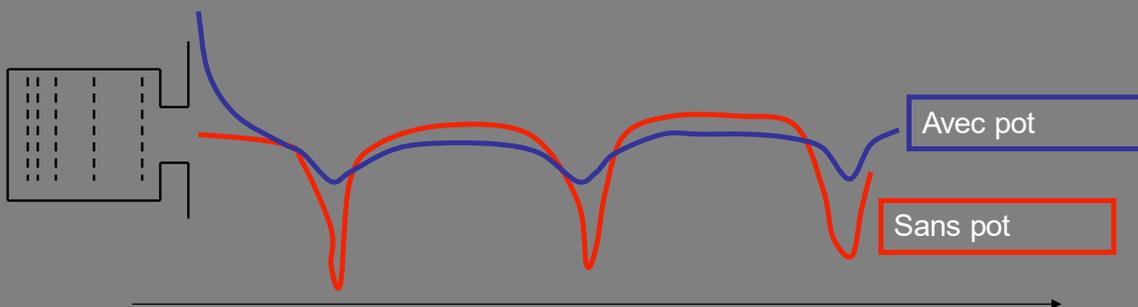
Le fonctionnement d'un pot acoustique : modèle du résonateur de Helmholtz

Le pot résonne à une certaine fréquence (ex 125 Hz) et il ne réagit qu'à la fréquence à laquelle il est accordé.



Effets acoustiques possibles des pots avec une source à distance

- **Amplification** très localisée, à proximité du son, à une fréquence particulière (celle du pot, exprimée en Hz)
- **Diffusion** du son dans toutes les directions à cette fréquence à la manière d'un petit haut-parleur situé dans le col
- **Absorption** (diminution) du son à distance et homogénéisation pour cette fréquence (cf. graph ci-dessous)



- Recueil des données
 - Résonance de tous les pots
 - Position des pots
 - Taille et géométrie de l'église
 - Réverbération de l'église
- Informations archéologiques
 - Taille et forme des pots si accessibles
 - Datation des églises, de la pose des pots ...
 - Destination d'usage (monastique, paroissiale)
- Recueil d'écrits
 - Chroniques, comptes, ouvrages liturgiques
 - Ecrits sur le bâti

Méthode



Saint-Blaise (Arles)

- **50 églises visitées**
- **1150 Pots mesurés**
- **582 Mesures validées**

22



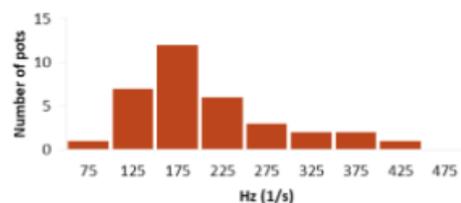
Pots adaptés à la voix

Nombre d'églises à une fréquence moyenne donnée

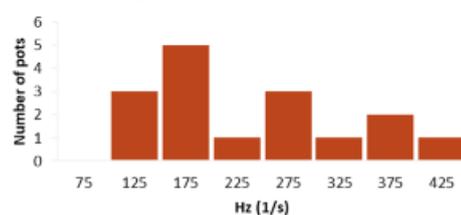
- La fréquence moyenne des pots est comprise entre [100 Hz – 400 Hz], dans la zone la plus énergétique de la voix humaine
- Le plus souvent les fréquences sont proches du fondamental de la voix parlée [100 Hz – 200 Hz]
- Ou aux notes basses des voix masculines (Basse – Baryton)
- **Cette tendance est plus marquée pour les monastère** →

23

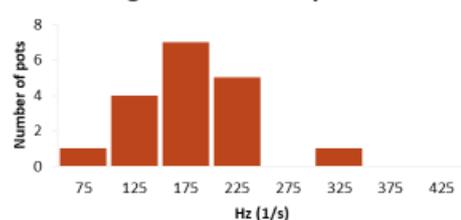
Fréquences de résonances moyennes par églises



Eglises paroissiales



Eglises monastiques



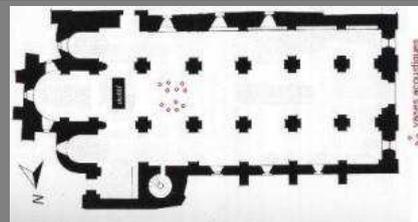
Dépendance au volume

- Le nombre de pots augmente avec le volume de l'église;
- La tendance est la même dans les monastères, mais elle est plus régulière;
- Le constat de deux fréquences différentes de résonances (ou plus) dans un édifice est davantage présent dans les églises de grande taille en proportion (10/12) que dans les églises de petite taille (10/18).

Distribution des pots dans l'espace

- Dans une grande partie des églises étudiées (base de 39 édifices) les pots sont répartis dans l'ensemble de l'église (2/3)
- Avec toutefois un pourcentage plus important pour les églises paroissiales

Eglises	Chœur, Transept et première travée (chœur liturgique)	Nef et répartition dans toute l'église	Total
Monastique	9 (43%)	12 (57%)	20
Paroissiale	4 (21%)	15 (79%)	19
Total	13 (33%)	27 (69%)	39



Position des pots au -dessus des stalles, Pommiers en Forez (Ch.Delomier, in *Archeologie du son*, 2012)

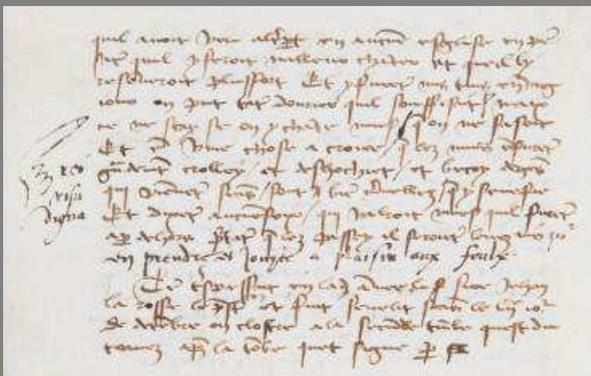
Différences entre églises paroissiales et monastiques ?

Le nombre de fréquences de résonance dans une même église → semblable dans les églises monastiques et paroissiales.
Remarque : en proportion un peu plus de dispositifs à plusieurs fréquences de résonance des pots dans les églises monastiques.

Eglises	Fréquence unique	Deux fréquences	Pots répartis sur une octave	Total
Monastique	4 (28,5%)	6 (43%)	4 (28,5%)	14
Paroissiale	6 (37,5%)	4 (25%)	6 (37,5%)	16
Total	10	10	10	30

II. LES TEXTES DE REFERENCE

Les témoignages écrits : des poteries acoustiques pour mieux chanter ?



Chronique des Célestins de Metz (1432), Metz, Bibl. mun., ms. 833, fol. 133 et 134)

Objectif : améliorer la qualité du chant et faire résonner plus fort.

« En cest année dessus dit, au mois d'aoust, le vigile de l'Assumption Nostre-Dame, aprez ceu que frère Ode le Roy, priour de seans, fuit retournez du chapitre gral de dessus dit, **il fit et ordonnoit de mettre les pots au cuer de leglise de seans, portant qu'il avoit vu altepart en aucune église et pensant qu'il y fesoit milleur chanter et que il y resonneroit plus fort** . Et y furet mis tuis en ung jour on point tant douvrier quil souffisoit. Mais il ne seay si on chante miez que on ne faisoit. Et cest une chose à croire que lez murs en furet grandement crolley et deshochiet et becop de gens qui viennent seans sont bien merveillex que y soie fait. Et dixent aucune foix que valeoit mieux quil furet aprésen dehors portant que bon pensoyt il seroit là mis pour en prendre et jouyr à plaisir aux foux». [1]

... il fit faire et ordonner de placer des pots dans le chœur de l'église de ce lieu, arguant qu'il l'avait vu en d'autres lieux dans quelque église et pensant que cela améliorerait la qualité du chant et qu'il y résonnerait plus fort.

Temple protestant de Lutry (Lac Léman-Suisse), mention datée de 1587, où l'on monta des ponts, afin que le maçon Jacques Bodmer puisse « **faire des pertuis ès vottes du templ, afin que la parolle de Dieu qui y est annoncéoit tant plus facilement entendu** ».

Objectif recherché : améliorer la perception de la voix

(Desarnaulds 2002, p. 118, qui renvoie à Grandjean 1990)

Objectif recherché : faire résonner la voix

Extrait des comptes du chapitre de Saint-Denis-de-Vergy en Côte d'Or, datés de 1616.

« Payé 24 sols au tulinier de Belon pour trois douzaines de petits pots pour mettre dans la muraille du chœur, propres à faire **raisonner la voix** ».

Texte de 1666, émanant des comptes de fabrique de l'église Saint-Idunet de Trégourez dans le Finistère.

La fabrique commande à Hervé Lecan, d'Ergué « **dix pots à mettre dans les murs de l'église pour faire écho** » et elle paye la somme de dix livres pour ce travail.

« Vases de résonance », *L'intermédiaire des chercheurs et des curieux*, 1^{er} semestre, 1900, p. 431, 556, 598, 882, 1092, 1107.

Quelle fonction sensorielle recherchée ?
Le témoignage des textes

Montivilliers, chronique de l'abbaye, 1648
« Le même jour a été achevée la voûte de dessus le chœur des religieuses que Madame Anne de l'Hôpital abbessse a fait faire pour l'embellissement du dit chœur, mais bien davantage **pour le soulagement des voix et chant.** »



Le vendredy vingt neufiesme du mesme Mois Son a fait Le Service Du bout de Lan pour feu deuote et vertueuse Religieuse Anne Christine Tirye, selon que L'ordonne les Constitutions

Le Meisme Jour a este acheuee la vaulte de dessus le chœur des Religieuses, que Madame Anne de l'Hospital Abbessse a fait faire pour L'embellissement du dit chœur, & mais bien dauantage pour le soulagement des voix Et chant

DE MELITON. 37
perilleuses, que de chanter les loüanges de Dieu à champ ouuert & à la veüe du monde.

Vous diray-je ce que pensent quelques esprits de ceste maniere de chanter à huys clos, ils s'imaginent que c'est un artifice pour rendre ces chantres d'autant plus estimés qu'ils sont moins considerés, & pour cacher leurs fautes à peu de frais.

Qui sçait ce que l'on fait derriere ce rideau? de cinquante Choristes que le public entretient dedans telle maison, quelques fois ils ne seront pas six à l'office; ces chœurs sont accommodés avec des pots dans la vouite, & dans les murailles, en sorte que six voix y feront autant de bruit, que quarante ailleurs. C'est le portique d'Athenes appellé heptaphonon, ou une voix resonâte au centuple, par une forme d'Echo, un moins moderé appellerait ceste industrie, une pieuse fraude.

D/4

Quelle fonction sensorielle recherchée ?
Le témoignage des textes

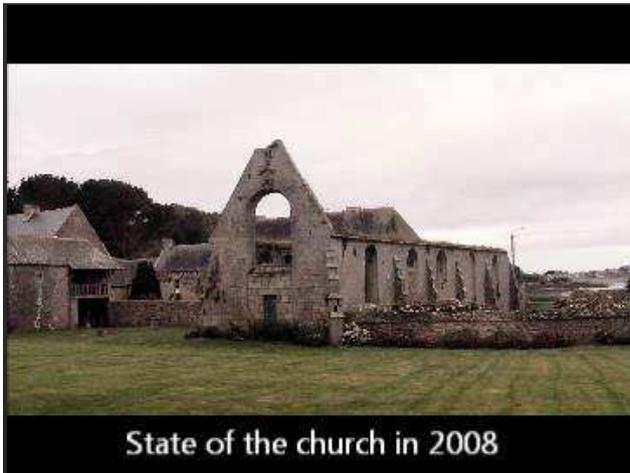
« Qui sait ce que l'on fait derrière ce rideau ? De cinquante choriste que le public entretient dedans telle maison, quelques fois ils ne seront pas six à l'office, ces chœurs sont accommodés avec des pots dans la voûte, et dans les murailles, **en sorte que six voix y feront autant de bruit, que quarante ailleurs** C'est le portique d'Athènes appellé heptaphonon, ou une voix resonâte au centuple, par une forme d'Echo, un moins moderé appellerait ceste industrie, une pieuse fraude.

Claude Pithois, *L'Apocalypse de Méliton ou révélation des mystères cénotiques par Méliton*, 1665 (1ère éd. 1622), p. 37.

Objectif recherché : amplifier les voix

III. ARCHEO ACOUSTIQUE EXPERIMENTALE

La restauration de l'abbaye Notre-Dame-des-Anges (Landéda – Finistère)



Extrait d'un film de France 3 (nov. 2016)



Présentation du projet

- ◆ Abbaye fondée en 1507
- ◆ Ordre des Franciscains (référence aux Anges)
- ◆ Les propriétaires souhaitent restaurer l'abbatiale pour faire un centre culturel ouvert sur le village
- ◆ L'objectif est de réparer ou substituer, le cas échéant, les 110 pots
- ◆ Préalablement des études archéologiques et acoustiques ont été menées pour essayer de chercher des régularités tant sur les pots (géométrie et fréquences) que sur leur répartition dans l'espace



Relevé des
profil des
pots (Nadia
Barone)

Abbaye des Anges, Landéda, Finistère

Pots mis en œuvre au moment de la construction des murs : étude du bâti



Typologie des pots de l'Abbaye des Anges

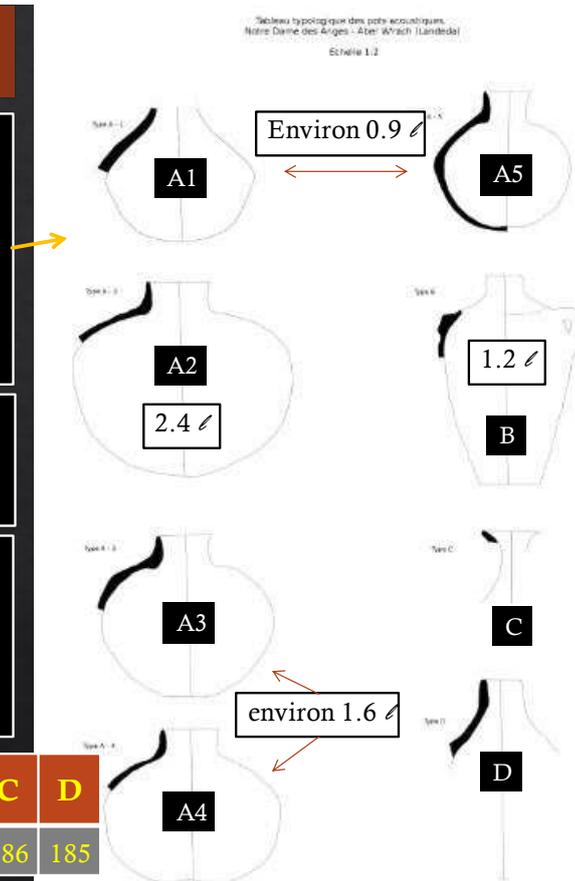
- La céramologie a identifié 8 types de pots
- 5 de type globulaire (Type A) dont la céramique est impropre à la consommation et qui ont donc été fabriqués pour un usage acoustique.
- 3 pots de type bouteille ou amphore (Type B, C, D) qui sont des pots à usage culinaire en réemploi pour l'acoustique

- Les pots intacts (20) ont été mesurés
- Pour d'autres, des simulations numériques ont été effectuées.

On peut raisonnablement penser que les bâtisseurs ont souhaité couvrir 3 domaines

- Basses fréquences (C, D, A2)
- Moyenne fréquences (A4, A3)
- Hautes fréquences (A1, A5)

Type de pots	A1	A2	A3	A4	A5	B	C	D
f_0 (Hz)	263	189	241	231	264	217	186	185



Expérience archéoacoustique Fabrication des pots

- ◇ Sur la base du cahier des charge défini par nos soins, un céramiste, Michel Le Gentil, a été missionné par le propriétaire pour reconstruire les pots manquants ou trop cassés.
- ◇ Il devait aussi en restaurer certains par « ordre » du service régional d'archéologie.



Type de pots	A1	A2	A3	A4	A5	B	C	D
N	8	1	14	18	12	7	1	4
$\Delta f/f_c$ (%)	17	8	8	10	16	18	13	4
σ_f/f_m (%)	3,7	/	4,6	4,9	4,3	3,2	/	6,9

Conclusion partielle

L'hypothèse de 5% de dispersion est validée par cette expérience. Il est donc vain de rechercher une précision supérieure :

- Coefficient de rétraction à la cuisson est très difficile à anticiper

En revanche, obtenir une fréquence cible n'est pas facile (semble-t-il). Il était donc probable que les pots étaient ensuite choisis.

- ◆ **Méthodologie**
- ◆ - Les pots sont livrés sans être mesurés ;
- ◆ - Ils sont classés par ordre de fréquence croissante en tapant sur l'embouchure ;
- ◆ - Ceux qui semblent avoir la même fréquence sont regroupés ;
- ◆ - Les fréquences sont mesurées et les données sont finalement analysées.

Expérience archéo acoustique Choix par l'oreille



Classement par l'audition des pots de même type, séché et non cuit, par fréquence croissante perçue de gauche à droite (manque 1 pot)

Résultats globaux

Corrélation entre classement et fréquences

- 1^{er} expérience : 0,65 - 0,85

- 2^e expérience : 0,78 - 0,96

Erreur à l'intérieur d'un classement :

- 3-4 Hz pour des fréquences de 200 -300 Hz

Conforme aux résultats de psycho acoustique

Classement à l'oreille	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fréquence	238	284	285	276	294	294	299	299	300	300

37

Insertion des pots neufs (fac simulé)



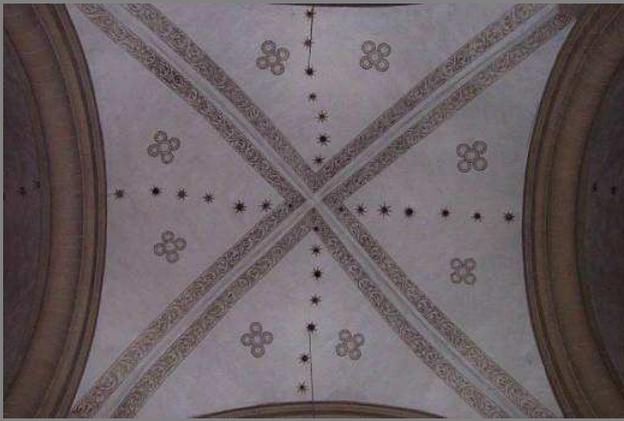


IV. LE POT, UN OBJET SYMBOLIQUE

Saint-Arbogast
Oberwinterthur
(Suisse)
83 pots
(découverte de
1932)

Disposition symbolique des pots :

- Croix : l'Eglise
- Triangle : la Trinité
- Lignes de pots :
 - * 2 x 4 lignes > 4 points cardinaux, 4 évangiles, l'octave (musique), l'harmonie parfaite (Pythagore), l'équilibre cosmique.
 - 9 pots > 9 chœurs angéliques, 9 muses (poésie antique), 9 formes de performances musicales
 - * 10 pots > décalogue unité Ciel et Terre, équilibre de l'univers
 - * 11 pots > « harmonie du péché » St-Augustin, qui remet en cause l'équilibre parfait de l'univers.



Sainte-Brigitte-et-Sainte-Marguerite
Asbeck, (Allemagne)

Le centre des étoiles peintes sont constituées de pots acoustiques ouverts sur l'espace de l'église.

Saint-Jean-Baptiste, Baintdt
(Allemagne)

Les étoiles et astres peints contiennent des pots acoustiques .



St-Saturnin de Villette
(Suisse)
Pots et peintures murales (XVe)



Les pots sont placés à mi-hauteur, entre les hommes et les anges → *transitus* pour la prière



Église paroissiale de Gelterkinden (Suisse) (1480-1490)



Les pots sont intégrés dans le décor mural qui représente la musique angélique (anges) et la musique céleste (étoiles)



Matérialisation de la voix des anges musiciens.
La voix des louanges des chantres en miroir du chant angélique représentés au dessus.

Pot acoustique

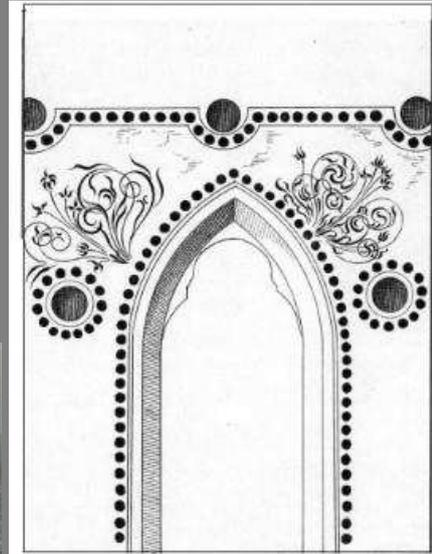
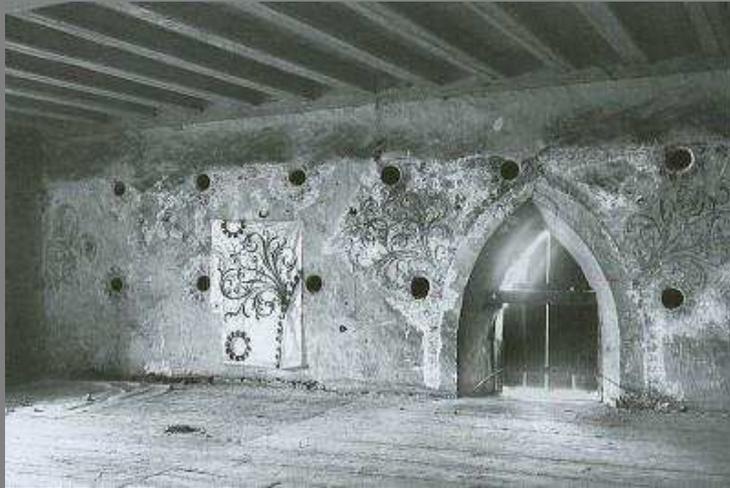
Saint-Séverin de Cologne
Assomption de la Vierge
(XIVe).

4 pots acoustiques sont insérés dans la maçonnerie et constituent le pavillon des trompes angéliques.



Monastère des sœurs dominicaines
Oetenbach, Zürich

Pots associés à un décor de rinceaux et de
lignes de points > matérialisation du
Verbe divin.



La symbolique du vase de terre dans l'exégèse biblique

« Je suis un misérable petit vase d'argile. Cela, je ne le dis pas de moi-même, mais grâce à la vraie lumière : l'Homme est un vase que Dieu a créé pour lui-même et qu'il a rempli de son inspiration afin d'y accomplir ses œuvres. »

Hildegarde de Bingen, XII^e siècle

*Salut, mère du Sauveur, Vase élu, vase d'honneur, vase de la grâce céleste,
Vase prédestiné depuis l'éternité, Vase insigne, vase ciselé par la main de la Sagesse [...].*

Salve mater salvatoris (AH 53, 383), Adam de Saint-Victor (XIII^e siècle)

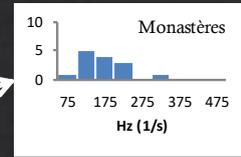
Synthèse – dimensions explicatives

Trois dimensions explicatives

Preuves acoustiques et archéologiques

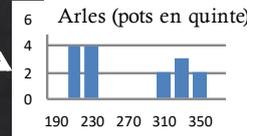
Vox

- Tous les textes mentionnent la voix parlée ou chantée
- Les fréquences sont choisies autour du fondamental de la voix et/ou des premières notes chantées
- Sur 2/3 du corpus les pots sont “accordés”, en quarte, en quinte notamment
- Pots souvent au -dessus des religieux



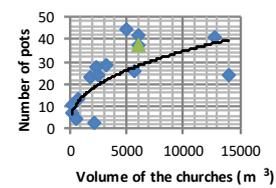
Locus

- Le nombre de pots augmente avec le volume
- Souvent étendu dans l'ensemble de l'espace et en hauteur
- Églises à plusieurs fréquences dans les larges espaces
- Rares textes mentionnant une volonté d'agir sur l'espace



Transitus

- Pots insérés dans le trompettes des anges ou dans des décors peints
- Pots organisés en triangles, croix ...
- Textes décrivant la symbolique des pots (Hildegarde de Bingen ...)



Présentation proposée par Solange Bouvier

Directement issue de la présentation de la conférence de Bénédicte Bertholon et Jean-Christophe Valière.

Pour en savoir plus : leur publication disponible à la vente (Decitre, Fnac, etc.)

Archéologie du son. Les dispositifs de pots acoustiques dans les édifices anciens - Société française d'Archéologie, 2012.

