

Pour une archéologie du son : l'étude des pots acoustiques dans les églises médiévales et modernes

Bénédicte Palazzo-Bertholon

Centre d'Études Supérieure de Civilisation Médiévale
Université de Poitiers, CNRS UMR 7302
Hôtel Berthelot
24, rue de la Chaîne
BP603
86022 Poitiers CEDEX
E-mail : benedicte.palazzo-bertholon@univ-poitiers.fr

Jean-Christophe Valière

Institut Pprime
Université de Poitiers, CNRS UPR 3346
Bât B17
6 rue Marcel Doré
86022 Poitiers CEDEX
Tél : 05 49 45 33 59
E-mail : jean-christophe.valiere@univ-poitiers.fr

En juillet 2012 paraissait un ouvrage collectif faisant le point sur une dizaine d'année de recherche menées par une équipe pluridisciplinaire sur les poteries dites acoustiques, insérées dans des édifices religieux construits entre le Moyen Âge et le XVIII^e siècle en France et en Europe [1]. Ce livre a été suivi d'un article paru en janvier 2013 dans la revue *Acta-Acustica united Acustica* [2] précisant les résultats les plus probants obtenus par l'équipe, dans le domaine de l'acoustique. Ces conclusions ne constituent pas, disons-le d'emblée, une réponse définitive sur les raisons de l'implantation de ces dispositifs ni sur leur rôle. Ce travail vise à introduire une problématique complexe dans une démarche scientifique, faisant intervenir, avec autant de rigueur les disciplines de la sphère historique (archéologie, histoire de l'art, linguistique diachronique) que celles des mathématiques et de la physique.

Sans vouloir remettre en question les études précédentes qui sont, pour certaines, de grande qualité - nous y reviendrons - nous constatons que l'étude de ces poteries sur le plan strictement acoustique avec des techniques de l'acoustique des salles par exemple, ne peut pas répondre à elle seule aux multiples questions posées. A contrario, l'absence de preuves acoustiques vraiment avérées a suscité des controverses et engendré des débats souvent peu étayés au regard de l'histoire, de la liturgie ou de l'archéologie pour n'en citer que quelques-unes.

La première conséquence de cet état de fait, est la fabrication de «légendes» autour de ces poteries, reprises d'une publication à l'autre jusqu'aux sites web. Ainsi, une partie importante du travail de l'ouvrage susmentionné - puisque que près d'un chapitre entier y est consacré - est

l'analyse historiographique, c'est-à-dire l'étude critique de la redécouverte de ces poteries ; en d'autre terme, «l'histoire de l'histoire».

Le second effet du manque de résultats probants apportés par les études physiques est le désaccord persistant entre les acousticiens et les archéologues (le plus souvent) voire, d'une façon plus générale, entre ceux qui croient à l'implantation volontaire et réfléchie (et parfois à leur efficacité) de ces dispositifs et ceux qui n'y croient pas. C'est à dessein que nous utilisons le verbe «croire» car, il faut bien le dire, l'état de la connaissance dans ce domaine ne laisse pas beaucoup de place aux certitudes et nous en restons souvent à des impressions, qui sont, nous le savons bien dans les sciences, souvent trompeuses.

C'est pour ces raisons que nous avons intitulé l'ouvrage «Archéologie du Son» car les disciplines en jeu dans cette recherche scientifique respectent une approche qui repose sur la collecte et l'analyse des traces matérielles. À l'instar des autres disciplines concernées, la science de l'acoustique n'apporte et n'apportera que des fragments d'explication, par des mesures de fréquences par exemple, qui devront être ajoutées à un «puzzle» plus étendu. Toutes les approches scientifiques ont ainsi été mises au même niveau et participent ensemble à la tentative de synthèse proposée en fin d'ouvrage.

Dans le présent article, nous éviterons de faire un résumé des résultats avec le risque de simplifier les propos de nos collègues et de produire ainsi les effets néfastes que nous exposons ci-dessus.

Nous proposons plutôt d'exposer les questionnements, leur nature et l'entendue de ceux-ci, de proposer des grilles d'analyse et aussi, de sensibiliser la communauté acousticienne à la sauvegarde de ce patrimoine. En effet, la méconnaissance de ces poteries et de leur importance historique précipite souvent leur disparition des églises lors des campagnes de restauration. Or, quelle que soit la réalité des effets de ces poteries, une chose est désormais certaine : elles ont été utilisées pour des raisons manifestement acoustiques, durant une période très étendue (sept siècles en mettant à part l'époque antique plus controversée) et sur un territoire considérable, couvrant l'Occident et une partie de l'Orient (Figure 1). C'est pourquoi, ces dispositifs sont dignes d'intérêt et doivent être étudiés, préservés voire restaurés le cas échéant dans les édifices où ils sont encore présents.



Fig. 1 : Pommiers-en-Forez (42), 29 poteries sont insérées dans la voûte au niveau de la première travée de la nef. Bien conservées dans la maçonnerie, elles sont datées du XIIIe siècle. Elles sont situées au-dessus de la localisation probable du chœur des moines.

Interrogations, hypothèses et méthodes de travail

Que ce soit par les premiers érudits du XIXe siècle ou les archéologues et les acousticiens depuis les années 1950, les poteries médiévales ont le plus souvent été considérées comme des objets «acoustiques» ou bien des dispositifs en mesure de pouvoir modifier de façon volontaire, l'environnement sonore de l'église.

Avant de poursuivre sur la validité de cette hypothèse d'un point de vue historique, il est nécessaire de rappeler dans quelle mesure des pots pourraient agir sur l'acoustique d'un édifice.

Dans une église, comme dans n'importe quelle salle, une source sonore va suivre plusieurs chemins (figure 2), parmi lesquels le trajet direct correspond aux premières réflexions sur les parois. On connaît aujourd'hui l'importance de ces premières réflexions en terme de qualité de perception, tandis que le champ diffus ou réverbération, agglomère l'ensemble des réflexions tardives jusqu'à l'extinction définitive du son [3].

L'acoustique des salles considère souvent la réverbération comme nuisible car elle perturbe la compréhension des messages ou la clarté de la musique. Dans le cadre du chant religieux, le tempo est souvent dépendant de la réverbération, au risque sinon de créer des dissonances fâcheuses [4].

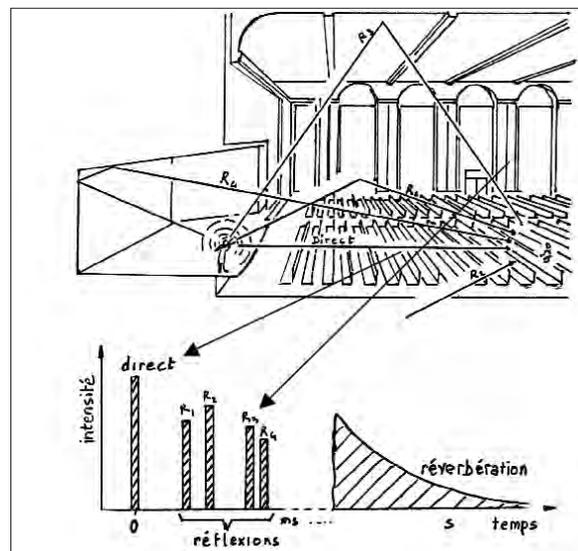


Fig. 2 : Relation entre la géométrie de la salle et les réflexions reçues par un auditeur [3]. On sait aujourd'hui que les premières réflexions ont un impact important sur la qualité perceptive de la salle.

L'acoustique statistique montre depuis Sabine (XIXe), que la durée de réverbération d'un son - définie de façon normalisée comme le temps d'extinction égal à 60 dB de décroissance de l'énergie sonore - était proportionnelle au volume. La durée de réverbération peut toutefois diminuer, si les parois sont absorbantes. L'absorption peut résulter de l'ajout de matériaux poreux sur les murs, dont les tapisseries seraient une forme ancienne, de panneaux suspendus (comme des tableaux) ou des résonateurs comme les pots. Ces différents systèmes d'absorption ont leur propre domaine fréquentiel d'efficacité. Dans le cas des pots, il correspond à une bande assez étroite, qui est impactée autour de la fréquence de résonance.

La simulation de l'effet d'une poterie insérée dans un mur infini sur une source ponctuelle située à 10 m est reportée en Figure 3 [5]. Sur la figure de gauche, l'organisation du champ acoustique sans pot prend une forme bien connue de nœud (en jaune) et ventre (en bleu) de pression, dus aux interférences créées par la paroi.

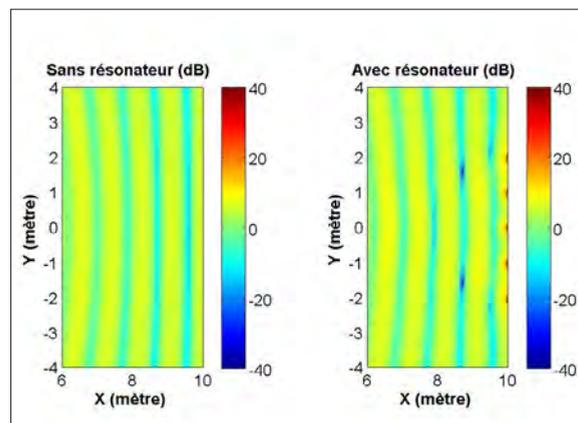


Fig. 3 : Simulation du champ de pression acoustique sans (à gauche) et avec 5 pots en ligne (à droite) insérés dans un mur infini. La source sonore est située à dix mètres de la paroi, sur la gauche [5].

Avec cinq résonateurs disposés en ligne (figure de droite), la simulation illustre deux phénomènes : d'une part, le son est amplifié à proximité de la paroi (10 cm environ) et il se diffuse dans toutes les directions ; d'autre part, il est partiellement diminué avec des effets visibles dans les premiers mètres. Pour un acousticien d'aujourd'hui, il est évident que les effets de ces dispositifs dans de tels espaces sont de faible amplitude et peu audibles.

Face à ces principes physiques bien connus aujourd'hui et simples en apparence, se posent d'autres questions soulevées par les textes anciens contenant certaines contradictions avec les effets acoustiques des poteries. Est-il opportun de rechercher des effets d'absorption alors qu'il n'en ait jamais fait mention dans les textes ? Pourquoi ceux-ci ne parlent-ils que d'amplification ? Les effets d'absorption des matériaux étaient-ils connus ? Connaisait-on alors, le fonctionnement d'un pot de manière empirique ? L'acoustique (au sens d'aujourd'hui) était-elle vraiment prise en compte ? Quelles preuves peut-on en avoir ? La mise en place des pots dans les voûtes et le haut des murs ne répond-elle qu'à des considérations acoustiques ? Quel était le sens de mots tels que résonances ou écho ? Quels sont les lieux d'émergence de cette technique ? Comment s'est fait sa diffusion ? etc. Autant de questions auxquelles un acousticien seul ne peut répondre, car il est nécessaire de rassembler, en plus de la maîtrise des phénomènes acoustiques, des connaissances historiques sur les techniques de construction et sur l'architecture, sur des pratiques musicales et liturgiques en usage, tant à l'époque médiévale que moderne.

L'équipe que nous avons constituée dans le cadre d'une action incitative de l'université de Poitiers (voir encadré) tente de résoudre de manière concertée ces questions, sans préjuger d'une destination finale, au moyen de textes de l'Antiquité et du Moyen-Âge, de traces matérielles et de leur confrontation avec des résultats déjà établis dans le domaine de la liturgie et des pratiques musicales.

Plusieurs aspects de ces recherches sont présentés dans la suite de cet article, avec dans un premier temps les questions historiques, relatives à la découverte des pots et à leur filiation avec l'Antiquité et aux connaissances scientifiques et techniques contemporaines de leur mise en place dans les églises. Puis, les résultats de l'analyse critique des sources écrites avec les outils des philologues et des linguistes permettront de contextualiser les textes et le vocabulaire utilisé, avant de proposer une lecture symbolique des pots acoustiques. Enfin, les données physiques qui ont été recueillies dans le cadre de la publication seront analysées et interprétées.

La question de la filiation

Il ne paraît plus, aujourd'hui, un article sur les poteries acoustiques sans une référence au texte du célèbre architecte romain, Vitruve (1^{er} avant J.-C.), *De Architectura*, œuvre considérable dont il existe bon nombre de copies médiévales [6]. En effet, le chapitre 5 du livre V est explicitement consacré à des dispositifs insérés dans des théâtres grecs appelés «*vasa aerae*», littéralement vases de bronze et à leur possible prolongement, selon l'auteur, à l'époque romaine sous la forme de «*fictilibus doliiis*», littéralement de gran-

Constitution d'une équipe de travail et méthodologie

Une équipe soutenue par des Actions Incitatives de l'Université de Poitiers (2005-2008 puis 2013-14) se réunit régulièrement et poursuit les recherches sur les pots acoustiques, selon différents axes interdisciplinaires.

Ont participé à la constitution de l'ouvrage : Anna Boato, Gerardo Boto, Pauline Carvalho, Chantal Delomier, Victor Desarnaulds, Estèle Dupuy, Corinne Ferron, Jean-Marc Fontaine, Sylvain Grégoire, Miljenco Jurcovic, Aline Kottmann, Janick Laumonier, Solenn Moreau, Eric Palazzo, Bénédicte Palazzo-Bertholon, Laurent Philippon, Jean-Dominique Polack, Daniel Prigent, Romain Rebeix, Christian Sapin, Tin Turkovic, Jean-Christophe Valière.

Un site web, à l'adresse <http://archoacoustique.labo.univ-poitiers.fr/>, prolonge l'ouvrage avec la mise en ligne d'un inventaire (en constante évolution) des édifices disposant de pots acoustiques. Il est possible de le consulter par site ou par commune et de signaler la présence de poteries. La référence nouvellement signalée (ou complétée) sera intégrée dans la base de données après vérification.

des jarres en terre. La tradition historique indique que les poteries acoustiques trouveraient leur origine dans l'Antiquité sur la base du témoignage de Vitruve, par une filiation qui reste, en revanche, encore mystérieuse.

Nous avons repris cette question de la filiation des dispositifs acoustiques à partir d'une analyse critique du texte de Vitruve [2,7]. Premièrement, l'historiographie montre que cette filiation entre l'Antiquité et le Moyen Âge n'a été introduite qu'à la fin du XIX^e siècle. En outre, on a confondu dans la littérature les deux dispositifs, les vases grecs en bronze et les vases romains en terre, en raison de l'usage, dans les deux cas, du mot «*vase*» dans les traductions de Vitruve au XVII^e [8] et au XIX^e en France [9]. Nous avons choisi dans nos études et le présent texte, les termes de «*pot*» et «*poterie*» pour désigner les dispositifs médiévaux, conformément à la terminologie des textes en ancien et moyen français, et celui de «*vase*» pour les dispositifs grecs et romains (figure 4).



Fig. 4 : Représentation des dispositifs de Vitruve interprétés par Kircher (1601-1680) [10]. Kircher place les dispositifs acoustiques dans un mur situé derrière les acteurs et non sous les gradins des spectateurs comme le décrit Vitruve. Il associe des jarres, probablement en terre cuite, noyées dans la maçonnerie, dont seule l'embouchure ovale est ouverte sur l'espace, en trois lignes superposées. Au centre de l'hémicycle, il place sept véritables cloches suspendues et munies d'un battant, en trois registres superposés. Cette restitution graphique montre que Kircher a du mal à interpréter le terme d'*echea* employé par Vitruve, qui peut signifier soit «*vase*», soit «*cloche*» et il décide donc de représenter les deux.

Sans entrer dans les détails, le texte de Vitruve pose trois questions. La première est celle de l'existence même des vases grecs, dont la réalité historique comme la diffusion à travers les textes et les témoignages archéologiques ne sont pas parfaitement établis. La seconde est celle du lointain cousinage entre les vases grecs et les vases de terre romains cités par Vitruve, dont il n'existe à ce jour aucune trace archéologique et que l'architecte assimile à une seule et même chose. La troisième question, qui nous intéresse plus particulièrement, est celle de la filiation entre les dispositifs acoustiques grecs et romains avec les poteries médiévales placées dans les églises.

Dans l'état actuel des connaissances, aucun témoignage textuel ni preuve archéologique, ne semble montrer une continuité d'usage des dispositifs acoustiques entre l'Antiquité et le Moyen Âge. En revanche, on constate l'implantation de poteries à usage acoustique dans certaines églises dès l'époque carolingienne. L'usage de cette technique pourrait être associé à la copie et à la lecture des auteurs antiques à cette époque, communément appelée « Renaissance carolingienne ». Le besoin de se référer à l'âge d'or de l'Antiquité pour asseoir le pouvoir et la créativité des puissants carolingiens remet au goût du jour les anciens théoriciens et philosophes dans tous les domaines de l'art. Ce contexte particulier pourrait expliquer l'émergence précoce de cette technique, dès le IX^e siècle, dans les églises germaniques. La synthèse que propose Aline Kottmann sur les églises germaniques montre qu'elles constituent les premiers exemples médiévaux d'Europe occidentale [11]. De plus, c'est aussi à cette époque et dans cette région que les textes de Vitruve ont été le plus commentés [12] et c'est aussi dans les monastères germaniques que l'on trouve le plus de copies du *De Architectura*, signe de l'influence pérenne que Vitruve exerça sur la culture occidentale. Dans l'abbaye de Meschede (Allemagne), étudiée par A. Kottmann, la position des poteries semble d'ailleurs répondre aux recommandations de l'architecte.

Les datations dont nous disposons pour la mise en place des dispositifs de pots acoustiques, montrent que l'espace carolingien conserve effectivement les exemples les plus anciens pour le Moyen Âge. En France, les exemples les plus précoces sont dans les vallées de la Saône et du Rhône [13,14], tandis que les implantations plus tardives se trouvent en Bretagne [15] ou en Espagne [16]. Pour la péninsule ibérique, l'article de G. Boto est explicite : les quelques rares exemples identifiés à ce jour en Catalogne sont liés dans un premier temps à l'expansion cistercienne, puis dans un second temps à des influences languedociennes. Dans les deux cas toutefois, la présence de dispositifs acoustiques serait corrélée avec la venue en Espagne de bâtisseurs provenant de Bourgogne et du Languedoc.

Ce faisceau d'indices favorise l'hypothèse d'une émergence carolingienne qui mériterait toutefois d'être confortée par la datation systématique des dispositifs inventoriés. Ces données chronologiques nécessiteraient également d'être confrontées à la pratique musicale et aux chants liturgiques des périodes correspondantes.

Ce schéma explicatif qui nous semble cohérent pour l'Europe occidentale ne prend pas en compte les dispositifs présents plus à l'Est, en Grèce, au Moyen-Orient ou en Russie.

Cependant, l'implantation des poteries dans les églises orthodoxes, contrairement aux idées reçues, n'est jamais datée avant le XI^e siècle, si l'on en croit les récentes études menées en Grèce [17] et en Serbie [18]. Ainsi il peut être légitime de penser que l'Occident chrétien entre le IX^e et le XIII^e siècle a véhiculé certaines pratiques vers ces régions de l'Est au point de « relancer » cette technique dans son lieu supposé d'émergence. Évidemment la piste d'une filiation antique directe pour la Grèce est néanmoins envisageable et nécessiterait une étude spécifique.

La question des sources

Nous avons également exploré dans cet ouvrage les textes anciens témoignant de la pose des poteries, qu'il s'agisse de témoignages factuels ou de textes théoriques sur l'architecture. Il n'existe à ce jour aucun écrit connu de l'époque médiévale décrivant les règles d'implantation de ces dispositifs. L'absence de description, familière aux archéologues qui s'appuient sur des traces matérielles pour décrypter l'Histoire, perturbe l'acousticien qui voudrait posséder d'avantage de certitudes pour orienter la nature de ces investigations.

Les témoignages textuels sont de nature variée comme des chroniques d'abbaye, des comptes de construction, ou des textes satiriques en moyen français. Datés entre le XV^e et le XVII^e siècle, ils sont donc tardifs par rapport à la pose des pots qui s'échelonne en France plutôt du XII^e au XVII^e siècle. Les textes plus anciens en langue latine n'ont pas été étudiés systématiquement à ce jour, mais ils devraient prochainement compléter le corpus déjà établi. Tous les textes analysés mentionnent sans équivoque un rôle acoustique dans le sens de l'amplification du son, voire, dans le sens d'une amélioration sonore (Figure 5). Les linguistes de notre équipe qui ont analysé ces textes [19] au moyen d'une étude diachronique (histoire de la langue) ont montré que le mot « résonance » que l'on trouve dans les textes anciens, n'est pas utilisé dans le sens actuel des acousticiens, mais qu'il renvoie davantage à une amplification globale du son.

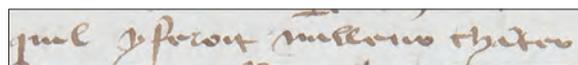


Fig. 5 : Sélection du texte du couvent des Célestins de Metz « qu'il y fesoit melleur chanter ». L'idée d'une amélioration sonore est ici présence même si le texte poursuit par « et que il y resonneroit plus fort » [20]. La notion d'intensité du son est donc bien présente mais dissociée de la qualité. (Metz, Bibl. mun., ms. 833, fol. 133).

Par ailleurs, ces textes anciens présentent parfois un regard ironique voire critique sur cette technique, notamment à l'époque de la Réforme. Dans un texte du XVII^e siècle, dénonçant les pratiques catholiques, un protestant converti accuse les moines de faire croire qu'ils sont plus nombreux à l'office qu'ils ne le sont en réalité, par l'implantation de poterie dans les voûtes du chœur [19].

Quelle que soit la nature des témoignages écrits anciens et contrairement à certaines affirmations des XIX^e et XX^e siècles, l'analyse des textes que nous avons à notre

disposition montre qu'un usage acoustique des poteries est le seul possible.

Les ouvrages des érudits et les traités d'architecture constituent la seconde source de textes pouvant apporter des éléments de compréhension sur les intentions des bâtisseurs. En substance, ces textes, pour la partie acoustique en tout cas, sont constitués d'une part, de références à Vitruve, apparaissant à nouveau comme une figure de référence, et d'autre part, d'éléments d'expériences personnelles. C'est le cas d'Alberti qui s'inspire de Vitruve et qui décrit les dispositifs des vases d'airain antiques (Echea), sans jamais faire référence toutefois aux poteries des églises qu'il pouvait voir à son époque. Mersenne évoque quant à lui «des pots à moineau, ou d'autres vases creux dans les voûtes, ou sur les voûtes des églises, afin d'aider les voix des ceux qui chantent», et semble convaincu de leur efficacité. Il commente par ailleurs Vitruve dans son texte en contestant l'efficacité des echea, «quant aux sons de ces vases, il est difficile qu'ils soient assez forts pour faire entendre leurs consonances aux auditeurs». Il ne fait toutefois pas de lien direct entre les deux dispositifs, au contraire, il semble même les opposer. En résumé, les érudits, savants et architectes, ne sont pas très prolixes sur le sujet et concernant l'acoustique, ils se réfèrent aux connaissances antiques. C'est à partir de l'époque de Mersenne au XVII^e puis au XVIII^e que les théories de l'acoustique se forment sans expliquer toutefois le fonctionnement de ce dispositif perçu probablement davantage comme liturgique que comme technique [19].

La question de l'histoire des sciences et techniques

Ainsi, il nous est apparu lors de la constitution de notre ouvrage, qu'il existait un manque d'information chronique sur les savoirs empiriques de l'acoustique à l'époque médiévale. Aux XVIII^e et XIX^e siècles, une partie des connaissances empiriques (hydraulique, construction mécanique, architecture) ont semblé dignes d'intérêt aux yeux des ingénieurs et des techniciens, qui les ont inclus dans les savoirs académiques. L'acoustique pratique, en revanche, longtemps liée à la musique et à la liturgie ne semble pas avoir été prise en compte [21]. L'article sur les vases de Vitruve écrit par Jaucourt dans l'encyclopédie de Diderot est tout à fait explicite à ce propos. Après une description du chapitre de Vitruve consacré aux vases dans les théâtres, il conclut en écrivant : «On prétend qu'il y a des vases de l'espèce de ceux des anciens dans l'église cathédrale de Milan, qui est très-propre à l'harmonie ; mais on prétend communément des choses, qui, bien examinées, ne se trouvent pas vraies» [23].

Ainsi l'histoire officielle de l'acoustique depuis Aristote et Pythagore jusqu'à Helmholtz et Rayleigh en passant par Averroès, Mersenne, Newton, d'Alembert et Laplace ne s'est guère intéressée aux pratiques liées à l'acoustique dans les bâtiments. Ces pratiques apparaissaient aux yeux des érudits probablement trop complexes, inintéressantes, voire hors de la sphère scientifique [22]. Plus encore qu'aujourd'hui, les liens entre les savoirs théoriques et la pratique de terrain devaient être distendus

et sans réelle communication. À ce propos, les recherches récentes sur l'archéologie des instruments de musiques pourraient être de nature à apporter des éléments complémentaires à notre recherche, en particulier par leur méthodologie.

De notre point de vue, les poteries acoustiques sont parmi les rares objets tangibles qui demeurent comme un témoignage de ces connaissances empiriques. C'est pour cette raison que nous avons privilégié l'étude des règles d'implantation et du choix des pots, plutôt que de démontrer l'efficacité du dispositif acoustique correspondant. Ainsi, l'histoire de l'acoustique pratique, disons plus précisément de la prise en compte de l'acoustique dans les bâtiments, reste encore largement à écrire et gageons que les travaux sur les poteries soient de nature à apporter quelques éléments de réponses, comme nous le verrons dans la dernière section de cet article.

La question du rôle liturgique et symbolique

Aucun objet inclu dans un édifice religieux, en particulier à l'époque médiévale, n'échappe à une part d'explication symbolique en lien avec la liturgie ou la dimension spirituelle en général.

Un point sur les pratiques liturgiques à l'époque de l'implantation des pots en montre l'importance [24]. Ainsi soigner l'acoustique ou utiliser des moyens pour l'améliorer n'est pas étranger au monde religieux. Il est notamment intéressant de remarquer que les poteries sont toujours placées dans les parties les plus hautes de l'église. Notre étude statistique de plus d'une vingtaine d'églises le montre bien : il existe une relation directe (linéaire même) entre la hauteur de l'église et la hauteur moyenne d'implantation des pots. De ce fait, l'explication physique qui consisterait à rechercher une amplification du son ne tient pas et d'autres acousticiens l'avaient remarqué avant nous [25, 26]. En revanche, si l'on interprète symboliquement les pots placés en hauteur, ils incarnent la musique céleste ou le chant des anges, qui résonne à l'unisson avec le chant des hommes assemblés dans l'église symbolisant l'assemblée tout entière des Chrétiens [27].

Cette perspective nouvelle, d'une interprétation symbolique des poteries, en plus d'une interprétation acoustique, va bien au-delà de la simple hauteur des pots. L'organisation spatiale des poteries répond à des schémas signifiants comme le triangle évoquant la sainte trinité, par exemple (figure 6, page suivante). La localisation préférentielle des dispositifs dans le chœur des églises est également significative.

Des organisations, plus chargées de sens encore, sont conservées au sein de quelques décors peints intégrant des poteries acoustiques en Suisse et en Allemagne. Le dispositif de l'église d'Oberwinterthur par exemple, incarne une symbolique riche et explicite, avec la formation de dessins avec les poteries : une croix représentant l'église, un triangle pour la Sainte Trinité, ou le regroupement des pots par lignes de 8, rappelant l'octave en musique ou l'harmonie parfaite selon Pythagore, voire l'équilibre cosmique.

Les pots peuvent également être intégrés à des décors peints, parfois sobres comme dans les voûtes de l'église



Fig. 6 : Saint-Chef-en-Dauphiné (38), pots acoustiques insérés dans le mur nord de la nef, avec détail de trois pots disposés en triangle. [crédits photos A. Bertholon].

d'Asbeck ou de Baidt (Allemagne), où l'embouchure des pots constitue le centre des étoiles qui composent la voûte céleste. Mais parfois, les pots participent d'un décor plus complexe, formant le pavillon des trompes que les anges musiciens tiennent entre leurs mains, comme à Saint-Séverin de Cologne (Allemagne).

Cette lecture symbolique des pots acoustiques, qui n'avait presque jamais été abordée dans la littérature, est loin d'exclure un rôle acoustique intentionnel car la plupart des interprétations métaphoriques que nous avons mises en évidence font référence à la musique ou la voix, dans une conception de la construction où la technique et la symbolique sont étroitement mêlés.

La question du rôle acoustique

Ainsi, bien que tous les signaux convergent vers une interprétation acoustique de l'usage de ces poteries, il n'en reste pas moins que le mystère de l'intention des bâtisseurs reste entier. La principale difficulté était notamment de savoir si ceux-ci connaissaient le rôle des poteries, c'est-à-dire leur fonctionnement en tant que résonateurs de Helmholtz. S'il ne faisait aucun doute maintenant qu'ils connaissaient leur rôle amplificateur - les textes de l'Antiquité et de l'époque Moderne l'attestent dans une grande continuité -, l'effet d'absorption ne semble pas avoir été mentionné dans les textes que nous avons étudiés. Les rares extraits qui témoignent de la pose de pots ne mentionnent que des effets d'amplification, sauf peut-être celui de la chronique des célestins de Metz (1432), comme nous l'avons dit, qui parle de «faire meilleur chanter», pouvant être interprété, avec prudence, comme l'intention d'améliorer le message sonore (chant) plutôt que de l'amplifier.

Cependant, toutes les études acoustiques (voir encadré) qui ont débutées dans plusieurs pays européens au milieu du XX^e siècle n'ont essentiellement recherché qu'un effet absorbeur, car bien logiquement, en raison des connaissances actuelles, aucun physicien ne peut admettre que l'effet d'amplification soit effectif, les poteries, situées à plusieurs mètres de haut, étant beaucoup trop éloignées des locuteurs.

Auteurs	Conditions expérimentales	Effets constatés
Floriot 1964 [25]	En salle d'expérience	Amplification à proximité. Absorption à distance.
Floriot 1964 [25]	In situ à l'église de Saint Blaise et diverses autres	Absorption et diminution du temps de réverbération (TR)
Fontaine 1979 [26]	In situ à Ploaré	Augmentation du niveau sonore dans la bande des pots. Diminution du (TR) dans la bande
Desarnaulds 2002 [29]	In situ à l'église de Syens et Vilette	Peu concluant (pots cassés)
Desarnaulds 2002 [29]	Salle de laboratoire (chambre réverbérante)	Diminution du TR, abaissement de l'EDT, augmentation de la Clarté, amélioration de l'intelligibilité
Zakinthinos & Skarlatos 2007 [17]	Reconstitution en l'église de Sante Maritsa à Patras (480 bouteilles de soda)	Légère absorption autour de la fréquence de résonance et du partiel à 1000 Hz, Diminution du TR, EDT augmenté, Définition (D50) augmentée, Clarté (C80) augmentée

Tabl. 1 : Bilan de différentes études expérimentales

En d'autres termes, deux hypothèses peuvent être émises :

- Soit l'effet de champ proche, connu dans l'Antiquité et au Moyen Âge, est extrapolé en champ lointain [28]. C'est-à-dire que l'effet d'amplification était bien le seul recherché mais en présupposant qu'il pouvait être efficace à distance.
- Soit par tâtonnements et empirisme, les pots étaient choisis avec l'objectif d'améliorer le son, sans que cette intention soit formulée explicitement dans les textes.

Au début de notre étude, qui s'est développée sur presque dix ans, nous n'avons voulu privilégier aucune piste particulière, car selon que l'on admet la première ou la seconde hypothèse, l'orientation des recherches peut être très différente. Aussi nous avons formulé une seule hypothèse de travail, qui est que les poteries pouvaient avoir été choisies. Cette supposition est loin d'être fantaisiste en raison, d'une part, des extraits de commandes conservés dans les comptes de construction, qui témoignent de la commande de pots destinés explicitement à agir sur le son dans l'église et d'autre part, en raison de la facilité avec laquelle un pot peut être choisi par sa fréquence de résonance en chantant devant l'embouchure ou en tapotant le goulot.

En revanche, nous avons voulu privilégier la collecte de données sur une échelle suffisamment large pour réaliser des statistiques sans chercher à vérifier les effets sur un édifice particulier. Notre objectif était, et reste d'ailleurs, d'identifier statistiquement les règles empiriques ayant présidé au choix et à la pose des pots. Ces données sont aussi bien architecturales qu'acoustiques. Nous avons ainsi visité une cinquantaine d'églises françaises où la présence de pots était attestée et nous n'avons pu mesurer la fréquence de résonance des dispositifs dans seulement vingt-deux d'entre elles. Dans les autres églises, les poteries étaient soit trop hautes pour être mesurées (à plus de 10 m du sol), soit totalement détruites ou disparues. Les conditions pratiques de mise en œuvre des mesures et l'état de conservation des pots ont donc conditionné notre étude sur les églises de petite taille inférieures à 6x000 m³ pour la plupart [30].

Les résultats que nous avons obtenus sont confrontés aux deux hypothèses acoustiques précédentes que nous appellerons A (recherche de l'amplification) et B (recherche d'une amélioration du son), auxquelles nous ajoutons l'hypothèse du rôle symbolique (C). À partir de nos mesures acoustiques, nous observons statistiquement que :

- Le nombre de pots tend à croître avec le volume de l'église ce qui montre que l'effet acoustique est recherché ; c'est compatible avec les deux hypothèses A et B.
- Les pots sont positionnés en moyenne d'autant plus haut que l'église est haute, ce qui va dans le sens de l'hypothèse B et C. L'effet d'amplification, comme nous le disions, ne peut pas être efficace à une trop grande distance.
- La fréquence des pots se situe entre 100 Hz et 500 Hz dans une très grande majorité des cas, c'est-à-dire dans le maximum d'énergie des voix chantées et parlées. En outre, la statistique globale montre graphiquement deux bosses, l'une autour de 150 Hz et l'autre vers 350 Hz (Figure 7). Cela est aussi bien compatible avec les hypothèses A, B et C.

Cependant, l'analyse globale des vingt-deux églises ne peut pas rendre compte de tout. Nous avons aussi analysé les églises individuellement lorsqu'elles possédaient suffisamment de pots en bon état. Nous avons remarqué par ailleurs, que certaines églises (souvent les plus petites) ne comportaient qu'un seul type de pots avec une seule fréquence de résonance, tandis que d'autres édifices comprenaient deux types de pots et deux fréquences de résonance distinctes, accordés à quelque chose près, soit à la quinte (rapport 3/2) soit à la quarte (4/3), qui est aussi une quinte renversée (Figure 8).

Ce fait reste compatible avec les trois hypothèses A, B et C. D'une part, elle conforte l'idée d'un choix délibéré et précis des poteries (le hasard n'aurait pas fait les choses aussi bien) et d'autre part, confirme que l'on connaissait les textes antiques en général et celui de Vitruve en particulier.

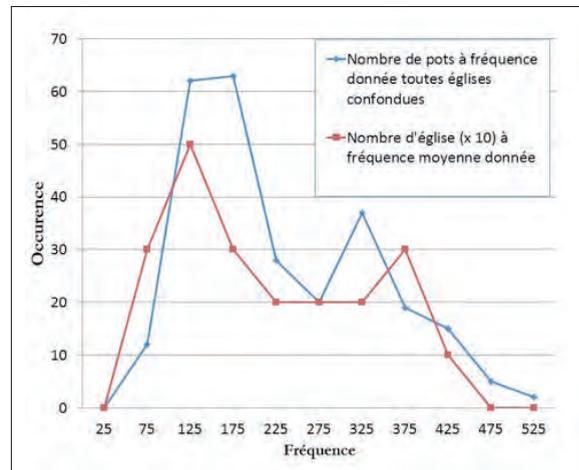


Fig. 7 : La courbe bleue représente le nombre de pots trouvés dans toutes les églises (sans distinction) et la courbe rouge le nombre d'églises par la fréquence moyenne de l'ensemble des pots de l'édifice. Les deux courbes présentent un comportement assez similaire.



Fig. 8 : Vue du mur Sud (dernière travée ouest) de l'église Saint-Blaise d'Arles (13). La rangée supérieure comporte 4 pots de fréquence dont l'embouchure est de petite taille et la ligne inférieure est constituée de 3 pots dont l'embouchure est de plus grande taille. Le mur Nord présente une disposition presque symétrique avec 5 pots au-dessus et 3 pots en dessous. Les pots de la ligne supérieure sont en moyenne accordés à 220 Hz (La 2) et ceux de la ligne inférieure sont en moyenne à 330 Hz, (Mi 3) c'est-à-dire dans un rapport de 1,5, soit une quinte juste, ce qui est assez caractéristique de ce que l'on peut observer dans de nombreux édifices français.

Enfin, la dernière tendance extraite des statistiques montre que les fréquences moyennes des pots dans les édifices sont assez corrélées (coefficient de corrélation de 0,6) avec la taille de l'édifice ; plus l'église est grande et plus les fréquences des pots sont basses et nous montrons que la fréquence moyenne est de l'ordre de 3 fois la fréquence de Schroeder, c'est-à-dire le domaine où la réverbération est la plus forte.

Ce fait ne peut être rapproché que de l'hypothèse B et conforte, de façon assez surprenante il faut bien le dire, les études antérieures visant à démontrer que les poteries pouvaient avoir été mises en place pour l'absorption du son ou la diminution de la réverbération.

Vers un essai d'interprétation en guise de conclusion

Il résulte de cette étude que les pots avaient bien pour objectif d'agir sur l'acoustique de l'espace intérieur, quelle qu'en soit l'efficacité réelle. En effet, les textes, l'analyse historique, l'analyse linguistique et les mesures acoustiques démontrent tous que l'objectif de la pose de ces pots est avant tout de réaliser un effet sur le son, et plus précisément selon toute vraisemblance sur la voix chantée bien que ce ne soit pas aussi évident dans le choix des pots (fréquence parfois trop basse). Comme souvent à l'époque médiévale et plus particulièrement dans le domaine religieux, aucun objet technique ou physique n'est conçu sans une dimension symbolique et notre étude le montre précisément pour les pots.

Reste la question de l'effet voulu : était-il d'amplifier ou « d'améliorer » le son ? Il est fort probable que de nouvelles années de recherche seront nécessaires pour acquérir une certitude sur cette volonté. Le manque d'information sur les connaissances empiriques de l'acoustique nous empêche de trancher aujourd'hui. Plus encore, affirmer qu'il ne s'agit que d'un quiproquo, résultat d'une méconnaissance des effets physiques des pots, nous semble aussi imprudent que d'affirmer sans ménagement que l'objectif était de diminuer la réverbération en basse fréquence, complétant l'effet que le mobilier (boiseries et tentures) exerce sur les hautes fréquences.

En tout état de cause, ces poteries constituent, à notre connaissance, le seul témoignage matériel à l'époque médiévale, d'une volonté d'agir acoustiquement sur l'édifice. À ce titre, leur préservation en tant que témoin archéologique et technique doit faire l'objet de toutes les attentions, en particulier lors des travaux de restauration. Dans certaines églises restaurées, les dispositifs ont été retirés, mais s'ils sont suffisamment documentés (si l'on connaît notamment la typologie des pots et leur positionnement initial dans les maçonneries), on pourrait envisager leur réinsertion, à l'instar d'autres éléments architecturaux.

Références bibliographiques

- [1] B. Palazzo-Bertholon et J.-Ch. Valière (Dir.), « Archéologie du Son : les dispositifs de pots acoustiques dans les édifices anciens », Suppl. n° 5, Bulletin Monumental, SFA, Paris, 2012.
- [2] J.-Ch. Valière, B. Palazzo-Bertholon, J.-D. Polack and P. Carvalho, "Acoustic Pots in Ancient and Medieval buildings: Literary analysis of ancient texts and comparison with recent observations in French churches", Acta Acustica united with Acustica, vol. 99, n° 1, pp. 70-81, 2013.
- [3] J.-D. Polack, "Introduction aux principes de l'acoustique des salles", Archéologie du Son... , réf. [1], 2012, p. 75-78.
- [4] Pentcheva, Bissera, "Hagia Sophia and Multisensory Aesthetics," Gesta 50, no. 2, 2011, pp. 93-111.
- [5] J. Laumonier, S. Moreau et J.-C. Valière, « Proposition d'une méthode de mesure archéométrique ; approche théorique », Archéologie du Son... , réf. [1], 2012, p. 151-154.

- [6] Vitruvius, De l'Architecture, Livre V, traduit et commenté par Catherine Saliou, Les Belles Lettres, Paris, 2009.
- [7] P. Carvalho, B. Palazzo-Bertholon, J.-Ch. Valière, "La filiation entre les echea antiques et les pots acoustiques médiévaux", Archéologie du Son... , réf. [1], 2012, p. 43-50.
- [8] Vitruve, Les dix livres de l'architecture, Traduction Cl. Perrault, Paris, [première édition 1673], Poitiers, 1979.
- [9] Vitruve, De Architettura, Volume 1, Ch.-L. Maufras (trad.), C.L.F. Panckoucke (éd.), Paris, 1847.
- [10] A. Kircher, Misurgia universalis, liber IX, Magia phonocampica, [première édition 1650], Rome, 1999.
- [11] A. Kottmann, "L'Allemagne : état de la recherche", Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 127-132.
- [12] S. Schuler, Vitruv im Mittelalter, Böhlau-Verlag GmbH, 1999.
- [13] Ch. Delomier, "L'église priorale de Pommiers-en-Forez (Loire)", Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 108-110.
- [14] B. Palazzo-Bertholon, "L'historiographie des XIXe et XXe siècles", Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 13-26.
- [15] J.-M. Fontaine et J.-Ch. Valière, « L'exemple de Ploaré-Douarnenez (France) », Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 175-182.
- [16] G. Boto, « L'Espagne : premières approches », Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 141-148.
- [17] T. Zakinthinos, D. Skarlatos, "The effect of ceramic vases on the acoustics of old Greek orthodox churches", Applied Acoustics, 68, p.1307-1322, 2007.
- [18] M. Mijic et D. Sumarac-Pavlovic, "Acoustic resonators in Serbian orthodox churches", Forum Acusticum, Sevilla, 2002, RBA-05-001-IP.
- [19] C. Féron et E. Dupuy, « Résonner, réfléchir/réflexion, retentir/retentissement, écho, approche diachronique », Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 67-74.
- [20] Chronique du couvent des Célestins de Metz, 1432, p. 133 du manuscrit [Metz, Bibl. Mun. ms 833, fol. 133].
- [21] P. Carvalho et J.-Ch. Valière, « L'acoustique architecturale. Théorie et pratique », Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 33-40.
- [22] Fr. Baskevitch, Les représentations de la propagation des sons, Thèse de Doctorat, Université de Nantes, 2008.
- [23] D. Diderot (dir.), Encyclopédie ou dictionnaire des sciences, des arts et des métiers, t. 16, Paris 1751, p. 854.
- [24] E. Palazzo, « La dimension sonore de la liturgie dans l'Antiquité chrétienne et au Moyen-Âge », Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 51-58.
- [25] R. Floriot, Contribution à l'étude des Vases Acoustiques du Moyen Âge, thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille, manuscrit dactylographié, 1964.
- [26] J.-M. Fontaine, Contribution à l'étude des vases acoustiques disposés dans les églises (XIe- XVIIIe s., mémoire de fin d'études, CNAM, Clermont-Ferrand, manuscrit dactylographié, 1979.
- [27] B. Palazzo-Bertholon, « Pour une lecture symbolique des pots acoustiques », Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 59-66.
- [28] R. G. Arns and B. E. Crawford, "Resonant Cavities in the History of Architectural Acoustics", Technology and Culture 36, no. 1, 1995. (communiqué par Andrew Tallon que nous remercions)
- [29] V. Desarnaulds, De l'acoustique des églises en Suisse – une approche pluridisciplinaire, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, thèse n° 2597, 2002.
- [30] J.-Ch. Valière, "Mesure des fréquences acoustiques des pots, analyse des résultats", Archéologie du Son..., réf. [1], 2012, p. 163-170