



## **Le dispositif acoustique du caveau de la cathédrale de Noyon (Oise)**

J.-C. Valiere<sup>a</sup> et B. Palazzo-Bertholon<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Pprime - CNRS UPR 3346, 6 Rue M. Doré, 86022 Poitiers, France

<sup>b</sup>Centre d'Etude et de Civilisation Médiévale; CESC-M-CNRS UMR 7302, 24, rue de la Chaine, 86000 Poitiers, France

jean.christophe.valiere@univ-poitiers.fr

La cathédrale de Noyon en Picardie, possède sous le maître-autel, une salle souterraine de petite dimension (15 m<sup>2</sup>) dont les murs nord, ouest et sud sont couverts de soixante-quatre poteries dites « acoustiques ». Cet espace, nommé *caveau phonocamptique* par les érudits du XIX<sup>e</sup> siècle, communiquait avec la cathédrale par un conduit étroit de section carrée, autrefois ouvert au centre du chœur des chœurs. Nous avons mesuré les dimensions géométriques de l'ensemble des pots ainsi que leurs fréquences de résonances. Il apparaît que deux types de poteries ont été insérés, avec deux fréquences accordées à la quarte (environ 108 Hz et 141 Hz en moyenne) et réparties dans les murs selon un schéma présentant une certaine régularité. Les fréquences de résonance, ainsi que leur accord, sont assez caractéristiques de ce qu'on observe par ailleurs en France [1,2]. Il semble donc que l'objectif de ces pots placés dans le caveau, était bien acoustique au sens large. Cependant, contrairement à l'interprétation acoustique habituelle, il est fort peu probable que ces poteries aient été insérées pour des questions d'absorption dans cet espace, dont la finalité reste encore inconnue. En outre, l'étude des sources écrites étudiées jusqu'alors ne permet pas d'établir que ce caveau faisait l'objet de cérémonies particulières. Les rares textes concernant d'autres édifices ne mentionnent que la possibilité d'amplifier la voix, ce qui, nous le savons aujourd'hui, n'est pas possible lorsque les pots sont placés en haut des murs ou dans les voûtes. La question à Noyon, est de savoir si les concepteurs de ce *caveau* ont cherché à rapprocher les pots du chœur des chœurs en les plaçant dans le caveau, afin d'amplifier leur voix par cet artifice.

## 1 Introduction

Dans le cadre de l'étude des dispositifs de pots acoustiques dans les églises anciennes, menée depuis plusieurs années sur les édifices français [1], le cas de la cathédrale de Noyon présente un *unicum*. Les pots acoustiques sont en effet, habituellement disposés dans les parties hautes des édifices, selon des schémas maintenant bien connus. Leur nombre varie de un à plus de cent, dans les quelques deux cent vingt églises répertoriées à ce jour dans notre inventaire qui s'enrichit régulièrement. Si les dispositifs de pots acoustiques ont fait l'objet d'études approfondies ces dernières années [2], le caveau de la cathédrale de Noyon présente des caractéristiques uniques à ce jour : un ensemble de poteries insérées non pas dans la partie haute des murs de l'église, mais dans une salle située en sous-sol, sous le chœur de la cathédrale. Ce dispositif surprenant fait l'objet depuis quelques mois de différentes études (archéologique, textuelle, liturgique et acoustique), dont nous présentons, dans le cadre de cet article, l'analyse des caractéristiques acoustiques des pots.

## 2 Présentation archéologique

Le caveau acoustique de la cathédrale de Noyon, était appelé « caveau *phonocamptique* »<sup>1</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle. Il s'agit d'une petite salle positionnée sous la croisée du transept, à laquelle on accède actuellement par une trappe située derrière le maître-autel du XVIII<sup>e</sup> siècle, donnant accès à un escalier (dont la datation est incertaine) qui descend dans le caveau. D'une superficie de 15 m<sup>2</sup> (hauteur sous voûte : 5,40 m), cette petite salle est étrangement équipée de soixante-quatre pots ou cruches avec bec verseur, dont seul le col affleure à la surface. Ces pots sont insérés dans un parement de brique, plaqué contre les murs nord, sud et ouest (figures 1, 2 et 3); le mur est du caveau, en revanche, n'a jamais été équipé de pots. Le mur ouest comprend seize pots répartis sur quatre lignes superposées : la rangée du bas comprend six pots, les deux lignes médianes, chacune quatre pots et la rangée sommitale seulement deux. Les murs nord et sud contiennent chacun vingt-quatre pots

également répartis sur quatre lignes superposées : six pots sur les trois rangées les plus basses, quatre pots dans l'avant dernière rangée et deux pots dans la rangée sommitale [3].



Figure 1: Mur ouest du caveau



Figure 2: Moitié ouest du mur sud

On remarque, par ailleurs, qu'un soupirail de forme rectangulaire était aménagé dans la voûte de brique du côté ouest, faisant ainsi communiquer le caveau avec le chœur de la cathédrale. Ce soupirail autrefois garni d'une simple grille, permettait à l'air et au son de circuler librement [4]. Il est actuellement bouché, recouvert par le dallage de marbre réalisé au XVIII<sup>e</sup> siècle dans l'espace de la croisée du transept (figure 4).

<sup>1</sup>. Emile Littré, dictionnaire de la langue française (1872-1877) : du grec « voix et réfléchir ». Terme de physique qui se rapporte à la réflexion du son. Centre phonocamptique : lieu où doit se placer l'oreille pour recevoir les sons réfléchis.



Figure 3: Moitié ouest du mur nord

Figure 4: Soupirail aménagé dans la voûte, donnant sur le chœur de la cathédrale et bouché au XVIII<sup>e</sup> siècle.

L'existence de ce caveau apparaît dans les sources textuelles sur la cathédrale à partir du XIX<sup>e</sup> siècle [4]. Les textes antérieurs qui se rapportent au monument sont nombreux et variés ; si les sources médiévales sont aujourd'hui bien étudiées [5], les sources modernes pourraient apporter, espérons-le, quelques éclairages précieux sur le caveau (études en cours), car à ce jour, nous n'avons aucune certitude quant à son fonctionnement. Le caveau lui-même a peut-être été construit au Moyen Âge, mais l'étude archéologique permettra de préciser la datation et l'évolution de cette salle souterraine [3]. Lors des travaux de réaménagement du chœur de la cathédrale au XVIII<sup>e</sup> siècle, la moitié orientale de la voûte en brique a été partiellement démontée pour construire deux massifs de maçonnerie qui enserrant l'escalier d'accès au caveau. Ces piliers massifs étaient destinés à soutenir l'autel monumental installé au-dessus, dans le chœur de la cathédrale, soit à la croisée du transept. La trappe d'accès au caveau fût aménagée à cette période, à l'arrière du nouvel autel et lors de la pose d'un nouveau sol de marbre dans le chœur de la cathédrale.

### 3 Méthodologie

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une recherche pluridisciplinaire systématique des édifices français qui a été initiée depuis plus plusieurs années et dont une partie des résultats a déjà été publiée [2,6]. Le principe de ce travail consiste à identifier des invariants dans le choix des

pots ou des règles qui pourraient avoir été suivis pour l'implantation des dispositifs de pots acoustiques. Cette étude s'appuie à la fois sur des statistiques basées sur l'ensemble du *corpus* étudié mais aussi, église par église, en rapport avec les dimensions de l'édifice ou parfois avec son usage (paroissial ou monastique). Nous recueillons ainsi des données géométriques concernant l'édifice et des informations archéologiques, puis nous réalisons un certain nombre de mesures sur les pots. Nous recueillons leurs fréquences de résonances au moyen d'un dispositif permettant d'accéder à des hauteurs de douze mètres environ. Lorsque les pots sont accessibles grâce à une échelle ou à un échafaudage, nous recueillons aussi des données géométriques des pots : diamètre du col, longueur du col et profondeur entre le col et le fond du pot. Au moyen d'une caméra ou *de visu* nous observons l'état général du pot, l'état de surface de la terre cuite (qui renseigne sur la nature archéologique mais aussi acoustique), les fêlures éventuelles ou l'ébrèchement du pot. La qualité de la liaison entre le pot et la maçonnerie est également prise en compte, car elle conditionne partiellement le bon fonctionnement acoustique et la qualité des mesures effectuées.

Cette méthode de travail systématique qui ne préjuge en rien ni des volontés des bâtisseurs ou commanditaires de la pose de ces dispositifs, ni même de leur efficacité réelle, a permis d'extraire des caractéristiques générales qu'il est ensuite possible d'analyser au regard des connaissances musicales et acoustiques des époques concernées. Aussi cette recherche nécessite le concours de philologues et linguistes, de musicologues et d'historiens des sciences et des techniques. L'histoire de la discipline acoustique, longtemps associée à celle de la musique (jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle) n'est pas encore bien écrite, surtout dans le domaine des connaissances empiriques liées à l'artisanat ou à la construction.

## 4 Mesures acoustiques

C'est dans ce contexte que l'étude du caveau de Noyon a été réalisée. Les positions des pots ont été relevées sur les trois murs qui en contiennent. On dénombre vingt-quatre pots sur les murs nord et sud par sous-groupe de douze et seize pots sur le mur ouest séparé en sous-groupe de huit, soit soixante-quatre pots au total. Ce qui frappe d'emblée, c'est la grande homogénéité des poteries : elles sont de facture identique pour soixante-deux d'entre elles (pâte fine de couleur grise). Seuls deux pots situés au sommet du mur ouest sont de facture différente (pâte plus grossière et orangée)<sup>2</sup>. Les pots possèdent des ouvertures de différentes tailles, comme le montre les figures 1, 2 et 3, sans organisation particulière apparente. Les orifices sont globalement circulaires malgré quelques irrégularités dues à la fabrication.

Pour chaque pot, le diamètre et la longueur du col ont été relevés au pied à coulisse avec une précision de 2 à 3

<sup>2</sup>. L'étude des pots est en cours, confiée à Sandrine Mouny, céramologue, EA 4284 TRAME, Univ. de Picardie, Jules Verne, Amiens.



mm<sup>3</sup>, la profondeur du vase mesurée au télémètre laser avec une précision que l'on peut estimer à 1 mm environ<sup>4</sup>.

Pour chaque pot, plusieurs prises de sons ont été effectuées. Pour la première campagne de mesure (préliminaire) le microphone, qui était placé à l'entrée de l'orifice a permis de capter la réponse acoustique d'une part à un claquement de main et d'autre part à une impulsion sur le col. Cette méthode a permis de dégager les premières tendances mais certains signaux comportaient des incohérences. Dans une seconde campagne les microphones ¼' ont été insérés dans la poterie et les signaux recueillis étaient de deux natures ; les premiers étaient des réponses au claquement de main et les seconds à un bruit blanc. Seuls ont été vérifiés les signaux pour lesquels la première campagne avait été infructueuse ou douteuse. Dans la pratique, beaucoup de mesures ont été confirmées.

Les mesures géométriques de l'ensemble des pots ont été analysées statistiquement. Comme nous pouvions le constater visuellement, les statistiques sur le diamètre et la longueur du col ne sont pas significatives et semblent répondre aux lois du hasard, les deux distributions étant proches d'une gaussienne.

En revanche, la répartition des longueurs des pots entre le col et le fond présente une courbe à deux bosses très distinctes. L'analyse des pots en dessous de 34 cm donne trente-deux pots avec une moyenne de 31 cm avec une dispersion de 3.5% et celle des pots au-dessus de 34 cm donne trente-deux pots avec une moyenne de 36 cm avec une dispersion de 2.6 %. Il semble qu'il y ait deux types de pots, d'environ 5 cm de différence (profondeur). En mesure ancienne cela correspond environ à 2 pouces (1 pouce = 2.7 cm dans le nord de la France). Les pots semblent donc bien avoir été choisis par leur hauteur mais ils sont de même fabrication. Seul le volume change significativement, ce que doit se traduire par un changement de fréquence.

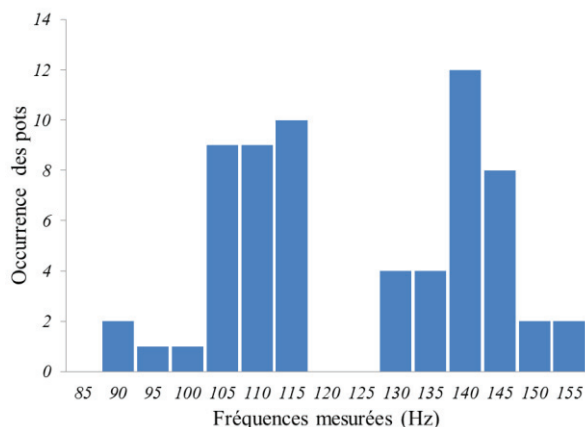


Figure 5 : Répartition des fréquences de résonances des pots. Trente-deux pots sont autour d'une fréquence de résonance de 108 Hz (6%) et trente-deux pots autour de la fréquence de 141 Hz (4.75%).

<sup>3</sup>. L'erreur de longueur est due à la courbure du col en interne et pour le diamètre au caractère plus ou moins elliptique de la section.

<sup>4</sup>. L'erreur la plus importante est due au défaut d'horizontalité de la poterie, le télémètre étant posé au ras du mur. Ainsi, plusieurs mesures ont souvent été prises et la plus courte a été considérée comme la meilleure.

En effet, la figure 5 reporte l'histogramme de répartition des fréquences de résonance mesurées. On retrouve ici une séparation en deux groupes de pots, les plus longs (trente-deux pots) ayant une fréquence de 108 Hz en moyenne et les plus petits une fréquence de 141 Hz. Une analyse fine de la répartition des sous-groupes permet de montrer que chaque groupe répond à une loi quasi gaussienne. Cette analyse est confirmée par un test du  $\chi^2$ .

Nous sommes dans un cas de figure où visiblement un choix de pots a été effectué avec deux types distincts parfaitement homogènes en termes de fréquence et de forme (hauteur des poteries).

Le plus intéressant est que deux pots présentent une facture différente sur le mur ouest (avec des dimensions géométrique sensiblement différentes), sont en revanche parfaitement accordés avec le second groupe de pots. Tout concourt donc à penser que les pots ont été choisis pour leurs fréquences, ce qui est assez simple à réaliser en tapotant sur le col.

Les fréquences choisies sont 108 Hz (environ La<sup>2</sup>), soit environ la fréquence fondamentale moyenne d'une voix masculine et 141 Hz qui correspond à une quarte de cette première fréquence. Le rapport entre les deux fréquences est de 1.3 (une quarte parfaitement juste donnerait 1.33). Les aléas de fabrication et d'implantation des pots font que selon les endroits, deux pots peuvent sonner à moins ou plus d'une quarte et parfois jusqu'à une quinte (1.5). Il a probablement été commandé au potier deux hauteurs de pots correspondant à deux fréquences de résonances. La variation des fréquences des pots lors de la mise en œuvre a sans doute conduit à une organisation raisonnée de leur disposition, mais dans l'état actuel de l'étude, nous n'avons pas pu en extraire une règle déterminée.

## 6 Répartition sur les murs

La dispersion des fréquences de résonance sur les trois murs est très singulière. Dans les murs ouest et nord, les pots avec une fréquence basse ( $f_1$ ) dominant, avec respectivement quatorze sur seize pots (mur ouest) et quatorze sur vingt-quatre pots (mur nord). Dans les deux cas, les pots à la fréquence plus haute ( $f_2$ ) sont situés dans la partie haute des murs ce qui paraît cohérent avec la représentation musicale en vigueur dès le IX<sup>e</sup> siècle. Il est difficile d'interpréter le fait que les deux murs possèdent chacun quatorze pots en basse fréquence. On peut envisager des raisons d'ordre symbolique ou de logique musicale, qui restent encore à élucider.

Dans le mur sud, quant à lui, est inséré en majorité des pots, vingt exactement, de la fréquence haute ( $f_2$ ) et seulement trois de la fréquence basse ( $f_1$ ). La répartition de ces quatre pots est moins symétrique : deux sont sur la ligne la plus basse et un sur l'avant-dernière ligne. Cette répartition pourrait faire penser à un triangle, forme symbolique spirituelle par excellence.

## 7 Conclusion

Les fréquences de résonance des pots du caveau de Noyon s'approchent des observations faites en France dans les parties hautes des murs et dans les voûtes. Les fréquences des pots se situent dans le domaine où la voix humaine est la plus forte et lorsque deux types de pots sont

présents, ils sont accordés à la quarte environ. De plus, leur répartition semble répondre à des logiques relatives au symbolisme musical ou religieux.

Cependant contrairement aux dispositifs acoustiques médiévaux, où les poteries sont placées dans les voûtes et dans les murs, à plusieurs mètres du sol, le cas du caveau de Noyon est singulier et atypique. Il présente de nombreux pots regroupés en lignes et disposés symétriquement, noyés dans la maçonnerie avec le col qui affleure à la surface, comme on le trouve dans les parties hautes des églises, mais dans un espace réduit, où la réverbération est moins importante et où le passage du son vers le chœur de l'église est réduit à un conduit rectangulaire de quelques dizaines de centimètres de côté.

Comme dans les cas connus par ailleurs, il est probable que les concepteurs du système aient cherché à agir sur le son pendant la liturgie, et la position du caveau sous le chœur des moines ne peut pas être due au hasard. En revanche, l'effet acoustique recherché dans le caveau était peut-être différent de celui des dispositifs placés en hauteur dans les églises, sans qu'il ne nous soit encore connu.

En tout état de cause, les analyses géométriques et acoustiques réalisées ces derniers mois, montrent que les soixante-quatre pots sont divisés en deux ensembles de trente-deux, accordés en moyenne, dans un rapport de quarte musicale (environ  $La^2$  et  $Re^3$ ). Sur les murs nord et ouest, comprenant respectivement vingt-quatre et seize pots, les pots accordés à la note la plus basse ( $La^2$ ) sont les plus nombreux (vingt-huit) et ils sont regroupés dans la partie basse du mur. Sur le mur sud en revanche, les cruches accordées à la note la plus haute ( $Re^3$ ) sont les plus nombreuses, avec vingt poteries sur un total de vingt-quatre.

Cet accord musical des pots, à la quarte ou parfois à la quinte, correspond à une tradition que l'on retrouve communément en France du XII<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle [2]. Ces observations montrent que les poteries insérées dans le parement de briques du caveau, ont été choisies et réparties avec soin, sur la base des connaissances musicales et / ou acoustiques de l'époque. Il est toutefois difficile de comprendre les intentions réelles qui ont conduit à ce choix des pots et à leur répartition spatiale à l'intérieur du caveau. Enfin, le rôle joué par ce soupirail reste aussi, sur le plan acoustique, une question ouverte qui nécessiterait une meilleure compréhension de l'usage des lieux. L'étude des livres liturgiques modernes de Noyon, actuellement en cours, permettra peut-être de préciser son usage<sup>5</sup>.

## Remerciements

Nous remercions particulièrement : la Ville de Noyon, Aurélie Dupont, Laurent Cessin et David Gadanho du Service Patrimoine et Hélène Dulauroy-Lynch du Service Archéologique, chargée des Monuments Historiques, le laboratoire Archéo-Univ à Amiens et Andrew Tallon.

Crédits photographiques : B. Palazzo-Bertholon.

## Références

- [1] Voir les travaux de l'ACI de l'Université de Poitiers (depuis 2005), rassemblés sur le site web <http://archeoacoustique.labo.univ-poitiers.fr/>
- [2] B. Palazzo-Bertholon and J.-C. Valière, *Archéologie du son, les dispositifs de pots acoustiques dans les édifices anciens*, Société française d'archéologie, suppl. Bulletin monumental, **5**, ISBN : 978-2-901837-41-1, (2012).
- [3] B. Palazzo-Bertholon and J.-C. Valière, Le caveau acoustique de la cathédrale Notre-Dame de Noyon, *Bulletin Monumental*, à paraître en 2014.
- [4] Moët de la Forte-Maison, *Antiquités de Noyon*, 1845, Rennes, p. 319-322. Voir également Charles Seymour, *La cathédrale Notre-Dame de Noyon au XII<sup>e</sup> siècle*, Bibliothèque de la SFA, n° 6, Paris, 1975, p. 56.
- [5] *La cathédrale de Noyon, cinq années de recherches*, Dir. A. Timbert et S.-D. Daussy, Sté Historique, Archéologique et Scientifique de Noyon, Noyon, 2011.
- [6] J.-C. 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*, **99**, No. 1, 70-81 (2013).

<sup>5</sup>. Etudes conduites par Eric Palazzo, Univ. de Poitiers-CESCM, UMR 7302 – IUF, pour les textes liturgiques et Christelle Cazaux-Kowalski, Univ. de Poitiers - CESCM, UMR 7302, pour les traités de musique.